

คำนำ

การที่จะส่งเสริมให้งานด้านการอนุรักษ์พลังงานประสบผลสำเร็จได้ว่าเป็นรูปธรรมในอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมนั้น ความรู้และความเข้าใจของผู้ที่ทำหน้าที่เป็นผู้รับผิดชอบด้านพลังงานถือเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น กองพัฒนาทรัพยากรบุคคล ด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงได้จัดให้มีการฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญให้กับ บุคลากรของอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์พลังงาน มีความเข้าใจในบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน และมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับศักยภาพการอนุรักษ์ พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พร้อมทั้งได้จัดให้มีการพัฒนาคู่มือสำหรับใช้ในการฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้าน พลังงานสามัญขึ้น เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมใช้ประกอบการฝึกอบรมในหลักสูตรดังกล่าว

คู่มือสำหรับหลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญพัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงข้อมูลและเนื้อหาจากคู่มือฝึกอบรม ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญที่มีอยู่เดิมของกองพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน โดยได้มีการพัฒนาปรับปรุงเนื้อหาให้มีความ ทันสมัยสอดคล้องกับเทคโนโลยีที่มีการใช้งานในปัจจุบันและสอดคล้องกับรายละเอียดการปฏิบัติตาม พระราชบัญญัติการส่งเสริมการ อนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2550) โดยคู่มือประกอบด้วยเนื้อหา 3 ส่วนหลัก คือ กฎหมายและความรู้พื้นฐาน ด้านการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการพลังงานไฟฟ้า และการจัดการพลังงานความร้อน

เนื้อหาในส่วนที่ 1 มุ่งเน้นให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมได้รับความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนเนื้อหา สำหรับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน โดยเฉพาะ ความรู้ในเรื่องระบบการจัดการพลังงานซึ่งจะสนับสนุนให้การอนุรักษ์ พลังงานเกิดขึ้นในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมได้อย่างยั่งยืน โดยในการพัฒนาเนื้อหาของคู่มือได้มีการปรับปรุงแนวทางในการ พัฒนาระบบการจัดการพลังงานพร้อมทั้งปรับปรุงและเพิ่มเติมตัวอย่างเอกสารและรูปแบบรายงานที่ต้องใช้ในการดำเนินการจัด การพลังงานไว้อย่างครบถ้วน สำหรับ เนื้อหาในส่วนที่ 2 และ ส่วนที่ 3 ประกอบไปด้วยเนื้อหาภาคทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยได้มีการพัฒนาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ให้มีความทันสมัย พร้อมทั้ง ได้เพิ่มเติมตัวอย่างแนวทางการประยุกต์ใช้มาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเกิดความเข้าใจใน หลักการทางทฤษฎีและสามารถนำความรู้ไปปฏิบัติเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างแท้จริง

ในการนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือสำหรับหลักสูตรฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้ เข้ารับการอบรมทั้งในการใช้ประกอบการฝึกอบรมและเป็นคู่มือที่ใช้อ้างอิงประกอบการทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงานภายหลังการ ฝึกอบรมแล้วเสร็จ ทั้งนี้เพื่อให้การอนุรักษ์พลังงานเกิดผลได้เป็นรูปธรรมและยั่งยืนในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมต่อไป

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
เมษายน 2562

สารบัญ

ตอนที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานภาคความร้อน

บทที่ 1 เครื่องมือและการตรวจวัดพลังงานความร้อน

(Equipment and Measurement of Thermal Energy)

1.1	บทนำ	1-1
1.2	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ	1-2
1.2.1	เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว	1-2
1.2.2	เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล	1-3
1.2.3	เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	1-3
1.2.4	เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน (Resistance Thermometers - RTDS)	1-4
1.2.5	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์มิสเตอร์ (Thermister)	1-5
1.2.6	เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี (Radiation Pyrometer)	1-5
1.2.7	กล้องอินฟราเรดตรวจจับอุณหภูมิ (Infrared Camera)	1-6
1.3	เครื่องมือวัดความชื้น (Humidity Sensor)	1-6
1.3.1	เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง (Wet-bulb and Dry-bulb Thermometer)	1-7
1.3.2	เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Humidity Meter)	1-7
1.4	เครื่องมือวัดความเร็ว (Velocity Meter)	1-8
1.5	เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow Meter)	1-8
1.5.1	การวัดอัตราการไหลแบบวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล	1-8
1.5.2	การวัดอัตราการไหลแบบแทนที่ทางปริมาตร (Positive Displacement)	1-9
1.5.3	มาตรวัดอัตราการไหลแบบใบพัด (Turbine Meter) แบบ Single-Jet และ Multi-Jet	1-9
1.5.4	มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas Meter)	1-10
1.5.5	การวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Flow Meter)	1-11
1.5.6	การวัดอัตราการไหลโดยใช้โรตاميเตอร์ (Rotameter)	1-12
1.6	เครื่องมือวัดความดัน (Pressure Meter)	1-12
1.6.1	เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)	1-12
1.6.2	ทรานสดิวเซอร์ความดัน (Pressure Transducer)	1-13
1.7	เครื่องมือวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่าง (pH Meter)	1-13
1.8	เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity Meter)	1-14
1.9	เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Flue Gas Analyser)	1-14
1.10	ความถูกต้องของค่าข้อมูลตรวจวัด	1-14
1.10.1	ความคลาดเคลื่อน	1-14
1.10.2	ความเที่ยงตรงกับพิกัดความเที่ยงตรง	1-15
1.10.3	ความไม่แน่นอน	1-15
1.10.4	ช่วงการวัด (Range, Span, Full Scale)	1-15
1.10.5	การเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสม	1-16

สารบัญ (ต่อ)

1.11	ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล	1-16
1.11.1	การเก็บรวบรวมข้อมูล	1-16
1.11.2	ความถี่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล	1-16
1.12	การตรวจวัดเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	1-16
1.12.1	การติดตั้งเครื่องวัด	1-17
1.12.2	การตรวจวัดการไหลของพลังงานในเชิงปริมาณ	1-17
1.12.3	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานกับการใช้พลังงาน	1-17
1.12.4	การบันทึก เรียบเรียง และสร้างกราฟข้อมูลที่วัดได้	1-17
1.12.5	การควบคุมการใช้พลังงานต่อหน่วย	1-17

บทที่ 2 ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม (Industrial Steam System)

2.1	บทนำ	2-1
2.2	ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม	2-2
2.3	หม้อไอน้ำ	2-2
2.3.1	ประเภทของหม้อไอน้ำ	2-3
2.3.2	หัวเผาหม้อไอน้ำ	2-3
2.3.3	การเผาไหม้เบื้องต้น	2-4
2.3.4	การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำ (โบล์ดวาร์น)	2-7
2.3.5	ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ	2-7
2.4	กักตักไอน้ำ	2-8
2.4.1	ประเภทของกักตักไอน้ำ	2-8
2.4.2	การเลือกใช้อุปกรณ์กักตักไอน้ำ	2-11
2.4.3	ข้อแนะนำในการติดตั้งกักตักไอน้ำ	2-13
2.5	การตรวจวิเคราะห์หม้อไอน้ำ	2-15
2.5.1	การตรวจวัดการทำงานของหม้อไอน้ำ	2-15
2.5.2	การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	2-16
2.6	การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	2-19
2.6.1	การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง	2-19
2.6.2	การควบคุมน้ำระบาย (โบล์ดวาร์น)	2-25
2.6.3	การปรับสภาพน้ำป้อน	2-26
2.6.4	การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย	2-28
2.6.5	เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง	2-29
2.6.6	มาตรการบำรุงรักษา	2-29
2.7	การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบส่งจ่ายไอน้ำ	2-30
2.7.1	การติดตั้งฉนวนกันความร้อน	2-30
2.7.2	การตรวจสอบกับดักไอน้ำ	2-39

สารบัญ (ต่อ)

2.7.3 การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ	2-40
2.7.4 การไขวาลวอย่างถูกต้อง	2-40
2.8 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบคอนเดนเสท	2-41
2.8.1 การใช้คอนเดนเสท	2-41
2.8.2 การนำไอน้ำแฟลชกลับมาใช้	2-43
2.9 เครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Generators or Once Through Boiler)	2-45
2.10 การใช้น้ำร้อน	2-46
2.11 กรณีศึกษา	2-46
2.12 เทคโนโลยีการใช้อยู่ป้มความร้อน	2-51

บทที่ 3 ระบบรอบอาคาร (Building Envelope System)

3.1 บทนำ	3-1
3.2 วัสดุผนังทึบ	3-2
3.3 กระจก	3-5
3.3.1 กระจกธรรมดา (Float glass)	3-6
3.3.2 กระจกอบความร้อน (Heat treated glass)	3-6
3.3.3 กระจกเคลือบผิว (Surface coated glass)	3-7
3.3.4 กระจกดัดแปลง (Processed glass)	3-7
3.3.5 คำศัพท์และคำนิยามสมบัติของกระจก	3-8
3.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร	3-11
3.4.1 การนำความร้อน (Conduction)	3-11
3.4.2 การพาความร้อน (Convection)	3-11
3.4.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)	3-11
3.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร	3-12
3.5.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV)	3-12
3.5.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)	3-25
3.6 การปรับปรุงสมรรถนะกรอบอาคาร	3-27
3.6.1 ผนังทึบ	3-27
3.6.2 กระจกหน้าต่างต่าง	3-30
3.6.3 หลังคา	3-31
3.6.4 พื้น	3-32
3.6.5 การรั่วซึม (Infiltration)	3-33
3.7 ข้อเสนอแนะสำหรับอาคารเก่าในการป้องกันความร้อนผ่านเข้าสู่กรอบอาคาร	3-33
3.8 กรณีศึกษา	3-33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning System)

4.1 บทนำ	4-1
4.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศ	4-2
4.3 อุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศ	4-3
4.3.1 เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller)	4-3
4.3.2 เครื่องสูบน้ำ (Water Pump)	4-4
4.3.3 หอทำความเย็น (Cooling Tower)	4-5
4.3.4 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)	4-6
4.4 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	4-6
4.4.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอแบบอุดมคติ	4-8
4.4.2 วัฏจักรเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอทางปฏิบัติ	4-9
4.5 แผนภูมิไซโครเมตริก	4-9
4.5.1 กระบวนการปรับอากาศ	4-15
4.6 การตรวจวัดและประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศ	4-15
4.6.1 เครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว	4-15
4.6.2 เครื่องทำน้ำเย็น	4-17
4.7 มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ	4-19
4.7.1 การเพิ่มอุณหภูมิระเหยด้านดูดหรือความดันด้านต่ำ (TE/PE)	4-19
4.7.2 การลดอุณหภูมิควบแน่นความดันด้านสูง	4-19
4.7.3 ระบบส่งน้ำเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Water Volume (VWV) System)	4-20
4.7.4 ระบบส่งลมเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume (VAV) System)	4-22
4.7.5 การใช้ท่อความร้อน (Heat Pipe)	4-24
4.7.6 การปรับปรุงตัวอาคาร	4-24
4.7.7 การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ	4-24
4.7.8 การควบคุมการทำงานที่เหมาะสม	4-25
4.7.9 การบำรุงรักษาที่เหมาะสม	4-25
4.8 กรณีศึกษา	4-25
4.9 เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน	
เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม	4-32
เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว	4-39
เทคโนโลยีการบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยโอโซน	4-45
เทคโนโลยีระบบปรับอากาศแบบ VRF (VRV)	4-50

บทที่ 5 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)

5.1 บทนำ	5-1
5.2 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)	5-1
5.2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)	5-2
5.2.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System)	5-3
5.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)	5-5
5.4 การแช่เยือกแข็งอาหารและห้องเย็น	5-5

สารบัญ (ต่อ)

5.4.1 การแช่แข็งแบบการพาความร้อน (Blast Freezing)	5-6
5.5 ภาวะการทำความร้อน	5-8
5.6 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น	5-9
5.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น	5-12
5.8 มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น	5-12
5.8.1 การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์	5-12
5.8.2 การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์	5-13

ภาคผนวก

- ก. เทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานทางด้านความร้อน
 - ก.1 ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump)
 - ก.2 ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก หัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ (Self Recuperative Burner)
 - ก.3 ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก การใช้หัวเผาแบบ Oxy Fuel (Oxy Fuel Fired Burner)
- ข. เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่ (TREES-NC)
- ค. เทคโนโลยี Smart Building
- ง. กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงานมาตรการทางด้านความร้อน

บทที่ 1

เครื่องมือและการตรวจวัดพลังงานความร้อน

(Equipment and Measurement of Thermal Energy)

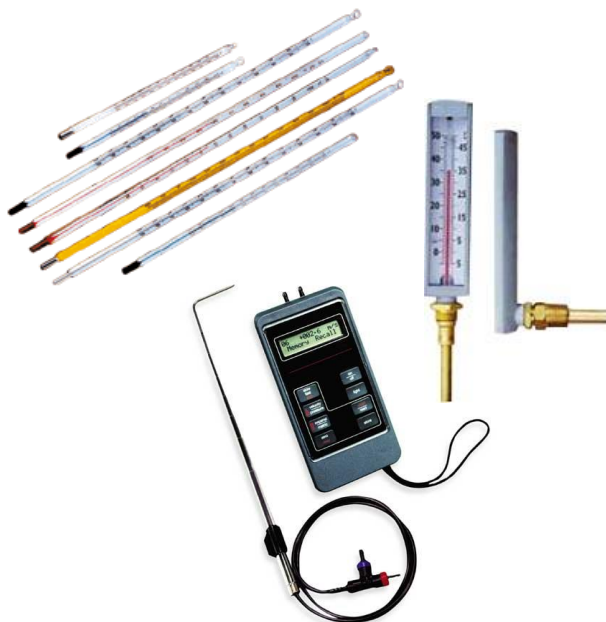
ความสำคัญ

การตรวจวัดการใช้พลังงานของระบบต่างๆ ในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมเป็นขั้นตอนหนึ่งในระบบจัดการพลังงานที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าขั้นตอนอื่น ผู้ดำเนินการตรวจวัดพลังงานจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และที่สำคัญ คือ ทักษะในการใช้เครื่องมือวัด เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้ ในบทนี้เราจะกล่าวถึง อุปกรณ์และเครื่องมือวัดทางความร้อนต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการตรวจวัดการใช้พลังงาน

วัตถุประสงค์

บทนี้มีวัตถุประสงค์หลัก ดังต่อไปนี้

1. ทราบประเภทของเครื่องมือวัดทางความร้อน
2. สามารถเลือกใช้เครื่องมือวัดได้อย่างเหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท
3. เข้าใจความสำคัญของการวัดค่าพลังงานและความเที่ยงตรงถูกต้องของข้อมูล
4. สามารถบอกค่าทางความร้อนที่จำเป็นสำหรับการตรวจวัดเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน



1.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของเครื่องมือวัดทางความร้อนและวิธีใช้งาน การเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท รวมถึงความเที่ยงตรงถูกต้องของการวัดข้อมูล

ค่าทางความร้อนเป็นข้อมูลที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการประเมินทั้งการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานของระบบต่างๆ ในอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณการใช้พลังงานความร้อนมักแสดงในหน่วยของ ตันถ่านหิน ลิตร เชื้อเพลิง กิโลจูล ปีที่ยุต่อชั่วโมง ฯลฯ ซึ่งบ่อยครั้งไม่สามารถตรวจวัด (ในหน่วยดังกล่าว) ได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม เรายังสามารถ

ตรวจวัดโดยทางอ้อมในรูปของอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และอัตราการไหล ค่าเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณเพื่อแสดงปริมาณการใช้พลังงานความร้อนได้ สำหรับเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องกับความชื้นและพบเห็นใช้งานกันอย่างแพร่หลาย มีดังนี้

- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- เครื่องมือวัดความชื้น
- เครื่องมือวัดความเร็ว
- เครื่องมือวัดอัตราการไหล
- เครื่องมือวัดความดัน
- เครื่องมือวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่าง
- เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ
- เครื่องมือวัดการเผาไหม้

1.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิแสดงถึงระดับของพลังงานความร้อนในวัตถุ มาตรฐานอุณหภูมิในระบบ SI คือ องศาเซลเซียส (°C) และสำหรับระบบอังกฤษ คือ องศาฟาเรนไฮต์ (°F) มาตรฐานอุณหภูมิมักกำหนดอ้างอิงกับจุดอ้างอิงสองจุด คือ จุดเยือกแข็ง (Freezing point) และจุดเดือด (Boiling point) ของน้ำ โดยในสเกลองศาเซลเซียสกำหนดให้จุดเยือกแข็ง และจุดเดือดของน้ำมีระดับอุณหภูมิ 0°C และ 100°C ตามลำดับ ในขณะที่สเกลองศาฟาเรนไฮต์กำหนดให้เป็น 32°F และ 212°F ตามลำดับ

สมการคณิตศาสตร์สำหรับแปลงหน่วยระหว่างอุณหภูมิสเกลต่างๆ มีดังนี้

$$\text{Fahrenheit (°F)} \quad F = 1.8C + 32 \quad (1.1)$$

$$\text{Celsius (°C)} \quad C = (F-32)/1.8 \quad (1.2)$$

$$\text{Kelvin (K)} \quad K = C + 273.15 \quad (1.3)$$

$$\text{Rankine (°R)} \quad R = F + 459.67 \quad (1.4)$$

ในปัจจุบัน เครื่องมือวัดอุณหภูมิมียุคหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็มีความเหมาะสมแตกต่างกันไปตามสภาวะแวดล้อมของการวัดและการประยุกต์ใช้งาน เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ได้แก่

- เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว (Liquid-in-Glass Thermometers)
- เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิทัล (Digital Thermometer)
- เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
- เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน (Resistance Thermometers - RTDS)
- เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์มิสเตอร์ (Thermister)
- เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี (Radiation Pyrometer)
- กล้องอินฟราเรด (Infrared Camera)

1.2.1 เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดหลอดแก้ว เป็นเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งมีของเหลวบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว ที่ปลายล่างของหลอดแก้วมีกระเปาะที่เรียกว่า หลอดคาปิลลารี (Capillary Tube) ตัวหลอดแก้วมีสเกลแสดงค่าอุณหภูมิ (Scale) และปลายบนของหลอดแก้วอาจมีกระเปาะเล็กๆ ทำหน้าที่รับของเหลวส่วนที่ล้น เมื่อเกินช่วงวัดอุณหภูมิ

ขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ของเหลวในหลอดแก้วจะขยายตัวทำให้ระดับของเหลวในหลอดคาปิลลารีสูงขึ้น ความสูงของระดับของเหลวใช้สำหรับการบอกอุณหภูมิ ปริมาตรด้านบนเหนือของเหลว อาจเป็นสุญญากาศหรือเติมด้วยอากาศหรือก๊าซอย่างอื่น สำหรับช่วงอุณหภูมิสูงๆ จะใช้ก๊าซเฉื่อยเติมด้วยความดันเริ่มต้นที่ควบคุมค่าหนึ่งเพื่อที่จะทำให้ของเหลวมีจุดเดือดสูงขึ้น และเพิ่มช่วงการวัดในการใช้งาน นอกจากนี้ความดันในส่วนนี้จะทำให้ลดโอกาสการแยกส่วนของลำของเหลวที่อยู่ภายใน

ในช่วงวัดอุณหภูมิใช้งานทั่วไป โปรทเป็นของเหลวที่ดีที่สุดสำหรับเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้ว และใช้งานทั่วไปในเครื่องมือระดับสูง แอลกอฮอล์ใช้งานได้ระดับน่าพอใจ ส่วนของเหลวอย่างอื่นส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีต้องการยืดช่วงการวัดไปที่อุณหภูมิต่ำๆ

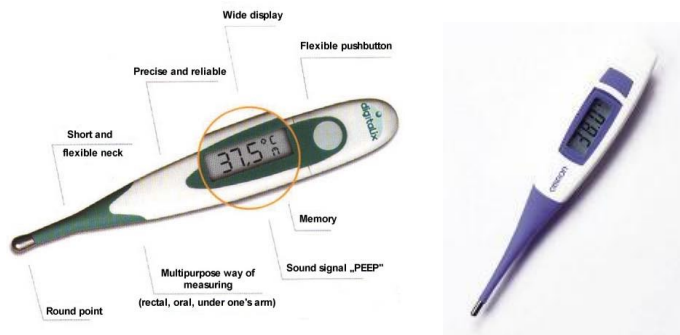
รูปที่ 1-1 แสดงลักษณะของเทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว



รูปที่ 1-1 เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว

1.2.2 เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล

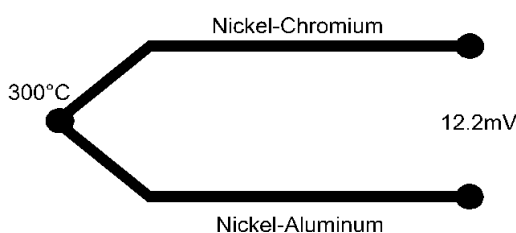
เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลดังแสดงในรูปที่ 1-2 เป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่เริ่มมีการนำมาใช้งานมากขึ้น เพื่อทดแทนการใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดหลอดแก้ว โดยทั่วไป เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลจะเป็นแบบพกพาได้ และสามารถวัดค่าเป็นจุดได้ทั้งของแข็งและของเหลว นอกจากนี้ เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอลยังให้ค่าละเอียดที่สูงกว่า 1°C



รูปที่ 1-2 เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล

1.2.3 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิลเป็นโลหะ 2 ชนิดต่างกัน ที่นำมาเชื่อมปลายเข้าด้วยกันที่ด้านหนึ่งซึ่งเป็นด้านที่ใช้วัดอุณหภูมิส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ใช้งาน เทอร์โมคัปเปิลสามารถใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิแบบติดตั้งถาวร และในบริเวณพื้นที่จำกัด เทอร์โมคัปเปิลนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก ราคาถูก มีความคงทน ติดตั้งง่าย และให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว ใช้งานได้หลากหลาย สามารถใช้วัดได้ทั้งอากาศ ก๊าซ และน้ำได้ ข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิล คือ แรงดันต่ำ ความผิดพลาดของค่าที่ตรวจวัด อาจเกิดขึ้นได้สำหรับการใช้งานบางประเภทที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้โคลด์จังก์ชัน (Cold Junction) รูปที่ 1-3 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ 1-3 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลที่ขายในท้องตลาดมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ซึ่งอาจจำแนกได้ตามช่วงของอุณหภูมิ และลักษณะการใช้งาน ตารางที่ 1-1 แสดงประเภทของเทอร์โมคัปเปิลและช่วงของอุณหภูมิการใช้งาน

ตารางที่ 1-1 ประเภทของเทอร์โมคัปเปิลและอุณหภูมิใช้งาน

ชนิด	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้
		°C	°F	mV
B	แพลทินัม - 30% โรเดียม / แพลทินัม - 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม / 13% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.26 ถึง 21.108
S	แพลทินัม / 10% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล/อะลูเมล	-270 ถึง	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	1372	- 450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.865
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	- 450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358
		-270 ถึง 1000		

- แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดกับจุดเยือกแข็งของน้ำ

ตารางที่ 1-2 สภาวะแวดล้อมในการใช้งานเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐานโดยไม่ต้องใช้ Protecting Tube

ความเหมาะสมในการใช้งาน							
ชนิด	บรรยากาศ Oxidizing	บรรยากาศ Reducing	บรรยากาศ Inert	Vacuum	บรรยากาศ Sulferous	อุณหภูมิ < 0- C	มีไอของโลหะ
B	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้ในช่วงสั้น ๆ	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า > 500 °C	ไม่ได้	ได้
K	ได้*	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
T#	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้

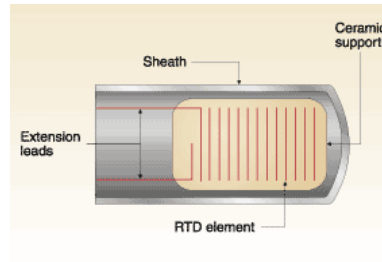
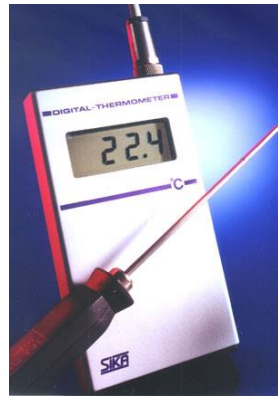
* ใช้งานได้ดีกว่าแบบ E, J และ T เมื่ออุณหภูมิ > 550°C
 # โดยเฉพาะกับอุณหภูมิ < 0°C
Oxidizing : กระบวนการทางเคมีที่ดึงออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารนั้น
Reducing : กระบวนการทางเคมีที่ออกซิเจนถูกดึงออกจากสารนั้นเพื่อไปทำปฏิกิริยากับสารภายนอก
Vacuum : ค่าความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศจนถึงสภาวะสุญญากาศ
Inert : สภาวะเฉื่อยที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี

ที่มา: <http://www.eng-temperature.com/thermocouple.html>

1.2.4 เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน (Resistance Thermometers - RTDS)

เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทานหรืออาร์ทีดี (RTD) ทำจากโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0°C ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้เป็นวัสดุจำพวกเซรามิกหรือแก้ว ขดลวดนี้มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน ทั้งนี้เพราะเมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัว และเมื่อเย็นลงก็จะหดตัว แกนที่ใช้พันจึงต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด อาร์ทีดีอาศัยหลักการทำงานของค่าความต้านทานไฟฟ้าในเส้นลวดโลหะที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ข้อได้เปรียบของการใช้อาร์ทีดี คือ มี

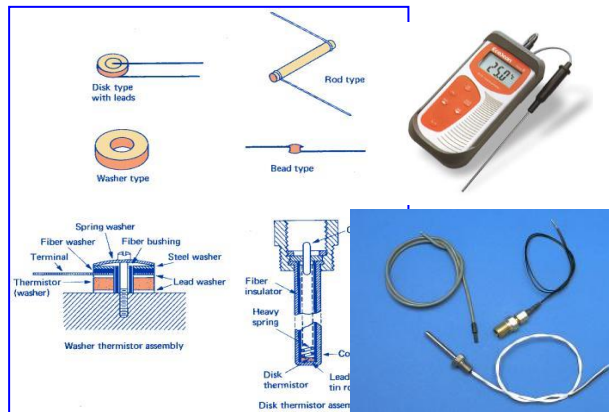
ความเป็นเชิงเส้นตลอดพิสัยการใช้งานดี มีพิสัยของอุณหภูมิใช้งานกว้าง มีเสถียรภาพที่ดีที่อุณหภูมิสูง และมีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่ข้อเสีย คือ มีราคาแพง และต้องการไฟเลี้ยง



รูปที่ 1-4 หัววัดอุณหภูมิแบบความต้านทาน RTD

1.2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์มิสเตอร์ (Thermister)

เทอร์มิสเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเช่นเดียวกับ อาร์ทีดี แต่เทอร์มิสเตอร์จะใช้คาร์บอนและสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) พวกออกไซด์ของโลหะ เช่น นิกเกิล เหล็ก ทองแดง แมงกานีส เป็นต้น โดยปกติ เทอร์มิสเตอร์ทำจากออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดง หรือออกไซด์ของนิกเกิลกับทองแดง ที่ให้สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูง



รูปที่ 1-5 รูปแบบของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป

ประเภทของเทอร์มิสเตอร์ จำแนกได้ดังนี้

ก) NTC (Negative Temperature Coefficient)

- ค่าความต้านทานลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
- ใช้ในระบบป้องกันกระแสเกินสำหรับวงจรไฟฟ้า, อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ เช่น วัดอุณหภูมิของ Coolant หรือน้ำมันเครื่องเพื่อส่งข้อมูลให้ ECU

ข) PTC (Positive Temperature Coefficient)

- ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
- ใช้ในระบบป้องกันกระแสเกินสำหรับวงจรไฟฟ้า, Crystal oven เพื่อควบคุมอุณหภูมิ

1.2.6 เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี (Radiation Pyrometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีเหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูง (500-1600°C) ปัจจุบันได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากสามารถตรวจวัดวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมากได้โดยตรง อีกทั้งให้ค่าที่แม่นยำรวดเร็ว เครื่องนี้มีลักษณะที่พกพาได้

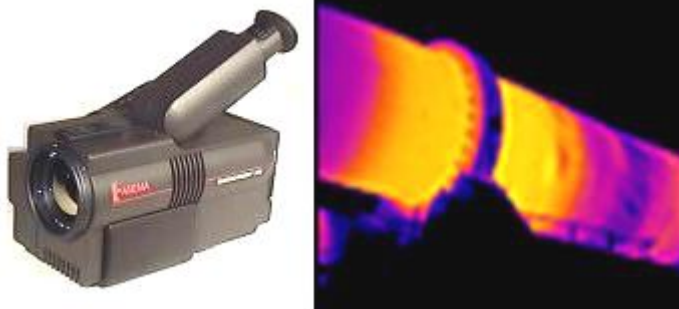
สะดวก ข้อเสียของเครื่องวัดชนิดนี้ คือ ราคาแพง และความแม่นยำอาจคลาดเคลื่อน เนื่องจากสภาพของพื้นผิวที่ทำการตรวจวัด อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์รุ่นใหม่ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยการตรวจวัดค่าการเปล่งรังสีออกจากพื้นผิว



รูปที่ 1-6 เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี

1.2.7 กล้องอินฟราเรดตรวจจับอุณหภูมิ (Infrared Camera)

วัตถุทั้งหมดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์จะมีการแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา โดยความยาวคลื่นจะสั้นลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น กล้องอินฟราเรดอาศัยหลักการที่ว่านี้ในการวัดความแตกต่างอุณหภูมิในสภาวะแวดล้อมหนึ่ง โดยการเปลี่ยนความยาวคลื่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ให้เป็นรูปสี หรือ ขาวดำ



รูปที่ 1-7 กล้องอินฟราเรดตรวจจับอุณหภูมิ

กล้องอินฟราเรดมีการใช้กันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นโรงงานอุตสาหกรรม อาคาร กิจการของตำรวจและทหาร สำหรับงานด้านพลังงาน โดยทั่วไป เราจะใช้กล้องอินฟราเรดในการตรวจวัดคุณสมบัติของฉนวนอาคารหรือเตาเผา โดยสามารถตรวจวัดจุดร้อนที่เกิดขึ้น และความแตกต่างอุณหภูมิได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาที่สูง เครื่องมือนี้จึงมักใช้ในการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียดโดยบริษัทที่ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น

1.3 เครื่องมือวัดความชื้น (Humidity Sensor)

การคำนวณหรือประเมินปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศหรือระบบทำความเย็น เรามักจำเป็นต้องตรวจวัดความชื้นร่วมไปกับการตรวจวัดอุณหภูมิ ค่าความชื้นและค่าอุณหภูมิของอากาศที่วัดได้จะทำให้เราสามารถคำนวณค่าเอนทัลปี (Enthalpy) หรือปริมาณความร้อนที่อยู่ในอากาศ ณ ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

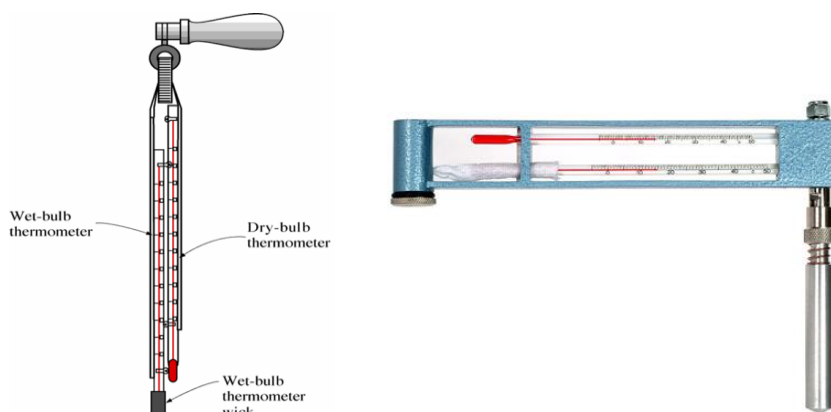
การตรวจวัดความชื้นมักจะแสดงในหน่วยของร้อยละ (%) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิค่าหนึ่ง แสดงถึงปริมาณของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้นว่ามีค่าเป็นร้อยละเท่าไรของปริมาณไอน้ำสูงสุดที่มีได้ (ปริมาณไอน้ำอิ่มตัว) ที่อุณหภูมินั้นๆ ตัวอย่างเช่น อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ 25°C หมายความว่า อากาศในขณะนั้นมีปริมาณไอน้ำอยู่ร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับปริมาณไอน้ำอิ่มตัวในอากาศที่อุณหภูมิ 25°C

เครื่องมือวัดความชื้นที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่

- เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง (Wet and Dry Bulb Thermometer)
- เครื่องวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Humidity Meter)

1.3.1 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง (Wet-bulb and Dry-bulb Thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง ประกอบด้วย เทอร์โมมิเตอร์ 2 แห่ง โดยที่ปลายของเทอร์โมมิเตอร์แห่งหนึ่งจะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียกชุบน้ำกลั่น ส่วนเทอร์โมมิเตอร์อีกแห่งหนึ่งจะใช้วัดอุณหภูมิของอากาศตามปกติ



รูปที่ 1-8 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง

ความชื้นของอากาศจะหาได้จากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง 2 แห่ง โดยอาศัยหลักการการระเหยของน้ำ ซึ่งทำให้อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ที่ปลายหุ้มด้วยผ้าเปียกมีค่าลดลง ในกรณีที่อากาศที่วัดแห้ง อัตราการระเหยของน้ำจะสูงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง 2 แห่งมากกว่า กรณีที่อากาศมีความชื้นสูง ผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองจะต่างกันน้อย เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งอาจ ติดตั้งอยู่บนก้านหมุน หรือติดตั้งพัดลมขนาดเล็ก เพื่อที่จะให้อากาศที่วัดวิ่งผ่านเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสอง เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งมีความแม่นยำในการตรวจวัดสูง แต่มีข้อเสียในการที่จะต้องชุบน้ำกลั่นก่อนใช้งานทุกครั้ง และต้องใช้เวลามากในการตรวจวัดค่าแต่ละครั้ง

1.3.2 เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Humidity Meter)

เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ จะวัดค่าความชื้นโดยใช้หัวเซ็นเซอร์แบบตัวเก็บประจุ (Capacitive Sensor) ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศที่วัด หรือเป็นหัวเซ็นเซอร์ที่ทำด้วยซิลิคอน ซึ่งค่าความนำไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามความชื้นของอากาศที่วัดค่า สัญญาณไฟฟ้าจากหัวเซ็นเซอร์จะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผล เพื่อแสดงค่าความชื้นของอากาศที่ตรวจวัด ในปัจจุบันเครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์ มีความแม่นยำในการตรวจวัดสูง และสะดวกในการพกพาในการนำไปตรวจวัด ณ จุดต่างๆ



รูปที่ 1-9 เครื่องมือวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์

1.4 เครื่องมือวัดความเร็ว (Velocity Meter)

ในปัจจุบัน มีการนำเครื่องวัดความเร็วของไหลมาใช้แทนเครื่องวัดอัตราการไหลกันมากขึ้นในอุตสาหกรรม เนื่องจากเครื่องวัดอัตราการไหลของท่อขนาดใหญ่จะมีราคาสูงมาก หากเราสามารถนำเครื่องวัดความเร็วของไหลมาใช้แทนได้จะลดค่าใช้จ่ายลงได้มาก อย่างไรก็ตาม กรณีที่การกระจายความเร็วของไหลในท่อมักมีความไม่สม่ำเสมอ หรือมีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาแล้ว ความเที่ยงตรงในฐานะที่เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลจะไม่ค่อยดีนัก

วิธีใช้เครื่องวัดความเร็วของไหลในการวัดอัตราการไหลแบ่งเป็น 2 วิธี

1. **เลือกตำแหน่งที่การกระจายความเร็วภายในท่อมืดมีความปั่นป่วน** ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วของไหล ณ ตำแหน่งที่สามารถวัดได้ความเร็วของไหลเฉลี่ย นำผลลัพธ์ที่ได้มาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของท่อจะได้อัตราการไหล อนึ่ง ตำแหน่งที่จะวัดได้ความเร็วของไหลเฉลี่ย โดยประมาณจะอยู่ห่างจากผนังท่อออกมาเป็นระยะ 12% ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
2. **วัดความเร็วของไหลหลายๆ จุดบนพื้นที่หน้าตัดท่อซึ่งกำหนดตำแหน่งไว้ก่อนแล้ว** นำมาหาความเร็วของไหลเฉลี่ยภายหลัง หรือติดตั้งเซ็นเซอร์ความเร็วของไหลหลายๆ ตัวพร้อมกัน แล้วนำมาคำนวณหาความเร็วของไหลเฉลี่ย เครื่องวัดบางรุ่นเพียง 1 เครื่องก็มีหน้าที่การทำงานเหมือนกับมีเซ็นเซอร์ความเร็วของไหลจำนวนหลายตัว



รูปที่ 1-10 เครื่องมือวัดความเร็ว

1.5 เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow Meter)

อัตราการไหลเป็นอีกข้อมูลหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการประเมินปริมาณพลังงาน การวัดอัตราการไหลมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ การวัดปริมาณการไหลซึ่งมีหน่วยเป็นปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เมตร (m³) และการวัดอัตราการไหลซึ่งมีหน่วยเป็นปริมาตรต่อหน่วยเวลา เช่น ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m³/h)

1.5.1 การวัดอัตราการไหลแบบวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล

หากมีการติดตั้งคอคอดในท่อที่มีของไหลไหลอยู่ จะเกิดผลต่างความดันขึ้นในตำแหน่งก่อนและหลังของคอคอดนั้น เนื่องจากผลต่างความดันนี้สามารถแปลงไปเป็นอัตราการไหลได้โดยอาศัยสมการการไหลแบบต่อเนื่อง และสมการ Bernoulli ดังนั้น เมื่อเราสามารถวัดผลต่างของความดันนี้ได้ เราจะสามารถคำนวณค่าอัตราการไหลได้

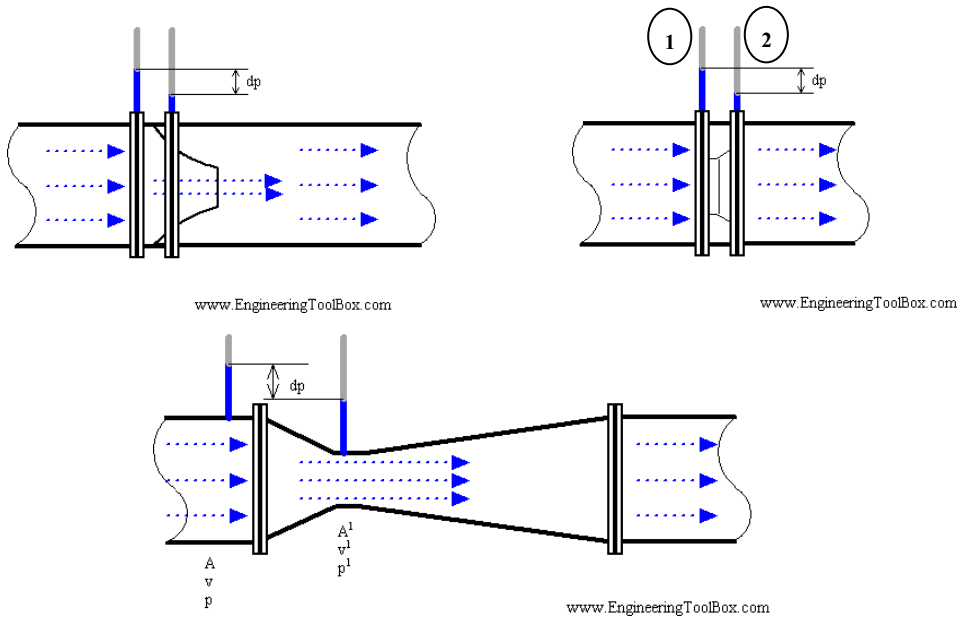
เนื่องจากเครื่องมือวัดนี้ทำหน้าที่วัดผลต่างของความดัน เราจึงมักเรียกว่า เครื่องวัดอัตราการไหลแบบผลต่างความดัน หรืออาจเรียกอีกอย่างว่า “วิธีวัดอัตราการไหลด้วยกลไกคอคอด” วิธีวัดดังกล่าวนี้มีด้วยกันทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ Orifice, Nozzle และ Ventury Tube อย่างไรก็ตามที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ Orifice

การคำนวณทางทฤษฎี

$$\begin{aligned} \text{สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli)} \quad P_1/\rho + V_1^2/2g + Z_1 &= P_2/\rho + V_2^2/2g + Z_2 \\ (P_1 - P_2) &= \rho(V_2^2 - V_1^2)/2g \end{aligned} \tag{1.5}$$

$$\begin{aligned} \text{กฎทรงมวล} \quad \rho V_1 A_1 &= \rho V_2 A_2 \\ V_2 &= V_1 A_1 / A_2 \end{aligned} \tag{1.6}$$

แทน (1.6) ใน (1.5) จะหา V₁ และ V₂ ได้
และ อัตราการไหล = VA



รูปที่ 1-11 การวัดอัตราการไหลด้วยกลไกคอคอด Orifice, Nozzle และ Ventury Tube

1.5.2 การวัดอัตราการไหลแบบแทนที่ทางปริมาตร (Positive Displacement)

มาตรวัดการไหลของของไหลแบบแทนที่ทางปริมาตร หรือ “โพลีทีฟดิสเพลสเมนต์” เป็นมิเตอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด การวัดอาศัยหลักการของการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรมที่แปรผันโดยตรงกับปริมาตรของการไหลในท่อมิเตอร์ มิเตอร์แบบนี้มักใช้กับการตรวจวัดของไหล เช่น น้ำ น้ำมันเชื้อเพลิง และแอลกอฮอล์ มิเตอร์สามารถต่อเข้ากับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 6–80 mm. และสามารถวัดอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 80 mm³/hจนถึง 24 m³/h รูปที่ 1-12 แสดงลักษณะของมิเตอร์แบบโพลีทีฟดิสเพลสเมนต์

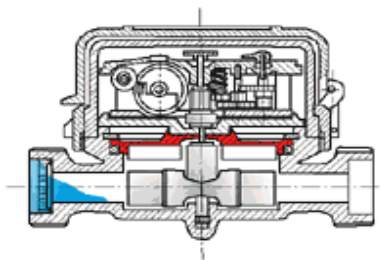


รูปที่ 1-12 มิเตอร์วัดน้ำมันแบบโพลีทีฟดิสเพลสเมนต์

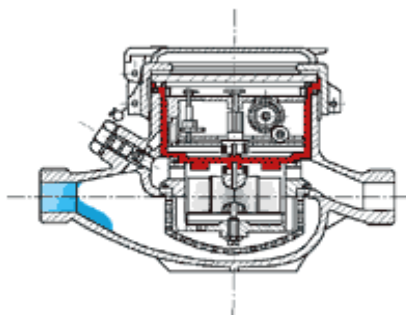
1.5.3 มาตรวัดอัตราการไหลแบบใบพัด (Turbine Meter) แบบ Single-Jet และ Multi-Jet

มิเตอร์วัดอัตราการไหลแบบใบพัดอาศัยหลักการทำงานของใบพัดที่จะหมุนไปตามกระแสการไหล โดยความเร็วของกระแสการไหลเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของการหมุนของใบพัด คือ เมื่อของไหลมีกระแสการไหลเร็วใบพัดก็จะหมุนเร็ว และจะถ่ายเทการหมุนผ่านกลไก และชุดเฟืองสู่เครื่องบันทึกปริมาณการไหล มาตรวัดการไหลมีอยู่หลายลักษณะ เช่น

- มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำช่องเดียว (Single- Jet Meters)
- มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำหลายช่อง (Multi- Jet Meters)
- มาตรวัดน้ำแบบติดตั้งใบพัดแนวนอน



รูปที่ 1-13 มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำช่องเดียว (Single- Jet Meters)



รูปที่ 1-14 มาตรใบพัดแบบช่องรับน้ำหลายช่อง (Multi- Jet Meters)

1.5.4 มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas Meter)

มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ตามการทำงานที่แตกต่างกัน คือ

1. **ไดอะแฟรมมิเตอร์** ซึ่งเป็นแบบโพลีทีฟดิสเพลสเมนต์ที่มีห้องการวัดปริมาตรคงที่ ความดันที่ตกร่อมมิเตอร์จะทำให้เกิดการหมุน โดยจะมีก๊าซเข้าและออกจากห้องของมิเตอร์สลับกันไปมา จำนวนรอบการหมุนจะเป็นตัววัดปริมาตรของก๊าซ
2. **เทอร์ไบน์มิเตอร์** มีส่วนของโรเตอร์อยู่ภายใน ซึ่งหมุนเป็นอัตราส่วนของความเร็วที่แปรผันกับอัตราการไหลของก๊าซ

การเลือกว่ามีเตอร์ใดเหมาะสมที่สุดสำหรับการตรวจวัดก๊าซ จะขึ้นอยู่กับ

- ความดันของก๊าซที่วัด
- อัตราการไหลสูงสุดของก๊าซที่วัด
- อัตราการไหลต่ำสุดของก๊าซที่วัด

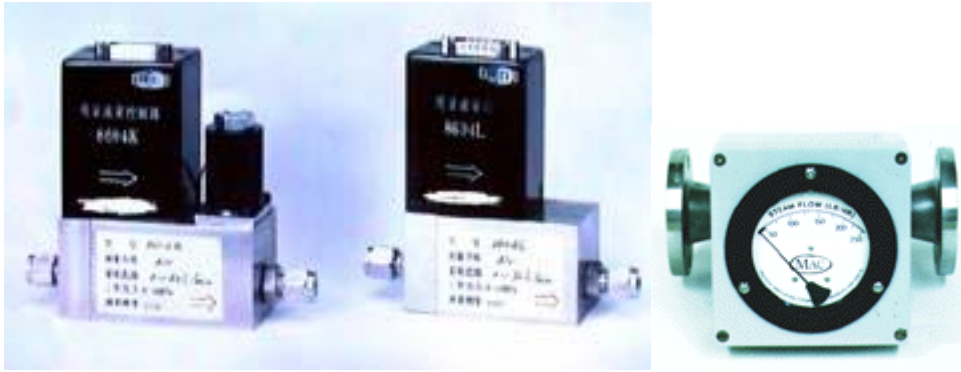
การพิจารณาขั้นต้นในการเลือกชนิดมิเตอร์วัดก๊าซ คือความดันของก๊าซ ไดอะแฟรมมิเตอร์จะใช้กับความดันไม่เกิน 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เกจ ขณะที่เทอร์ไบน์มิเตอร์จะใช้กับงานที่ความดันสูงกว่า 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เกจ

เราควรเลือกใช้มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติแบบไดอะแฟรมสำหรับการใช้งานที่ความดันต่ำกว่า 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เกจ และอัตราการไหลสูงสุดไม่เกิน 850 ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน-ชั่วโมง และเลือกใช้มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติประเภทเทอร์ไบน์สำหรับอัตราการไหลที่สูงกว่า 50,000 ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน-ชั่วโมง

เราสามารถพิจารณาใช้มิเตอร์ได้ทั้ง 2 แบบ หากอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 850-50,000 ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน-ชั่วโมง และที่ความดันต่ำกว่า 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เกจ

มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติรุ่นใหม่จะมีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 1% ของค่าการอ่านตลอดช่วงการใช้งาน

อนึ่ง ลูกบาศก์ฟุตมาตรฐาน (Standard Cubic Foot) หมายถึง ปริมาตรของก๊าซที่สภาวะมาตรฐานความดัน 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 60 ฟาเรนไฮต์



รูปที่ 1-15 มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติ

มิเตอร์วัดอัตราการไหลก๊าซรุ่นใหม่บางรุ่นสามารถแสดงค่าอัตราการไหลของก๊าซตามสถานะที่วัดจริงในรูปของอัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน (ความดัน 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิ 60 ฟาเรนไฮต์) อย่างไรก็ตาม ในกรณีมิเตอร์ที่แสดงได้เฉพาะอัตราการไหลที่สภาวะจริง เราสามารถแปลงค่าอัตราการไหลจริงของก๊าซนั้นให้เป็นอัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน โดยใช้สมการข้างล่างนี้

$$Q_s = Q_a \times (P_a / P_s) \times (T_s / T_a) \quad (1.7)$$

- เมื่อ
- Q_s = อัตราการไหลก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน (SCFM)
 - Q_a = อัตราการไหลก๊าซที่สภาวะตรวจวัด (ACFM)
 - P_s = ความดันสมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน (psi)
 - P_a = ความดันสมบูรณ์ที่สภาวะตรวจวัด (psi)
 - T_s = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน ($^{\circ}R$)
 - T_a = อุณหภูมิที่สภาวะตรวจวัด ($^{\circ}R$) (เมื่อ $^{\circ}R = ^{\circ}F + 459.67$)

ตัวอย่างที่ 1 มิเตอร์วัดอัตราการไหลของก๊าซได้ 1,000 ACFM ที่ความดันเกจ 87 psi อุณหภูมิ 95 $^{\circ}F$ จงคำนวณอัตราการไหลของก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน (ความดัน 14.7 psi และอุณหภูมิ 60 $^{\circ}F$)

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_a \times (P_a / P_s) \times (T_s / T_a) \\ &= 1,000 \times (87+14.7) / (14.7) \times (60 + 459.67) / (95 + 459.67) \\ &= 6,481.1 \quad \text{SCFM} \end{aligned}$$

1.5.5 การวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Flow Meter)

การวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกมีหลักการวัดคืออาศัยคลื่นความถี่เหนือเสียง โดยอาศัยการสะท้อนกลับของคลื่นความถี่เมื่อส่งไปกระทบกับอนุภาคของสารที่ปะปนมากับของเหลว เนื่องจากอนุภาคของสารมีความเร็วเท่ากับของไหล ดังนั้นความเร็วในการสะท้อนกลับจะต่างไปจากค่าที่ส่งออกไป ค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปนี้จะแปรผันตรงกับความเร็วในการไหลของของไหล เราจึงสามารถทราบค่าอัตราการไหลของของไหลได้



รูปที่ 1-16 การวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก

1.5.6 การวัดอัตราการไหลโดยใช้โรตاميเตอร์ (Rotameter)

ตัวมิเตอร์เป็นแก้วใสซึ่งด้านในเป็นรูปกรวยเรียว และมีลูกลอย ซึ่งออกแบบพิเศษบรรจุอยู่ภายใน ของไหลที่ต้องการวัดไหลผ่านเข้ามาทางด้านล่างของลูกลอย ลูกลอยถูกยกขึ้นด้วยเสถียรภาพ (Velocity Head) ตำแหน่งของลูกลอยจะนิ่งอยู่กับที่เมื่อเกิดสมดุลระหว่าง เสถียรภาพ กับ น้ำหนักของลูกลอย เมื่อลอยสูงขึ้น พื้นที่สำหรับให้ของไหลไหลผ่านก็จะมีมากขึ้น เป็นการรักษาความดันคร่อมตัววัดให้คงที่ เนื่องจากเสถียรภาพกับอัตราการไหลจะแปรเปลี่ยนไปตามกัน ดังนั้น ตำแหน่งของลูกลอยจะบอกค่าอัตราการไหลได้



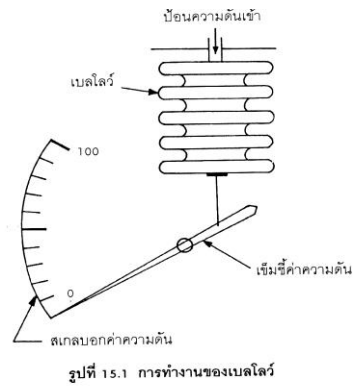
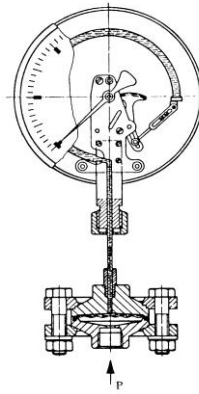
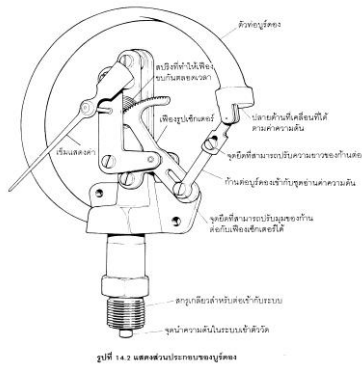
รูปที่ 1-17 การวัดอัตราการไหลโดยใช้โรตاميเตอร์ (Rotameter)

1.6 เครื่องมือวัดความดัน (Pressure Meter)

การตรวจวัดความดันเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับสถานประกอบการซึ่งมีการใช้ระบบอากาศอัดแบบวงแหวน หรือมีระบบการส่งจ่ายไอน้ำจากส่วนกลาง ระบบดังกล่าวจะมีการสูญเสียความดันเกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากผู้ใช้ปลายทาง หรือการรั่วไหล การตรวจวัดความดันของระบบดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงการรั่วไหล การใช้งานที่ไม่ถูกต้อง หรือการกำหนดตารางเวลาใช้งานที่ไม่เหมาะสมของไอน้ำหรืออากาศอัด ดังนั้น การใช้อุปกรณ์วัดความดันจะช่วยให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ และทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพขึ้น

1.6.1 เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)

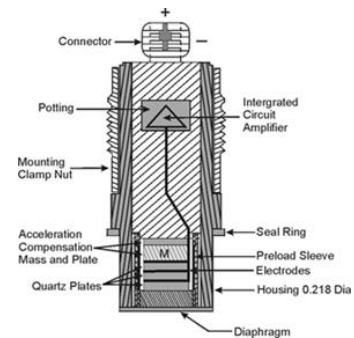
เกจวัดความดันนิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เพราะเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก วัดความดันได้ถึงย่านสูง ๆ ความเที่ยงตรงดีเมื่อเทียบกับราคา สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 แบบ คือ แบบบูร์ดอง แบบเบลโลว์ และแบบไดอะแฟรม



รูปที่ 1-18 แก๊งัดความดันแบบต่างๆ

1.6.2 ทรานสดิวเซอร์ความดัน (Pressure Transducer)

การทำงานของทรานสดิวเตอร์ความดันจะขึ้นอยู่กับความดันของไดอะแฟรม ซึ่งจะมีผลต่อเครื่องกำเนิดความถี่แบบผลึกควอตซ์ การเปลี่ยนแปลงความถี่ของเครื่องกำเนิดความถี่ จะเป็นไปตามความดันที่เข้าอุปกรณ์ อุปกรณ์ประเภทนี้มีขนาดกะทัดรัด คงทน และราคาไม่สูง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งภายนอกท่อของก๊าซ หรือไอน้ำ โดยปกติจะมีค่าความผิดพลาด 0.01% โดยมีอายุการใช้งานนานหลายสิบปี



รูปที่ 1-19 ทรานสดิวเซอร์ความดัน

1.7 เครื่องมือวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่าง (pH Meter)

สภาพความเป็นกรด-ด่าง วัดโดยการบอกระดับ pH ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 14 น้ำที่ดี ควรมีสภาพเป็นกลาง คือ มี pH เท่ากับหรือใกล้เคียง 7 สามารถใช้ประโยชน์ เพื่อการอุปโภคบริโภค และเพื่อการเกษตร อุตสาหกรรมได้ องค์การอนามัยโลก กำหนดว่า แม่น้ำ ลำคลองใดๆ ที่ต้องการใช้เป็นแหล่งน้ำดิบ เพื่อผลิตน้ำประปา เพื่อเป็นน้ำดื่ม และน้ำใช้ แหล่งน้ำนั้นควรมีค่า pH อยู่ในช่วง 5-9 ถ้าน้ำมีสภาพเป็นกรด ค่า pH จะลดลง เช่น 1 ถึง 4 เป็นต้น ส่วนน้ำที่เป็นด่าง มีค่า pH สูงกว่า 7 ซึ่งอาจเป็น 10 ถึง 13 เป็นต้น น้ำในแม่น้ำ ลำคลองมีสภาพเป็นกรด-ด่างมากเกินไป ส่วนใหญ่เกิดจากแม่น้ำ ลำคลองนั้นๆ ปนเปื้อนด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 1-20 เครื่องมือวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่าง

1.8 เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity Meter)

เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าโลหะ 2 ขั้วแยกกัน โดยมีระยะห่างคงที่ ซึ่งออกแบบให้ใช้มือถือได้และใช้กับแบตเตอรี่โดยไม่ต้องใช้สายไฟ หลักการของเครื่องมือใช้การชดเชยค่าการนำไฟฟ้าอัตโนมัติโดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ ค่าที่วัดได้ควรอยู่ในช่วง 0-1990 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{s/cm}$) โดยเครื่องมือนี้ควรจะมีการตั้งค่ามาตรฐานโดยใช้สารละลายมาตรฐาน

ค่าการนำไฟฟ้าจะถูกใช้เป็นเครื่องมือวัดเพื่อประมาณความเข้มข้นของแข็งที่ละลายในน้ำความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) เป็นดังนี้ $\text{TDS (ppm)} = \text{Conductivity } (\mu\text{s/cm}) \times 0.7$



รูปที่ 1-21 เครื่องมือวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ

1.9 เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Flue Gas Analyser)

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ หรือเตาเชื้อเพลิงจะสามารถวัดได้จากการตรวจวัดส่วนประกอบของก๊าซที่ปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ปริมาณ O_2 , CO หรือ CO_2 ในก๊าซ และอุณหภูมิของก๊าซที่ปล่อยทิ้ง จะใช้ในการคำนวณการสูญเสียความร้อนทางปล่อง และประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเชื้อเพลิง เครื่องมือวัดการเผาไหม้สมัยใหม่ จะมีโปรแกรมตรวจวัดที่วัดตัวแปรทั้งหมด และสามารถให้ผู้ใช้งานปรับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงได้ ซึ่งเครื่องจะให้ผลการตรวจวัดของก๊าซ และผลการคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ออกมาโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 1-22 เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

1.10 ความถูกต้องของค่าข้อมูลตรวจวัด

ข้อมูลการใช้พลังงานที่ถูกต้องแม่นยำช่วยให้ทราบถึงสถานภาพการใช้พลังงานของสถานประกอบการ และช่วยให้การกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นไปอย่างถูกต้อง

1.10.1 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อน หมายถึง “ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง” โดยค่าที่แท้จริง หมายถึง “ค่าที่ถูกต้องของปริมาณที่กำลังวัด” อย่างไรก็ตาม เราไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงได้

การวัดต้องกระทำอย่างระมัดระวัง กำจัดสาเหตุของความคลาดเคลื่อน และวัดหลายๆ ครั้งเพื่อนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงค่าที่แท้จริงมากที่สุด โดยทั่วไปแล้ว เราจะถือว่าค่าที่วัดได้เป็นค่าที่แท้จริง

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนสำหรับการวัด ได้แก่

- ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากหลักการและวิธีการวัด
- ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัด
- ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อมในขณะที่วัด

สภาพแวดล้อม อุณหภูมิรอบข้าง ความชื้น การสั่นสะเทือน แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ ฯลฯ ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อมในขณะที่วัด ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องพึงระมัดระวัง การใช้เครื่องมือวัดต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดตามมาตรฐานหรือตามผู้ผลิต การใช้เครื่องมือวัดภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างไปจากที่กำหนดจะส่งผลให้ค่าวัดที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

ประเภทของความคลาดเคลื่อน

- **ความคลาดเคลื่อนจากระบบ** เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสาเหตุที่ทำให้ผลการวัดมีความเอนเอียง และหากเราทราบสาเหตุนั้นก็สามารชดเชยค่า เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนนี้ได้ (รูปที่ 1-23)
- **ความคลาดเคลื่อนโดยบังเอิญ** เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากจากสาเหตุเล็กๆ น้อยๆ ผลของความคลาดเคลื่อนทำให้ค่าที่วัดได้มีการแจกแจงดังรูปที่ 1-23 ลักษณะการแจกแจงแบบนี้เรียกว่า การแจกแจงปกติ ซึ่งโดยทั่วไปจะแสดงระดับความไม่สม่ำเสมอด้วย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- **ความผิดพลาด** เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความพลั้งเผลอของผู้วัด

1.10.2 ความเที่ยงตรงกับพิสัยความเที่ยงตรง

ความเที่ยงตรงหรือพิสัยความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด หมายถึง “ช่วงของความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ตามข้อกำหนดจำเพาะของแต่ละรุ่นของอุปกรณ์วัด”

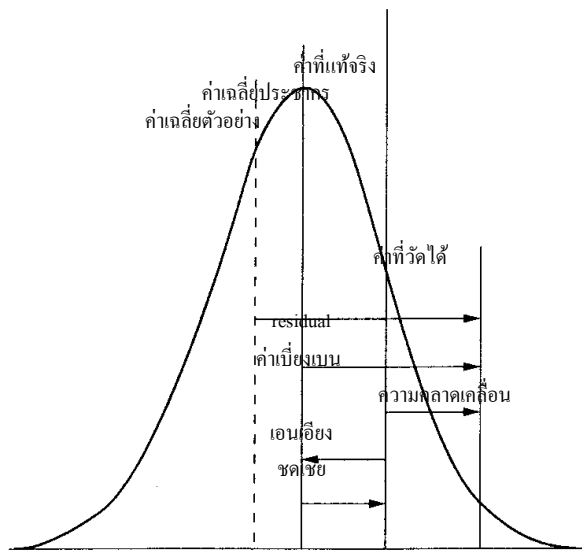
1.10.3 ความไม่แน่นอน

ความไม่แน่นอน นิยามได้ว่าเป็น “ค่าคาดการณ์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่แท้จริงของปริมาณที่วัดนั้นอยู่ในช่วงใด” ความไม่แน่นอนสื่อถึงความเชื่อถือได้ของค่าที่วัดได้ สาเหตุของความไม่แน่นอนเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากระบบ และความคลาดเคลื่อนโดยบังเอิญ อย่างไรก็ตาม โดยมากจะมีสาเหตุมาจากประการหลัง ความไม่แน่นอน อาจนิยามว่าเป็น “ช่วงที่มีค่าที่วัดได้เป็นศูนย์กลาง และมีความน่าจะเป็น 95% ที่ค่าที่แท้จริงจะอยู่ในช่วงนั้น”

1.10.4 ช่วงการวัด (Range, Span, Full Scale)

Range คือ “ช่วงของปริมาณที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัด” โดยผลต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของ Range เรียกว่า Span ตัวอย่างเช่น เมื่อ Range เท่ากับ -50°C ถึง 200°C แล้ว Span จะเท่ากับ 250°C สำหรับคำว่า Full Scale (FS) โดยทั่วไปจะมีความหมายเช่นเดียวกับ Span

ความเที่ยงตรงหรือพิสัยความเที่ยงตรงนั้น โดยทั่วไปจะแสดงเป็นร้อยละ (%) เทียบกับ Span (หรือ Full Scale) แต่บางครั้งก็แสดงเป็นร้อยละเทียบกับค่าที่วัดได้ ในกรณีแรก ถ้าเราต้องการระบุความหมายให้ชัดเจน จะระบุว่าเป็น $\pm () \%$ ของ Span หรือ $\pm () \% \text{ FS}$ ส่วนในกรณีหลังจะระบุว่าเป็น $\pm () \%$ ของค่าที่อ่านได้ เป็นต้น



รูปที่ 1-23 การแจกแจงของค่าที่วัดได้

1.10.5 การเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสม

1. **ความน่าเชื่อถือ** - มีความสำคัญโดยเฉพาะกับสถานประกอบการที่พนักงานต้องใช้เครื่องมือวัดร่วมกัน
2. **ราคา** - มีผลต่อการเลือกซื้อเครื่องมือวัด อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดด้วย
3. **ความถี่ในการใช้งาน** - ถ้าเครื่องมือมีการใช้งานน้อยควรพิจารณาเครื่องมือที่ราคาต่ำกว่าและใช้งานง่ายกว่า
4. **ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา** - ควรมีค่าบำรุงรักษาต่ำ และต้องแน่ใจว่าเครื่องมือได้รับการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ
5. **ย่านการตรวจวัด** - ต้องมีย่านในการวัดที่รองรับการใช้งานทั้งในปัจจุบันและอนาคต
6. **พกพาสะดวก** - มีความสำคัญ เมื่อจำเป็นต้องมีการนำเครื่องมือวัดไปใช้ในสถานที่ต่างๆ

1.11 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

การจัดการพลังงานอาจไม่ต้องการความแม่นยำของข้อมูลที่สูงนัก แต่ที่สำคัญมากกว่า คือ กระบวนการเก็บข้อมูลที่ถูกต้อง ประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาในกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ

1.11.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ใบเสร็จค่าพลังงานรายเดือนบางประเภทจะมีข้อมูลที่ไม่ละเอียดพอที่จะนำไปใช้ในการจัดการพลังงาน
2. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยเจ้าหน้าที่ แม้มีค่าใช้จ่ายต่ำ แต่ความแม่นยำก็น้อยด้วยเช่นกัน
3. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยเจ้าหน้าที่ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล จะให้ความแม่นยำสูงขึ้น และสามารถถ่ายข้อมูลที่บันทึกไว้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง
4. การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยอัตโนมัติทั้งหมดมีข้อดี คือ ความถี่ของการเก็บข้อมูลสูงขึ้น ความผิดพลาดและเวลาการอ่านข้อมูลลดลง แต่ข้อเสีย คือ มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง

1.11.2 ความถี่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลที่มากเกินไปทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง แต่การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ไม่เพียงพอทำให้ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างครอบคลุม
2. ค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมข้อมูลต้องไม่สูงกว่ามูลค่าของพลังงานที่ประหยัดได้

1.12 การตรวจวัดเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ขั้นแรกของการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน คือ การตรวจวัดการใช้พลังงาน โดยเริ่มตั้งแต่แหล่งผลิตพลังงาน เส้นทางกิโลของพลังงาน จนถึงจุดที่มีการใช้พลังงาน การตรวจวัดการใช้พลังงานควรดำเนินการสำหรับแต่ละกระบวนการผลิต หรือแต่ละ

เครื่องจักร เมื่อตรวจสอบการใช้พลังงานแล้วจะทำให้เราทราบว่า การสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นในขั้นตอนใด และสามารถกำหนดเป้าหมายเพื่อลดการสูญเสีย (เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน) รวมถึงหามาตรการปรับปรุงต่อไปได้

1.12.1 การติดตั้งเครื่องวัด

ในโรงงานและอาคาร ข้อมูลที่ควรตรวจวัดอย่างน้อยที่สุดให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของกฎหมายด้านการอนุรักษ์พลังงาน เครื่องมือตรวจวัดที่เกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อนมีมากมาย เช่น มาตรวัดอัตราไหล เทอร์โมมิเตอร์ เกจวัดความดัน เครื่องวัด O₂ ไนโอเสี่ย โวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ ฯลฯ ให้ติดตั้งไปตามความเหมาะสม

1.12.2 การตรวจวัดการไหลของพลังงานในเชิงปริมาณ

การตรวจวัดการไหลของพลังงานด้วยเครื่องวัดทำให้ทราบปริมาณพลังงานที่ใช้และสูญเสียไปในแต่ละขั้นตอนตามกระบวนการผลิตในโรงงานหรือพื้นที่ต่างๆ ในอาคาร

1.12.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานกับการใช้พลังงาน

สภาพการทำงานในแต่ละโรงงานอาจแตกต่างกันไป แม้ว่าผลผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ปริมาณการผลิต คุณภาพที่ต้องการ และสภาพแวดล้อมโดยรอบ

การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในสภาพการทำงานต่างๆ จะทำให้ทราบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน และสามารถค้นพบสภาพการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงได้

1.12.4 การบันทึก เรียบเรียง และสร้างกราฟข้อมูลที่วัดได้

ข้อมูลที่จัดเก็บมาได้ ต้องนำมาเรียบเรียงและจัดทำเป็นกราฟหรือตารางเพื่อให้ทราบและเข้าใจแนวโน้มของการใช้พลังงานและการสูญเสียที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ข้อมูลถูกบันทึกในคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์จำนวนมากที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูล ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิผลมาก

1.12.5 การควบคุมการใช้พลังงานต่อหน่วย

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานระหว่างสถานประกอบการต่างๆ ที่มีกิจกรรมหรือผลิตภัณฑ์ลักษณะเดียวกัน โดยทั่วไปจะพิจารณาจากค่าการใช้พลังงานต่อหน่วย

ในกรณีของโรงงาน การใช้พลังงานต่อหน่วย หมายถึง ปริมาณพลังงานที่ใช้ไปสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วย และในกรณีของอาคารจะหมายถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ของอาคาร

การใช้พลังงานหากพลังงานนั้นคือเชื้อเพลิง เราจะเรียกว่า การใช้เชื้อเพลิงต่อหน่วย และหากเป็นไฟฟ้าจะเรียกว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย

ในกรณีที่โรงงานหรืออาคารมีการใช้ทั้งพลังงานความร้อนและไฟฟ้า การคำนวณการใช้พลังงานต่อหน่วย จะต้องแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานปฐมภูมิแล้ว จึงรวมเข้ากับปริมาณความร้อน เพื่อให้ได้ค่าผลรวมของการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อหน่วยระหว่างสถานประกอบการ จะต้องเป็นไปอย่างระมัดระวัง เนื่องจากประเภทของกิจการ ผลิตภัณฑ์ รวมถึงวิธีการเก็บข้อมูลมีผลต่อค่าการใช้พลังงานต่อหน่วย แต่อย่างน้อยที่สุดแต่ละโรงงานหรืออาคารควรมีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยของตนเองอยู่เสมอ เช่น เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยกับเดือนก่อน หรือปีก่อน หากการใช้พลังงานต่อหน่วยเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัย ก็ต้องวิเคราะห์หาสาเหตุและจัดทำมาตรการปรับปรุง

บทสรุป

การตรวจวัดพลังงานด้านความร้อนโดยส่วนใหญ่เป็นการวัดตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้น อัตราการไหล ความดัน และการเผาไหม้ ตารางข้างล่างแสดงเครื่องมือที่ใช้วัดข้อมูลต่างๆ

ข้อมูล	เครื่องมือวัด
อุณหภูมิ	- เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้ว - เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล

ข้อมูล	เครื่องมือวัด
	<ul style="list-style-type: none"> - เทอร์โมคัปเปิล - เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน - เทอร์มิสเตอร์ - เครื่องวัดอุณหภูมิจากการแผ่รังสี - กล้องอินฟาเรด
ความชื้น	<ul style="list-style-type: none"> - เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง - เครื่องวัดความชื้นแบบอิเล็กทรอนิกส์
ความเร็วของของไหล	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องวัดความเร็วของไหล
อัตราการไหล	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Differential pressure - เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Positive displacement - มาตรวัดปริมาณการไหลแบบใบพัด - มิเตอร์วัดก๊าซธรรมชาติ - เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก - โรตารีมิเตอร์
ความดัน	<ul style="list-style-type: none"> - เกจวัดความดัน - ทรานสดิวเซอร์ความดัน
สภาพความเป็นกรดต่าง	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องวัดสภาพความเป็นกรดต่าง
สภาพการนำไฟฟ้า	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า
การเผาไหม้	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องวัดปริมาณ O₂ CO₂ และ CO

นอกเหนือจากที่จะต้องทราบว่าจะใช้เครื่องมือใดในการจัดเก็บข้อมูลที่ต้องการ ผู้ใช้ควรต้องเข้าใจหลักการทำงานและใช้งานของเครื่องมืออื่นๆ

ความถูกต้องและความเที่ยงตรงของข้อมูลก็มีส่วนสำคัญยิ่ง ข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง ผิดคลาดเคลื่อนเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ ทำให้การวิเคราะห์ด้านพลังงานและอนุรักษ์พลังงานไม่ถูกต้องและสร้างความเสียหายได้มาก

ในการตรวจวัดข้อมูล “ความคลาดเคลื่อน” หมายถึง ค่าที่ได้จากค่าที่วัดได้ลบค่าที่แท้จริง โดย “ค่าที่แท้จริง” หมายถึง ค่าที่ถูกต้องของค่าที่วัด สาเหตุของความคลาดเคลื่อน ได้แก่

- (1) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากหลักการ-วิธีการวัด
- (2) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัด
- (3) ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อมในขณะที่วัด

ประเภทของความคลาดเคลื่อนแบ่งเป็น

- (1) ความคลาดเคลื่อนจากระบบ
- (2) ความคลาดเคลื่อนโดยบังเอิญ
- (3) ความผิดพลาด ที่เกิดจากความพลั้งเผลอ

ปัจจัยที่ต้องคำนึงในการเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท ได้แก่ ความน่าเชื่อถือ ราคา ความถี่ในการใช้งาน ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา ย่านการตรวจวัด และพิกัดสะดวก

สำหรับกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลจะต้องพิจารณาประเด็นของ ข้อมูลที่ต้องการเก็บรวบรวม และ ความถี่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) อาวุโส ด้านความร้อน
- [3] สมาน เสนงาม, การวัดอุณหภูมิ (Temperature Measurements) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [4] สมศักดิ์ กীরตวุฒิสเรษฐ, หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [5] แคตตาล็อกเครื่องมือวัด Portable Ultrasonic Liquid Flowmeter, Panometrics, Inc.
- [6] <http://www.eng-temperature.com/thermocouple.html> (ค้นวาคม 2551)
- [7] <http://www.risinginstru.com/thermometer/glass.htm> (ค้นวาคม 2551)
- [8] <http://www.foreign-trade.com/showcase.cfm?c=meter&cpage=2> (ค้นวาคม 2551)
- [9] <http://www.exatherm.cz/lekarske/eng/digi.htm> (ค้นวาคม 2551)
- [10] <http://www.EngineeringToolBox.com> (ค้นวาคม 2551)
- [11] <http://www.asianengineering.in/> (ค้นวาคม 2551)



บทที่ 2 ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม (Industrial Steam System)

ความสำคัญ

ระบบไอน้ำเป็นระบบผลิตพลังงานความร้อน (ในรูปของไอน้ำ) ที่มีใช้งานอยู่ทั่วไปทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและในอาคาร กลุ่มโรงแรม โรงพยาบาล ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง และอาจก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการและการบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบไอน้ำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ตลอดเวลาจะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน มลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้แก่เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการหม้อไอน้ำได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของบทที่ 2 ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม คือ ต้องการให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เบื้องต้นและทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ โดยวัตถุประสงค์ย่อยของบทนี้มีดังต่อไปนี้

1. รู้จักอุปกรณ์และการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไอน้ำ
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบไอน้ำ
3. ทราบวิธีตรวจวัดและประเมินประสิทธิภาพพลังงานของระบบไอน้ำ
4. ทราบมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบไอน้ำ

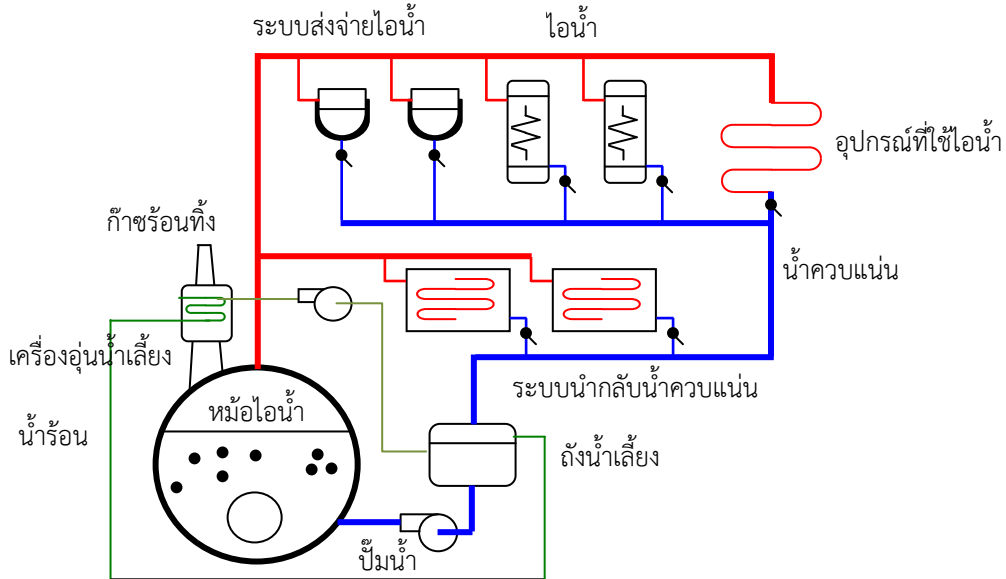
2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เริ่มจากการบรรยายอุปกรณ์หลักๆ และการทำงานของระบบไอน้ำ การตรวจวิเคราะห์และการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ เนื้อหาจะครอบคลุมถึงมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ของระบบไอน้ำ อาทิเช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ การหุ้มฉนวนกันความร้อน การใช้กับดักไอน้ำ การนำน้ำควบแน่นและความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ ฯลฯ

ในบทนี้ได้แสดงให้เห็นวิธีการหนึ่งในการคำนวณการใช้พลังงานและประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ผู้เข้าอบรมที่มีความสนใจเป็นพิเศษในเรื่องนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากตำราด้านหม้อไอน้ำที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก

2.2 ระบบไอน้ำอุตสาหกรรม

ระบบไอน้ำเป็นระบบที่ใช้พลังงานพื้นฐานที่มีการใช้งานและสามารถพบเห็นได้ในหลายอุตสาหกรรม (โรงงานและอาคาร) รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ จากรูป ระบบไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และ (4) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง)



รูปที่ 2-1 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ

จากรูปที่ 2-1 น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังผู้ใช้ในโรงงานซึ่งได้แก่อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมายังหม้อไอน้ำอีกครั้งเพื่อรวมกับน้ำเดิม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป

ก๊าซร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ เมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำแล้ว จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนที่ปล่อยออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสียนี้เป็นการสูญเสียพลังงานมากที่สุดของหม้อไอน้ำ ในรูปที่ 2.1 แสดงการติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อนซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทหนึ่ง ความร้อนจากก๊าซไอเสียจะถูกถ่ายเทให้แก่ น้ำป้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนจ่ายเข้าหม้อไอน้ำ วิธีการดังกล่าวเป็นหนึ่งในหลายมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำอุตสาหกรรม ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทนี้

2.3 หม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำคัญหลักในระบบไอน้ำ ซึ่งมีหน้าที่ในการผลิตไอน้ำเพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิตภายในโรงงานและกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

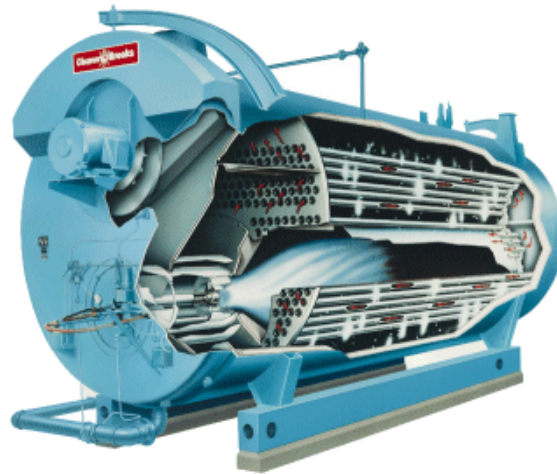
2.3.1 ประเภทของหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดและหลายลักษณะ อย่างไรก็ตามอาจจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- **หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler)** หม้อไอน้ำชนิดนี้ น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่ที่อยู่โดยรอบท่อ
- **หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler)** หม้อไอน้ำชนิดนี้ ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ



(ก) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ



(ข) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ

รูปที่ 2-2 ประเภทของหม้อไอน้ำ

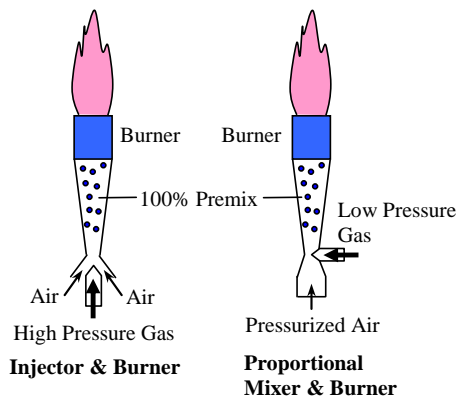
หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟสามารถผลิตไอน้ำให้ได้ความดันตามต้องการช้ากว่าหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ ในกรณีที่ภาระของไอน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เราควรใช้หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ เพราะจะสามารถผลิตไอน้ำได้ทันต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็วกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ จำนวนกลับของท่อไฟยิ่งมากประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก็ยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากก๊าซร้อนใช้เวลาไหลอยู่ในหม้อไอน้ำนานกว่า สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กมักจะมีจำนวนกลับเพียง 2 กลับ ขณะที่ส่วนหม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมี 3 หรือ 4 กลับ

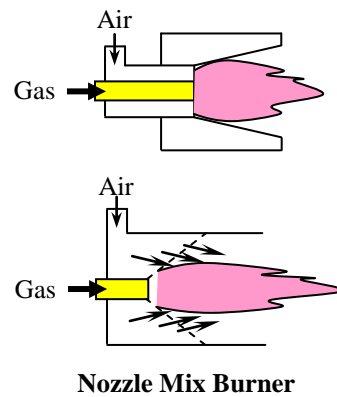
2.3.2 หัวเผาหม้อไอน้ำ

หัวเผาเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ป้อนเชื้อเพลิง (ก๊าซหรือน้ำมัน) และอากาศเข้าเผาไหม้ในอัตราที่เหมาะสม สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

- ก) แบบผสมเชื้อเพลิงกับอากาศก่อนป้อนเข้าเผาไหม้ (Pre-mix Burner)
- ข) แบบผสมกันในหัวเผา (Nozzle-mix Burner)



(ก) Pre-mix Burner

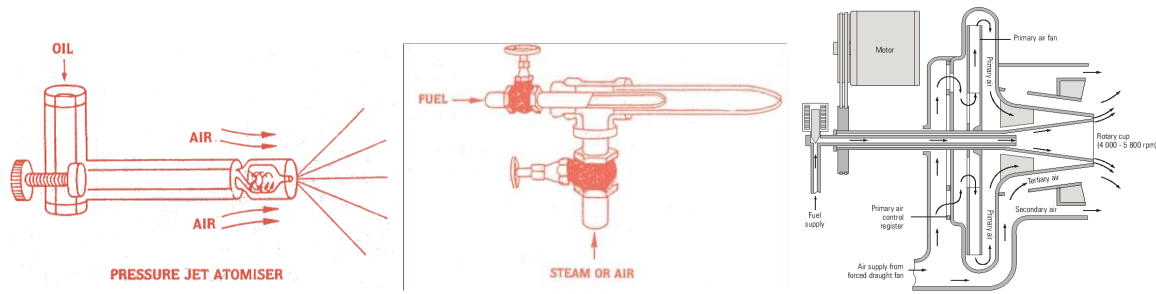


(ข) Nozzle-mix Burner

รูปที่ 2-3 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงก๊าซ

สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงน้ำมันสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ

- ก) แบบใช้ความดันน้ำมัน (Pressure Atomized)
- ข) แบบใช้ไอน้ำหรืออากาศ (Steam or Air Atomized)
- ค) แบบใช้แรงเหวี่ยงของถ้วยหมุน (Rotary Cup)



(ก) Pressure Atomized

(ข) Steam or Air Atomized

(ค) Rotary Cup

รูปที่ 2-4 ประเภทของหัวเผาเชื้อเพลิงเหลว

นอกจากหัวเผาจะมีอยู่ด้วยกันหลายประเภทแล้ว เรายังต้องเลือกใช้หัวเผาให้เหมาะกับลักษณะการใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนที่เหมาะสม เราสามารถจัดแบ่งหัวเผาตามลักษณะการใช้งานเพื่อเกิดประสิทธิภาพที่ดีที่สุดได้ดังนี้

- ก) หัวเผาแบบเผาต่อเนื่อง (Modulating Burners) หัวเผาประเภทนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ปริมาณเชื้อเพลิงที่หัวเผาบ้อนเพื่อผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการใช้ไอน้ำ เพื่อรักษาความดันไอน้ำตามที่กำหนดไว้ กล่าวคือ เมื่อค่าความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาก็จะลดปริมาณเชื้อเพลิงลง และเมื่อความดันไอน้ำต่ำกว่าที่กำหนดไว้ หัวเผาก็จะเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงมากขึ้น
- ข) หัวเผาแบบไฟสูง-ต่ำ (High/Low-Fire Burners) หัวเผานี้สามารถบ้อนเชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่ 2 ระดับ คือ ไฟสูง (High Fire) และไฟต่ำ (Low Fire) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการใช้ไอน้ำและช่วงของการควบคุมความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ทั้ง 2 ระดับ หัวเผาลักษณะนี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก
- ค) หัวเผาแบบไฟตัด-ต่อ (Constant-Fire or ON-OFF Burners) หัวเผานี้เหมาะสำหรับภาระไอน้ำคงที่ เชื้อเพลิงที่ถูกบ้อนเข้าหัวเผาอัตราเดียวขึ้นกับความดันไอน้ำในหม้อไอน้ำที่ตั้งไว้ คือ เมื่อความดันไอน้ำเกินกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะตัด (OFF) การบ้อนเชื้อเพลิง และหากความดันต่ำกว่าที่ตั้งไว้หัวเผาก็จะต่อ (ON) การบ้อนเชื้อเพลิง

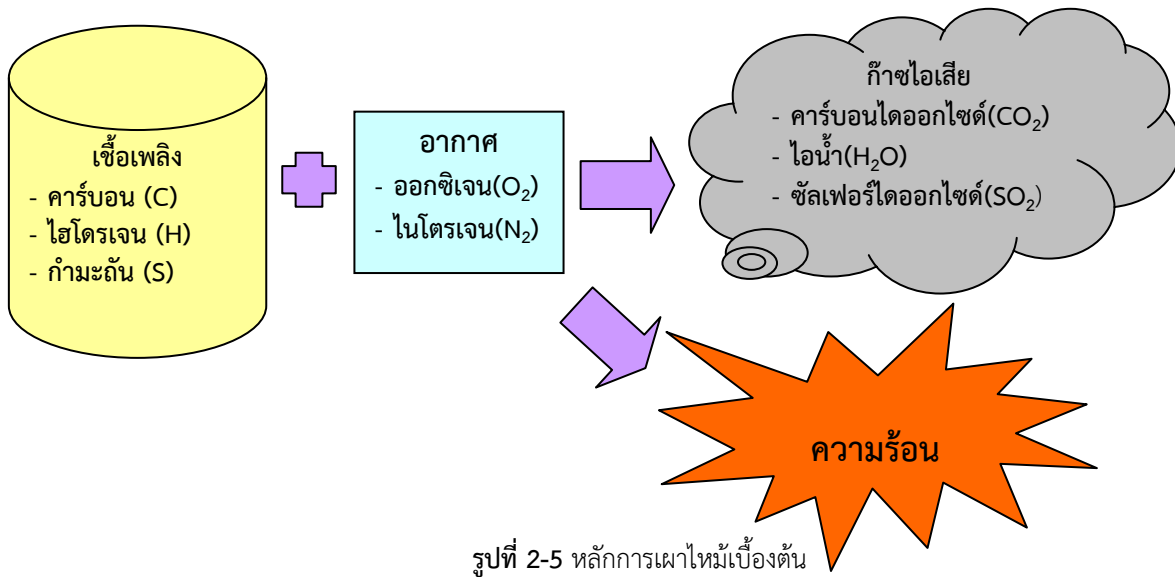
การเลือกใช้หัวเผากับหม้อไอน้ำจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับภาระของไอน้ำ หากภาระไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลงมาก ควรเลือกหัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ (Turn Down Ratio) สูง ซึ่งจะช่วยให้การผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น หัวเผาแบบ High-fire/Low-fire มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 3:1 ขณะที่หัวเผาแบบเผาต่อเนื่องซึ่งมีราคาและประสิทธิภาพสูงจะมีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 10:1

ค่าเทิร์นดาวน์เรโซ เป็นค่าที่แสดงถึง อัตราส่วนระหว่างอัตราการเผาไหม้สูงสุด (Maximum Firing Rate) และอัตราการเผาไหม้ต่ำสุด (Minimum Firing Rate) โดยที่ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยังดีเช่นเดิม ดังนั้น หัวเผาที่มีค่าเทิร์นดาวน์เรโซ 10:1 จะสามารถลดการผลิตไอน้ำลงเหลือ 10% ของกำลังผลิตไอน้ำสูงสุด โดยที่หม้อไอน้ำไม่มีการตัดการเผาไหม้

2.3.3 การเผาไหม้เบื้องต้น

การเผาไหม้ คือ กระบวนการปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนซึ่งจะให้ความร้อนออกมา องค์ประกอบซึ่งจำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี องค์ประกอบทั้งหมดนี้ต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ โดยทั่วไปแล้ว ออกซิเจนได้มาจากอากาศที่อยู่ในบริเวณของการเผาไหม้ รูปที่ 2.5 แสดงหลักการเบื้องต้นของกระบวนการเผาไหม้

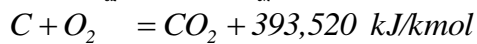
เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีผลต่อการเผาไหม้ เชื้อเพลิงแข็งมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ 75-85% เชื้อเพลิงเหลว 80-85% และเชื้อเพลิงก๊าซ 80-90% ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงเหลวต่ำกว่าเชื้อเพลิงก๊าซ เนื่องจากพื้นที่สัมผัสระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศน้อยกว่ากันตามลำดับ นอกจากนั้น เชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูงจะกระจายออกเป็นฝอยละเอียดยาก ทำให้พื้นที่สัมผัสน้อย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ



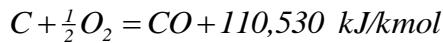
หมายเหตุ สำหรับการเผาไหม้จริงอาจมีก๊าซไอเสียอื่นอีก ได้แก่ CO, HC, NO_x, SO_x, O₂

ก) ปฏิกิริยาเคมีการเผาไหม้ทฤษฎี

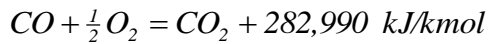
สมการพื้นฐานซึ่งอธิบายปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและปล่อยพลังงานความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้



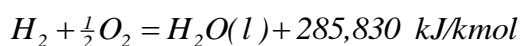
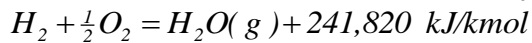
(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอน)



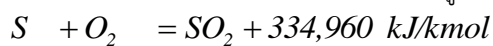
(ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของคาร์บอน)



(ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของคาร์บอนมอนอกไซด์)

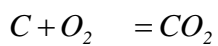


(การเกิดไอน้ำหรือน้ำจากการสันดาปอย่างสมบูรณ์ของไฮโดรเจน)

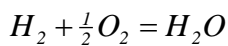


ข) อากาศตามทฤษฎี (Theoretical air)

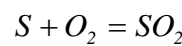
สำหรับอากาศ เราประมาณได้ว่ามีส่วนประกอบของ O₂ เป็นส่วนผสม 23.2% โดยมวล ในกรณีที่การเผาไหม้ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จากสมการจะเห็นว่าน้ำมันดีเซล 1 kg ต้องใช้ปริมาณ O₂ ในการเผาไหม้ 3.334 kg ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณอากาศ 3.334/0.232=14.37 kg ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีเท่ากับ 14.37 ต่อ 1



$$12kg + 32kg = 44kg$$



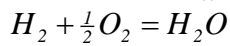
$$2kg + 16kg = 18kg$$



$$32kg + 32kg = 64kg$$

ชนิดของเชื้อเพลิง	% องค์ประกอบโดยมวล		
	C	H	S
น้ำมันดีเซล	86.3	12.8	0.9
น้ำมันเตา	86.1	11.8	2.1

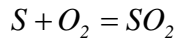
การหาปริมาณอากาศเชิงทฤษฎีในการเผาไหม้



$$2kg + 16kg = 18kg$$

$$0.128 \frac{2}{2}kg + 0.128 \frac{16}{2}kg = 0.128 \frac{18}{2}kg$$

$$0.128kg + 1.024kg = 1.152kg$$



$$32kg + 32kg = 64kg$$

$$0.009 \frac{32}{32}kg + 0.009 \frac{32}{32}kg = 0.009 \frac{64}{32}kg$$

$$0.009kg + 0.009kg = 0.018kg$$



$$12kg + 32kg = 44kg$$

$$0.863 \frac{12}{12}kg + 0.863 \frac{32}{12}kg = 0.863 \frac{44}{12}kg$$

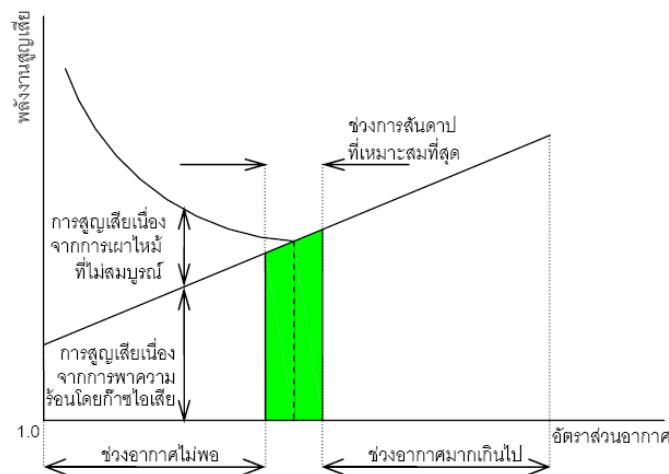
$$0.863kg + 2.301kg = 3.164kg$$

ค) อากาศส่วนเกิน (Excess Air)

ในการเผาไหม้จริงๆ หากป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับค่าทางทฤษฎีแล้ว เป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจนทุกตัวพบกับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึงกัน จึงเป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ในลักษณะอากาศไม่เพียงพอ

การเผาไหม้ที่อากาศไม่เพียงพอนี้ จะให้พลังงานความร้อนออกมาน้อยกว่าการเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ เชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ เขม่า และควันสีดำ ในทางปฏิบัติการเผาไหม้จริงๆ จำเป็นต้องป้อนอากาศให้เกินกว่าความต้องการในเชิงทฤษฎี อากาศส่วนนี้เรียกว่า อากาศส่วนเกิน (Excess Air) อย่างไรก็ตาม การป้อนอากาศมากเกินไปจะเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนออกไปกับก๊าซไอเสียอย่างมาก เพราะออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศที่เกินมานี้มิได้ทำปฏิกิริยาใดๆ ในการเผาไหม้นอกจากจะดูดพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้และพาออกทิ้งยังปล่องระบายไป

ปริมาณอากาศเข้าเผาไหม้ที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภทสังเกตได้จากปริมาณ O₂ หรือ CO₂ ในไอเสีย โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 2-1 สำหรับเชื้อเพลิงทุกประเภท ปริมาณ CO ในก๊าซไอเสียไม่ควรสูงกว่า 200 ส่วนในล้านส่วน (ppm)



รูปที่ 2-6 ปริมาณอากาศป้อนและการสูญเสียพลังงาน

ตารางที่ 2-1 ปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม

เชื้อเพลิง	อากาศส่วนเกิน (%)	O ₂ ในก๊าซไอเสีย (%)	CO ₂ ในก๊าซไอเสีย (%)
ก๊าซ	5-15	1-2	9-10
เหลว	15-20	3-4	12-14
แข็ง	15-60	7-10	12-13

2.3.4 การระบายน้ำจากหม้อไอน้ำ (โบลว์ดาวน์)

นอกจากการควบคุมการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ คุณภาพของน้ำในหม้อไอน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ปกติแล้ว น้ำจะมีของแข็งแขวนลอยและแร่ธาตุต่างๆ เจือปนอยู่ เมื่อน้ำถูกผลิตเป็นไอน้ำแล้ว ความเข้มข้นของสารเจือปนเหล่านี้จะสูงขึ้นและเกิดการตกตะกอน/ตกผลึก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ รวมถึงความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอนาคต และเพื่อป้องกันปัญหาเหล่านี้ เราจำเป็นต้องระบายน้ำร้อนในหม้อไอน้ำที่ผ่านระบบโบลว์ดาวน์

ระบบโบลว์ดาวน์ที่ทำงานไม่เหมาะสม เช่น ระบายน้ำโบลว์ดาวน์มากเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อไอน้ำลดลง และหากระบายน้อยเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนในท่อน้ำของหม้อไอน้ำและอาจนำมาซึ่งความเสียหายของระบบท่อน้ำและประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ลดลง

การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

- ก) การระบายน้ำจากด้านล่างหม้อไอน้ำ (Bottom Blowdown) เพื่อระบายตะกอนโคลนที่สะสมบริเวณก้นหม้อไอน้ำทิ้ง
- ข) การระบายน้ำจากด้านบนหม้อไอน้ำ (Surface Blowdown) เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายและสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ

และสำหรับการควบคุมการระบายน้ำแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

- ก) แบบเป็นครั้งคราว โดยผู้ใช้หม้อไอน้ำจะเปิดวาล์วระบายหลายๆ ครั้ง ครั้งละสั้นๆ
- ข) แบบต่อเนื่อง ซึ่งวาล์วระบายน้ำของหม้อไอน้ำจะเปิดหรือปิดเมื่อได้รับสัญญาณเวลาที่ตั้งไว้ (Timer Control) หรือสัญญาณที่ได้จากการวัดสมบัติของน้ำในหม้อไอน้ำ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity)

การพิจารณาว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่า TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งวัดปริมาณสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำของหม้อไอน้ำโดยตรงว่าใน 1 ลิ้นส่วนมีสารแขวนลอยกี่ส่วน (ppm) หรือวัดโดยอ้อมจากค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (Conductivity) ซึ่งมีหน่วยเป็นไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรควบคุมคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้มาตรฐานในตารางที่ 2-2 เพื่อความปลอดภัยและคุณภาพของไอน้ำที่ดี

ตารางที่ 2-2 มาตรฐานน้ำป้อนและน้ำหม้อไอน้ำ (แบบท่อน้ำ ความดันไม่เกิน 20 barg)

รายการ	น้ำป้อน	น้ำในหม้อไอน้ำ
ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<400	<3,500
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	8.5-9.5	10.5-12.0
ฟอสเฟต (mg/kg)	-	30-60
ซิลิกา (mg/kg)	-	>150
ความกระด้าง (ไม่มีหน่วย)	>2	-

2.3.5 ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำ

1. ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบเราควรเลือกขนาดของหม้อไอน้ำ (กำลังการผลิตไอน้ำต่อชั่วโมง) ที่พอเหมาะกับภาระไอน้ำ และควรเดินใช้งานที่ภาระเต็มตลอดเวลาเท่าที่จะเป็นไปได้ หม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ต้องใช้งานที่ภาระเต็มหรือใกล้เต็มที่ หม้อไอน้ำที่เดินภาระต่ำๆ ตลอดเวลา เรียกว่า “หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป” (Oversized) ควรเปลี่ยนไปใช้หม้อไอน้ำที่มีขนาดเล็กลง (ถ้าสามารถทำได้)

2. หลีกเลี่ยงการสตาร์ทบ่อยๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดการ

- สูญเสียพลังงานไปในการที่ต้องทำให้หม้อไอน้ำร้อนขึ้นมาใหม่
- สูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการเดินพัดลมเป่าไล่อากาศและก๊าซต่างๆ ออกไปจากห้องเผาไหม้ ก่อนการจุดสตาร์ททุกครั้ง
- สูญเสียความร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ ในขณะที่พัดลมเป่าไล่ลมร้อนออกไปจากหม้อไอน้ำ (Purging)

3. ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงควรใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งแสดงให้เห็นทราบได้โดยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง (หรือปริมาณออกซิเจนต่ำ) ควินดำ คือ คาร์บอนที่มีขนาดเล็กมากเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำมากเกินไป หรือการปรับแต่งการเผาไหม้ไม่ดี หรือ หัวเผาทำงานผิดปกติ

4. อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกปล่องควรต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่ต้องสูงกว่าจุดกลับตัวของน้ำและกรดเล็กน้อย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการผุกร่อน หม้อไอน้ำต่างๆ ไป ขณะเดินที่ไฟต่ำ (Low Fire) จะมีอุณหภูมิปล่องต่ำกว่าขณะเดินที่ไฟสูง (High Fire) หรือเดินที่ไฟปานกลาง (Medium Fire)

5. เราควรทำความสะอาดหม้อไอน้ำเป็นระยะๆ เพื่อลดการขัดข้องอันเนื่องมาจากตะกรัน (หม้อไอน้ำท่อน้ำ) และเขม่า (หม้อไอน้ำท่อไฟ) ซึ่งจะลดความสามารถผลิตไอน้ำให้ได้สูงสุดตามพิกัดของหม้อไอน้ำ การทำความสะอาดสามารถเพิ่มความสามารถของหม้อไอน้ำให้กลับคืนดั้งเดิมได้

6. เราควรมีการตรวจวัดปริมาณการผลิตไอน้ำ (หรือปริมาณน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ) เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไปในเวลาเดียวกัน เพื่อติดตามดูว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจะลดลงหรือไม่ วิธีที่นิยมใช้กันกับหม้อไอน้ำน้ำมันเตา คือ

- ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณ และเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ น้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ
- ติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

2.4 กักตักไอน้ำ

กักตักไอน้ำ (Steam Trap) คือ วาล์วอัตโนมัติที่ทำหน้าที่แยกน้ำที่เกิดขึ้นในระบบไอน้ำหรือเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำออกไปจากระบบ เพื่อป้องกันการอั้นตัวของน้ำ (Water Locked) อันอาจนำไปสู่การเกิดแรงกระแทกอย่างรุนแรง หรือปรากฏการณ์ “ค้อนน้ำ” (Water Hammer) ซึ่งมีผลให้ท่อ ข้อต่อ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต่างๆ ในกระบวนการผลิตเกิดความเสียหาย กักตักไอน้ำยังมีหน้าที่ในการระบายก๊าซและอากาศออกจากกระบอกโดยไม่เกิดการสูญเสียไอน้ำ ก๊าซและอากาศเหล่านั้นสามารถแทนที่ไอน้ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการพาความร้อนลดลงและยังกั้นไม่ให้ไอน้ำไปถึงพื้นผิวถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตด้วย และในกรณีนี้ที่เลวร้ายที่สุดก็คือ ท่อหรือชิ้นส่วนของอุปกรณ์เกิดอากาศอัด (Air Locked) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ไม่ได้ ซึ่งแม้แต่น้ำควบแน่นก็สามารถออกไปได้

เราจะเห็นได้ชัดว่า กักตักไอน้ำที่มีประสิทธิภาพเป็นส่วนสำคัญที่สร้างความเชื่อมั่นว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไอน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม กักตักไอน้ำที่เสื่อมสภาพลงจากการใช้งานก็สามารถสร้างปัญหาให้กับระบบไอน้ำได้อย่างมากเช่นกัน

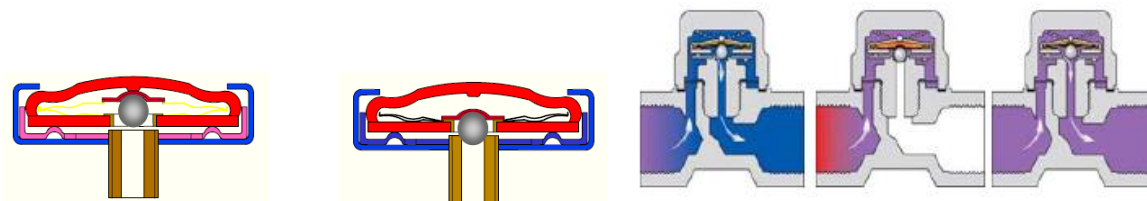
2.4.1 ประเภทของกักตักไอน้ำ

กักตักไอน้ำสามารถแบ่งตามหลักการทำงานหรือตามโครงสร้างทางกลไกของอุปกรณ์ภายในออกเป็น 4 กลุ่ม ได้ดังนี้

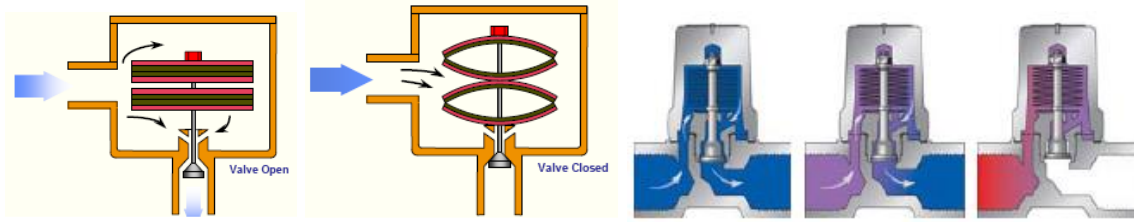
ก) กักตักไอน้ำทำงานโดยความร้อน (Thermostatic Trap)

กักตักไอน้ำกลุ่มนี้ใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิของไอน้ำและของคอนเดนเสทเป็นตัวทำให้วาล์วเปิดและปิด คอนเดนเสทจะต้องเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิไอน้ำก่อนที่จะถูกปล่อยออกจากกักตักไอน้ำ กักตักไอน้ำกลุ่มนี้ยังแบ่งออกเป็น

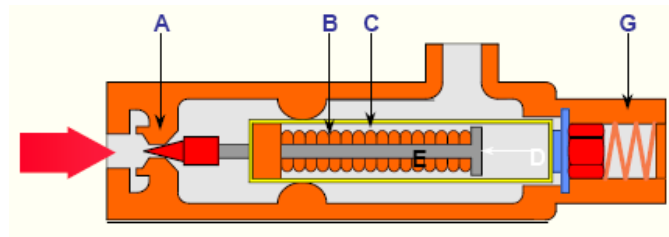
- แบบสมดุลความดัน (Balanced Pressure Type)
- แบบใช้โลหะ 2 ชนิด (Bimetallic Type)
- แบบใช้การขยายตัวของเหลว (Liquid Expansion Type)



กักตักไอน้ำแบบสมดุลความดัน



ก๊ับดักไอน้ำแบบใช้โลหะ 2 ชนิด

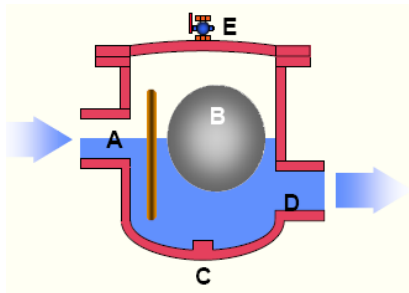


ก๊ับดักไอน้ำแบบใช้การขยายตัวของเหลว
รูปที่ 2-7 ก๊ับดักไอน้ำทำงานโดยความร้อน

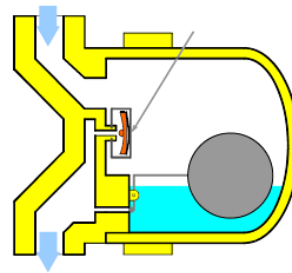
ข) ก๊ับดักไอน้ำทำงานโดยกลไก (Mechanical Group)

ก๊ับดักไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสททำให้ลูกลอย (Float) หรือถ้วย (Bucket) ส่งอาการไปเปิด-ปิดวาล์ว ก๊ับดักไอน้ำในกลุ่มนี้ มีชื่อเรียกต่างๆ ดังนี้

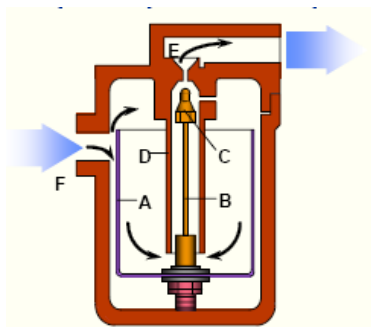
- แบบลูกลอย (Loose Float Type)
- แบบลูกลอยมีก้าน (Float and Lever Type)
- แบบถ้วยหงาย (Open Top Bucket Type)
- แบบถ้วยคว่ำ (Inverted Bucket Type)



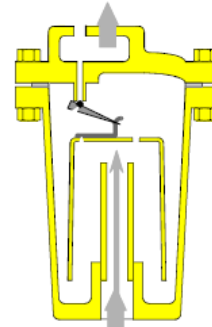
แบบลูกลอย



แบบลูกลอยมีก้าน



แบบถ้วยหงาย

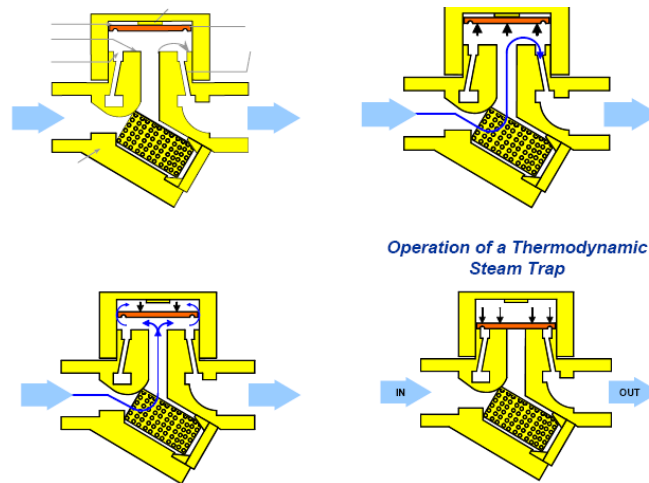


แบบถ้วยคว่ำ

รูปที่ 2-8 ก๊ับดักไอน้ำทำงานโดยกลไก

ค) กักน้ำไอน้ำกลุ่มที่ทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน (Thermodynamic Groups)

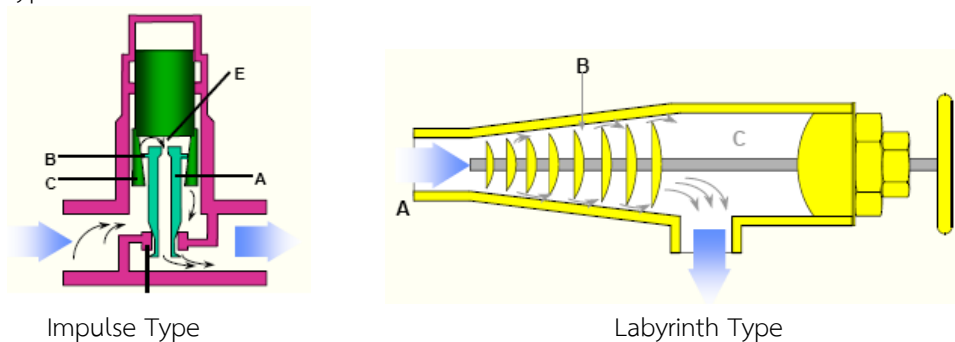
กักน้ำไอน้ำกลุ่มนี้ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างในความเร็วระหว่างไอน้ำและคอนเดนเสทที่ไหลผ่านตัววาล์วที่เป็นจานกลม ซึ่งมันจะปิดเมื่อมีไอน้ำไหลเข้ามาด้วยความเร็วสูง และจะเปิดเมื่อมีคอนเดนเสทไหลเข้ามาด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า กักน้ำไอน้ำในกลุ่มนี้เรียกว่า กักน้ำไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์



รูปที่ 2-9 กักน้ำไอน้ำทำงานด้วยการเคลื่อนไหวเนื่องจากความร้อน

ง) กักน้ำไอน้ำชนิดอื่นๆ (Miscellaneous Group)

กลุ่มนี้ประกอบด้วยกักน้ำไอน้ำที่ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มใดๆ ข้างต้นได้ เช่น Impulse Type, Labyrinth Type หรือ Orifice Plate Type



รูปที่ 2-10 กักน้ำไอน้ำทำงานด้วยระบบอื่นๆ

สำหรับกักน้ำไอน้ำแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียสรุปได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ข้อดีและข้อเสียของกักน้ำไอน้ำแต่ละประเภท

แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบถ้วยหงาย	<ul style="list-style-type: none"> การทำงานแม่นยำ ไอน้ำไม่รั่วไหลเนื่องจากมี Water Seal 	<ul style="list-style-type: none"> รูปร่างและขนาดใหญ่ การระบายอากาศทิ้งไม่ดี
แบบถ้วยคว่ำ	<ul style="list-style-type: none"> การระบายอากาศทิ้งดี 	<ul style="list-style-type: none"> การติดตั้งไม่สะดวก ประสิทธิภาพการระบายน้ำคอนเดนเสทไม่ดี
แบบลูกกลอยติดคาน	<ul style="list-style-type: none"> เหมาะสมกับความดันต่ำและภาระต่ำ โครงสร้างง่าย ปล่อยทิ้งอย่างต่อเนื่องและการทำงานเงียบ เปลี่ยนลูกกลอยและบ่าลื่นได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> ไม่ทนต่อ Water Hammer จำเป็นต้องติดตั้งในแนวระนาบจึงมีข้อจำกัดด้านสถานที่ติดตั้ง

	แบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
กับดักโอน้ำแบบเทอร์โมสแตติกส์	แบบเบลโลส	<ul style="list-style-type: none"> สามารถปรับตั้งและควบคุมอุณหภูมิน้ำระบายได้ การระบายอากาศทั้งดี 	<ul style="list-style-type: none"> ไม่ทนต่อ Water Hammer ไม่เหมาะสมกับความดันสูง
	แบบไบเมทัล	<ul style="list-style-type: none"> ไม่มีปัญหาล้นปิดตาย การระบายอากาศทั้งดี 	<ul style="list-style-type: none"> ผลต่างอุณหภูมิสำหรับเปิดปิดล้นสูง คุณสมบัติของไบเมทัลเปลี่ยนแปลงไปในขณะใช้งาน
กับดักโอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์	แบบออริฟิส	<ul style="list-style-type: none"> ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา เหมาะกับความดันสูง อุณหภูมิสูง 	<ul style="list-style-type: none"> โอน้ำรั่วไหลมาก มีปัญหาการขัดข้องของชิ้นส่วนที่มีความเที่ยงสูงบ่อย มีขีดจำกัดความดันย้อนกลับ (30%)
	แบบจาน	<ul style="list-style-type: none"> ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา โครงสร้างง่าย สามารถใช้กับโอดงได้ ทนต่อ Water Hammer ได้ 	<ul style="list-style-type: none"> ต้องมีผลต่างความดันทำงานอย่างต่ำสุด 0.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีขีดจำกัดของความดันย้อนกลับ (30%)

2.4.2 การเลือกใช้กับดักโอน้ำ

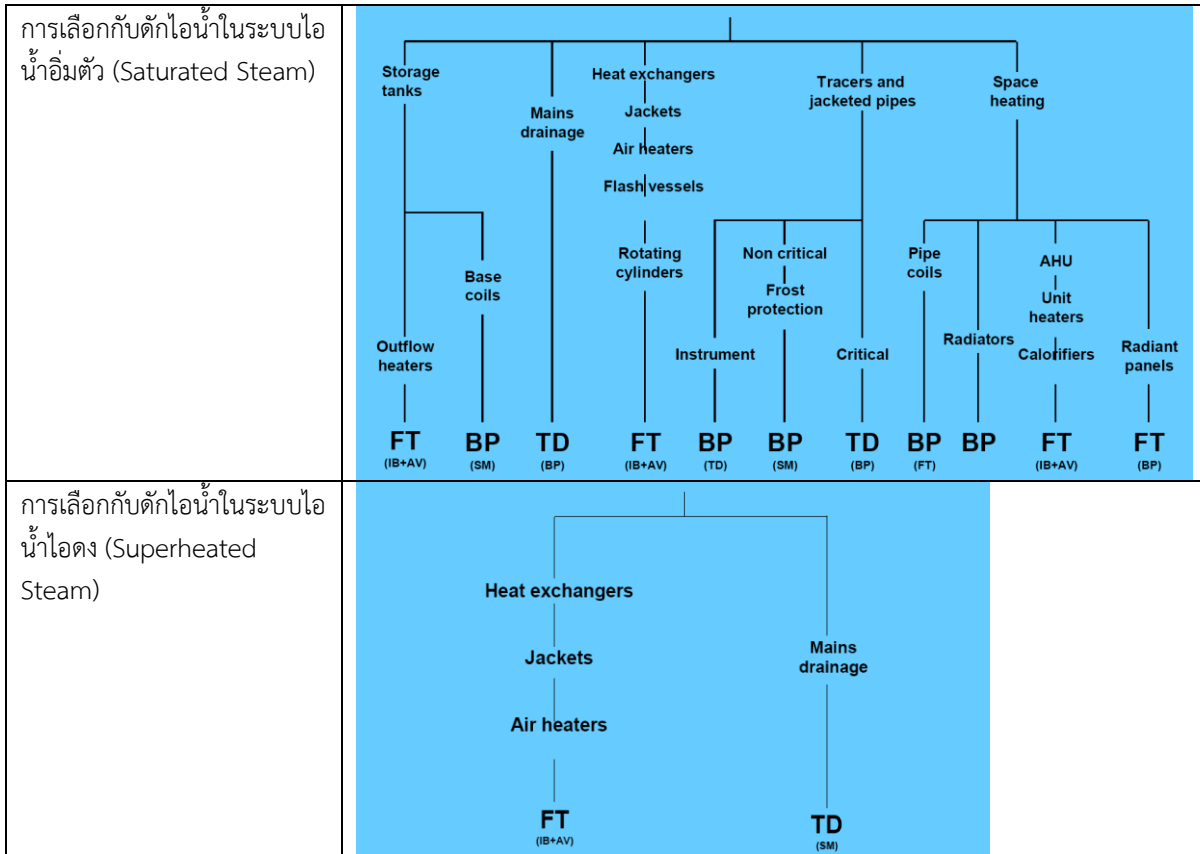
เนื่องจากกับดักโอน้ำมีหลายประเภท ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และลักษณะงานต่างๆ การเลือกใช้กับดักโอน้ำ ต้องพิจารณาความเหมาะสมกับเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

- ความดันโอน้ำ
- อุณหภูมิโอน้ำ
- ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น
- เงื่อนไขในการติดตั้ง

โดยปกติแล้ว หลักเกณฑ์ง่ายๆ ในการเลือกใช้กับดักโอน้ำมีดังนี้

- ใช้กับดักโอน้ำแบบจานกับท่อโอน้ำหลัก ท่อย่อย ถังรองรับ และเฮดเดอร์ หรือบริเวณที่อาจเกิดการกระแทกของน้ำ (Water Hammer)
- ใช้กับดักโอน้ำแบบลูกลอยอิสระ ถ้วยกลมอิสระ ถ้วยกลมติดคานและแบบถ้วยคว่ำกับเครื่องให้ความร้อนด้วยโอน้ำ เครื่องระเหย เครื่องกลั่น เครื่องอบแห้ง
- ในกรณีที่ปริมาณการใช้โอน้ำสูงควรใช้กับดักโอน้ำแบบถ้วยกลมอิสระและแบบถ้วยคว่ำติดคานหากเป็นกรณีที่ปริมาณน้อยควรใช้แบบลูกลอยอิสระ ลูกลอยติดคานและแบบถ้วยคว่ำอิสระ
- ถ้าการใช้โอน้ำอาจเกิดการกระแทกของน้ำ ไม่ควรใช้กับดักโอน้ำแบบถ้วยคว่ำติดคานแบบลูกลอยติดคานและแบบลูกลอยอิสระ เพราะการกระแทกของน้ำจะทำให้คานและลูกลอยเสียรูปทรงได้ ซึ่งจะทำให้วาล์วปิดไม่สนิท
- โดยทั่วไปแล้ว กับดักโอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่เหมาะกับอุปกรณ์ที่ใช้โอน้ำ โดยเฉพาะถ้ามีการนำคอนเดนเสทกลับ กับดักโอน้ำนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียของโอน้ำอย่างมาก

ตารางที่ 2-4 การเลือกใช้กับดักไอน้ำ



การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำอิ่มตัว(Saturated Steam) สามารถแบ่งออกได้ 5 ประเภท

ก) ถังบรรจุก (Storage Tanks) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- ถังบรรจุกที่ให้ความร้อนภายนอก กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย
- ถังบรรจุกที่มี Coil อยู่ด้านล่างถึง กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)

ข) ท่อประธานของไอน้ำ (Steam Mains Drainage) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD)

ค) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat Exchanger), หม้อต้ม (Jackets), ลมร้อน (Air Heaters), ถังเก็บไอน้ำแฟลช (Flash vessels), ลูกกลิ้ง (Rotating Cylinders) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย

ง) ระบบอุ่นอุณหภูมิในท่อ (Tracers and Jacketed pipe) แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

- เครื่องมือวัด (Instrument) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD)
- ระบบป้องกันน้ำแข็งตัว(Frost Protection) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)
- ระบบฉุกเฉิน (Critical) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Thermodynamic (TD) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)

จ) ระบบให้ความร้อนสัมผัส แบ่งออกเป็น 4 ประเภท

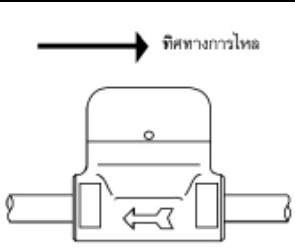
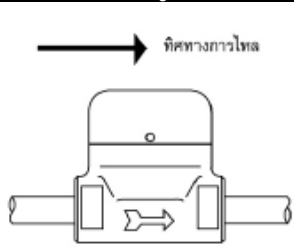
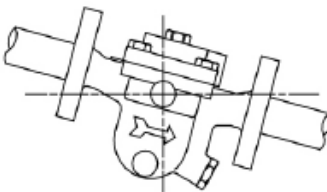
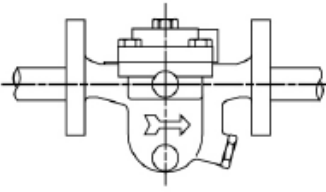
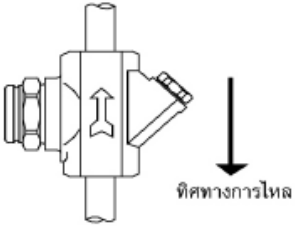
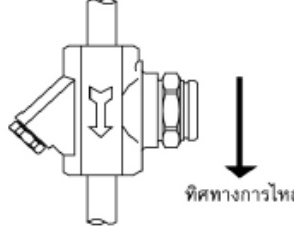
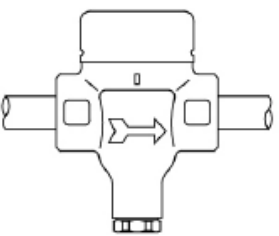
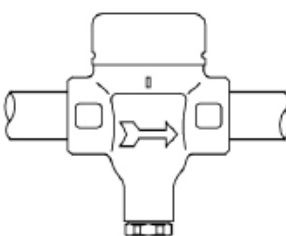
- ชุด Coil ที่เป็นท่อ กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT)
- เครื่องกระจายความร้อน(Radiators)กับดักไอน้ำที่เหมาะสมคือกับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)

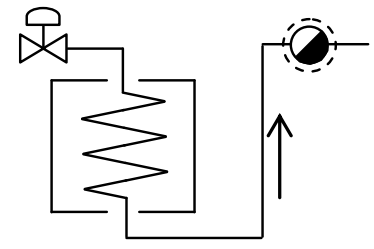
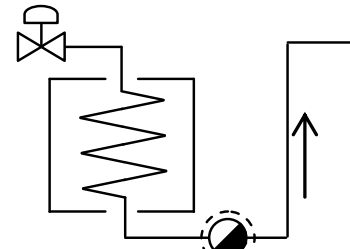
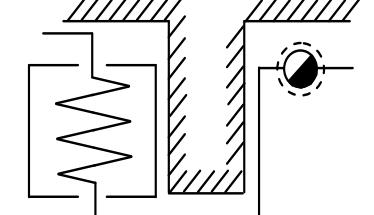
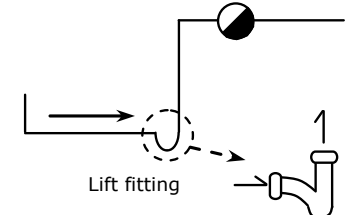
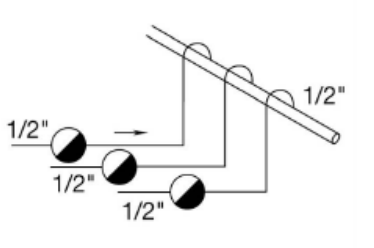
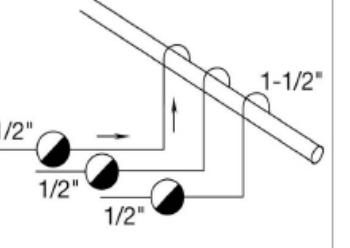
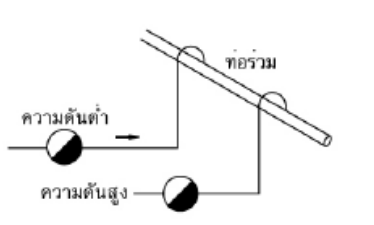
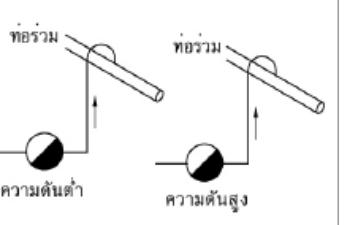
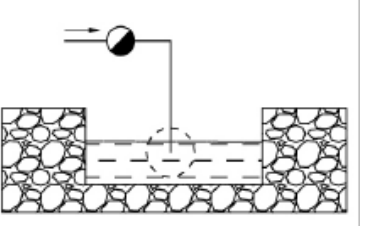
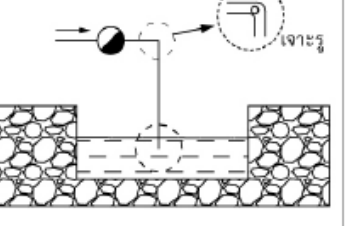
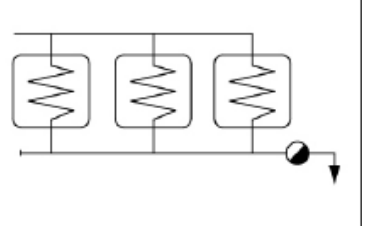
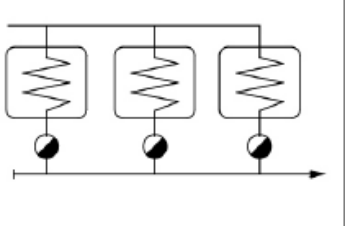
- เครื่องปรับอากาศ (AHU), ชุดให้ความร้อน (Unit Heaters) ,ชุดวัดความร้อน (Calorifiers) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB)และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย
- ชุดแปลงรังสี (Radiant Panels) กับดักไอน้ำชนิดกับดักไอน้ำชนิด กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Balanced Pressure (BP)

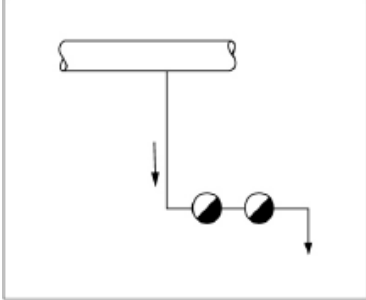
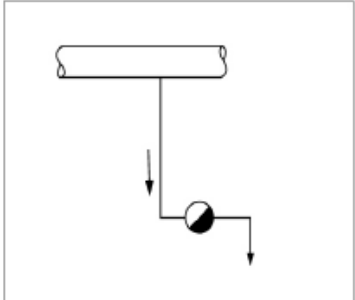
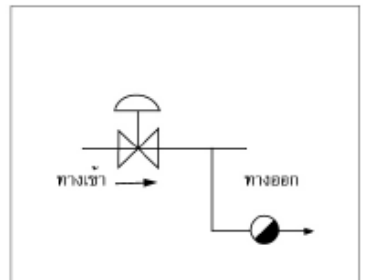
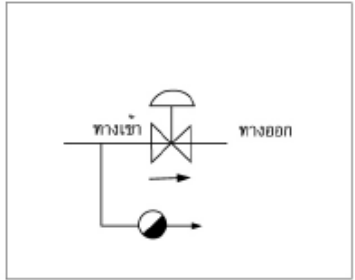
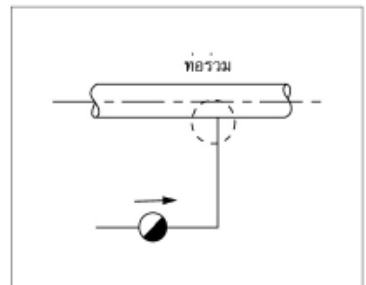
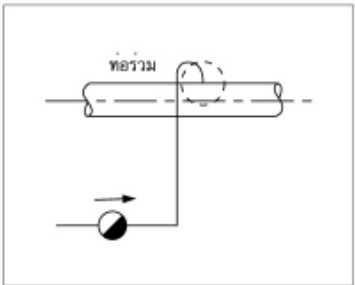
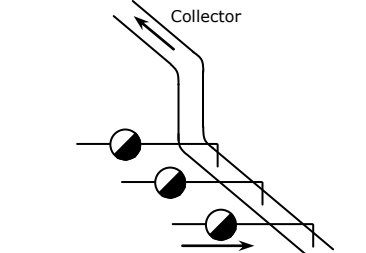
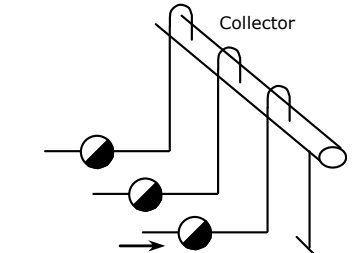
การเลือกกับดักไอน้ำในระบบไอน้ำไอตรง (Superheated Steam) สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท

- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(Heat Exchanger), หม้อต้ม (Jackets), ลมร้อน (Air Heaters), ถังเก็บไอน้ำแฟลช (Flash vessels) , ลูกกลิ้ง (Rotating Cylinders) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิด Ball float (FT) หรือ กับดักไอน้ำชนิด ถ้วยคว่ำ Inverted Bucket (IB) และควรต่อ Air vent คร่อมด้วย
- ท่อประธานของไอน้ำ (Steam Mains Drainage) กับดักไอน้ำที่เหมาะสม คือ กับดักไอน้ำชนิดThermodynamic (TD) หรือ กับดักไอน้ำชนิด Bimetallic (SM)

2.4.3 ข้อแนะนำในการติดตั้งกับดักไอน้ำ

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		ติดตั้งกับดักไอน้ำให้ถูกต้องตามทิศทางการไหล
		กับดักไอน้ำแบบลูกลอยอิสระต้องติดตั้งในแนวนอน
		กับดักไอน้ำแบบเทอร์โมไดนามิกส์ไม่มีข้อจำกัดในการติดตั้ง
		ไม่ควรใช้ท่อเล็กกว่าขนาดของกับดักไอน้ำ

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		<p>ไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำสูงกว่าจุดที่ระบายน้ำออก ทางเข้าของกับดักไอน้ำควรอยู่ในระดับที่ คอนเดนเสทสามารถไหลเข้ามาได้ด้วยแรงโน้มถ่วง</p>
	 <p>Lift fitting</p>	<p>ถ้ากับดักไอน้ำต้องติดตั้งในระดับที่สูงกว่าจุดระบายน้ำออก ควรใช้ Lift Fitting</p>
		<p>ขนาดของท่อร่วมที่จะนำน้ำกลับควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของกับดักไอน้ำ และพื้นที่หน้าตัดต้องมากกว่าพื้นที่หน้าตัดของกับดักไอน้ำทั้งหมดรวมกัน</p>
 <p>ความดันต่ำ ความดันสูง</p>	 <p>ความดันต่ำ ความดันสูง</p>	<p>คอนเดนเสทที่มีความดันแตกต่างกัน ไม่ควรนำไปรวมในท่อร่วมเดียวกัน</p>
	 <p>เจาะรู</p>	<p>ท่อทางออกไม่ควรจุ่มอยู่ในน้ำและควรมีรูเล็กๆ เพื่อไม่ให้เกิดการดูดกลับ</p>
		<p>อุปกรณ์แต่ละอย่างควรมีกับดักไอน้ำแยกกันไม่ควรติดตั้งกับดักไอน้ำตัวเดียวกับอุปกรณ์หลายๆ อย่าง เพราะจะทำงานได้ไม่ดี</p>

ผิด	ถูก	คำแนะนำ
		<p>การใช้กับดักไอน้ำซ้อนกัน 2 ตัวจะทำงานได้ไม่ดี ใช้ตัวเดียวก็พอ</p>
		<p>กับดักไอน้ำต้องติดตั้งไว้ด้านทางเข้าเพื่อเอาน้ำคอนเดนเสทออกก่อนที่จะเข้าวาล์วควบคุม (Regulating Valve)</p>
		<p>ทางออกของกับดักไอน้ำไม่ควรต่อที่ด้านล่างของท่อร่วม</p>
		<p>ท่อร่วมไม่ควรมีส่วนที่ยกขึ้น เพราะจะทำให้มีความดันเกิดขึ้น เนื่องจากความสูงของน้ำคอนเดนเสทซึ่งจะทำให้เกิดความดันย้อนกลับ (Back Pressure)</p>

2.5 การตรวจวิเคราะห์หม้อไอน้ำ

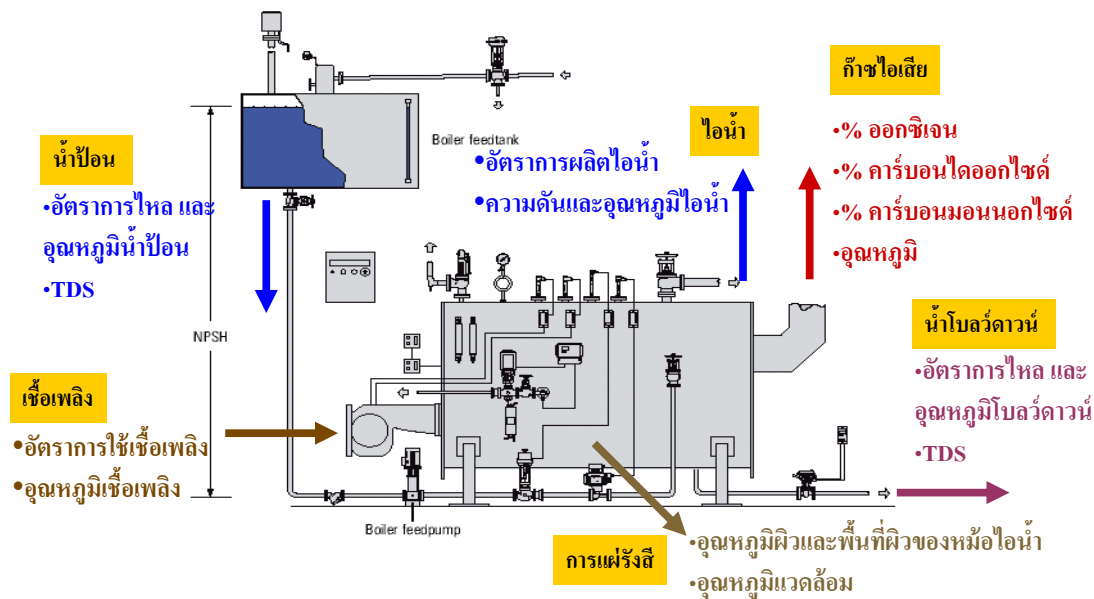
หม้อไอน้ำแต่ละลูกจะระบุข้อมูลจำเพาะของหม้อไอน้ำ เช่น กำลังการผลิตไอน้ำพิกัด ชนิดและปริมาณความต้องการใช้เชื้อเพลิง และอื่นๆ ข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้ประเมินเพื่อให้ทราบค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลูกนั้นๆ โดยเบื้องต้น อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ เรายังจำเป็นต้องตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหม้อไอน้ำเป็นประจำเพื่อให้ทราบถึงสภาพการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานที่แท้จริงของหม้อไอน้ำที่เราใช้งานอยู่

2.5.1 การตรวจวัดการทำงานของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2-5 แสดงข้อมูลการวัดที่จำเป็นต้องทราบสำหรับการประเมินสมรรถนะการทำงานและประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

ตารางที่ 2-5 ข้อมูลตรวจวัดระบบไอน้ำอุตสาหกรรม

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง - อัตราการใช้เชื้อเพลิง - อุณหภูมิเชื้อเพลิง	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ - อัตราการผลิตไอน้ำ	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ
น้ำป้อนและน้ำโบล์ดวาร์น	- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบล์ดวาร์น - อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบล์ดวาร์น - ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- การสูญเสียพลังงานจากการโบล์ดวาร์น
ก๊าซไอเสีย	- เปอร์เซ็นต์ของ O ₂ - เปอร์เซ็นต์ของ CO ₂ - เปอร์เซ็นต์ของ CO และอื่นๆ - อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ
การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ - อุณหภูมิแวดล้อม - ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)	- การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 2-11 การตรวจวัดข้อมูลการทำงานของหม้อไอน้ำ

สำหรับความร้อนสูญเสียของระบบส่งจ่ายไอน้ำ ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของท่อส่งจ่าย วาล์ว และหน้าแปลนอุณหภูมิแวดล้อม และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของพื้นผิว ตลอดจนสภาพของฉนวน เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจวัดข้อมูลข้างต้น ประกอบด้วย เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือวัดได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 1

2.5.2 การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

จากข้อมูลการวัดที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.5.1 เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพการทำงานของหม้อไอน้ำได้ โดยปกติแล้ว การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

- ก) การคำนวณโดยวิธีตรง
- ข) การคำนวณโดยวิธีอ้อม

ก) การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง การคำนวณโดยวิธีนี้ง่ายและไม่ยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่ได้แสดงให้เห็นเราทราบว่าการสูญเสียพลังงานหรือการลดลงของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเกิดจากสาเหตุใด สมการที่ (2.1) แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีตรง

$$\eta_B = \frac{m_S(h_S - h_W)}{m_F \cdot HV} \tag{2.1}$$

- เมื่อ
- η_B = ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
 - m_S = อัตราการไหลของไอน้ำ, kg/s
 - m_F = อัตราการใช้เชื้อเพลิง, kg/s
 - h_S = เอนทาลปีของไอน้ำ, kJ/kg
 - h_W = เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg
 - HV = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, kJ/kg

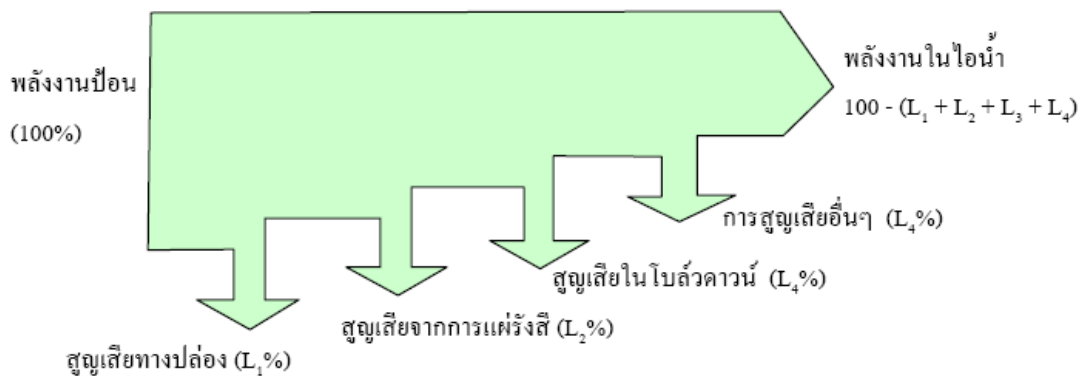
ข) การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อม

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยวิธีอ้อมจะใช้วิธีวัดการสูญเสียพลังงานจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ แล้วหักออกจาก 100 ซึ่งก็คือค่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ การคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีอ้อม เราจะต้องตรวจวัดหรือคำนวณเพื่อให้ทราบการสูญเสียพลังงานต่างๆ ที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย

- การสูญเสียพลังงานทางปล่อง (L_1)
- การสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนที่ผิว (L_2)
- การสูญเสียพลังงานจากโบลว์ดาวน์ (L_3)
- การสูญเสียพลังงานอื่นๆ (L_4)

ทันทีที่ทราบการสูญเสียเหล่านี้ เราสามารถคำนวณประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (2.2)

$$\eta_B = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) \tag{2.2}$$



ตัวอย่างที่ 1

สมมุติให้หม้อไอน้ำชนิดพอน้ำลูกหนึ่งซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ผลิตไอน้ำที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 180°C

ข้อมูลข้างล่างได้จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ข้อมูลตรวจวัด

ปริมาณการใช้ น้ำมันเตา	800	L/h (สมมติ น้ำมันเตามีค่าความร้อน ≈ 40 MJ/L)
ปริมาณน้ำป้อน	10,600	kg/h
ปริมาณโบลว์ดาวน์	600	kg/h
อุณหภูมิ น้ำป้อน	25	$^{\circ}\text{C}$
หม้อไอน้ำทำงาน	6,000	h/y
ไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท		
ราคาน้ำมันเตาสมมติให้เท่ากับ	14	B/L
จงคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ (โดยใช้วิธีตรง)		

วิธีคำนวณ

ค่าความร้อนของน้ำ 25°C	= 105		kJ/kg
ค่าความร้อนของน้ำ 180°C	= 763		kJ/kg
ค่าความร้อนของไอน้ำ 180°C	= 2778		kJ/kg
ปริมาณการผลิตไอน้ำ	= 10,600 - 600 = 10,000		kg/h
ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ	= ค่าความร้อนของน้ำจาก 25°C เป็น 180°C + ค่าความร้อนของน้ำ 180°C เป็นไอน้ำ 180°C		
	= $10,600 \times (763 - 105) + 10,000 \times (2,778 - 763)$		
	= 27,124,800	kJ/h	
พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิง	= $800 \times 40,000$	= 32,000,000	kJ/h
ดังนั้น ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	= $27,124,800 / 32,000,000$	= 0.847 (84.7%)	
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ต่อปี	= $800 \times 6,000$	= 4,800,000	L/y
ค่าน้ำมันเตาต่อปี	= $4,800,000 \times 14$	= 67,200,000	B/y
ราคาไอน้ำต่อตัน	= $67,200,000 / (10 \times 6,000)$	= 1,120	B/t

ตารางแสดงค่าเอนทาลปีของน้ำที่ค่าความดันต่างๆ

Pressure (gauge) bar	Temp $^{\circ}\text{C}$	Enthalpy in kJ/kg		
		Water	Evaporation	Steam
		h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg
0.48	80.34	336.40	2307.17	2643.57
0.49	80.85	338.54	2305.86	2644.41
0.50	81.35	340.66	2304.58	2645.23
1.00	99.64	417.60	2257.22	2674.82
1.50	111.38	467.18	2225.98	2693.17
2.00	120.23	504.74	2201.77	2706.50
2.50	127.43	535.37	2181.57	2716.94
3.00	133.54	561.45	2164.02	2725.47
3.50	138.87	584.29	2148.36	2732.65
4.00	143.62	604.70	2134.12	2738.82
4.50	147.91	623.20	2121.00	2744.19
5.00	151.84	640.16	2108.78	2748.94
5.50	155.46	655.86	2097.32	2753.18
6.00	158.83	670.49	2086.50	2756.99
6.50	161.99	684.21	2076.23	2760.44
7.00	164.95	697.14	2066.43	2763.58
7.50	167.76	709.39	2057.06	2766.44
8.00	170.42	721.03	2048.05	2769.08
8.50	172.95	732.13	2039.39	2771.51
9.00	175.36	742.74	2031.02	2773.76
9.50	177.67	752.92	2022.93	2775.84
10.00	179.89	762.70	2015.08	2777.78
10.50	182.02	772.12	2007.47	2779.59

ตัวอย่างที่ 2

จากตัวอย่างที่ 1 และจากการตรวจวัดการสูญเสียความร้อนจากแหล่งต่างๆ ของหม้อไอน้ำ พบได้ว่า

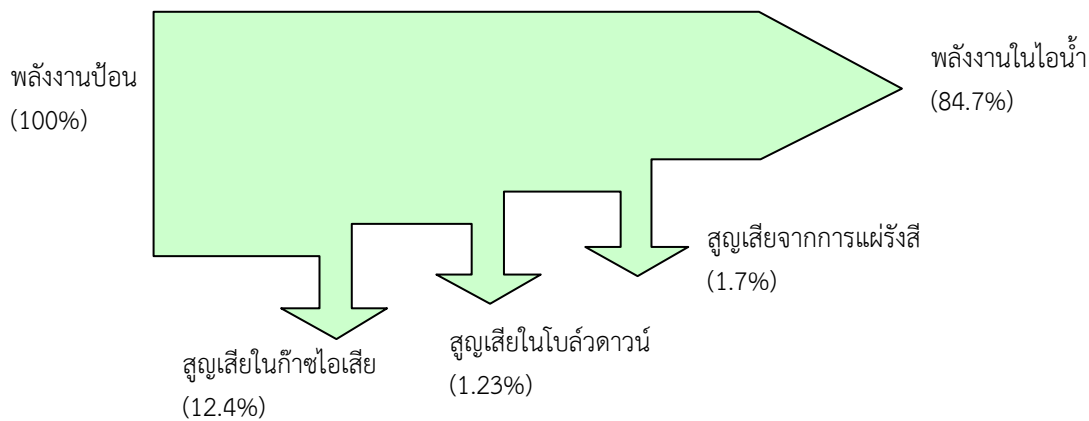
การสูญเสียความร้อนจากปล่อง = 12.4 % (ผลจากการตรวจวัดไอเสีย)

การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี = 1.7 %

จึงคำนวณหาการสูญเสียจากโบลว์ดาวน์และประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ

วิธีคำนวณ

การสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์	= 600 × (763 - 105)	= 394,800	kJ/h
	= 394,800 / 32,000,000	= 1.23	%
จากสมการที่ (2.2) ประสิทธิภาพสุทธิของหม้อไอน้ำ		= 100 - 12.4 - 1.7 - 1.23	= 84.7 %



2.6 การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

หม้อไอน้ำโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพ 70-80% หมายความว่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง 100 ส่วน สามารถให้ความร้อนกับน้ำได้ 70-80 ส่วนเท่านั้น พลังงานส่วนที่เหลือจะสูญเสียไปกับก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งทางปล่อง ผ่านพื้นผิวของหม้อไอน้ำ และน้ำที่ต้องระบายทิ้งเป็นระยะ แนวทางและวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีรายละเอียด ดังนี้

2.6.1 การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง

การควบคุมประสิทธิภาพการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับสูงตลอดเวลา มีผลอย่างยิ่งต่อการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบไอน้ำ การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้สูงขึ้นสามารถทำได้โดยการปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม ซึ่งผู้ดูแลหม้อไอน้ำสามารถดำเนินการได้แม้ว่าบางครั้งจะไม่มีเครื่องมือตรวจวัดและวิเคราะห์ก๊าซไอเสียก็ตาม อย่างไรก็ตามหากเป็นไปได้ การตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซเผาไหม้เป็นประจำ จะช่วยให้ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด การติดตั้งเครื่องควบคุมและปรับปริมาณ O₂ (Continuous Oxygen Trimming) จะช่วยให้หม้อไอน้ำทำงานด้วยการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดเวลา สำหรับหม้อไอน้ำแบบท่อขนาดใหญ่ มักจะติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวไว้

การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศจำเป็นต้องปรับตั้งที่ทุกๆ ภาระการทำงาน เช่น หัวเผาทำงานแบบเป็นขั้น ให้ปรับตั้งค่าสำหรับแต่ละขั้น หัวเผาทำงานแบบต่อเนื่องให้ปรับตั้งอย่างน้อยที่ภาระต่ำ ปานกลางและสูง ในการปรับตั้งเริ่มจากการบังคับหัวเผาให้ทำงานที่ภาระใดภาระหนึ่ง จากนั้นตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย แล้วปรับแดมเปอร์อากาศ เพื่อให้ร้อยละของ O₂ ในก๊าซไอเสียใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานหรือปริมาณ CO₂ มีค่าสูงสุด ทั้งนี้ก๊าซไอเสียที่ปล่อยทิ้งต้องไม่เกิดเขม่าดำและปริมาณ CO ไม่เกิน 200 ppm ให้ล็อกตำแหน่งนั้นไว้ แล้วปรับตั้งสำหรับที่ภาระอื่นๆ ต่อไป

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion Efficiency)

ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$\eta_c = 100 - L_1 \tag{2.3}$$

ผู้ผลิตหม้อไอน้ำบางรายใช้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เป็นประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ขณะที่ผู้ผลิตหม้อไอน้ำบางรายใช้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นไอน้ำซึ่งรวมการสูญเสียพลังงานจากการแผ่รังสีไว้ด้วย เป็นประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

จากสมการที่ (2.3) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%) ของหม้อไอน้ำเท่ากับ 100 หักด้วยร้อยละ (%) ของความร้อนที่สูญเสียทางปล่องไฟ

สำหรับค่าการสูญเสียความร้อนทางปล่องไฟ เราสามารถคำนวณตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกตารางของเชื้อเพลิง โดยน้ำมันดีเซลใช้ตารางที่ 2-6 NO.2 OIL, น้ำมันเตาใช้ตารางที่ 2-7 NO.6 OIL และก๊าซธรรมชาติใช้ตารางที่ 2-8 NATURAL GAS
2. วัด %CO₂ จากก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ ณ ตำแหน่งที่ใกล้หม้อไอน้ำมากที่สุด
3. ถ้าเครื่องมือวัดที่ใช้ เป็นเครื่องมือวัด %O₂ ของก๊าซไอเสีย ให้ใช้กราฟในรูปที่ 2-12 ในการเทียบค่า (Convert) %O₂ ไปเป็น %CO₂
4. วัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ปล่องไฟ แล้วลบด้วยอุณหภูมิห้อง (ค่าอุณหภูมิในตารางที่ 2-6, 2-7 และ 2-8 เป็นผลต่างของอุณหภูมิปล่องกับอุณหภูมิห้อง, หน่วยเป็น °F)
5. หา % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟจากตาราง

หมายเหตุ

- ก) ตารางที่ 2-6, 2-7 และ 2-8 เป็นตารางที่คิดจากค่าความร้อนสูงของน้ำมันเตา ถ้าคิดด้วยค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตาจะต้องลบค่า % ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟประมาณ 4-5 %
- ข) ดั้งนั้นก่อนการใช้งานตารางหรือกราฟใดๆ ที่เกี่ยวกับ%ของความร้อนต่างๆ จะต้องตรวจสอบก่อนว่าตารางหรือกราฟนั้น ใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง ไม่เช่นนั้นเมื่อนำค่าที่ได้ไปใช้งานต่อ เช่น คำนวณต้นทุนของการผลิตไอน้ำ จะผิดพลาดไป ถ้าไม่สามารถหาข้อมูลได้ว่าตารางหรือกราฟนั้น ใช้กับค่าความร้อนสูงหรือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง อาจสังเกตจากเครื่องมือวัด เช่น ถ้าผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกาจะใช้ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง ถ้าผลิตจากประเทศญี่ปุ่นหรือยุโรปจะใช้ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง
- ค) ข้อสังเกตจากตาราง %ความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องไฟ
 - ถ้าอุณหภูมิของไอเสียสูง จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องมาก
 - ถ้า %CO₂ สูง หรือ %O₂ ต่ำ จะมีความร้อนที่สูญเสียออกไปจากปล่องน้อย

ตารางที่ 2-6 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันดีเซล

STACK LOSS %- NO.2 OIL																																	
DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																	
%																																	
CO ₂	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000	
3.0	24.1	25.8	27.7	29.3	31.3	33.9	34.8	36.4	38.2	40.0	42.9	44.8	45.5	47.0	49.0	50.8	52.4	54.3	56.0	57.9	59.6	61.5	63.5	65.0	66.8	68.8							
3.5	21.7	23.1	24.8	26.2	27.8	29.2	31.7	32.5	33.9	35.3	36.9	38.5	40.0	41.7	43.1	44.8	46.1	47.8	49.4	50.9	52.2	53.9	55.7	57.0	58.3	60.0	63.8	67.8					
4.0	19.9	21.2	22.5	24.9	25.2	26.5	27.9	29.2	31.7	32.0	33.3	35.8	36.0	37.3	38.7	40.0	41.4	42.9	44.1	45.5	46.9	48.1	49.8	50.9	52.1	53.8	57.0	60.2	63.9	67.1			
4.5	18.4	19.7	20.8	22.0	23.2	24.4	25.6	26.9	28.0	29.3	30.4	31.8	32.9	34.2	35.6	36.7	37.8	39.0	40.1	41.2	42.5	43.8	45.0	46.3	47.4	48.8	51.8	54.6	57.8	60.9	63.9	66.9	
5.0	17.2	18.5	19.5	20.7	21.7	22.7	23.8	24.9	26.0	27.1	28.2	29.4	30.3	31.5	32.7	33.8	34.9	35.9	36.8	38	39.2	40.1	41.7	42.4	43.7	44.7	47.4	50.1	52.9	55.8	58.3	61.2	
5.5	16.3	17.4	18.4	19.4	20.4	21.3	22.3	23.3	24.3	25.4	26.3	27.3	28.4	29.4	30.6	31.4	32.4	33.6	34.5	35.3	36.4	37.4	38.4	39.6	40.3	41.7	44.0	46.5	49.0	51.8	54.1	56.5	
6.0	15.6	16.5	17.4	18.3	19.3	20.4	21.2	22.0	23.0	23.9	24.9	25.8	26.8	27.7	28.6	29.5	30.4	31.4	32.3	33.1	34.2	35.0	36.0	36.9	37.9	38.9	41.0	43.5	45.8	48.0	50.3	52.8	
6.5	14.9	15.7	16.7	17.5	18.4	19.3	20.1	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.3	26.1	27.0	27.8	28.8	29.6	30.6	31.3	32.3	33.0	34.1	34.8	35.7	36.5	38.7	40.8	42.9	45.1	47.5	49.7	
7.0	14.4	15.3	16.0	16.8	17.8	18.4	19.3	20.1	20.9	21.7	22.4	23.2	24.1	24.9	25.7	26.5	27.3	28.1	28.9	29.8	30.5	31.4	32.3	33.0	33.8	34.6	36.5	38.6	40.5	42.7	44.7	46.6	
7.5	13.9	14.6	15.4	16.2	16.9	17.7	18.5	19.2	20.1	20.7	21.3	22.2	23.0	23.8	24.5	25.2	26	26.8	27.5	28.2	29.0	29.8	30.6	31.3	32.3	32.9	34.8	36.5	38.5	40.3	42.3	44.2	
8.0	13.5	14.3	14.9	15.7	16.3	17.1	17.7	18.5	19.3	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.2	25	25.7	26.3	27	27.8	28.5	29.2	30.0	30.8	31.5	33.2	35.0	36.8	38.5	40.2	42.1	
8.5	13.2	13.8	14.5	15.2	15.8	16.5	17.3	17.8	18.6	19.3	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.3	23.9	24.6	25.3	25.9	26.7	27.3	28.0	28.8	29.4	30.1	31.8	33.5	35.2	36.9	38.7	40.2	
9.0	12.8	13.4	14.1	14.7	15.4	16.0	16.7	17.3	17.9	18.6	19.3	20	20.6	21.2	21.8	22.4	23.1	23.8	24.4	25	25.7	26.3	27.0	27.7	28.3	28.9	30.5	32.1	33.8	35.3	37.0	38.5	
9.5	12.5	13.2	13.7	14.3	14.9	15.7	16.3	16.8	17.4	18.1	18.6	19.3	19.9	20.5	21.1	21.7	22.4	22.9	23.5	24.1	24.8	25.4	26.0	26.7	27.2	27.9	29.4	31.0	32.5	34.0	35.5	37.2	
10	12.3	12.8	13.4	14	14.6	15.2	15.7	16.3	16.9	17.5	18.1	18.7	19.3	20	20.5	21.0	21.6	22.2	22.8	23.4	24.0	24.6	25.1	25.8	26.3	27.0	28.3	29.9	31.4	32.9	34.4	35.7	
11	11.8	12.4	12.8	13.4	13.9	14.5	15	15.5	16.7	17.2	17.2	17.8	18.3	18.7	19.4	20.0	20.5	20.9	21.5	22	22.6	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	26.7	28.0	29.4	31.8	32.1	33.5	
12	11.4	11.8	12.5	12.9	13.4	13.9	14.4	14.9	15.9	16.4	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	20.0	20.5	20.9	21.4	22.9	22.4	22.9	23.5	24.0	25.2	26.5	27.8	29.0	30.2	31.7	
13	11.2	11.6	12.1	12.5	12.9	13.4	13.9	14.3	15.3	15.8	15.8	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1	18.6	19.1	19.6	20.1	20.5	21.1	21.3	21.8	22.3	22.8	24.0	25.2	26.3	27.5	28.8	30.0	
14		11.3	11.8	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.8	15.3	15.3	15.6	16.2	16.5	16.9	17.4	17.8	18.3	18.7	19.2	19.7	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.9	24.1	25.2	26.2	27.4	28.6	
15			11.4	11.7	12.4	12.6	13.1	13.5	14.3	14.8	14.8	15.3	15.6	15.9	16.4	16.7	17.3	17.7	18.1	18.4	18.9	19.4	19.8	20.3	20.6	21.0	22.0	23.1	24.2	25.2	26.2	27.3	

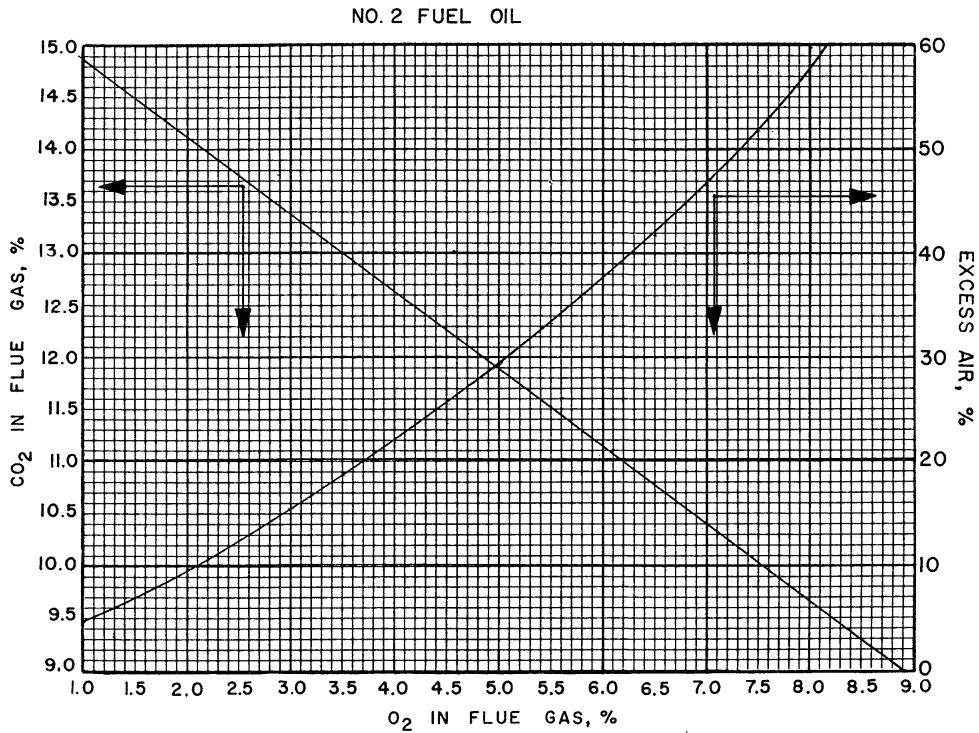
ตารางที่ 2-7 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันเตาซี

STACK LOSS -%- NO.6 OIL																																
DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																
%	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000
3.0	24.5	26.5	28.5	30.2	32.2	34.5	36.5	38.2	40.4	42.2	44.4	46.4	48.2	50.0	52.3	54.3	56.3	58.2	60.3	62.0	64.1	66.2	68.1	70.1								
3.5	21.8	23.4	25.2	26.8	28.6	30.4	32.1	33.8	35.5	37.4	39.0	4.6	42.2	44.0	45.6	47.5	49.2	51.0	52.8	54.0	56.0	57.8	59.9	61.1	63.0	64.9	69.0					
4.0	19.8	21.2	22.8	24.2	25.7	27.3	28.8	30.2	31.6	32.5	34.8	36.3	37.8	39.4	40.8	42.2	43.8	45.1	46.9	48.2	49.8	51.2	52.9	54.2	56.0	57.8	61.1	65.0	68.9			
4.5	18.2	19.4	20.8	22.2	23.5	24.8	26.2	27.4	28.8	30.4	31.5	33.0	34.2	35.4	37.0	38.1	39.4	41.0	42.2	43.5	45.0	46.3	47.9	49.0	50.1	51.9	55.0	58.2	61.8	65.1	68.5	
5.0	16.8	18.0	19.3	20.4	21.7	22.8	23.2	25.3	26.6	27.8	29.0	30.3	31.4	32.6	33.8	35.3	36.2	37.5	38.3	39.8	41.0	42.3	43.8	44.9	46.1	47.5	50.1	53.6	56.3	59.8	62.3	65.8
5.5	15.8	16.8	18.0	19.2	20.3	21.3	22.5	23.5	24.6	25.8	26.9	28.0	29.2	30.2	31.4	32.5	33.5	34.7	35.8	37.0	37.9	39.2	40.1	41.3	42.3	43.8	46.1	49.1	52.0	54.7	57.8	60.1
6.0	14.8	15.8	16.9	18.0	19.0	20.0	21.1	22.0	23.1	24.2	25.2	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.5	34.3	35.3	36.5	37.5	38.3	39.7	40.5	43.0	45.8	48.2	50.9	53.5	56.0
6.5	14.3	15.2	16.1	17.1	18.0	18.9	19.9	20.8	21.8	22.8	23.7	24.6	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.3	33.4	34.3	35.1	36.1	37.1	38.0	40.2	42.8	45.1	47.6	49.9	52.1
7.0	13.5	14.4	15.3	16.2	17.1	17.9	18.8	19.7	20.7	21.5	22.4	23.3	24.2	25.0	25.8	26.8	27.7	28.6	29.0	30.2	31.2	32.2	33.0	33.9	34.9	35.8	37.9	40.1	42.1	44.4	46.8	49.0
7.5	13.0	13.8	14.6	15.5	16.3	17.3	18.0	18.8	19.7	20.5	21.4	22.2	22.9	23.7	24.6	25.4	26.3	27.2	27.9	28.8	29.6	30.5	31.2	32.1	33.0	34.9	35.9	37.9	40.0	42.0	44.1	46.1
8.0	12.5	13.3	14.1	14.8	15.7	16.4	17.3	18.0	18.8	19.6	20.4	21.2	21.9	22.7	23.5	24.2	25.0	25.8	26.6	27.4	28.2	29.0	29.9	30.6	31.5	32.1	34.1	36.0	38.0	40.0	41.9	43.9
8.5	12.2	12.8	13.6	14.4	15.1	15.7	16.6	17.3	18.0	18.7	19.6	20.3	21.0	21.6	22.5	23.3	23.9	24.7	25.5	26.2	26.8	27.6	28.2	29.1	29.9	30.8	32.6	34.2	36.2	38.0	39.9	41.8
9.0	11.7	12.4	13.2	13.8	14.6	15.3	15.9	16.6	17.4	18.1	18.8	19.5	20.2	20.8	21.6	22.3	22.9	23.7	24.4	25.0	25.7	26.5	27.1	27.9	28.7	29.4	31.1	32.9	34.6	36.3	38.0	39.9
9.5	11.4	12.1	12.7	13.4	14.0	14.7	15.4	16.0	16.7	17.5	18.1	18.7	19.4	20.0	20.7	21.4	22.1	22.8	23.5	24.0	24.7	25.4	26.1	26.8	27.5	28.1	29.8	31.2	33.2	34.9	36.4	38.1
10	11.2	11.7	12.3	13.0	13.7	14.4	14.8	15.5	16.2	16.8	17.5	18.2	18.7	19.4	20.0	20.6	21.3	21.9	22.6	23.2	23.8	24.5	25.1	25.8	26.4	27.0	28.7	30.1	31.8	33.5	35.0	36.7
11	10.6	11.3	11.8	12.4	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3	15.8	16.5	17.0	17.6	18.2	18.8	19.4	20.0	20.6	21.2	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.8	25.2	26.8	28.1	29.8	31.2	32.5	34.1
12	10.2	10.7	11.3	11.7	12.3	12.8	13.4	13.8	14.5	15.1	15.6	16.2	16.7	17.2	17.8	18.3	18.8	19.4	19.9	20.4	21.0	21.6	22.1	22.7	23.1	23.8	25.0	26.4	27.9	29.1	30.5	31.9
13		10.3	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8	13.3	13.8	14.4	14.8	15.4	15.8	16.3	16.8	17.3	17.9	18.4	18.9	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	21.9	22.4	23.8	24.9	26.2	27.5	28.9	30.0
14		9.8	10.4	10.8	11.4	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.3	14.7	15.2	15.6	16.2	16.6	17.1	17.5	18.0	18.5	18.8	19.4	19.9	20.4	20.9	21.2	22.5	23.7	24.9	26.1	27.2	28.5
15			10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.4	12.7	13.3	13.7	14.2	14.6	15.0	15.4	15.8	16.4	16.8	17.3	17.7	18.2	18.6	19.0	19.5	19.9	20.3	21.5	22.6	23.8	24.9	25.9	27.1
16				10.3	10.7	11.1	11.5	11.8	12.3	12.8	13.3	13.7	14.0	14.4	14.8	15.3	15.7	16.2	16.6	16.9	17.4	17.9	18.2	18.8	19.1	19.5	20.6	21.6	22.7	23.8	24.8	25.9

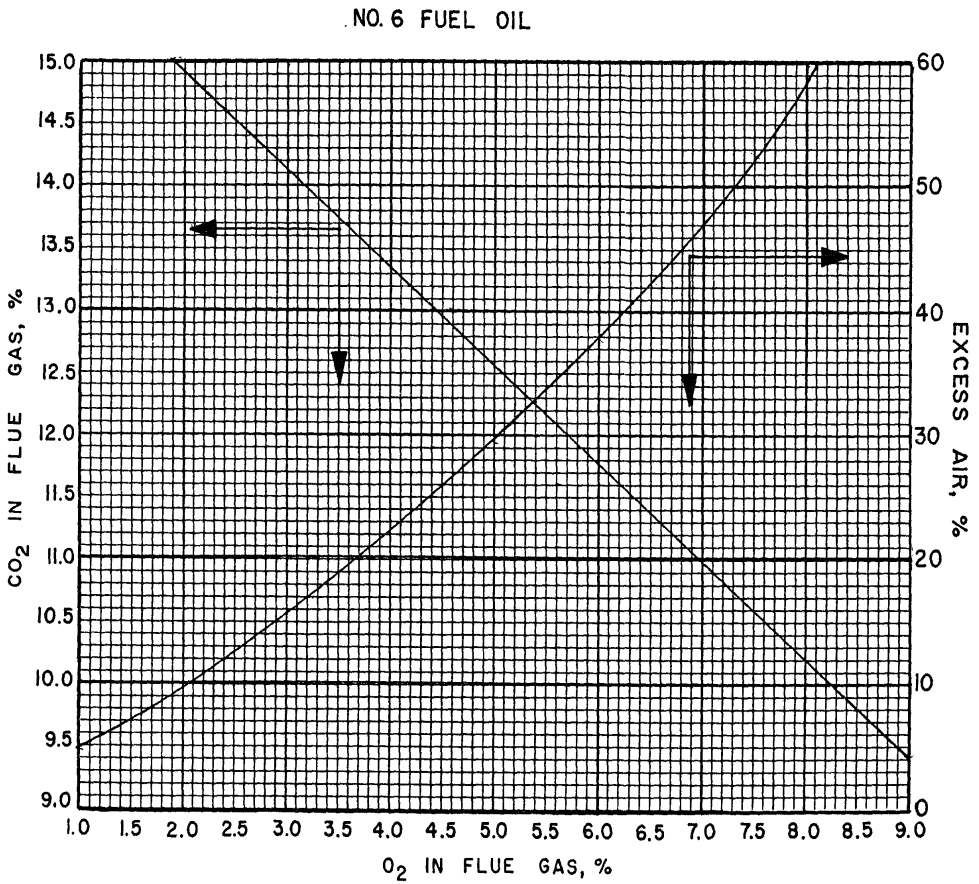
ตารางที่ 2-8 ร้อยละการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสีย สำหรับน้ำมันก๊าซธรรมชาติ

STACK LOSS -%- NATURAL GAS																																		
DIFFERENCE BETWEEN FLUE GAS AND ROOM TEMPERATURES IN DEGREES FAHRENHEIT																																		
%	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	750	800	850	900	950	1000		
3.0	23.1	24.4	25.9	27.2	28.6	30.0	31.3	32.8	34.1	35.8	36.9	38.2	39.8	41.0	42.2	43.8	45.0	46.3	47.8	49.0	50.0													
3.5	21.2	22.5	23.8	24.9	26.1	27.2	28.4	29.6	30.9	32.0	33.2	34.4	35.8	36.8	38.0	39.2	40.3	41.6	42.8	43.8	45.0	46.2	47.7	48.3	49.8									
4.0	19.9	20.9	22.0	23.1	24.1	25.1	26.2	27.2	28.3	29.4	30.4	31.8	32.5	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.9	40.9	42.1	43.0	44.1	45.2	46.2	48.8							
4.5	18.9	19.9	20.9	21.8	22.7	23.6	24.5	25.5	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.0	34.0	34.9	35.9	36.8	37.8	38.6	39.8	40.4	41.5	42.6	44.8	47.2	49.8					
5.0	18.0	18.9	19.8	20.6	21.4	22.2	23.1	24.0	24.9	25.8	26.8	27.5	28.3	29.1	30.1	30.9	31.8	32.5	33.6	34.3	35.7	36.2	36.9	37.8	38.8	39.7	41.8	43.8	46.0	48.2				
5.5	17.4	18.1	18.9	19.8	20.5	21.2	22.1	22.9	23.8	24.5	25.2	26.2	26.9	27.8	28.5	29.2	30.0	30.8	31.8	32.3	33.2	34.1	34.9	35.8	36.3	37.3	39.2	41.0	43.0	45.3	47.2	49.0		
6.0	16.8	17.4	18.2	18.9	19.6	20.4	21.1	21.8	22.7	23.3	24.1	24.9	25.5	26.2	27.0	27.8	28.4	29.2	30.0	30.8	31.5	32.2	32.9	33.8	34.3	35.2	36.8	38.8	40.4	42.5	44.3	46.2		
6.5	16.3	16.9	17.6	18.4	19.0	19.8	20.4	21.1	21.8	22.4	23.2	23.8	24.5	25.2	25.9	26.5	27.2	27.9	28.7	29.2	30.0	30.9	31.4	32.1	32.8	33.5	34.6	36.8	38.4	40.3	42.0	43.8		
7.0	15.8	16.5	17.1	17.8	18.4	19.1	19.8	20.4	21.0	21.8	22.3	22.9	23.6	24.2	24.9	25.5	26.2	26.8	27.4	28.0	28.8	29.4	30.0	30.8	31.2	32.0	33.8	35.3	36.8	38.3	40.0	41.8		
7.5	15.5	16.1	16.7	17.2	17.9	18.5	19.1	19.8	20.3	20.9	21.5	22.2	22.8	23.3	24.0	24.6	25.2	25.8	26.4	26.9	27.7	28.2	28.8	29.4	30.1	30.8	32.2	33.8	35.2	36.8	38.3	39.9		
8.0	15.2	15.7	16.3	16.9	17.4	18.0	18.6	19.2	19.8	20.3	20.9	21.5	22.1	22.8	23.2	23.8	24.4	25.0	25.5	26.0	26.7	27.2	27.8	28.4	29.0	29.5	31.0	32.4	33.8	35.4	36.8	38.2		
8.5	14.9	15.4	15.9	16.5	17.1	17.6	18.2	18.7	19.3	19.8	20.4	20.9	21.4	22.0	22.5	23.1	23.7	24.2	24.8	25.3	25.8	26.4	26.9	27.4	28.1	28.6	29.9	31.3	32.8	34.2	35.4	36.8		
9.0	14.6	15.2	15.7	16.2	16.6	17.2	17.8	18.3	18.8	19.3	19.9	20.4	20.9	21.4	21.9	22.5	23.0	23.5	24.1	24.5	25.2	25.8	26.2	26.7	27.2	27.8	29.0	30.3	31.8	33.0	34.3	35.7		
9.5	14.4	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.9	18.4	18.9	19.5	19.9	20.6	20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4	23.8	24.4	24.9	25.4	25.9	26.4	26.9	28.2	29.4	30.8	32.0	33.3	34.5		
10	14.2	14.6	15.2	15.6	16.1	16.6	17.1	17.5	18.1	18.5	19.0	19.5	20.0	20.4	20.8	21.4	21.8	22.4	22.8	23.3	23.8	24.2	24.8	25.2	25.8	26.2	27.4	28.6	29.8	31.2	32.2	33.4		
11		14.4	14.7	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.4	17.8	18.4	18.8	19.3	19.6	20.2	20.5	20.9	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.7	24.2	24.6	25.0	26.2	27.2	28.3	29.5	30.8	31.8		
12			14.4	14.8	15.2	15.6	16.1	16.5	16.9	17.3	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.2	20.6	21.1	21.4	21.9	22.3	22.8	23.2	23.6	24.0	25.1	26.1	27.2	28.3	29.2	30.3		

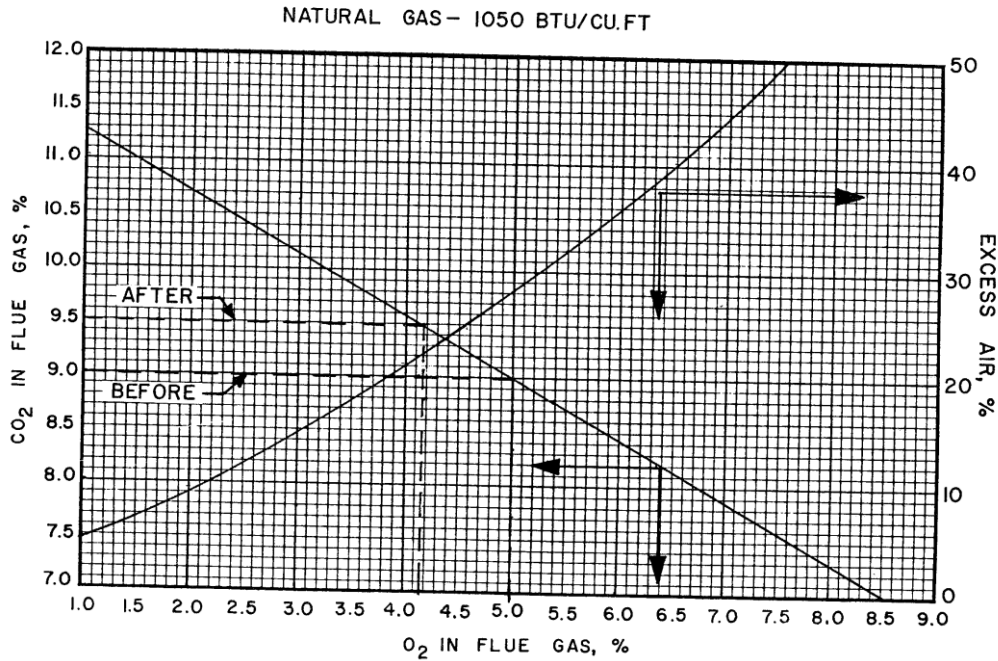
รูปที่ 2-12 ใช้สำหรับการหาอากาศเกิน (Excess air) จาก %O₂ หรือ %CO₂ ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



ก) ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O₂ และ %CO₂ ของน้ำมันดีเซล



ข) ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O₂ และ %CO₂ ของน้ำมันเตา C



ค) ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O₂ และ %CO₂ ของก๊าซธรรมชาติ
รูปที่ 2-12 ความสัมพันธ์ของ Excess air, %O₂ และ %CO₂ ของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ตัวอย่างที่ 3

จากการตรวจวัดหม้อไอน้ำลูกหนึ่งพบว่าปริมาณ O₂ ในก๊าซไอเสียมีค่าเท่ากับ 8% และอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ 246°C ขณะที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 35°C จงประเมินการสูญเสียความร้อนของไอเสียและประสิทธิภาพของการเผาไหม้หม้อไอน้ำ
วิธีคำนวณ

จากรูปที่ 2-12 ข) เมื่อ O₂ เท่ากับ 8% และเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันเตา ดังนั้น ปริมาณอากาศส่วนเกินจะเท่ากับ 58% และ CO₂ เท่ากับ 10.2% จากตารางที่ 2-7 เมื่ออุณหภูมิไอเสียหักด้วยอุณหภูมิห้อง ซึ่งคำนวณได้เท่ากับ 211°C (380°F)

ฉะนั้น	การสูญเสียในก๊าซไอเสีย	≈ 16.8	% (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง HHV)
	การสูญเสียในก๊าซไอเสีย	≈ 16.8 - 4.5 = 12.3	% (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ LHV)
	ประสิทธิภาพการเผาไหม้	= 100 - 12.3 = 87.7	% (พิจารณาที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ LHV)

2.6.2 การควบคุมน้ำระบาย (โบลว์ดาวน์)

การระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ หรือ โบลว์ดาวน์ เป็นการสูญเสียพลังงานที่สำคัญอย่างหนึ่ง รองจากการสูญเสียไปกับก๊าซไอเสีย โดยทั่วไปควรมีปริมาณน้ำที่ระบายออกไม่เกิน 5% ของปริมาณน้ำป้อนเข้า หม้อไอน้ำ ระหว่างการใช้งานหม้อไอน้ำ ความเข้มข้นและความเป็นด่างของน้ำที่อยู่ในหม้อไอน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพและการสึกกร่อนของโลหะที่เป็นเปลือกหม้อไอน้ำ ดังนั้น จึงต้องมีการระบายน้ำออกจากหม้อไอน้ำ เพื่อควบคุมความเข้มข้นของน้ำในหม้อไอน้ำไม่ให้มีค่าสูงเกินไป อย่างไรก็ตามการปล่อยน้ำระบายมากเกินไปจะทำให้มีความร้อนสูญเสียออกไปมากเช่นกัน การเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจึงอาจทำได้โดยการควบคุมการปล่อยน้ำระบายให้อยู่ในระดับให้ต่ำที่สุด

การควบคุมการโบลว์ดาวน์ ทำได้โดยการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ โดยนำน้ำจากหม้อไอน้ำมาวัดด้วยเครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า โดยต้องปล่อยน้ำระบายทิ้ง เพื่อไล่สิ่งสกปรกในท่อ แล้วจึงนำมาเข้าเครื่องวัด หากค่าที่วัดได้ต่ำกว่ามาตรฐานก็ควรลดความถี่หรือปริมาณการระบายลง

การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากน้ำระบาย

เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์ Q_B (kW) ได้จากสมการที่ (2.4)

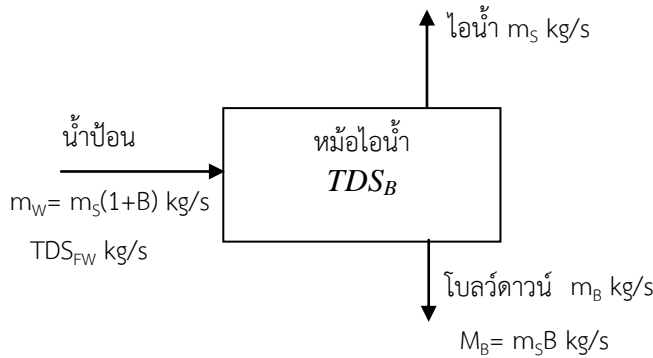
$$Q_B = m_B (h_B - h_W) \tag{2.4}$$

- เมื่อ
- m_B = อัตราการไหลของน้ำ, kg/s
 - C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.18 kJ/kg.K)
 - H_B = เอนทาลปีของน้ำโบลด์วาร์น, kJ/kg
 - H_W = เอนทาลปีของน้ำป้อน, kJ/kg
 - T_B = อุณหภูมิของน้ำโบลด์วาร์น, kJ/kg
 - T_W = อุณหภูมิของน้ำป้อน, kJ/kg

ค่าการสูญเสียความร้อนจากโบลด์วาร์น Q_B (kW) ที่ได้จากสมการที่ (2.4) เมื่อหารด้วยปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเราจะทราบค่าเป็นร้อยละของสูญเสียความร้อนจากการโบลด์วาร์น (B)

ในกรณีที่มีการตรวจวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าของทั้งน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำ เราสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการประเมินร้อยละของการโบลด์วาร์น (B) โดยใช้ตารางที่ 2-9

1. ตรวจวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำโดยใช้เครื่องมือวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ ซึ่งน้ำป้อนจะวัดในตำแหน่งก่อนเข้าหม้อไอน้ำ และน้ำในหม้อไอน้ำวัดจากน้ำที่ระบายทิ้ง
2. นำค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำไปเปิดตารางที่ 2-9 จะได้ร้อยละของน้ำโบลด์วาร์น (เทียบกับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้)



ตารางที่ 2-9 ร้อยละของปริมาณน้ำโบลด์วาร์น (เทียบกับปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้)

ค่าการนำไฟฟ้า ป้อน (µs/cm)	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในหม้อไอน้ำ (µs/cm)					
	3,000	3,500	4,000	5,000	6,000	7,000
100	3.45%	2.94%	2.56%	2.04%	1.69%	1.45%
200	7.14%	6.06%	5.26%	4.17%	3.45%	2.94%
300	11.11%	9.38%	8.11%	6.38%	5.26%	4.48%
400	15.38%	12.90%	11.11%	8.70%	7.14%	6.06%
500	20.00%	16.67%	14.29%	11.11%	9.09%	7.69%
600	25.00%	20.69%	17.65%	13.64%	11.11%	9.38%
700	30.43%	25.00%	21.21%	16.28%	13.21%	11.11%
800	36.36%	29.63%	25.00%	19.05%	15.38%	12.90%
900	42.86%	34.62%	29.03%	21.95%	17.65%	14.75%
1000	50.00%	40.00%	33.33%	25.00%	20.00%	16.67%

2.6.3 การปรับสภาพน้ำป้อน

ตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการระบายน้ำ คือ คุณภาพน้ำป้อน ถ้าน้ำป้อนมีสารละลายและสารแขวนลอยอยู่มาก จะส่งผลให้สารละลายและสารแขวนลอยในหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผู้ใช้หม้อไอน้ำจะต้องระบายน้ำในหม้อไอน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำและความร้อนที่อยู่ในน้ำ ดังนั้น น้ำที่ใช้กับหม้อไอน้ำควรมีการปรับสภาพให้ได้มาตรฐาน นอกจากนั้นผู้ใช้ต้อง

ควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำให้ได้ตามมาตรฐาน บ่อยครั้งพบว่ามีการระบายถี่เกินไป หรือ นานเกินไป ส่งผลให้คุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่ามาตรฐานมาก จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำและปรับตั้งการควบคุมอยู่เสมออย่างน้อยทุกเดือน

เหตุผลของการปรุงแต่งน้ำโดยอาศัยสารเคมี

- เพื่อป้องกันการเกาะตัวของตะกรันในหม้อไอน้ำ ซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี และอุณหภูมิของก๊าซที่ปล่องสูงมาก และเป็นการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น
- เพื่อควบคุมปริมาณตะกอน (Sludge) และตะกรันในหม้อไอน้ำ
- เพื่อลดการสึกหรอของหม้อไอน้ำ และท่อไอน้ำ (Steam Main) ซึ่งเกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำละลายตัวเป็นกรด
- เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงฟองลอยตัวไปกับไอน้ำ
- เพื่อลดการสึกกร่อนเนื่องจากออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

การเติมสารปรุงแต่งน้ำจะต้องให้ในปริมาณที่เหมาะสมควรจะปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยเฉพาะ การเติมสารมากเกินไปมีผลเสียเช่นกัน ควรปิดบิ๊มเติมสารเมื่อหม้อไอน้ำไม่ทำงานเพื่อให้ปริมาณสารที่เหมาะสม ควรควบคุมบิ๊มเติมสารให้พร้อมกับบิ๊มน้ำเข้าหม้อไอน้ำ (Feed Water Pump)

ตัวอย่างที่ 4

จากการตรวจวัดสภาพนำไฟฟ้าของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าสภาพนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำเท่ากับ 200 และ 3,500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ เมื่อเจ้าหน้าที่ได้ทำการปรับคุณภาพของน้ำป้อนเพื่อให้มีคุณภาพดีขึ้นและวัดค่าสภาพนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ สถานประกอบการจะสามารถลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงได้เท่าไร

วิธีคำนวณ

จากตารางที่ 2-9 เราสามารถประเมินร้อยละของการปล่อยน้ำโบล์วตาวน์ได้เท่ากับ 6.06 (สภาพนำไฟฟ้าของน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำเท่ากับ 200 และ 3,500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) เมื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำป้อนให้ดีขึ้นโดยมีค่าสภาพนำไฟฟ้าได้เท่ากับ 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ประเมินได้ว่าการปล่อยน้ำโบล์วตาวน์จะลดลงเหลือร้อยละ 2.94

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ปริมาณน้ำป้อนสามารถลดลงเหลือ} &= (100 + (6.06 - 2.94)) \times 10,000 \\ &= 103.12 \times 10,000 \\ &= 10,312 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำป้อนเดิม 10,600 ปริมาณการใช้น้ำลดลงเท่ากับ $10,600 - 10,312 = 288 \text{ kg/h}$ (หรือ 1,728,000 kg/y เมื่อจำนวนชั่วโมงทำงานของหม้อไอน้ำเท่ากับ 6,000 h/y)

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ} &= 10,312 \times (763 - 105) + 10,000 \times (2,766 - 763) \\ &= 26,815,296 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำลดลง} &= 27,004,800 - 26,815,296 \\ &= 189,504 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.4%

$$\begin{aligned} \text{พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง} &= 189,504 / 0.844 \\ &= 224,530.8 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} &= 224,530.8 \times 6,000 / 1,000 \text{ MJ/y} \\ &= 1,347,184.8 \text{ MJ/y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นปริมาณน้ำมันที่ลดลงต่อปี} &= 1,347,184.8 / 40 \text{ L/y} \\ &= 33,679.6 \text{ L/y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำมันเตาต่อปี} &= (4,800,000 - 33,679.6) \times 14 \text{ B/y} \\ &= 66,728,485.6 \text{ B/y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ราคาไอน้ำต่อตัน} &= 66,728,485.6 / (10 \times 6,000) \text{ B/t} \\ &= 1,112 \text{ B/t} \end{aligned}$$

2.6.4 การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะถูกนำไปใช้ในการต้มน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ โดยผ่านพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อไอน้ำแต่ละลูกจะแตกต่างกัน ดังนั้น จึงเกิดการสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสียในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการสูญเสียประมาณ 10-30% ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย

- **ปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ไม่เหมาะสม** ถ้าปริมาณอากาศมากเกินไป อากาศส่วนที่ไม่ได้ช่วยในการเผาไหม้ จะพาความร้อนจากห้องเผาไหม้ ีงทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่สูงขึ้น ดังนั้น ควรทำการปรับอัตราส่วนอากาศ (Air Ratio) ให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด
- **เขม่า (Soot)** เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงแข็งจะเกิดเขม่ามากกว่าเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ โดยเขม่าจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่กว่าควัน (Smoke) ดังนั้นจึงเกาะและสะสมอยู่บนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเขม่ามากขึ้นอุณหภูมิไอเสียที่ออกปล่องจะสูงขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องมากขึ้น โดยทั่วไปเขม่าที่หนาขึ้น 1 มิลลิเมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20%
- **ตะกรัน (Scale)** เกิดจากการรวมตัวของสารละลายที่อยู่ในน้ำเกิดเป็นของแข็งเกาะบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดต่ำลง ซึ่งจะทำให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมากขึ้น โดยสังเกตจากอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ซึ่งตะกรันที่หนาขึ้นทุกๆ 1 mm. จะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 2%

ปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาจะทำให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้การสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียเพิ่มขึ้น ดังนั้น ผู้ใช้หม้อไอน้ำควรตรวจสอบอุณหภูมิไอเสียเป็นประจำโดยทำการบันทึกอุณหภูมิไอเสียหลังจากปรับตั้งปริมาณอากาศที่เหมาะสมและทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว อุณหภูมิไอเสียที่ได้ไม่ควรเกินค่าในตารางที่ 2-10 บวกกับอุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อมลบด้วย 20 นอกจากนี้ หลังจากใช้งานไประยะหนึ่งจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้น ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิไอเสียสูงกว่าเดิม 20°C ควรทำความสะอาดโดยการขูดเขม่า เพื่อลดการสูญเสียความร้อนดังกล่าว

ตารางที่ 2-10 มาตรฐานอุณหภูมิไอเสียของหม้อไอน้ำ (°C)

ขนาดพิกัดหม้อไอน้ำ	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	เชื้อเพลิงก๊าซ	ก๊าซทิ้งกระบวนการผลิต
หม้อไอน้ำขนาดใหญ่เพื่อผลิตไฟฟ้า	-	145	110	200
หม้อไอน้ำอื่นๆ	200	200	170	200
30 ตันต่อชั่วโมง หรือมากกว่า				
10 ถึง 30 ตันต่อชั่วโมง	200	200	170	-
5 ถึง 10 ตันต่อชั่วโมง	-	220	200	-
น้อยกว่า 5 ตันต่อชั่วโมง	-	250	220	-

หมายเหตุ ใช้ที่อุณหภูมิบรรยากาศ 20°C และภาวะ 100% และพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด

การคำนวณการสูญเสียความร้อนจากไอเสีย

การสูญเสียความร้อนออกทางปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำแต่ละชุดไม่เท่ากัน เราสามารถคำนวณการสูญเสียความร้อนจากไอเสีย จากตารางที่ 2-6 ถึง 2-8 และรูปที่ 2-12 ในหัวข้อที่ 2.6.1

ตัวอย่างที่ 5

จากตัวอย่างที่ 1 และ 3 การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียพบว่าเท่ากับ 8% และอุณหภูมิไอเสียเท่ากับ 246°C โดยที่อุณหภูมิห้องเท่ากับ 35°C หากต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยการปรับลดปริมาณ O₂ ในก๊าซไอเสียลงเหลือ 5% ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าเท่าใด (พิจารณาเฉพาะมาตรการปรับลดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียเท่านั้น)

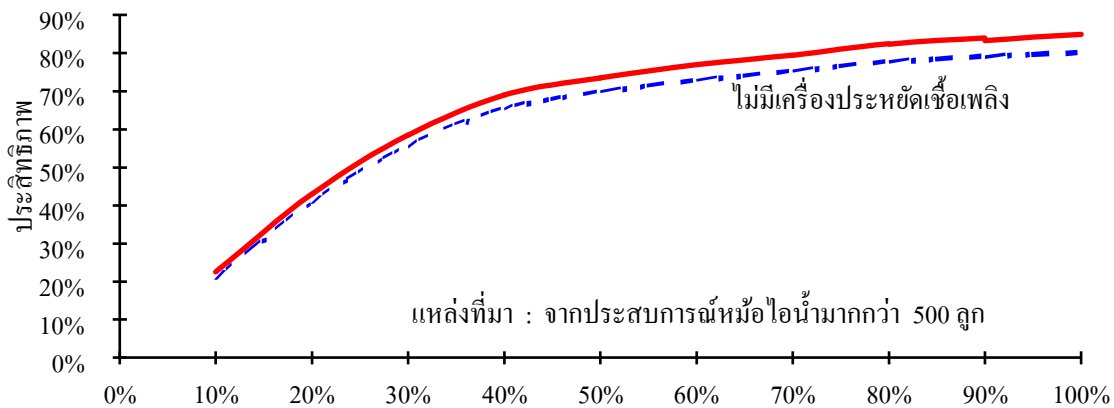
วิธีคำนวณ

จากรูปที่ 2-12 ข) และตารางที่ 2-7 ที่ปริมาณ O ₂ เท่ากับ 5% การสูญเสียในก๊าซไอเสียจะเท่ากับ 10.3%		
ดังนั้น ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	= 100 - 10.3 - 1.7 - 1.23	= 86.8 %
หรือเพิ่มขึ้น	= 86.8 - 84.7	= 2.1 %
จากตัวอย่างที่ 1 เพื่อผลิตไอน้ำในอัตรา 10 ตันต่อชั่วโมงต้องป้อนพลังงานความร้อนให้น้ำ	= 27,124,800	kJ/h
ดังนั้น พลังงานเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	= 27,124,800 / 0.868	kJ/h
	= 31,249,769.6	kJ/h
ปริมาณการใช้น้ำมันเตา	= 31,249,769.6 / 40,000 (ค่าความร้อน ≈ 40 MJ/L)	
	= 781.2	L/h (4,687,200 L/y)
ค่าน้ำมันเตาต่อปี	= 4,687,200 x 14	B/y
	= 65,620,800.0	B/y
ราคาไอน้ำต่อตัน	= 65,620,800.0 / (10 x 6,000)	
	= 1,093.7	B/t

2.6.5 เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง

นอกจากการป้องกันการสูญเสียความร้อนจากปล่องแล้ว เราสามารถนำก๊าซร้อนทิ้งซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 200-250°C มาใช้ประโยชน์ โดยการติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง (หรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ที่รอบนอกปล่อง บางส่วนของความร้อนในก๊าซร้อนทิ้งจะถูกนำกลับคืนมาเพื่ออุ่นน้ำเลี้ยงหรือผลิตน้ำร้อนได้ ในทางปฏิบัติจริงต้องคำนวณการประหยัดออกมาเป็นรายการณี การประหยัดจะได้มากที่สุดก็ต่อเมื่อ อุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งสูงและไม่มีการเก็บคืนคอนเดนเสทกลับเข้าไปในหม้อไอน้ำหรือมีก็น้อยมาก

การติดตั้งเครื่องประหยัดเชื้อเพลิงจะคุ้มกับการลงทุนก็ต่อเมื่อ หม้อไอน้ำมีขนาดใหญ่ประมาณ 3 MW (ผลิตไอน้ำประมาณ 3.6 ตัน/ชั่วโมง) หรือใหญ่กว่าในกรณีที่หม้อไอน้ำต้องเดินที่ภาระต่ำๆ เป็นเวลานานๆ ก็จำเป็นต้องติดตั้งทางผ่าน (Bypass) เพื่อบังคับให้ก๊าซร้อนทิ้งออกปล่องไปโดยตรงโดยไม่ผ่านเครื่องประหยัดเชื้อเพลิง เพื่อหลีกเลี่ยงการกลั่นตัวของกรดที่จะทำให้เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงผุกร่อน อันเนื่องมาจากอุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้งต่ำ



รูปที่ 2-13 ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำขนาดใหญ่

2.6.6 มาตรการบำรุงรักษา

- ทำความสะอาดหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวทุกสัปดาห์ และเชื้อเพลิงก๊าซทุกเดือน เขม่าหรือสิ่งสกปรกจะทำให้อากาศและเชื้อเพลิงไหลไม่สะดวก ไม่สามารถฉีดเป็นละอองได้
- ตรวจสอบสภาพการเผาไหม้และปรับตั้งอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานทุกเดือน
- ควรทำเครื่องหมายไว้ที่เกจวัดความดันน้ำมันเชื้อเพลิง หมั่นตรวจสอบว่าความดันยังมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิม
- ควบคุมอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเผาไหม้ให้เหมาะสม เชื้อเพลิงที่หนืดเกินไปจะกระจายเป็นละอองได้ไม่ดีส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดต่ำลง ขณะเดียวกันถ้าอุ่นร้อนเกินไป จะสิ้นเปลืองพลังงาน และเกิดคราบเขม่าที่หัวเผา

น้ำมันเตาเอ	อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม	90–100°C
น้ำมันเตาซี	อุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสม	110–120°C

- อุ่นน้ำมันเตาด้วยไอน้ำแทนการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากต้นทุนไฟฟ้าสูงกว่าเชื้อเพลิงประมาณ 30 %
- ล้างกรองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นประจำและปล่อยน้ำกันถึงน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างน้อยปีละครั้ง
- ลดขนาดหัวเผาให้เหมาะสมกับการผลิตไอน้ำ หากพบว่าหัวเผาทำงานที่ภาระต่ำตลอดเวลาหรือเดินหยุดบ่อย
- อุปกรณ์อุ่นน้ำมันควรมีฉนวนหุ้ม
- ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็ง ควรลดความชื้นและลดขนาดของเชื้อเพลิงก่อนเข้าเผาไหม้

2.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ระบบส่งจ่ายไอน้ำทำหน้าที่ส่งไอน้ำที่ผลิตได้ไปยังผู้ใช้ปลายทาง ภายในท่อของระบบส่งจ่ายจะมีการควบแน่นของไอน้ำซึ่งเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากการเย็นตัวของไอน้ำในท่อ เราจำเป็นต้องดึงไอน้ำที่ควบแน่นเหล่านี้ออกจากระบบท่อ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง เพื่อที่จะดึงไอน้ำควบแน่นเหล่านี้ออกมา เราจะติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap) ทั้งในส่วนของระบบส่งจ่ายไอน้ำและส่วนของผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง ข้อมูลชนิดและลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ดักไอน้ำสามารถค้นหาได้จากเอกสารผู้ผลิตอุปกรณ์ได้โดยตรง

2.7.1 การติดตั้งฉนวนกันความร้อน

การปล่อยท่อไอน้ำให้เปลือยไว้โดยไม่มีการหุ้มฉนวน จะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง ความร้อนที่สูญเสียไปเทียบได้กับไอน้ำที่จะเกิดการควบแน่นภายในท่อ ความร้อนที่ใช้งานได้จริงจึงลดลงเท่ากับปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปนั้นด้วยเช่นกัน ปริมาณการสูญเสียความร้อนจากผิวท่อเปลือยจะมากกว่าท่อที่หุ้มฉนวนมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกของท่อหรือฉนวนกับอากาศภายนอก โดยทั่วไปจะประมาณ 5-10%

ฉนวนมีค่าการนำความร้อนต่ำ ฉนวนทำหน้าที่ในการป้องกันหรือหน่วงการถ่ายเทความร้อน ฉนวนที่ใช้หุ้มในระบบไอน้ำ เช่น ที่ท่อไอน้ำ อุปกรณ์ต่างๆ หน้าแปลน วาล์ว ควรเลือกชนิดที่เหมาะสม โดยเป็นฉนวนที่ทนต่ออุณหภูมิของไอน้ำได้ เช่น ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยหิน ปัจจุบันฉนวนความร้อนมีหลายแบบให้เลือกใช้งาน ตามความเหมาะสมของการใช้งาน เช่น แบบแผ่นแข็ง แบบแผ่นม้วน แบบสำเร็จรูปหุ้มท่อ แบบผืนผ้า และ แบบฝุ่นผง โดยควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิใช้งาน และเลือกวัสดุที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ ดังตารางที่ 2-11

และ 2-12

ในการหุ้มฉนวนนั้นควรพิจารณาใช้ความหนาที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ไม่มีฉนวนใดสามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนได้โดยสมบูรณ์ ดังนั้น ความหนาของฉนวนและชนิดของฉนวนที่ใช้จะถูกกำหนดจากต้นทุนการผลิตความร้อน และต้นทุนในการใช้ฉนวนความร้อนในการป้องกันการสูญเสียความร้อนของฉนวน กล่าวคือ ถ้าใช้ความหนาฉนวนต่ำกว่าค่าๆ หนึ่ง แล้วจะเกิดการสูญเสียความร้อนมาก นั่นคือ หนาไม่พอ แต่ถ้าใช้ความหนาฉนวนสูงกว่าค่าๆ หนึ่งแล้ว ต้นทุนฉนวนที่สูงขึ้น จะไม่คุ้มกับพลังงานที่ประหยัดเพิ่มเติมขึ้นได้ ดังนั้น จะมีความหนาฉนวนอยู่ค่าหนึ่งที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ผลรวมของราคาฉนวนกับราคาพลังงานที่สูญเสียต่ำที่สุด

ท่อไอน้ำทั้งหมดควรหุ้มฉนวนด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและเพื่อลดการสูญเสียความร้อน การสูญเสียความร้อนมากเกินไปไม่เพียงแต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเท่านั้น ยังทำให้อากาศในห้องร้อนขึ้น และเกิดความไม่สบายในการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 2-11 สมบัติบางประการของฉนวนความร้อน

ชนิดของฉนวน	ค่าการนำความร้อน (W/m. K)	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
แคลเซียมซิลิเกต	0.0407	0.84	135
ใยแก้ว	0.0324	0.84	45
ใยหิน	0.0314	1.13	100

ตารางที่ 2-12 ประเภทของฉนวนและการเลือกใช้

วัสดุฉนวน	ประเภท	อุณหภูมิใช้งานที่ปลอดภัย (°C)	สภาพการนำความร้อน (W/m.K)	จุดเด่น
แอสเบสตอส (Asbestos)	ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 1	550	ไม่เกิน 0.046-0.048	การติดตั้งสะดวก เหมาะสมกับบริเวณสันเสทือน
	ฉนวนแผ่น หมายเลข 2	350	ไม่เกิน 0.041-0.046	
	ผ้าห่มทนความร้อน เชือกฉนวน	400	ไม่เกิน 0.047 - 0.056	การติดตั้งสะดวก สามารถถอดได้ เหมาะสมกับวาล์วหน้าแปลน
ใยหิน (Rock Wool)	ฉนวนแผ่น ฉนวนทรงกระบอก ฉนวนแถบ	400 – 600	ไม่เกิน 0.034 - 0.041	เหมาะสมกับอุณหภูมิสูง ใช้เป็นฉนวนของหม้อไอน้ำ ถังท่อ และทางไฟ เป็นต้น
ใยแก้ว Glass Wool)	ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 8K-24K หมายเลข 2 10K-96K หมายเลข 3 96K ฉนวนทรงกระบอกหมายเลข 1 ฉนวนแถบ	300 – 350	ไม่เกิน 0.046-0.034 ไม่เกิน 0.049-0.031 ไม่เกิน 0.034 ไม่เกิน 0.032 ไม่เกิน 0.039	เป็นวัสดุฉนวนที่นิยมใช้กันมากที่สุด สภาพการนำความร้อนต่ำ ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิได้ดี
แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate)	ฉนวนแผ่น หมายเลข 1 1,000°C ฉนวนทรงกระบอก หมายเลข 2 650°C	650	ไม่เกิน 0.050 ไม่เกิน 0.046	มีความแข็งแรงมากถ้าทำเป็นแบบสำเร็จรูป การติดตั้งและมีความทนทานได้ดี

ตารางที่ 2-13 ความหนาของฉนวนความร้อนที่เหมาะสมสำหรับหุ้มท่อทางเศรษฐศาสตร์

ระบบท่อ	ช่วงอุณหภูมิของไหล		ขนาดท่อ					
	°C	°F	<1"	1 1/2" - 2"	2 1/2" - 4"	5" - 6"	8" - 12"	14" - 20"
			(33 mm)	(42-60mm)	(73-14mm)	(140-168mm)	(219-324mm)	(350-500mm)
ความหนาฉนวน								
ไอน้ำ, ไอร้อนยิ่งยวด	239-320	462-608	2.0" (50 mm)	2.0" (50 mm)	2.5" (63 mm)	3" (63 mm)	3.5" (88 mm)	3.5" (88 mm)
ไอน้ำ, น้ำร้อน	238-152	450-306	1.5" (38 mm)	1.5" (38 mm)	2.0" (50 mm)	2.5" (63 mm)	3.0" (75 mm)	3.5" (88 mm)
ความดันสูง	151-122	305-251	1.5" (38 mm)	1.5" (38 mm)	2.0" (50 mm)	2.0" (50 mm)	2.5" (63 mm)	3.0" (75 mm)
ความดันปานกลาง	121-94	250-201	1.0" (25 mm)	1.5" (38 mm)	1.5" (38 mm)	2.0" (50 mm)	2.0" (50 mm)	2.5" (63 mm)
ความดันต่ำ	93-49	200-120	1.0" (25 mm)	1.0" (25 mm)	1.5" (38 mm)	1.5" (38 mm)	1.5" (38 mm)	2.0" (50 mm)
คอนเดนเสท	50-30	148-110	1.0" (25 mm)	1.0" (25 mm)	1.0" (25 mm)	1.5" (38 mm)	1.5" (38 mm)	2.0" (50 mm)

การหุ้มฉนวนกันความร้อนจะส่งผลให้ลดการสูญเสียทางพื้นผิวของวัตถุได้ประมาณ 95% ของการสูญเสียความร้อนทางพื้นผิว ซึ่งผลประหยัดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเลือกใช้ ชนิดและความหนาของฉนวนความร้อน ดังนั้นเมื่อลงทุนหุ้มฉนวนพื้นผิววัตถุแล้ว ระยะเวลาคืนทุนจะมากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิวของวัตถุ, ชั่วโมงการใช้งาน และค่าเชื้อเพลิง ซึ่งปกติการหุ้มฉนวนจะมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 2 ปี โดยปกติเมื่อหุ้มฉนวนที่ความหนาแน่นเหมาะสม อุณหภูมิพื้นผิวฉนวนจะไม่เกิน 60°C

การคำนวณการสูญเสียความร้อนของท่อ

ตารางที่ 2-14 ถึง 2-21 แสดงค่าการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิวท่อและผนังที่หุ้มและไม่หุ้มฉนวนความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2-14 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

ตารางที่ 2-15 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน

ตารางที่ 2-16 ถึง 2-18 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังจากหุ้มฉนวนใยแก้ว ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต และฉนวนใยหิน ที่ความหนาที่เหมาะสมตามลำดับ

ตารางที่ 2-19 ถึง 2-21 แสดงการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหลังจากหุ้มฉนวนใยแก้ว ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต และฉนวนใยหิน ที่ความหนาที่เหมาะสมตามลำดับ

ตารางที่ 2-14 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)

ขนาดท่อ in.	ขนาดท่อ (mm)		อุณหภูมิผิวท่อหรือผนังร้อน (°C)													
	De	Di	70	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
1/8"	10.29	6.83	0.03	0.03	0.04	0.06	0.08	0.1	0.12	0.15	0.17	0.2	0.24	0.27	0.31	0.35
1/4"	13.72	9.25	0.03	0.03	0.05	0.08	0.1	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26	0.3	0.35	0.4	0.45
3/8"	17.75	12.52	0.04	0.04	0.07	0.09	0.12	0.16	0.2	0.24	0.28	0.33	0.38	0.44	0.5	0.56
1/2"	21.34	15.8	0.05	0.05	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.28	0.33	0.39	0.45	0.51	0.59	0.66
3/4"	26.67	20.93	0.06	0.06	0.09	0.13	0.18	0.23	0.28	0.34	0.4	0.47	0.55	0.63	0.72	0.81
1"	33.4	26.64	0.07	0.07	0.12	0.16	0.22	0.28	0.34	0.41	0.49	0.57	0.67	0.77	0.88	0.99
1.1/4"	42.16	35.05	0.09	0.09	0.14	0.2	0.27	0.34	0.42	0.51	0.6	0.71	0.82	0.95	1.08	1.23
1.1/2"	48.26	40.89	0.1	0.1	0.16	0.23	0.3	0.38	0.47	0.57	0.68	0.8	0.93	1.07	1.22	1.39
2"	60.33	52.5	0.12	0.12	0.19	0.27	0.36	0.46	0.57	0.7	0.83	0.97	1.13	1.31	1.5	1.7
2 1/2"	73.03	62.71	0.14	0.14	0.23	0.32	0.43	0.55	0.68	0.83	0.98	1.16	1.35	1.55	1.78	2.02
3"	88.9	77.93	0.17	0.17	0.27	0.39	0.51	0.65	0.81	0.98	1.17	1.38	1.61	1.86	2.13	2.42
3 1/2"	101.6	90.12	0.19	0.19	0.31	0.43	0.58	0.74	0.91	1.11	1.32	1.56	1.82	2.1	2.41	2.74
4"	114.3	102.26	0.21	0.21	0.34	0.48	0.64	0.82	1.02	1.23	1.47	1.74	2.02	2.34	2.68	3.06
5"	141.3	128.19	0.26	0.26	0.41	0.58	0.78	0.99	1.23	1.5	1.79	2.11	2.46	2.84	3.26	3.72
6"	168.27	154.05	0.3	0.3	0.48	0.68	0.91	1.16	1.44	1.75	2.09	2.47	2.88	3.34	3.83	4.37
8"	219.08	202.72	0.38	0.38	0.61	0.86	1.15	1.47	1.83	2.23	2.66	3.15	3.68	4.26	4.89	5.58
10"	273.05	254.51	0.47	0.47	0.74	1.05	1.41	1.8	2.24	2.72	3.26	3.85	4.5	5.22	6	6.85
12"	323.85	304.8	0.55	0.55	0.87	1.23	1.64	2.1	2.61	3.18	3.81	4.51	5.27	6.11	7.03	8.04

หมายเหตุ: ท่อ Schedule 40 อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2-15 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)

อุณหภูมิผิวผนัง (°C)	70	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
ความสูงผนัง (m)	การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังที่ไม่ได้หุ้มฉนวน (kW/m)													
0.5	0.17	0.24	0.37	0.53	0.71	0.92	1.15	1.4	1.68	2	2.35	2.74	3.16	3.62
0.6	0.21	0.29	0.46	0.65	0.87	1.11	1.39	1.7	2.04	2.43	2.85	3.31	3.83	4.39
0.7	0.25	0.34	0.54	0.77	1.02	1.31	1.64	2	2.41	2.86	3.35	3.9	4.5	5.16
0.8	0.29	0.39	0.62	0.88	1.18	1.52	1.89	2.31	2.78	3.29	3.86	4.49	5.18	5.94
0.9	0.33	0.44	0.71	1	1.34	1.72	2.15	2.62	3.15	3.73	4.38	5.09	5.87	6.72
1	0.37	0.5	0.79	1.12	1.5	1.93	2.4	2.93	3.52	4.18	4.9	5.69	6.56	7.51
1.1	0.41	0.55	0.88	1.25	1.67	2.14	2.66	3.25	3.9	4.62	5.42	6.29	7.26	8.31
1.2	0.45	0.61	0.96	1.37	1.83	2.35	2.92	3.57	4.28	5.07	5.94	6.9	7.96	9.11
1.3	0.49	0.66	1.05	1.49	2	2.56	3.19	3.89	4.67	5.53	6.47	7.52	8.66	9.91
1.4	0.53	0.72	1.14	1.62	2.16	2.77	3.45	4.21	5.05	5.98	7.01	8.13	9.37	10.72
1.5	0.57	0.77	1.23	1.75	2.33	2.99	3.72	4.54	5.44	6.44	7.54	8.75	10.08	11.54
1.6	0.61	0.83	1.32	1.87	2.5	3.2	3.99	4.86	5.83	6.9	8.08	9.38	10.8	12.35
1.7	0.65	0.89	1.41	2	2.67	3.42	4.26	5.19	6.22	7.37	8.62	10	11.52	13.17
1.8	0.7	0.94	1.5	2.13	2.84	3.64	4.53	5.52	6.62	7.83	9.17	10.63	12.24	14
1.9	0.74	1	1.59	2.26	3.01	3.86	4.8	5.85	7.02	8.3	9.71	11.26	12.97	14.83
2	0.78	1.06	1.68	2.39	3.19	4.08	5.08	6.19	7.41	8.77	10.26	11.9	13.69	15.66
2.1	0.82	1.12	1.77	2.52	3.36	4.3	5.35	6.52	7.81	9.24	10.81	12.54	14.43	16.49
2.2	0.87	1.18	1.86	2.65	3.53	4.53	5.63	6.86	8.22	9.72	11.37	13.18	15.16	17.33
2.3	0.91	1.23	1.96	2.78	3.71	4.75	5.91	7.2	8.62	10.19	11.92	13.82	15.9	18.17

หมายเหตุ: อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 3

ตารางที่ 2-16 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังหุ้มฉนวนใยแก้ว (W/m)

อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	40.19	41.34	42.43	42.51	44.28	43.55	44.23	45.36	46.45	47.51	45.69	46.49	47.26	48.02	48.77
ขนาดท่อ (in.)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1/8"	4.27	5.6	6.96	8.35	11.16	12.2	14.63	17.07	19.52	21.98	22.17	24.39	26.6	28.82	31.04
1/4"	4.83	6.35	7.91	8.46	11.25	13.73	16.48	19.25	22.02	24.8	24.81	27.29	29.77	32.26	34.74
3/8"	5.44	7.17	8.94	9.51	12.67	15.41	18.51	21.62	24.74	27.87	27.66	30.43	33.21	35.98	38.76
1/2"	5.97	7.87	9.83	10.4	13.86	16.82	20.22	23.63	27.05	30.48	30.06	33.07	36.09	39.12	42.14
3/4"	6.72	8.88	11.09	11.67	15.56	18.84	22.65	26.49	30.33	34.19	33.45	36.81	40.18	43.55	46.92
1"	7.64	10.1	12.64	13.2	17.63	21.28	25.61	29.96	34.32	38.7	37.54	41.32	45.11	48.9	52.69
1.1/4"	8.8	11.65	14.6	15.11	20.21	24.35	29.32	34.32	39.34	44.38	42.65	46.96	51.27	55.59	59.9
1.1/2"	9.59	12.72	15.94	13.85	18.38	26.44	31.85	37.29	42.76	48.25	46.11	50.78	55.45	60.12	64.79
2"	11.13	14.78	18.55	15.81	21	30.5	36.76	43.06	49.4	55.76	52.81	58.16	63.52	68.88	74.25
2 1/2"	10.54	13.84	17.22	17.81	23.68	29.61	35.59	41.59	47.61	53.65	52	57.23	62.46	67.7	72.94
3"	12.06	15.86	19.74	20.25	26.95	33.76	40.59	47.45	54.34	61.24	58.95	64.89	70.83	76.78	82.73
3 1/2"	13.26	17.45	21.73	22.17	29.52	37.04	44.54	52.08	59.65	67.25	64.43	70.93	77.43	83.93	90.44
4"	14.46	19.04	23.72	24.06	32.05	40.29	48.46	56.68	64.93	73.2	69.86	76.9	83.96	91.02	98.09
5"	16.98	22.38	27.9	24.18	32.09	47.14	48.57	56.71	64.88	73.07	72.2	79.45	86.7	93.96	101.22
6"	19.49	25.7	32.06	27.41	36.39	53.92	55.27	64.55	73.86	83.19	81.84	90.07	98.3	106.54	114.79
8"	24.18	31.91	39.84	33.37	44.35	56.42	59.79	69.76	79.76	89.78	88.87	97.77	106.68	115.59	124.51
10"	29.15	38.49	48.07	39.57	52.63	67.38	71.06	82.94	94.84	106.77	105.2	115.74	126.3	136.86	147.42
12"	33.81	44.66	55.81	45.32	60.3	77.64	81.62	95.27	108.96	122.68	120.46	132.54	144.64	156.74	168.85

หมายเหตุ: ท่อ Sch. 40 ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ค่าการนำความร้อน = 0.042 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม

ตารางที่ 2-17 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวท่อหลังหุ้มฉนวนแคลเซียมซิลิเกต (W/m)

อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	40.86	42.17	43.42	43.54	45.57	44.79	45.59	46.88	48.14	49.36	47.32	48.24	49.14	50.02	50.88
ขนาดท่อ (in.)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1/8"	4.83	6.35	7.92	9.51	12.76	14.08	16.91	19.75	22.60	25.46	25.75	28.33	30.91	33.49	36.08
1/4"	5.45	7.19	8.97	9.54	12.71	15.84	19.03	22.25	25.47	28.71	28.80	31.69	34.58	37.48	40.38
3/8"	6.13	8.10	10.13	10.70	14.27	17.75	21.35	24.97	28.61	32.25	32.09	35.32	38.56	41.79	45.03
1/2"	6.71	8.88	11.11	11.68	15.60	19.37	23.31	27.28	31.26	35.25	34.87	38.38	41.90	45.42	48.95
3/4"	7.54	9.99	12.52	13.07	17.48	21.67	26.10	30.56	35.03	39.52	38.79	42.71	46.63	50.56	54.49
1"	8.55	11.35	14.24	14.74	19.75	24.46	29.48	34.53	39.61	44.71	43.51	46.63	52.33	56.75	61.17
1.1/4"	9.82	13.07	16.42	16.84	22.59	27.97	33.73	39.54	45.37	51.23	49.41	54.43	59.45	64.48	69.52
1.1/2"	10.69	14.24	17.91	15.62	20.79	30.35	36.62	42.94	49.29	55.67	53.41	58.84	64.28	69.73	75.18
2"	12.39	16.52	20.81	17.80	23.71	34.97	42.23	49.55	56.91	64.30	61.14	67.37	73.61	79.86	86.12
2 1/2"	11.91	15.69	19.57	20.02	26.69	34.10	41.04	48.01	55.02	62.05	60.30	66.39	72.49	78.59	84.70
3"	13.61	17.95	22.41	22.73	30.32	38.85	46.78	54.75	62.76	70.80	68.34	75.25	82.18	89.11	96.04
3 1/2"	14.96	19.74	24.66	24.85	33.18	42.60	51.31	60.08	68.88	77.72	74.67	82.24	89.82	97.40	104.99
4"	16.29	21.52	26.89	26.95	35.99	46.32	55.81	65.36	74.96	84.58	80.95	89.16	97.38	105.61	113.85
5"	19.11	25.28	31.60	27.25	36.25	54.17	56.08	65.55	75.06	84.59	83.75	92.19	100.65	109.11	117.58
6"	21.91	29.00	36.28	30.85	41.06	61.93	63.80	74.59	85.42	96.29	94.91	104.50	114.09	123.70	133.31
8"	27.16	35.97	45.04	37.49	49.93	65.00	69.11	80.72	92.36	104.03	103.15	113.52	123.90	134.29	144.68
10"	32.70	43.35	54.31	44.39	59.16	77.59	82.12	95.93	109.79	123.69	122.06	134.35	146.65	158.96	171.28
12"	37.90	50.27	63.01	50.77	67.70	89.38	94.30	110.18	126.11	142.09	139.75	153.83	167.93	182.03	196.15

หมายเหตุ: ท่อ Schedule 40 ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต ความหนาแน่น 135 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ค่าการนำความร้อน = 0.049 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2-18 การสูญเสียความร้อนของท่อหลังหุ้มฉนวนใยหิน (W/m)

อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320
อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย (°C)	40.38	41.58	42.72	42.81	44.65	43.91	44.62	45.80	46.94	48.04	46.16	46.99	47.80	48.60	49.38
ขนาดท่อ (in.)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
1/8"	4.43	5.82	7.24	8.69	11.62	12.74	15.29	17.84	20.41	22.98	23.20	25.52	27.84	30.16	32.48
1/4"	5.01	6.59	8.22	8.78	11.68	14.34	17.22	20.11	23.01	25.92	25.95	28.55	31.15	33.75	36.36
3/8"	5.65	7.44	9.29	9.86	13.14	16.08	19.33	22.58	25.85	29.13	28.93	31.83	34.74	37.65	40.56
1/2"	6.19	8.17	10.20	10.78	14.37	17.56	21.11	24.68	28.26	31.85	31.44	34.60	37.76	40.92	44.09
3/4"	6.96	9.20	11.51	12.08	16.13	19.66	23.65	27.66	31.69	35.73	34.98	38.50	42.03	45.56	49.09
1"	7.90	10.47	13.11	13.65	18.25	22.20	26.72	31.28	35.85	40.43	39.25	43.21	47.18	51.15	55.12
1.1/4"	9.10	12.07	15.13	15.62	20.91	25.40	30.60	35.83	41.08	46.35	44.59	49.10	53.62	58.14	62.66
1.1/2"	9.91	13.16	16.52	14.37	19.09	27.57	33.23	38.92	44.64	50.38	48.21	53.09	57.98	62.88	67.77
2"	11.50	15.30	19.22	16.39	21.79	31.79	38.34	44.94	51.56	58.22	55.20	60.81	66.42	72.03	77.66
2 1/2"	10.94	14.38	17.90	18.46	24.56	30.91	37.16	43.44	49.74	56.06	54.38	59.86	65.34	70.82	76.31
3"	12.51	16.47	20.52	20.98	27.94	35.23	42.37	49.55	56.76	63.99	61.64	67.86	74.08	80.31	86.54
3 1/2"	13.76	18.12	22.59	22.96	30.59	38.64	46.49	54.38	62.31	70.26	67.37	74.17	80.98	87.80	94.61
4"	15.00	19.76	24.64	24.91	33.21	42.03	50.58	59.18	67.82	76.48	73.04	80.42	87.81	95.21	102.61
5"	17.61	23.23	28.98	25.08	33.30	49.17	50.73	59.25	67.81	76.38	75.51	83.10	90.70	98.30	105.91
6"	20.20	26.66	33.29	28.42	37.76	56.24	57.73	67.44	77.19	86.96	85.59	94.21	102.83	111.46	120.09
8"	25.06	33.10	41.36	34.58	45.98	58.90	62.47	72.91	83.38	93.87	92.97	102.29	111.62	120.95	130.29
10"	30.19	39.91	49.90	40.99	54.54	70.32	71.25	86.67	99.14	111.63	110.04	121.08	132.13	143.19	154.26
12"	35.01	46.31	57.92	46.92	62.47	81.03	85.27	99.56	113.89	128.26	125.99	138.65	151.32	163.99	176.67

หมายเหตุ : ท่อ Schedule 40 ฉนวนใยหิน ความหนาแน่น 40-200 kg/m³ ค่าการนำความร้อน=0.044W/m Kอุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2-19 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนใยแก้ว ตามความหนาฉนวนที่เหมาะสม (W/m)

ความหนาฉนวนที่เหมาะสม	อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320		
49-93	94-238	239-320	อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย	40.98	40.48	44.76	43.09	45.74	48.42	51.12	53.83	56.55	59.27	55.76	57.84	59.93	62.02	64.11
(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
in.	in.	in.	ความสูงผนัง (m)															
1"	1.5"	2"	0.5	23.93	31.4	39.03	32.36	42.97	53.68	64.47	75.31	86.18	97.09	83.02	91.36	99.71	108.06	116.42
1"	1.5"	2"	0.6	28.72	37.69	46.84	38.83	51.56	64.42	77.36	90.37	103.42	116.51	99.63	109.63	119.65	129.68	139.71
1"	1.5"	2"	0.7	33.5	43.97	54.65	45.31	60.15	75.15	90.25	105.43	120.66	135.93	116.23	127.91	139.59	151.29	162.99
1"	1.5"	2"	0.8	38.29	50.25	62.45	51.78	68.75	85.89	103.15	120.49	137.89	155.34	132.83	146.18	159.53	172.9	186.28
1"	1.5"	2"	0.9	43.07	56.53	70.26	58.25	77.34	96.62	116.04	135.55	155.13	174.76	149.44	164.45	179.48	194.51	209.56
1"	1.5"	2"	1	47.86	62.81	78.07	64.72	85.93	107.36	128.93	150.61	172.37	194.18	166.04	182.72	199.42	216.13	232.85
1"	1.5"	2"	1.1	52.65	69.09	85.87	71.2	94.53	118.1	141.83	165.67	189.6	213.6	182.65	200.99	219.36	237.74	256.13
1"	1.5"	2"	1.2	57.43	75.37	93.68	77.67	103.12	128.83	154.72	180.74	203.84	233.02	199.25	219.27	239.3	259.35	279.42
1"	1.5"	2"	1.3	62.22	81.65	101.49	84.14	111.71	139.57	167.61	195.8	224.08	252.43	215.85	237.54	259.24	280.97	302.7
1"	1.5"	2"	1.4	67	87.93	109.29	90.61	120.31	150.3	180.51	210.86	241.31	271.85	232.46	255.81	279.19	302.58	325.99
1"	1.5"	2"	1.5	71.79	94.21	117.1	97.09	128.9	161.04	193.4	225.92	258.55	291.27	249.06	274.08	299.13	324.19	349.27
1"	1.5"	2"	1.6	76.58	100.5	124.91	103.56	137.49	171.78	206.29	240.98	275.79	310.69	265.67	292.36	319.07	345.8	372.56
1"	1.5"	2"	1.7	81.36	106.78	132.71	110.03	146.09	182.51	219.19	256.04	293.03	330.11	282.27	310.63	339.01	367.42	395.84
1"	1.5"	2"	1.8	86.15	113.06	140.52	116.5	154.68	193.25	232.08	271.1	310.26	349.52	298.88	328.9	358.95	389.03	419.13
1"	1.5"	2"	1.9	90.93	119.34	148.33	122.98	163.27	203.98	244.97	286.16	327.5	368.94	315.48	347.17	378.9	410.64	442.41
1"	1.5"	2"	2	95.72	125.62	156.13	129.45	171.86	214.72	257.87	301.23	344.74	388.36	332.08	365.44	398.84	432.26	465.7
1"	1.5"	2"	2.1	100.51	131.9	163.94	135.92	180.46	225.46	270.76	316.29	361.97	407.78	348.69	383.72	418.78	453.87	488.98
1"	1.5"	2"	2.2	105.29	138.18	171.75	142.39	189.05	236.19	283.66	331.35	379.21	427.2	365.29	401.99	438.72	475.48	512.26
1"	1.5"	2"	2.3	110.08	144.46	179.55	148.87	197.64	246.93	296.55	346.41	396.45	446.61	381.9	420.26	458.66	497.09	535.55

หมายเหตุ : ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m³ ค่าการนำความร้อน = 0.042 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2-20 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนใยหิน ตามความหนาที่เหมาะสม (W/m)

ความหนาฉนวนที่เหมาะสม	อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320		
49-93	94-238	239-320	อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย	41.21	40.76	45.15	43.44	46.21	49.01	51.83	54.67	57.51	60.37	56.71	58.89	61.08	63.26	65.45
(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)														
in.	in.	in.	ความสูงผนัง (m)															
1"	1.5"	2"	0.50	24.85	32.64	40.59	33.74	44.83	56.04	67.32	78.67	90.05	101.47	86.83	95.56	104.30	113.05	121.81
1"	1.5"	2"	0.60	29.82	39.16	48.71	40.49	53.80	67.24	80.79	94.40	108.06	121.76	104.19	114.67	125.16	135.66	146.17
1"	1.5"	2"	0.70	34.79	45.69	56.83	47.24	62.76	78.45	94.25	110.13	126.07	142.06	121.56	133.78	146.02	158.27	170.53
1"	1.5"	2"	0.80	39.76	52.22	64.95	53.99	71.73	89.66	107.72	125.87	144.08	162.35	138.92	152.90	166.89	180.89	194.89
1"	1.5"	2"	0.90	44.73	58.75	73.07	60.74	80.69	100.86	121.18	141.60	162.09	182.65	156.29	172.01	187.75	203.50	219.26
1"	1.5"	2"	1.00	49.70	65.27	81.18	67.49	89.66	112.07	134.65	157.33	180.11	202.34	173.65	191.12	208.61	226.11	243.62
1"	1.5"	2"	1.10	54.67	71.80	89.30	74.24	98.63	123.28	148.11	173.07	198.12	223.23	191.02	210.23	229.47	248.72	267.38
1"	1.5"	2"	1.20	59.64	78.33	97.42	80.99	107.59	134.49	161.58	188.80	216.13	243.53	208.38	229.35	250.33	271.33	292.34
1"	1.5"	2"	1.30	64.61	84.86	105.54	87.73	116.56	145.69	175.04	204.53	234.14	263.82	225.75	248.46	271.19	293.94	316.70
1"	1.5"	2"	1.40	69.58	91.38	113.66	94.48	125.52	156.90	188.50	225.27	252.15	284.12	243.11	267.57	292.05	316.55	341.07
1"	1.5"	2"	1.50	74.55	97.91	121.78	101.23	134.49	168.11	201.97	236.00	270.16	304.41	260.48	286.68	312.91	339.16	365.43
1"	1.5"	2"	1.60	79.52	104.44	129.89	107.98	143.46	179.32	215.43	251.73	288.17	324.70	277.85	305.79	333.77	361.77	389.79
1"	1.5"	2"	1.70	84.49	110.97	138.01	114.73	152.42	190.52	228.90	267.47	306.18	345.00	295.21	324.91	354.63	384.38	414.15
1"	1.5"	2"	1.80	89.46	117.49	146.13	121.48	161.39	201.73	242.36	283.20	324.19	365.29	312.58	344.02	375.49	406.99	438.51
1"	1.5"	2"	1.90	94.43	124.02	154.25	128.23	170.35	212.94	255.83	298.93	342.20	385.59	329.94	363.13	396.35	429.60	462.87
1"	1.5"	2"	2.00	99.40	130.55	162.37	134.98	179.32	224.14	269.29	314.67	360.21	405.88	347.31	382.24	417.21	452.21	487.24
1"	1.5"	2"	2.10	104.37	137.08	170.49	141.72	188.29	235.35	282.76	330.40	378.22	426.17	364.67	401.35	438.07	474.82	511.60
1"	1.5"	2"	2.20	109.34	143.60	178.61	148.47	197.25	246.56	296.22	346.13	396.23	446.47	382.04	420.47	458.93	497.43	535.96
1"	1.5"	2"	2.30	114.31	150.13	186.72	155.22	206.22	257.77	309.69	361.87	414.24	466.76	399.40	439.58	479.80	520.04	560.32

หมายเหตุ : ฉนวนใยหิน ความหนาแน่น 40-200 kg/m³ ค่าการนำความร้อน = 0.044 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตารางที่ 2-21 การสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนังหุ้มฉนวนแคลเซียมซิลิเกต ตามความหนาที่เหมาะสม (W/m)

ความหนาฉนวนที่เหมาะสม				อุณหภูมิก่อนหุ้ม(°C)	70	80	90	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	
49-93	94-238	239-320	อุณหภูมิหลังหุ้มเฉลี่ย																	
(°C)	(°C)	(°C)	(°C)		41.77	41.44	46.10	44.29	47.36	50.46	53.60	56.75	59.91	63.08	59.07	61.50	63.93	66.37	68.80	
in.	in.	in.	ความสูงผนัง (m)	การสูญเสียความร้อนหลังหุ้มฉนวนที่ความหนาที่เหมาะสม (W/m)																
1"	1.5"	2"	0.50	27.08	35.63	44.39	37.14	49.42	61.85	74.38	86.98	99.64	112.33	96.28	106.00	115.73	125.47	135.21		
1"	1.5"	2"	0.60	32.49	42.76	53.27	44.57	59.31	74.23	89.26	104.38	119.56	134.80	115.54	127.20	138.88	150.56	162.25		
1"	1.5"	2"	0.70	37.91	49.89	62.15	52.00	69.19	86.60	104.14	121.78	139.49	157.26	134.80	148.40	162.02	175.65	189.30		
1"	1.5"	2"	0.80	43.33	57.01	71.03	59.43	79.08	98.97	119.01	139.18	159.42	179.73	154.05	169.60	185.17	200.75	216.34		
1"	1.5"	2"	0.90	48.74	64.14	79.90	66.86	88.96	111.34	133.89	156.57	179.35	202.19	173.31	190.80	208.31	225.84	243.38		
1"	1.5"	2"	1.00	54.16	71.27	88.78	74.28	98.85	123.71	148.77	173.97	199.29	224.66	192.57	212.00	231.46	250.93	270.42		
1"	1.5"	2"	1.10	59.57	78.40	97.66	81.71	108.73	136.08	163.64	191.37	219.20	247.12	211.82	233.20	254.60	276.03	297.46		
1"	1.5"	2"	1.20	64.99	85.52	106.54	89.14	118.62	148.45	178.52	208.76	239.13	269.59	231.08	254.40	277.75	301.12	324.51		
1"	1.5"	2"	1.30	70.41	92.65	115.42	96.57	128.50	160.82	193.40	226.16	259.06	292.06	250.34	275.60	300.90	326.21	351.55		
1"	1.5"	2"	1.40	75.82	99.78	124.30	104.00	138.39	173.19	208.28	243.56	278.98	314.52	269.60	296.80	324.04	351.31	378.59		
1"	1.5"	2"	1.50	81.24	106.90	133.17	111.43	148.27	185.56	223.15	260.95	298.91	336.99	288.85	318.00	347.19	376.40	405.63		
1"	1.5"	2"	1.60	86.65	114.03	142.05	118.86	158.16	197.93	238.03	278.35	318.84	359.45	308.11	339.20	370.33	401.49	432.67		
1"	1.5"	2"	1.70	92.07	121.16	150.93	126.28	168.04	210.30	252.91	295.75	338.77	381.92	327.37	360.40	393.48	426.59	459.72		
1"	1.5"	2"	1.80	97.48	128.28	159.81	133.71	177.93	222.68	267.78	313.14	358.69	404.39	346.62	381.60	416.63	451.68	486.76		
1"	1.5"	2"	1.90	102.90	135.41	168.69	141.14	187.81	235.05	282.66	330.54	378.62	426.85	365.88	402.80	439.77	476.77	513.80		
1"	1.5"	2"	2.00	108.32	142.54	177.56	148.57	197.70	247.42	297.54	347.94	398.55	449.32	385.14	424.01	462.92	501.87	540.84		
1"	1.5"	2"	2.10	113.73	149.66	186.44	156.00	207.58	259.79	312.41	365.34	418.48	471.78	404.39	445.21	486.06	526.96	567.89		
1"	1.5"	2"	2.20	119.15	156.79	195.32	163.43	217.47	272.16	327.29	382.73	438.40	494.25	423.65	466.41	509.21	552.05	594.93		
1"	1.5"	2"	2.30	124.56	163.92	204.20	170.85	227.35	284.53	342.17	400.13	458.33	516.71	442.91	487.61	532.36	577.15	621.97		

หมายเหตุ : ฉนวนแคลเซียมซิลิเกต ความหนาแน่น 135 kg/m³ ค่าการนำความร้อน = 0.049 W/m K อุณหภูมิบรรยากาศแวดล้อม 35°C

ตัวอย่างที่ 6

จากการตรวจสอบระบบท่อของหม้อไอน้ำตามตัวอย่างที่ 1 พบว่าท่อไอน้ำขนาด 2” ความยาว 50 m. ไม่มีการหุ้มฉนวน
จงคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้หากท่อความยาวดังกล่าวถูกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m³

วิธีคำนวณ

การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อนอหุ้มฉนวนความร้อน

รายการ	ข้อมูลวัดและคำนวณ
อุณหภูมิผิวท่อที่ไม่หุ้มฉนวน	วัดได้ 180°C (อุณหภูมิไอน้ำ)
ความยาวท่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทั้งหมด	ท่อขนาด 2” ความยาว 50 m
จำนวนวาล์วและหน้าแปลนทั้งหมด โดยหน้าแปลนคิดเป็นความยาวเทียบเท่า 0.4 ม./ตัว และ วาล์วคิดเป็นความยาวเทียบเท่า 1.2 ม./ตัว	วาล์ว 2” จำนวน 3 ตัว และ หน้าแปลน 2” จำนวน 6 ตัว ดังนั้น ความยาว (1.2 x 3) + (0.4 x 6) = 6 m
จากตาราง 2.14 การสูญเสียความร้อนของท่อนอหุ้มฉนวนที่อุณหภูมิ 180°C ท่อขนาด 2 นิ้ว	อ่านค่าได้ 0.57 kW/ m
ชั่วโมงการใช้งานระบบความร้อนของโรงงาน	= 6,000 h/y
ค่าการสูญเสียความร้อนรวม	= 0.57(kW/m) x (50+6)(m) x 6,000(h/y) = 191,520.0 kWh/y

การหาค่าการสูญเสียความร้อนของท่อนหลังหุ้มฉนวนความร้อน

รายการ	ข้อมูลวัดและคำนวณ
ประเภทฉนวน	ฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 64 kg/m ³
อ่านค่าการสูญเสียความร้อนของฉนวนใยแก้วที่อุณหภูมิผิวท่อ 180°C ของท่อขนาด 2 นิ้ว จากตารางที่ 2.16-2.18	ค่าการสูญเสีย 43.06 W/ m อุณหภูมิพื้นผิวหลังหุ้มฉนวนเฉลี่ย 45.36°C
นำค่าอุณหภูมิผิวท่อนอหุ้มฉนวนไปเลือกขนาดความหนาฉนวนที่เหมาะสมจากตารางที่ 2.13	ได้ความหนาฉนวน 1.5” (38 mm.)
ชั่วโมงการใช้งานระบบความร้อนของโรงงาน	= 3,000 h/y
คิดเป็นค่าการสูญเสียความร้อนรวม	= 43(W/m) x (50+6)(m) x 6,000(h/y) x 10 ⁻³ = 14,448 kWh/y
ความร้อนสูญเสียที่ลดลงจากการหุ้มฉนวน	= 191,520.0 – 14,448.0 = 177,072.0 kWh/y

หมายเหตุ: การหาค่าการสูญเสียความร้อนของพื้นผิวผนัง ใช้วิธีเดียวกับกับการหาความร้อนสูญเสียของท่อ โดยใช้ตารางที่ 2-15, ตารางที่ 2-19-2-21 ซึ่งสามารถหาค่าการสูญเสียความร้อนได้

2.7.2 การตรวจสอบกับดักไอน้ำ

เราควรดำเนินการตรวจสอบกับดักไอน้ำเป็นประจำและเป็นระบบ วิธีการตรวจสอบกับดักไอน้ำมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การตรวจสอบอุณหภูมิสูงที่ท่อทางเข้า การติดตั้งกระจกมองเห็นที่ท่อทางออก หรือการใช้เครื่องมือตรวจสอบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Detector) ปัจจุบันกับดักไอน้ำสามารถใช้ร่วมกับเครื่องมือตรวจสอบทำให้สามารถทำการตรวจสอบได้ง่าย ตามคู่มือที่แนบมาหรือระบบการตรวจติดตามโดยฐานข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ รายการตรวจสอบกับดักไอน้ำมีดังนี้

- มีช่วงที่กับดักไอน้ำเย็นตัวหรือไม่
- กับดักไอน้ำพ่นไอน้ำทิ้งอยู่ตลอดเวลาหรือไม่
- กับดักไอน้ำอุดตันหรือไม่
- วาล์ว by-pass ของกับดักไอน้ำเปิดทิ้งอยู่หรือไม่
- การติดตั้งกับดักไอน้ำถูกต้องหรือไม่ (ตำแหน่ง ทิศทาง มุม)
- เลือกใช้ชนิดของกับดักไอน้ำเหมาะสมกับอุปกรณ์หรือไม่
- อุปกรณ์ให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีปัญหาอุณหภูมิผิดปกติหรืออุณหภูมิไม่สม่ำเสมอหรือไม่
- กับดักไอน้ำมีน้ำท่วมอยู่หรือไม่

- ก๊ับดักไอน้ำที่ติดตั้งอยู่เหมาะสมกับความดันหรือไม่
- ติด Sight Glasses Check เพื่อดูว่ามีการรั่วหรือไม่
- ใช้ Ultrasonic ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์สูง

ก๊ับดักไอน้ำมีรูเล็กๆ และมีส่วนเคลื่อนไหวหลายชิ้น ถ้าไม่มีการดูแลบำรุงรักษาเป็นประจำจะเกิดการอุดตันบางส่วนหรืออุดตันทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วด้วยตะกรัน สนิมและอื่นๆ เป็นผลให้การปล่อยคอนเดนเสทออกได้ช้า ออกน้อยหรือไม่ออกเลย เกิดอาการที่เรียกว่า “น้ำขัง” ในเครื่องอุปกรณ์การผลิตทำให้ผลิตช้าลง ผลผลิตไม่ได้คุณภาพตามต้องการ แต่ถ้าตะกรันสนิมไปขัดส่วนเคลื่อนไหวทำให้เปิดค้างตลอดเวลา จะเกิดไอน้ำรั่ว สิ้นเปลืองไอน้ำมาก กระบวนการผลิตไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้น ก๊ับดักไอน้ำทุกตัวในโรงงานจึงควรได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาแก้ไขให้ทำงานเป็นปกติอย่างน้อย 3 เดือนครั้ง

สาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทำงานไม่ดี

1. คุณภาพไอน้ำไม่ดี (ไอเปียก, ความดันไอน้ำต่ำกว่าพิกัด, ใช้สารเคมีปรุงแต่งน้ำเลี้ยงเข้าหม้อไอน้ำไม่ถูกต้อง)
2. ระบบไอน้ำทำงานไม่ดี (น้ำขังในเครื่องอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ, มีการกัดกร่อน, รั่ว, สิ้นสละเทือน)
3. ใช้ก๊ับดักไอน้ำไม่ถูกต้องกับงาน
4. ติดตั้งก๊ับดักไอน้ำไม่ถูกต้อง (คอนเดนเสทไม่สามารถหาทางไหลออกไปยังก๊ับดักไอน้ำได้, ไม่อยู่ที่จุดต่ำสุดในระบบ, มีขนาดไม่ถูกต้องกับอัตราการไหลของไอน้ำ/คอนเดนเสท)
 - ขนาดเล็กไป (Under Size) ปล่อยคอนเดนเสทได้น้อยกว่าคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น เกิดอาการ “น้ำขัง”
 - ขนาดใหญ่ไป (Oversize) ปล่อยคอนเดนเสทได้มากกว่าที่เกิดทำให้มีการเปิด-ปิดถี่มาก วาล์วและปะวาล์วสึกหรอเร็ว และเกิดการรั่วของไอน้ำขึ้นได้
5. สิ่งสกปรก และหรือค้อนน้ำ จะทำให้ก๊ับดักไอน้ำไม่ทำงาน/ชำรุด
6. มีอากาศในไอน้ำ

2.7.3 การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ

ไม่ว่าจะเป็นไอน้ำหรือน้ำหรืออากาศ ต่างก็ต้องส่งด้วยระบบท่อ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากระบบทอสงนับเป็นการสูญเสียที่มาก ดังนั้น การตรวจสอบระบบทอยางเครงครัดจึงนับเป็นจุดเริ่มต้นของการประหยัดพลังงานที่ดี

- ระบบทอชำรุดหรือไม่
- มีรอยรั่วจากขอตอต่างๆ (หนาแปลน วาลว เปนตน) หรือไม่
- มีรอยรั่วจากบริเวณรอยเชื่อมหรือเกลียวตอหรือไม่
- มีระบบทอซึ่งไม่ใช้อยู่หรือไม่
- มีทอไอน้ำบางส่วนแขอยในน้ำบางหรือไม่
- มีการรั่วจากล้นนิริภัยหรือไม่
- มีระบบทอไอน้ำซึ่งเปลือยอยุหรือไม่

2.7.4 การไขวาลวอยางถูกต้อง

ตรวจดูวาลวของเชื้อเพลิงไอน้ำและอากาศ เปนตน ทำงานโดยอยางสมบูรณหรือไม่ นอกจากนั้นจะตองตระหนักไว้วดวยว่า วาลวเปนสิ่งที่รั่วได้ การลิมบดวาลวหรือปิดไมสนิทหลังการปฏิบัติงานมีสวนใหญ่สูญเสียพลังงานโดยอยางมากมายทีเดียว ดังนั้นจึงขอใหประหยัดพลังงานโดยการเปิดบดวาลวใหถูกต้อง

- มีการรั่วจากวาลวหรือไม่
- ตรวจดูอีกครั้หนึ่งวาลิมบดวาลวขณะเลิกงานหรือขณะหยุดพักหรือไม่
- มีการกำหนดและติดประกาศชื่อผู้รับผิดชอบในการเปิดบดวาลวหรือไม่
- เปิดวาลวเกินจำเป็นหรือไม่
- มีป้ายแสดงการเปิดบดของวาลวหรือไม่
- วาลวที่ติดตั้งเหมาะสมกับความดันหรือไม่
- ตำแหน่งติดตั้งวาลวเหมาะสมหรือไม่
- ไขวาลวทั้ง ๆ ที่ชำรุดหรือไม่

2.8 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบคอนเดนเสท

ไอน้ำเป็นพลังงานที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในไอน้ำที่อุปกรณ์ไอน้ำทั่วไปนำมาใช้งานจะมีเพียงความร้อนแฝงของการควบแน่นเท่านั้น ส่วนความร้อนสัมผัส คือ ความร้อนที่มีอยู่ในน้ำควบแน่นมักจะถูกลบทิ้งไปในบรรยากาศ

หากเราสามารถนำความร้อนในน้ำควบแน่นกลับมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมดแล้ว อัตราส่วนของความร้อนที่นำกลับมาใช้ต่อความร้อนทั้งหมดในไอน้ำอาจจะมีค่าสูงถึง 20-30% นอกจากนั้น ยิ่งความดันสูงขึ้นเท่าใด อัตราส่วนนี้ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น ดังนั้น จึงต้องพยายามเท่าที่จะทำได้ที่จะไม่ปล่อยน้ำควบแน่นทิ้งไปในบรรยากาศ แต่ควรนำกลับมาใช้ในสภาวะความดันสูง

2.8.1 การใช้คอนเดนเสท

การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้เป็นสิ่งสำคัญ วิธีการนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้ที่นิยมกันมากที่สุดและมีประโยชน์มาก ได้แก่ การนำกลับมาเป็นน้ำจ่ายให้หม้อไอน้ำ คุณภาพของน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำจะขึ้นอยู่กับประเภทและความดันของหม้อไอน้ำ การควบคุมคุณภาพน้ำเลี้ยงเป็นต้นทุนส่วนหนึ่งของการผลิตไอน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การผลิตน้ำบริสุทธิ์จะมีต้นทุนสูง ดังนั้น การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้เพื่อลดปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ต้องผลิตจึงมีประสิทธิผลทางเศรษฐศาสตร์อย่างมาก อย่างไรก็ตาม เราต้องระมัดระวังไม่ให้มีสิ่งปลอมปน เช่น อากาศละลายในน้ำ น้ำมันและสนิมเหล็กต่างๆ หรือของเหลวในกระบวนการผลิตเข้ามาปะปน เป็นต้น กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งปลอมปนได้ ให้นำกลับมาใช้แต่ความร้อนอย่างเดียว โดยยอมที่จะไม่นำน้ำกลับมาใช้

วิธีนำ Drain กลับมาใช้แบ่งเป็นวิธีส่งกลับด้วยความดันของตัวเองกับวิธีสูบล้างด้วยปั๊ม

- วิธีแรกจะใช้ Back Pressure ของ Drain ส่งกลับด้วยท่อ Recovery ไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ วิธีนี้มีประสิทธิภาพดีในกรณีที่ความดันใช้งานของอุปกรณ์ไอน้ำต่างๆ มีค่าค่อนข้างสูง และระยะทางไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำมีระยะทางไม่ไกลมาก
- วิธีหลังยังแบ่งเป็นแบบเปิดกับแบบปิด แบบเปิดจะรวบรวม Drain ใส่ถังเปิด (Recovery Tank) ก่อน แล้วใช้ปั๊มสูบล้างไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก Drain มีอุณหภูมิสูง จึงต้องระมัดระวังในการเลือกประเภทและกำหนดตำแหน่งของปั๊ม ในกรณีของปั๊มทั่วไป จะรองรับ Drain ที่มีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 70-80°C เพื่อป้องกัน Cavitations ส่วนแบบปิดจะใช้ปั๊มซึ่งออกแบบมาสำหรับ Drain Recovery โดยเฉพาะ ปั๊มนี้จะสามารถติดตั้งไว้กลางทางท่อ Drain Recovery ได้ และสูบล้างไปยังถังจ่ายน้ำเลี้ยงหม้อไอน้ำ หรือส่งไปยังหม้อไอน้ำโดยตรงก็ได้

การนำน้ำควบแน่นกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะต้องออกแบบท่อนำกลับน้ำควบแน่นอย่างเหมาะสม กล่าวคือ สมบัติของของเหลวภายในท่อระบายเป็นกระแสของไหลสองสถานะ ได้แก่ ไอน้ำแฟลชกับน้ำระบาย ดังนั้น ในการออกแบบท่อระบายหากกำหนดขนาดของท่อโดยถือว่าเป็นท่อน้ำอุ่นที่มีแต่น้ำระบาย ซึ่งเกิดจากไอน้ำควบแน่นเพียงอย่างเดียว ในทางปฏิบัติแล้วท่อจะมีขนาดเล็กไป ทำให้ความเร็วของของไหลภายในท่อสูงเกินไป ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น ทำให้ Back Pressure ของกักเก็บไอน้ำเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์คือ เป็นสาเหตุทำให้กักเก็บไอน้ำมีความจุ (Capacity) ไม่เพียงพอได้ จึงต้องใช้ความระมัดระวัง ช่วงความเร็วของของไหลภายในท่อที่เหมาะสมจะเท่ากับ 5-15 m/s นอกจากนี้ ไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้นในท่อไม่เพียงแต่จะขัดขวางการไหลตามปกติของน้ำระบายเท่านั้น แต่ยังทำให้กักเก็บไอน้ำมีความสามารถในการระบายลดลงอีกด้วย จึงต้องพยายามเท่าที่จะทำได้ในการออกแบบท่อไม่ให้เกิดของไหลสองสถานะขึ้น

ตารางที่ 2-22 ขนาดของท่อในการนำคอนเดนเสทกลับที่เหมาะสม

ขนาดท่อ mm (inch)	ปริมาณสูงสุด (kg/h)
15 (1/2)	160
20 (3/4)	370
25 (1)	700
32 (1-1/4)	1,500
40 (1-1/2)	2,300
50 (2)	4,500
65 (2-1/2)	9,000
80 (3)	14,000
100 (4)	29,000

การคำนวณอุณหภูมิน้ำหลังจากผสมกับคอนเดนเสท

- วัตถุประสงค์ของน้ำที่จะนำไปผสมกับคอนเดนเสท และอุณหภูมิคอนเดนเสท โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิในตำแหน่งที่น้ำและคอนเดนเสทก่อนเข้าผสม
- ประเมินหรือตรวจวัดสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำที่เข้าผสม
- นำค่าอุณหภูมิที่เข้าผสมและคอนเดนเสท รวมทั้งสัดส่วนระหว่างคอนเดนเสทต่อน้ำไปเปิดตารางที่ 2.23 โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เข้าผสมกับคอนเดนเสทจะได้อุณหภูมิหลังจากผสมกับคอนเดนเสท

การหาอุณหภูมิที่ปนหลังผสมกับคอนเดนเสทและปริมาณพลังงานเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้จากการใช้คอนเดนเสทสามารถคำนวณได้จากการสมดุลมวลและพลังงาน

สมดุลมวล

$$m_w = m_{CD} + m_M$$

สมดุลความร้อน

$$m_w C_p t_3 = m_{CD} C_p t_1 + m_M C_p t_2$$

อุณหภูมิหลังจากผสม

$$t_3 = \frac{m_{CD} C_p t_1 + m_M C_p t_2}{m_w C_p}$$

ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัด $Fuel\ saving = \frac{m_w C_p (t_3 - t_2)}{LHV \cdot \eta_B}$

เมื่อ

m_{CD} = อัตราการไหลของน้ำคอนเดนเสท, kg/s

m_M = อัตราการไหลของน้ำเข้าผสม, kg/s

m_w = อัตราการไหลของน้ำหลังผสม (น้ำปนหม้อไอน้ำ), kg/s

t_1 = อุณหภูมิคอนเดนเสทที่เข้าผสม, °C

t_2 = อุณหภูมิน้ำเข้าผสม, °C

t_3 = อุณหภูมิน้ำหลังจากการผสมหรืออุณหภูมิที่ปนหม้อไอน้ำ, °C

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, kJ/kg

η_B = ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

C_p = ค่าความจุความร้อนของน้ำ, 4.187 kJ/kg °C

ตารางที่ 2-23 อุณหภูมิของน้ำหลังจากผสมกับคอนเดนเสท (t_3 ; °C)

อุณหภูมิที่เข้าผสม (°C)	อุณหภูมิคอนเดนเสท (°C)	อัตราส่วนผสมระหว่าง (คอนเดนเสท : น้ำ)								
		10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10
25	60	28.5	32.0	35.5	39.0	42.5	46.0	49.5	53.0	56.5
	70	29.5	34.0	38.5	43.0	47.5	52.0	56.5	61.0	65.5
	80	30.5	36.0	41.5	47.0	52.5	58.0	63.5	69.0	74.5
	90	31.5	38.0	44.5	51.0	57.5	64.0	70.5	77.0	83.5
	100	32.5	40.0	47.5	55.0	62.5	70.0	77.5	85.0	92.5
	110	33.5	42.0	50.5	59.0	67.5	76.0	84.5	93.0	101.5
30	60	33.0	36.0	39.0	42.0	45.0	48.0	51.0	54.0	57.0
	70	34.0	38.0	42.0	46.0	50.0	54.0	58.0	62.0	66.0
	80	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0
	90	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0	66.0	72.0	78.0	84.0
	100	37.0	44.0	51.0	58.0	65.0	72.0	79.0	86.0	93.0
	110	38.0	46.0	54.0	62.0	70.0	78.0	86.0	94.0	102.0
35	60	37.5	40.0	42.5	45.0	47.5	50.0	52.5	55.0	57.5
	70	38.5	42.0	45.5	49.0	52.5	56.0	59.5	63.0	66.5
	80	39.5	44.0	48.5	53.0	57.5	62.0	66.5	71.0	75.5
	90	40.5	46.0	51.5	57.0	62.5	68.0	73.5	79.0	84.5

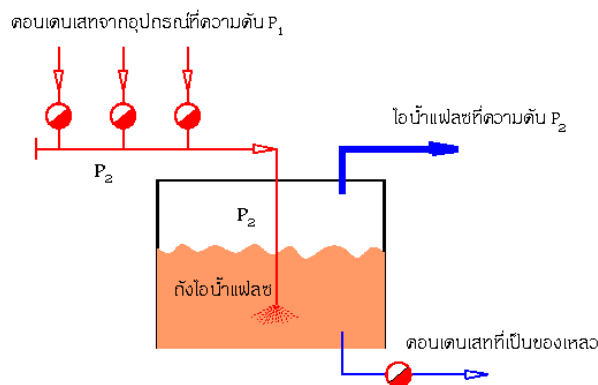
อุณหภูมิน้ำที่ เข้าผสม (°C)	อุณหภูมิคอน เดนเสท (°C)	อัตราส่วนผสมระหว่าง (คอนเดนเสท : น้ำ)								
		10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10
	100	41.5	48.0	54.5	61.0	67.5	74.0	80.5	87.0	93.5
	110	42.5	50.0	57.5	65.0	72.5	80.0	87.5	95.0	102.5
40	60	42.0	44.0	46.0	48.0	50.0	52.0	54.0	56.0	58.0
	70	43.0	46.0	49.0	52.0	55.0	58.0	61.0	64.0	67.0
	80	44.0	48.0	52.0	56.0	60.0	64.0	68.0	72.0	76.0
	90	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0
	100	46.0	52.0	58.0	64.0	70.0	76.0	82.0	88.0	94.0
	110	47.0	54.0	61.0	68.0	75.0	82.0	89.0	96.0	103.0

2.8.2 การนำไอน้ำแฟลชกลับมาใช้

ไอน้ำแฟลชเป็นไอน้ำที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ ปริมาณไอน้ำแฟลชจะมากขึ้นเมื่อความแตกต่างระหว่างความดันคอนเดนเสทกับความดันของไอน้ำแฟลชมาก ไอน้ำแฟลชเกิดขึ้นได้โดยการนำคอนเดนเสทที่ออกจากกักไอน้ำ (Steam trap) มารวมกันแล้วต่อเข้ากับถังแฟลช ซึ่งมีความดันต่ำกว่าความดันคอนเดนเสท จะทำให้คอนเดนเสทเกิดการระเหยกลายเป็นไอ (รูปที่ 2.14) ซึ่งไอน้ำแฟลชที่ได้จากถังแฟลชนี้สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำความดันต่ำ สำหรับขนาดของถังไอน้ำแฟลชที่เหมาะสมสามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.24

การคำนวณร้อยละของปริมาณไอน้ำแฟลช

- ตรวจสอบวัดความดันของน้ำร้อนก่อนเข้าถังแฟลชหรือก่อนลดความดัน (ด้านความดันสูง) โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน
- ตรวจสอบวัดความดันของไอน้ำหลังจากเข้าถังแฟลชหรือหลังจากลดความดัน (ด้านความดันต่ำ) โดยใช้เครื่องมือวัดความดัน
- นำความดันทั้งสองไปเปิดตารางที่ 2-25 จะได้รับร้อยละของไอน้ำแฟลชที่เกิด



รูปที่ 2-14 การเกิดไอน้ำแฟลช

ตารางที่ 2-24 ขนาดของถังไอแฟลชที่เหมาะสม

ขนาดของถังไอน้ำแฟลช		ปริมาณคอนเดนเสท (kg/h)
เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความสูง (mm)	
150	940	900
200	940	2,250
300	1,000	4,500
380	1,100	9,000
460	1,200	13,000
500	1,400	16,000
600	1,400	20,000
760	1,400	34,000
920	1,500	50,000

ตารางที่ 2-25 ร้อยละของปริมาณการเกิดไอน้ำแฟลช

ด้าน ความ ดันสูง (barg)	ด้านความดันต่ำ (barg)															
	0.0	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0
1	3.7	2.5	1.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6.2	5.0	4.2	2.6	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	8.1	6.9	6.1	4.5	3.2	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	9.7	8.5	7.7	6.1	4.8	3.6	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	11.0	9.8	9.1	7.5	6.2	5.0	3.1	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
6	12.2	11.0	10.3	8.7	7.4	6.2	4.3	3.0	1.3	-	-	-	-	-	-	-
8	14.2	13.1	12.3	10.8	9.5	8.3	6.4	4.8	3.4	2.2	-	-	-	-	-	-
10	15.9	14.8	14.2	12.5	11.2	10.1	8.2	6.6	5.3	4.0	1.9	-	-	-	-	-
12	17.4	16.3	15.5	14.0	12.7	11.6	9.8	8.2	6.9	5.7	3.5	1.7	-	-	-	-
14	18.7	17.6	16.9	15.4	14.1	13.0	11.2	9.6	8.3	7.1	5.0	3.2	1.5	-	-	-
16	19.0	18.8	18.1	16.6	15.3	14.3	12.4	10.9	9.6	8.4	6.3	4.5	2.9	1.4	-	-
18	21.0	19.9	19.2	17.7	16.5	15.4	13.6	12.1	10.8	9.6	7.5	5.7	4.1	2.7	1.3	-
20	22.0	20.9	20.2	18.8	17.5	16.5	14.7	13.2	11.9	10.7	8.7	6.9	5.3	3.8	2.5	1.2

ร้อยละของไอน้ำแฟลชที่เกิดขึ้น $R_{FS} = \frac{m_{FS}}{m_{CD}} = \frac{h_{P1} - h_{P2}}{h_{fg}(P2)}$

ปริมาณความร้อนสูญเสียจากไอน้ำแฟลช $Q_{FS} = m_{CD} h_{fg} \frac{R_{FS}}{100}$

ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูญเสียจากไอน้ำแฟลช $Loss_{fuel} = \frac{Q_{FS} \times 10^{-3}}{LHV \times \eta_B}$

- เมื่อ m_{FS} = ปริมาณไอน้ำแฟลช (kg/s)
- m_{CD} = ปริมาณน้ำคอนเดนเสท (kg/s)
- $h(P_1)$ = เอนทาลปีของน้ำคอนเดนเสทที่ความดัน P_1 (kJ/kg) (ก่อนการแฟลช)
- $h(P_2)$ = เอนทาลปีของน้ำคอนเดนเสทที่ความดัน P_2 (kJ/kg) (หลังการแฟลช)
- $h_{fg}(P_2)$ = เอนทาลปีของไอน้ำที่ความดัน P_2 (kJ/kg)
- LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง MJ/kg
- η_B = ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

ตัวอย่างที่ 7

จากตัวอย่างที่ 1 หากมีการติดตั้งระบบนำกลับคอนเดนเสท ระบบสามารถนำคอนเดนเสทกลับมาได้ 6,000 kg/h ที่อุณหภูมิ 100°C นอกจากนี้ยังติดตั้งเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) ซึ่งสามารถนำความร้อนจากก๊าซไอเสียมาใช้เพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนได้อีก 30°C จงคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้

- ระบบผลิตไอน้ำได้ = 10,000 kg/h
- ปริมาณน้ำป้อน = 10,600 kg/h (รวมโบล์ดาวน์ 6%)
- เก็บคืนคอนเดนเสท = 6,000 kg/h ที่ 100°C (60%)
- ต้องเติมน้ำ = 10,600 - 6,000 = 4,600 kg/h ที่ 25°C
- อุณหภูมิน้ำป้อน = $[(6,000 \times 100) + (4,600 \times 25)] / 10,600 = 67.5^\circ\text{C}$

ในกรณีที่ใช้ตาราง 2-23 คำนวณอุณหภูมิน้ำป้อนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าอัตราส่วนของ คอนเดนเสท : น้ำเติม} &= (6,000 / 10,600) : (4,600 / 10,600) \\ &= 56.6 : 43.4 \end{aligned}$$

ที่อุณหภูมิน้ำเติม 25°C และคอนเดนเสท 100°C จะได้อุณหภูมิน้ำป้อน = 66.8°C

$$\begin{aligned} \text{เมื่อน้ำป้อนผ่านเครื่องอุ่นน้ำป้อน (Economizer) อุณหภูมิน้ำเพิ่มได้อีก 30°C ดังนั้น อุณหภูมิน้ำป้อนเท่ากับ } &67.5 + 30 \\ = &97.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

จากตารางไอน้ำ น้ำป้อนที่อุณหภูมิ 97.5°C มีพลังงานความร้อน = 408.5 kJ/kg

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ} &= 10,600 \times (763 - 408.5) + 10,000 \times (2,778 - 763) \\ &= 23,907,700 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำลดลง} &= 27,124,800 - 23,907,700 \text{ kJ/h} \\ &= 3,217,100 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่ 1 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเท่ากับ 84.7%

$$\begin{aligned} \text{พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง} &= 3,217,100 / 0.847 \\ &= 3,798,229 \text{ kJ/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} &= 3,798,229 \times 6,000 / 1,000 \text{ MJ/y} \\ &= 22,789,374 \text{ MJ/y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นปริมาณน้ำมันที่ลดลงต่อปี} &= 22,789,374 / 40 \text{ L/y} \\ &= 569,734.4 \text{ L/y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำมันต่อปี} &= (4,800,000 - 569,734.4) \times 14 \text{ B/y} \\ &= 59,223,718.4 \text{ B/y} \end{aligned}$$

ราคาไอน้ำต่อตัน (เมื่อมีการนำคอนเดนเสทกลับมา)

$$\begin{aligned} &= 59,223,718.4 / (10 \times 6,000) \\ &= 987.1 \text{ B/t} \end{aligned}$$

ราคาไอน้ำต่อตัน (เดิมเมื่อไม่มีการนำกลับคอนเดนเสท) = 1,120 B/t

จากตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่า ประโยชน์จากการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ นอกเหนือจากการลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงแล้ว ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของน้ำประปาที่จะต้องป้อนให้กับหม้อไอน้ำในปริมาณเท่าๆ กับคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงยังสามารถลดค่าการปรับปรุงสภาพน้ำให้เหมาะสมอีกด้วย

2.9 เครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Generators or Once Through Boiler)

ในกรณีที่มีภาระไอน้ำน้อยควรเลือกเครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Generator or Once through Boiler) มาใช้แทนหม้อไอน้ำ เครื่องผลิตไอน้ำเป็นชนิดหนึ่งของหม้อไอน้ำแบบท่อไอน้ำ โดยไม่มีหม้อพักไอน้ำสามารถผลิต ไอน้ำจนได้ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ได้รวดเร็วกว่า

เครื่องผลิตไอน้ำจะทำงานก็ต่อเมื่อต้องการไอน้ำเท่านั้นการที่เครื่องผลิตไอน้ำไม่มีหม้อพักไอน้ำทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้มากในช่วงเวลาที่หยุด (Idle Periods)

ข้อดี

- ราคาถูก (ประมาณครึ่งหนึ่งของหม้อไอน้ำ)
- ตอบสนองต่อความต้องการไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว
- สามารถติดตั้งใกล้ๆ กับจุดที่ต้องการใช้ไอน้ำ ซึ่งจะลดการสูญเสียความร้อนในด้านการแจกจ่ายไอน้ำไปใช้ประโยชน์
- ขดใส่ไอน้ำ (Steam Coil) ในเครื่องผลิตไอน้ำจะมีความแข็งแรง แต่ผนังของขดจะบางกว่า (เปรียบเทียบกับท่อของหม้อไอน้ำ)

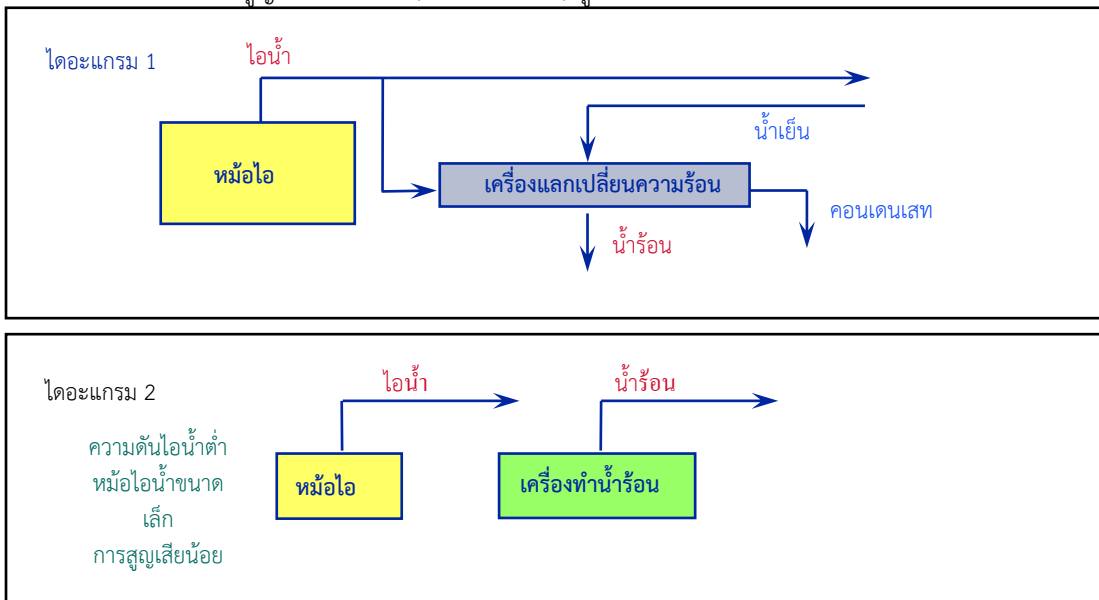
ข้อเสีย

- ประสิทธิภาพต่ำ : จำนวนกลับของท่อมีน้อยกว่า ทำให้ลดเวลาที่น้ำไหลอยู่ในหม้อไอน้ำ หมายถึง เวลาที่น้ำจะกลายเป็นไอน้ำมีเวลาน้อยเป็นผลให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น
- อุณหภูมิก๊าซร้อนที่ออกปล่องสูงกว่าเป็นผลให้การสูญเสียความร้อนไปทางปล่องและการสูญเสียจากการแผ่รังสีสูงกว่า

2.10 การใช้ความร้อน

ในสถานประกอบการที่มีความต้องการใช้ทั้งไอน้ำและน้ำร้อน มักจะมีหม้อไอน้ำหนึ่งลูกเพื่อผลิตไอน้ำความดันปานกลางและนำไอน้ำส่วนหนึ่งไปใช้เพื่อผลิตน้ำร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) (ไดอะแกรม 1) แทนที่จะใช้หม้อไอน้ำขนาดใหญ่ 1 ลูก เป็นการดีที่จะใช้หม้อไอน้ำเล็กๆ หนึ่งลูกผลิตไอน้ำความดันต่ำและเครื่องทำน้ำร้อน 1 ลูกแทน (ไดอะแกรม 2) ด้วยเหตุผลดังนี้

- หม้อไอน้ำจะมีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อใช้งานที่ความดันไอน้ำต่ำ ๆ
- หม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมีการสูญเสียโดยการแผ่รังสีมากกว่าหม้อไอน้ำขนาดเล็ก
- หม้อไอน้ำจะมีการสูญเสียทางปล่อง (Stack Losses) สูงกว่าเครื่องทำน้ำร้อน



รูปที่ 2-15 การทำงานของหม้อไอน้ำ

ในงานที่ต้องการอุณหภูมิสูงมาก (เช่น 260°C) หม้อต้มน้ำมันร้อน (Thermal Oil Boiler) สามารถทำความร้อนได้ถึง 350°C ที่ความดันบรรยากาศ จึงควรเลือกใช้แทน หม้อไอน้ำความดันสูง

ในระบบนี้ ปัมป์จะทำหน้าที่ส่งน้ำมันร้อน 350°C ด้วยความดันต่ำ (2-3 bar) ไปยังกระบวนการผลิตที่อยู่ไกลๆ หลังจากน้ำมันร้อนถ่ายเทความร้อนให้กับงานแล้ว อุณหภูมิจะลดลง 10-20°C ก็จะไหลกลับเข้าไปรับความร้อนในหม้อต้มน้ำมันร้อน 350°C

จากคุณสมบัติไอน้ำ ถ้าต้องการอุณหภูมิ 260°C ไอน้ำจะต้องมีความดันสูงถึง 47 bar หม้อไอน้ำความดันสูงจะมีราคาแพงมาก ระบบท่อไอน้ำ และเครื่องอุปกรณ์ใช้ไอน้ำจะต้องออกแบบให้ทนความดันสูงได้ การใช้งานต้องการการควบคุมดูแล และบำรุงรักษาอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยตลอดเวลาเป็นผลให้มีความคุ้มค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องและการบำรุงรักษาสูง ดังนั้นการใช้หม้อต้มน้ำมันร้อนทำงานที่ความดันต่ำ และการใช้ระบบท่อความดันต่ำจึงมีความปลอดภัยกว่า

2.11 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1 การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้

โรงแรมแห่งหนึ่งซึ่งมีจำนวนห้องพัก 460 ห้อง อาคารมีความสูง 38 ชั้น หม้อไอน้ำที่ใช้เป็นชนิดท่อไฟ ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำติดตั้ง 1 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จากการสังเกตปล่องหม้อไอน้ำทั้งสองลูกพบว่ามีความน้อย เมื่อได้ทำการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย พบว่าหม้อไอน้ำทั้งสองลูกมีปริมาณออกซิเจนในไอเสียเฉลี่ย 8.2%	ทำการปรับลดปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ โดยการปรับแตรมเปอร์ ทำให้สามารถลดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียเหลือ 5.2%

การตรวจและวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำ

ข้อมูล	สัญลักษณ์	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ข้อมูลทั่วไป				
ชนิดหม้อไอน้ำ			ท่อไฟ	ท่อไฟ
เส้นผ่านศูนย์กลาง	D	m.	1.7	1.7
ความยาว	L	m.	3.2	3.2
ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำ	Cap	Ton/hr	10	10
ความดันไอน้ำใช้งาน	P	kg/cm ²	6.5	6.5
เวลาทำงาน	H	hr/y	5,293	5,293
อุณหภูมิแวดล้อมหม้อไอน้ำ	T _r	°C	35	35
เชื้อเพลิง				
ชนิดเชื้อเพลิง			ดีเซล	ดีเซล
อุณหภูมิน้ำมัน	T _F	°C	36.3	36.3
ความหนาแน่นน้ำมัน	ρ _F	kg/L	0.88	0.88
ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง	HHV	MJ/kg	43.1	43.1
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	LHV	MJ/kg	39.8	39.8
ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง	C _p	kJ/kg. °C	1.88	1.88
ปริมาณน้ำมันที่ใช้	V _F	Liter/hr	36	33
ราคาเชื้อเพลิง		Baht/Liter	20	20
อุณหภูมิอากาศที่ใช้เผาไหม้	T _a	°C	35	35
น้ำป้อน				
อัตราการป้อนน้ำ	m _w	kg/hr	470	470
อุณหภูมิน้ำป้อน	T _w	°C	68.5	68.5
ก๊าซไอเสีย				
ปริมาณ CO	CO	ppm	48	51
ปริมาณ O ₂	O ₂	%	8.0	5.0
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	T _{FLUE}	°C	210.6	209.6
โบลว์ดาวน์				
อัตราการโบลว์ดาวน์	m _B	kg/hr	9.4 (2%)	9.4 (2%)
อุณหภูมิโบลว์ดาวน์	T _B	°C	161	161
การแผ่รังสีความร้อน				
ส.ป.ส การแผ่รังสี	e	-	0.8	0.8
พื้นที่ผิว	A	m ²	21.6	21.6
อุณหภูมิผิว	T _{surf}	°C	48	48
การวิเคราะห์หม้อไอน้ำ				
ความร้อนเข้า				

ข้อมูล	สัญลักษณ์	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ความร้อนจากเชื้อเพลิง $Q_C = V_F \times \rho_F \times LHV$	Q_C	MJ/hr	1,206.9	1,154.6
ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง $Q_S = V_F \times \rho_F \times C_p \times (T_F - T_r)$	Q_S	MJ/hr	0.08	0.08
ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน $Q_W = m_W \times C_p \times (T_W - T_r)$	Q_W	MJ/hr	66.1	66.1
ผลรวมความร้อนที่ป้อนเข้า $Q_{in} = Q_C + Q_S + Q_W$	Q_{in}	MJ/hr	1,273.1	1,220.9
ความร้อนออก				
<i>การสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสีย</i>				
ผลต่างอุณหภูมิไอเสียกับสิ่งแวดล้อม $DT = (T_{FLUE} - T_r)$	DT	°C (°F)	175 (347)	175 (347)
ปริมาณ CO ₂ ในไอเสีย (รูปที่ 2.12 ก)	CO ₂	%	9.6	11.9
ปริมาณอากาศส่วนเกิน (รูปที่ 2.12 ก)		%	58	29
ร้อยละการสูญเสียความร้อนทางปล่อง (ค่าจากการเปิดตารางที่ 2.6 และหักด้วย 5 สำหรับกรณีค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง)		% (LHV)	13.9	10.1
ความร้อนสูญเสียของก๊าซไอเสีย	Q_E	MJ/hr	167.8	115.5
<i>การสูญเสียความร้อนจากโบลว์ดาวน์</i>				
เอนทาลปีของน้ำโบลว์ดาวน์	h_B	kJ/kg	684.2	684.2
ความร้อนสูญเสียจากโบลว์ดาวน์ $Q_B = (M_B \times h_B) - (M_B \times C_p \times T_r)$	Q_B	MJ/hr	5.1	5.1
<i>การสูญเสียความร้อนจากผนังหม้อไอน้ำ</i>				
ความร้อนสูญเสียจากผนังหม้อไอน้ำ $Q_R = Q_{conv} + Q_{rad}$	Q_R	MJ/hr	5.6	5.6
ความร้อนของไอน้ำ $Q_S = Q_{in} - Q_E - Q_B - Q_R$	Q_S	MJ/hr	1,094.6	1,094.6
รวมความร้อนออก	Q_{out}	MJ/hr	1,273.1	1,220.9
สมรรถนะหม้อไอน้ำ				
ปริมาณไอน้ำที่ผลิต $m_S = m_W - m_B$	m_S	kg/hr	460.6	460.6
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (ค่าความร้อนต่ำ) $Eff = Q_S / Q_{in}$	Eff	%	85.6	89.6
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ		Baht/kg	1.56	1.43

กรณีศึกษาที่ 2 การลดแรงดันของไอน้ำที่ผลิต

โรงแรมแห่งหนึ่งซึ่งมีจำนวนห้องพัก 400 ห้อง หม้อไอน้ำที่ใช้กับโรงแรมแห่งนี้เป็นชนิดท่อไฟ ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำติดตั้ง 2 ตันไอน้ำ จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
หม้อไอน้ำปรับตั้งความดันไอน้ำที่ 105 psig มีอุณหภูมิ 172°C ซึ่งสูงเกินกว่าความต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในโรงแรม ทำให้หม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเกินกว่าที่จำเป็น	ทำการปรับลดความดันไอน้ำลงเป็น 90 psig มีอุณหภูมิ 166°C ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

การตรวจและวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำ

ชนิดไอน้ำที่ใช้	=	ไอน้ำอิ่มตัว
ขนาดหม้อไอน้ำ	=	2 ตัน/ชั่วโมง
จำนวนหม้อไอน้ำ	=	2 ชุด
เปอร์เซ็นต์การทำงาน	=	17 ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	365 วัน/ปี

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ความดันไอน้ำที่ตั้งไว้ (Psig)	105	90
อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	172	166
เอนทาลปีของไอน้ำ (kJ/kg)	2770.31	2,764.72

$$\begin{aligned} \text{พลังงานจากไอน้ำที่ลดลง} &= (2,770 \text{ kJ/kg} - 2,764.72 \text{ kJ/kg}) \times (2,000 \text{ kg/h}) \times \\ &\quad (17 \text{ h/d}) \times 0.7 \times (365 \text{ d/y}) \\ &= 48,555,117.80 \text{ kJ/y} \\ &= 48,555.12 \text{ MJ/y} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตา} = 39.77 \text{ MJ/L}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาณน้ำมันเตา} = 48,555.12 / 39.77$$

$$= 1,220.90 \text{ L/y}$$

$$\text{ราคาน้ำมันเตาเฉลี่ย} = 16 \text{ ฿/L}$$

$$\text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} = 1,220.90 \times 16$$

$$= 19,534.4 \text{ ฿/y}$$

ข้อควรระวัง :

1. การปรับลดความดันไอน้ำ จะส่งผลให้อุณหภูมิไอน้ำลดลง (กรณีไอน้ำอิ่มตัว) ดังนั้นอาจทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำต้องการปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น
2. หากภาวะของหม้อไอน้ำใกล้เคียงพิกัด การลดความดันไอน้ำที่หม้อไอน้ำอาจส่งผลให้เกิด Carry over

กรณีศึกษาที่ 3 การลดการโบลว์ดาวน์

โรงแรมแห่งหนึ่ง ติดตั้งหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ ขนาดพิกัดกำลังผลิตไอน้ำ 4 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 2 ชุด ทำงานครั้งละ 1 ชุด โดยทำงาน 20 ชั่วโมงต่อวัน และใช้น้ำมันเตาเกรดเอเป็นเชื้อเพลิง

จากการสำรวจพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำของหม้อไอน้ำอยู่ที่ 685 ppm ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานพิกัดของหม้อไอน้ำที่มีแรงดันต่ำกว่า 150 psig ที่ยอมให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำอยู่ที่ 3,500 ppm โรงแรมจะทำการโบลว์ดาวน์วันละ 2 ครั้ง จากค่าความเข้มข้นของสารละลายของน้ำ โรงแรมไม่มีความจำเป็นต้องโบลว์ดาวน์ เนื่องจากน้ำยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ข้อมูลจากการตรวจวัดพบว่า โรงแรมสูญเสียน้ำโบลว์ดาวน์ที่อุณหภูมิ 95°C ในอัตรา 6 ลิตร/นาที หรือ 3,153.6 ลบ.ม./ปี และยังสูญเสียน้ำประปา 28 ลิตร/นาที หรือเท่ากับ 14,716.80 ลบ.ม./ปี หากโรงแรมสามารถลดการโบลว์ดาวน์ลงได้จะทำให้โรงแรมลดการใช้ไอน้ำและเชื้อเพลิง

การตรวจและวิเคราะห์การทำงานของหม้อไอน้ำ

โรงแรมจะต้องทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายในน้ำและความถี่ในการโบลว์ดาวน์ หากพบว่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำของหม้อไอน้ำมีค่าต่ำกว่า 3,500 ppm โรงแรมจะต้องหยุดการโบลว์ดาวน์และปรับความถี่ของการโบลว์ดาวน์ เพื่อให้โรงแรมต้องสูญเสียน้ำในหม้อไอน้ำ ในกรณีของโรงแรมนี้สามารถลดการโบลว์ดาวน์ได้เป็น 1 ครั้ง/วัน ครั้งละไม่เกิน 5 นาที

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเฉลี่ย	= 84.52	%
การใช้งาน	= 7,300	h/y
อุณหภูมิน้ำป้อน	= 95.0	°C
อัตราการโบลว์ดาวน์	= 360	L/h
อัตราการไหลของน้ำประปาที่รั่วจากวาล์ว	= 1,680	L/h
ค่าความร้อนต่ำของน้ำมันเตาเกรดเอ	= 39.77	MJ/L
ค่าน้ำเฉลี่ย	= 17.11	฿/L
ค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย	= 14.31	฿/L

ผลประโยชน์

$$\begin{aligned} \text{น้ำร้อน} &= \text{อัตราการไหลของน้ำรั่ว (L/h)} \times \text{ชั่วโมงใช้งาน (h/y)} \\ &= (360 \times 7,300) / 1,000 \\ &= 2,628 \quad \text{m}^3/\text{y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำประปา} &= \text{อัตราการไหลของน้ำรั่ว (L/h)} \times \text{ชั่วโมงใช้งาน (h/y)} \\ &= (1,680 \times 7,300) / 1,000 \\ &= 12,264 \quad \text{m}^3/\text{y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำประปาสูญเสีย} &= (2,628 \text{ m}^3/\text{y} + 12,264 \text{ m}^3/\text{y}) \times 17.11 \text{ ฿/L} \\ &= 254,802.12 \quad \text{฿/y} \end{aligned}$$

ความร้อนสูญเสียไปกับน้ำที่รั่ว (น้ำร้อน)

$$\begin{aligned} Q_w &= F_w \times D_w \times C_p \times (T_w - T_{wo}) \\ \text{เมื่อ } F_w &= \text{อัตราการไหลของน้ำที่รั่ว (L/h)} \\ D_w &= \text{ค่าความหนาแน่นของน้ำ} \\ C_p &= \text{ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ} \\ T_w &= \text{อุณหภูมิน้ำรั่ว} \\ T_{wo} &= \text{อุณหภูมิน้ำปกติที่สภาวะมาตรฐาน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_w &= F_w \times D_w \times C_p \times (T_w - T_{wo}) \\ &= (360 \text{ L/h} \times 1 \times 4.187 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}) \times (95^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) / 1,000 \\ &= 105.51 \quad \text{MJ/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดเทียบเป็นน้ำมันเตาเกรดเอ} &= (Q_w / \text{LHV}) / \eta \\ &= (105.51 / 39.77) / 0.8452 \\ &= 3.29 \quad \text{L/h} \\ &= 3.29 \times 7,300 \quad \text{L/y} \\ &= 24,017 \quad \text{L/y} \end{aligned}$$

ค่าเชื้อเพลิง	= 24,017 (L/y) × 14.31 (฿/L)	
	= 343,683.27	฿/y
ผลประหยักรวมที่เกิดขึ้น	= ค่าน้ำ + ค่าเชื้อเพลิง	
	= 254,802.12 + 343,683.27	
	= 598,485.39	฿/y
การลงทุน		
ค่าวาล์วควบคุมขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 4 ชุด	= 91,440	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= 91,440 / 598,485.39	
	= 0.15 ปี	

2.12 เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน

การใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน (Heat Pump for Process Heating)

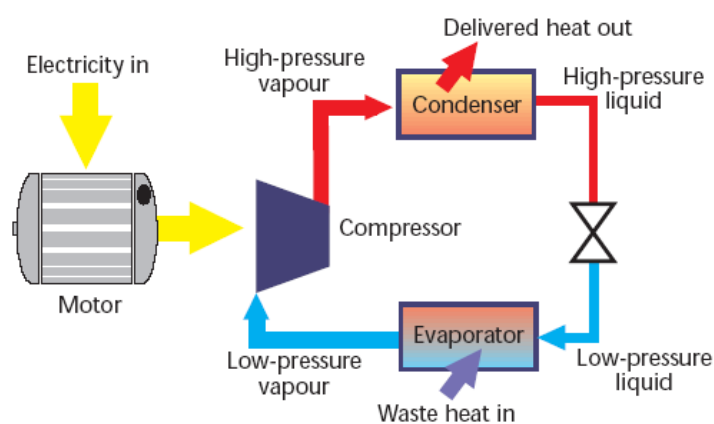
1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

ปั๊มความร้อน คืออะไร

ปั๊มความร้อน เป็นระบบที่มีวัฏจักรการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่รู้จักกันว่า Carnot Cycle ซึ่งดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนแล้วนำไปถ่ายเทในบริเวณที่ต้องการความร้อน หรือกล่าวอย่างง่ายก็คือการปั๊มความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั่นเอง วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ (Mechanical Vapour Compression System) ต่างกันเพียงแต่ปั๊มความร้อนจะเลือกใช้ประโยชน์จากด้านความร้อนเป็นหลักและควบคุมอุณหภูมิด้านความร้อนแทนด้านความเย็น

ส่วนประกอบการทำงานหลักของปั๊มความร้อน ประกอบด้วย

- อีวาพอเรเตอร์ ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากภายนอกเข้าสู่วงจรปั๊มความร้อน. โดยสารทำความเย็นที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกจะดึงความร้อนจากภายนอกและเปลี่ยนสถานะเป็นไอ
- คอมเพรสเซอร์ ทำหน้าที่เพิ่มความดันให้สารทำความเย็นในสถานะไอที่อุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภายนอกและส่งต่อไปที่คอนเดนเซอร์
- คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่ความดันสูงไหลต่อไปยังเอ็กซ์แพนชันวาล์ว
- เอ็กซ์แพนชันวาล์ว ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อป้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์



รูปที่ 1-1: แสดงวัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อน (2)

จึงเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนจะทำงานโดยใช้การหมุนเวียนของสารทำความเย็นเพื่อพาความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำมาให้แก่ด้านที่ต้องการอุณหภูมิสูงได้ โดยใช้พลังงานจากคอมเพรสเซอร์ ความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนจึงมีค่าเท่ากับ ความร้อนจากภายนอกผ่านอิวาพอเรเตอร์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์

การประยุกต์ใช้ปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อนในกระบวนการผลิต

จากหลักการการทำงานของปั๊มความร้อนจะเห็นได้ว่าปั๊มความร้อนสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่น ความร้อนในอากาศหรือแหล่งความร้อนสูญเสียซึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนตามปกติ มาทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ได้

ในระบบปั๊มความร้อนทั่วไปซึ่งมีค่า COP (Heating) เท่ากับ 3 พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปที่คอมเพรสเซอร์เพียง 1 ส่วนสามารถสร้างความร้อนได้ถึง 3 ส่วน โดยพลังงานความร้อนอีก 2 ส่วนจะดึงมาจากอากาศภายนอกหรือความร้อนสูญเสียจากกระบวนการอื่นได้ ดังนั้นปั๊มความร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูงสำหรับการทำความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในอาคาร รวมทั้งการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนสามารถนำมาเปลี่ยนใช้แทนหม้อต้มน้ำหรือหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงหรือไฟฟ้า เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 50 – 60 °C สำหรับกระบวนการผลิตหรือการใช้งานต่างๆในอาคาร และใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง ใช้น้ำหรือไฟฟ้า ในกระบวนการทำความร้อนหรือการอบแห้งผลิตภัณฑ์ เช่น พืชผลทางการเกษตร อาหาร ไม้ ที่มีอุณหภูมิไม่สูงนัก ประมาณไม่เกิน 60 °C ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (COP) แล้ว ปั๊มความร้อนโดยทั่วไปซึ่งมีค่า COP มากกว่า 3 จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าการผลิตความร้อนโดยใช้ก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันที่มีค่า COP ประมาณ 0.75 – 0.95 มาก

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของการใช้ปั๊มความร้อนในการผลิตความร้อน เปรียบเทียบกับการใช้หม้อต้มน้ำด้วยน้ำมันเตา LPG และไฟฟ้า⁽⁵⁾ ปั๊มความร้อนมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า 60% โดยสามารถประเมินเปรียบเทียบในกรณีการผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิ 55 °C จากน้ำดิบอุณหภูมิ 27 °C ปริมาณ 16,000 ลิตรต่อวัน (เทียบเท่าปริมาณการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรมขนาด 100 ห้อง) ดังนี้

พลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำร้อน 448,000 กิโลแคลอรี

ประเภทหม้อต้มน้ำ	ประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณการใช้พลังงาน (kcal)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
ด้วยน้ำมันเตา	60%	746,666	79 ลิตร/วัน
ด้วยก๊าซ LPG	70%	640,000	53 กก./วัน
ด้วยขดลวดไฟฟ้า	100%	448,000	520 kWh
ด้วยปั๊มความร้อน	300%	149,333	173 kWh

กรณี	การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการให้ความร้อน	ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้
เปลี่ยนจากน้ำมันเตาเป็นปั๊มความร้อน	จาก 60% เป็น 300%	80%
เปลี่ยนจาก LPG เป็นปั๊มความร้อน	จาก 70% เป็น 300%	76%
เปลี่ยนจากขดลวดไฟฟ้าเป็นปั๊มความร้อน	จาก 100% เป็น 300%	66%

ตารางที่ 3-1: แสดงศักยภาพการประหยัดพลังงานของปั๊มความร้อน⁽⁵⁾

นอกจากนี้จากข้อมูลการติดตั้งใช้งานปั๊มความร้อนในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยังแสดงถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ซึ่งมากกว่า 30% ในหลายๆกระบวนการ⁽²⁾

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนเหมาะสำหรับการใช้ผลิตความร้อน ได้แก่ น้ำร้อน หรืออากาศร้อน สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคาร ในช่วงอุณหภูมิของการทำความร้อนไม่เกิน 60 °C ซึ่งเป็นช่วงที่ปั๊มความร้อนทำงานที่ประสิทธิภาพสูง โดยการผลิตความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้ปั๊มความร้อนมีประสิทธิภาพลดลงมาก รวมทั้งข้อจำกัดของคอมเพรสเซอร์ที่ไม่สามารถทำงานได้อุณหภูมิสูงกว่าช่วง 80 – 90 °C

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม
- โรงงานเคมี
- โรงงานสิ่งทอ
- โรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะ
- โรงงานอบแห้งไม้แปรรูป
- อาคารโรงแรม
- อาคารโรงพยาบาล
- ฯลฯ

6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของระบบปั๊มความร้อนสำหรับการทำความร้อน จะขึ้นอยู่กับขนาดติดตั้งของระบบและประเภทการติดตั้งใช้งาน โดยจากข้อมูลผู้จำหน่ายระบบ⁽⁶⁾ และกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย^{(4) (5)} ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแบบวงจรปิดจะอยู่ระหว่าง 12,000 – 28,000 บาทต่อกิโลวัตต์ความร้อนหรือ 3,500,000 – 8,200,000 บาทต่อ MMBtu

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลจากกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย^{(4) (5) (6)} เทคโนโลยีการใช้ปั๊มความร้อนในการทำความร้อนสามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 – 5 ปี ซึ่งในบางกรณีปั๊มความร้อนอาจให้ระยะเวลาคืนทุนไม่ถึง 1 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีปั๊มความร้อนมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำอยู่ในระดับเดียวกับระบบเครื่องปรับอากาศทั่วไป

9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ประมาณการว่ามีผู้นำเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการประมาณไม่เกิน 4% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 100 แห่งจาก 2,741 แห่ง)

โดยเมื่อพิจารณาจากกลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 9,797 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549⁽⁷⁾ และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 19,594 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา

กรณีศึกษา:	โรงแรม The Royal City
ประเภทอาคาร:	โรงแรมขนาดห้องพัก 400 ห้อง
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อไอน้ำเดิมซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	1,120,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 5.25 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 861 ลิตรต่อชั่วโมง รองรับภาระการใช้น้ำร้อนได้ 20,000 ลิตรต่อวัน ทำงานร่วมกับถังเก็บน้ำร้อนขนาด

	13,000 ลิตร จำนวน 2 ถึง)
ผลประหยัดพลังงาน:	น้ำมันเตา 70,273 ลิตร/ปี (2,795 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 37,405 kWh/ปี (135 GJ/ปี)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	517,412 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	2.16 ปี
กรณีศึกษา:	โรงแรม Mike
ประเภทอาคาร:	โรงแรมขนาดห้องพัก 110 ห้อง
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อทำน้ำร้อนเดิมซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	557,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 11 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 1,200 ลิตรต่อชั่วโมง พร้อมถังเก็บน้ำร้อนขนาด 3,000 ลิตร)
ผลประหยัดพลังงาน:	LPG 17,520 kg/ปี (880 GJ/ปี) ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 54,073 kWh/ปี (195 GJ/ปี)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	131,351 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	4.24 ปี
กรณีศึกษา:	จากรายงาน Energy Audit โรงงานประกอบรถยนต์
ประเภทอาคาร:	โรงงานประกอบรถยนต์
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเพื่อทำน้ำร้อนแทนการใช้หม้อไอน้ำเดิมซึ่งใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง
เงินลงทุน:	420,000 บาท (ระบบปั๊มความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 7.8 kW ซึ่งมีอัตราการทำน้ำร้อนได้ 700 ลิตรต่อชั่วโมง)
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	180,181 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	2.32 ปี

บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้บรรยายให้เห็นว่าระบบไอน้ำเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานสูงและมีศักยภาพที่จะดำเนินการเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน

ระบบไอน้ำประกอบด้วยระบบย่อยๆ ได้แก่ (1) หม้อไอน้ำ (2) ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (3) ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (คอนเดนเสท) และ (4) อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง)

ในระบบไอน้ำ หม้อไอน้ำที่ใช้งานอยู่สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำและชนิดท่อไฟ การทำงานของหม้อไอน้ำไม่ว่าประเภทใดจำเป็นต้องดูแลโดยเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรที่มีความรู้ ความเข้าใจหลักการทำงานของหม้อไอน้ำอย่างพอเพียง ต้องมีความเข้าใจในเรื่อง

- ประเภทและการใช้งานหัวเผาให้เหมาะสมลักษณะของภาระไอน้ำ
- การเผาไหม้เบื้องต้น ได้แก่ อัตราส่วนอากาศตามทฤษฎี อากาศส่วนเกิน ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำกับอากาศส่วนเกิน
- การระบายน้ำ (โบลด์วอร์ม) เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำในหม้อไอน้ำ และผลที่เกิดขึ้นต่อการใช้พลังงานของหม้อไอน้ำ
- ข้อควรปฏิบัติในการใช้หม้อไอน้ำเพื่อให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และอนุรักษ์พลังงาน

ในระบบส่งจ่ายไอน้ำ บทนี้ได้บรรยายเกี่ยวกับกักตักไอน้ำซึ่งมีอยู่มากมายหลายประเภท การใช้กักตักไอน้ำที่ถูกต้อง แม้ผู้เข้าอบรมไม่ต้องจดจำทั้งหมด แต่อย่างน้อยต้องทราบว่ากักตักไอน้ำเป็นองค์ประกอบหนึ่งในระบบที่มีส่วนในการทำให้ระบบไอน้ำโดยรวมทำงานได้ปกติ รวมถึงการอนุรักษ์พลังงาน

ระบบนำกลับคอนเดนเสทเป็นอีกส่วนหนึ่งของระบบไอน้ำ ซึ่งต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากมีส่วนช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในระบบไอน้ำ

การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานของหม้อไอน้ำ ผู้เข้าอบรมต้องทราบว่า การประเมินหรือการคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำต้องมีข้อมูลต่อไปนี้

ข้อมูล	ค่าตรวจวัด	การวิเคราะห์
เชื้อเพลิง	- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง - อัตราการใช้เชื้อเพลิง - อุณหภูมิเชื้อเพลิง	- อัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ
ไอน้ำ	- ความดันและอุณหภูมิไอน้ำ - อัตราการผลิตไอน้ำ	- อัตราการผลิตพลังงานความร้อน (ไอน้ำ) ของหม้อไอน้ำ
น้ำป้อนและน้ำโบล์ดวาร์	- อัตราการไหลของน้ำป้อนและโบล์ดวาร์ - อุณหภูมิของน้ำป้อนและโบล์ดวาร์ - ค่า TDS (Total Dissolved Solid)	- การสูญเสียพลังงานจากการโบล์ดวาร์
ก๊าซไอเสีย	- เปอร์เซ็นต์ของ O ₂ - เปอร์เซ็นต์ของ CO ₂ - เปอร์เซ็นต์ของ CO และอื่นๆ - อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย	- ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ
การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสี	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของหม้อไอน้ำ - อุณหภูมิแวดล้อม - ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)	- การสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีของหม้อไอน้ำ

การคำนวณประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมี 2 วิธี คือ วิธีตรง และวิธีอ้อม ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว เราจะประเมินโดยวิธีอ้อม เนื่องจากว่า เราจะทราบการสูญเสียพลังงานจากส่วนต่างๆ ของระบบไอน้ำว่ามีมากน้อยเพียงใด และจะดำเนินการอนุรักษ์พลังงานอย่างไรได้บ้าง การสูญเสียความร้อนจากหม้อไอน้ำประกอบด้วย

- การสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสีย
- การสูญเสียความร้อนจากโบล์ดวาร์
- การสูญเสียความร้อนจากผิวหม้อไอน้ำโดยการแผ่รังสี

มาตรการหนึ่งที่สำคัญและใช้กันมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ คือ มาตรการปรับอัตราส่วนอากาศที่ใช้เผาไหม้ ซึ่งผู้เข้าอบรมต้องทราบวิธีคำนวณประสิทธิภาพของการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ เมื่อทราบข้อมูลวัดปริมาณ CO₂ หรือ O₂ กับอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

ในบทนี้ได้แสดงมาตรการหลายมาตรการซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ในแต่ละโรงงาน วิธีคำนวณผลประหยัดได้แสดงในหนังสือเล่มนี้เช่นกัน ซึ่งก็เป็นหนึ่งในหลายๆ วิธีที่ที่ปรึกษาด้านพลังงานใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำ

ด้วยระยะเวลาการอบรมที่จำกัด ผู้เข้าอบรมไม่จำเป็นต้องสามารถคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการในแต่ละมาตรการ ซึ่งสามารถศึกษาได้ในภายหลังหากมีความสนใจ แต่อย่างน้อยผู้เข้ารับการอบรมต้องทราบว่า มีมาตรการใช้บางที่สามารถอนุรักษ์พลังงานให้กับระบบไอน้ำได้ ดังสรุปในตารางข้างล่างนี้

ระบบไอน้ำ	มาตรการอนุรักษ์พลังงาน
หม้อไอน้ำ	- การปรับตั้งอัตราส่วนอากาศป้อนต่อเชื้อเพลิง - การควบคุมน้ำระบาย - การปรับสภาพน้ำป้อน - การลดการสูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสีย - เครื่องประหยัดเชื้อเพลิงหรือเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง - มาตรการบำรุงรักษา

ระบบไอน้ำ	มาตรการอนุรักษ์พลังงาน
ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> - การติดตั้งฉนวนกันความร้อน - การตรวจสอบกับดักไอน้ำ - การตรวจสอบระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ - การใช้วาล์วอย่างถูกต้อง
ระบบนำกลับคอนเดนเสท	<ul style="list-style-type: none"> - การใช้คอนเดนเสท - การผลิตไอน้ำแฟลช

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) อาวุโส ด้านความร้อน
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร “พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติ ด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในอุปกรณ์เครื่องจักรกลางที่ใช้ในโรงงานและอาคารธุรกิจ (ด้านหม้อไอน้ำ)”
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือการอนุรักษ์พลังงาน อุปกรณ์เครื่องจักรกลางในโรงงานและอาคารธุรกิจ (กับดักไอน้ำ)
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), มาตรการการอนุรักษ์พลังงานจากเทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จ สำหรับอาคารธุรกิจ
- [6] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), (2543), เทคนิคการประหยัดพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรม
- [7] ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2551) http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/index.html
- [8] <http://www.energo-spaw.pl/en/kotlownie.php>
- [9] http://proficienttechnologies.com/serv_utilizationsurvey.html
- [10] <http://www.power-technology.com/contractors/boilers/loos-international/loos-international3.html>
- [11] <http://www.cesare-bonetti.it/Products/Valves/blowdown.htm>



บทที่ 3

ระบบกรอบอาคาร (Building Envelope System)

ความสำคัญ

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เราจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับกรอบอาคาร โดยกรอบอาคารที่ดีควรสามารถป้องกันไม่ให้ความร้อนเข้ามาภายในตัวอาคารมากจนเกินไป เพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และนำไปสู่การลดการใช้และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

โดยปกติ ภาระการปรับอากาศที่เกิดจากความร้อนถ่ายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร จะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง การที่เราสามารถเข้าใจกลไกของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารว่าเป็นอย่างไร มีลักษณะใดบ้าง และทราบถึงวิธีการประเมินสมรรถนะของกรอบอาคาร จะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางป้องกันความร้อนเหล่านั้นไม่ให้เข้ามาภายในอาคาร

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของบทที่ 4 ระบบกรอบอาคาร ต้องการให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เบื้องต้นและทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบกรอบอาคาร โดยวัตถุประสงค์ย่อยของบทนี้มีดังต่อไปนี้

1. รู้จักสมบัติเชิงคุณภาพที่สำคัญของวัสดุกรอบอาคาร
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร
3. เข้าใจหลักการคำนวณสมรรถนะของกรอบอาคาร OTTV และ RTTV
4. ทราบมาตรการปรับปรุงสมรรถนะของกรอบอาคาร

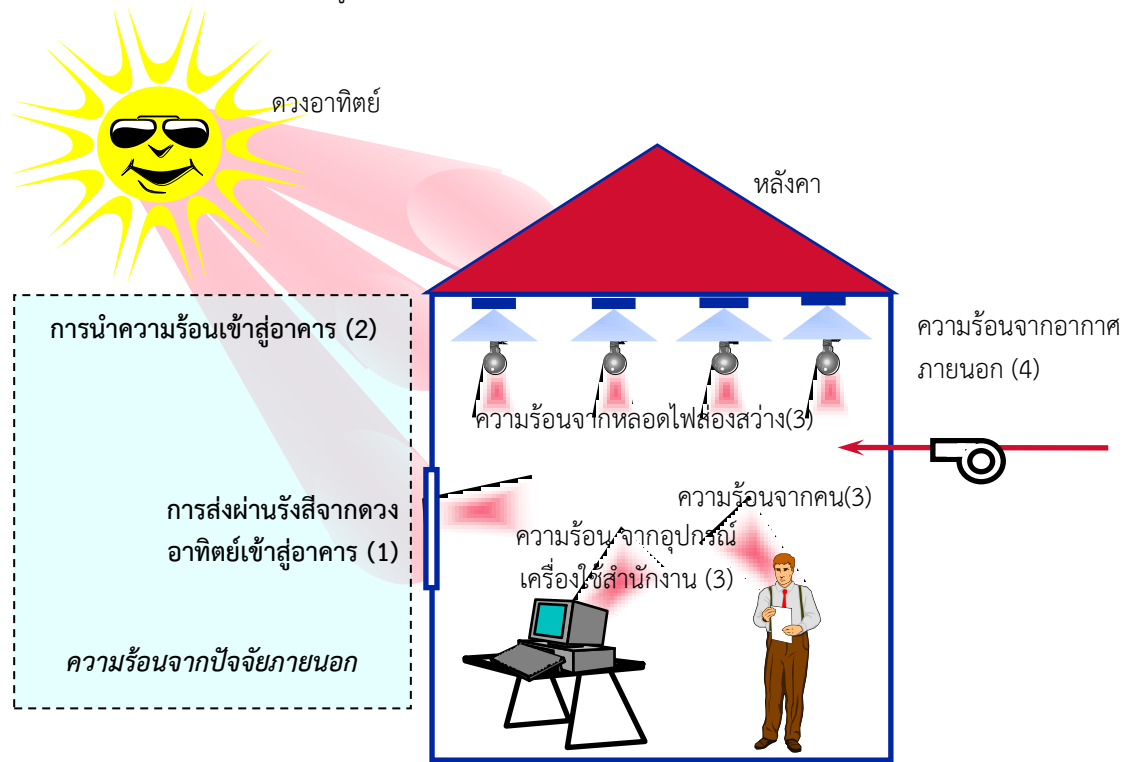
3.1 บทนำ

สำหรับอาคารหนึ่งๆ ภาระการปรับอากาศเป็นผลจากปัจจัยภายนอก อันได้แก่ ความร้อนที่การถ่ายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร และจากปัจจัยภายใน อันได้แก่ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในตัวอาคารเอง

โดยปกติแล้ว ความร้อนจากที่ถ่ายเทจากภายนอกจะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายใน คือ คิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการปรับอากาศ **รูปที่ 3-1** แสดงแหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศ ซึ่งประกอบด้วย

1. การส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารโดยตรงผ่านพื้นผิวที่โปร่งแสง เช่น หน้าต่าง, หลังคาโปร่งแสง (Skylight)
2. การนำความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนังภายนอก (ผนังที่บดและผนังกระจก) พื้น และหลังคา
3. ความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวคน, หลอดไฟส่องสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ภายในอาคาร

4. ความร้อนที่เกิดจากอากาศภายนอกที่นำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศภายในหรือที่แทรกซึมเข้าสู่อาคาร (เช่น อากาศที่ผ่านเข้าทางประตูหรือหน้าต่างในส่วนที่เปิดไว้)



รูปที่ 3-1 แหล่งความร้อนต่างๆ ของอาคารปรับอากาศ

การที่เราสามารถเพิ่มสมรรถนะในการป้องกันความร้อนของกรอบอาคารจะช่วยลดภาระการปรับอากาศลงและสามารถประหยัดพลังงานได้มาก

3.2 วัสดุผนังทึบ

ผนังอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ผนังทึบและผนังกระจก ผนังทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนทั้งในด้านกายภาพและกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น

จากการศึกษารายงานการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารกว่า 273 แห่ง ซึ่งมากพอที่จะใช้เป็นตัวแทนของอาคารควบคุม เราจะพบว่าวัสดุที่ใช้สำหรับประกอบเปลือกอาคารมีหลากหลายชนิด อย่างไรก็ตามอาจสามารถจัดกลุ่มของวัสดุเปลือกอาคารตามวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดของวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในอาคารควบคุมดังกล่าว เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางจะพบว่าวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ตารางที่ 3-1 สัดส่วนการใช้ผนังชนิดต่างๆ

ลักษณะของผนังทึบ	จำนวนอาคาร [จากทั้งหมด 273 อาคาร] ¹	สัดส่วนการใช้ผนัง ² [%]	ช่วงของค่า U- value [W/m ²]
ผนังชั้นเดียว ก่อสร้างด้วยอิฐ	143	20.5 – 98.7	1.5 – 4.7
ผนังชั้นเดียว ก่อสร้างด้วยคอนกรีต	66	18.9 – 86.5	1.0 – 4.1
ผนังชั้นเดียว ก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อก	28	21.5 – 86.9	1.3 – 3.1
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยอิฐ	9	20.1 – 79.2	1.2 – 1.9
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยคอนกรีต	22	21.6 – 90.2	1.0 – 1.9
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อก	17	21.6 – 79.0	0.9 – 1.8
ผนังกระจก	6	29.8 – 87.1	1.4 – 1.6

¹ ค่าซึ่งแสดงจำนวนของอาคารตามข้อมูลอาคารที่มีอยู่

² ค่านี้แสดงช่วงของอัตราส่วนพื้นที่ผนังที่พิจารณาเทียบกับพื้นผนังที่ทั้งหมดของอาคาร

แม้ว่าวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนังที่บะจะมีความหลากหลาย แต่หากพิจารณาโดยอาศัยเกณฑ์ในการถ่ายเทความร้อนแล้ว วัสดุก่อสร้างในส่วนของผนังที่อาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- วัสดุที่ไม่มีความเป็นฉนวนและ
- วัสดุที่มีความเป็นฉนวน

ตารางที่ 3-2 และ 3-3 แสดงค่าสมบัติต่างๆ ของวัสดุก่อสร้างบางชนิดที่ไม่มีฉนวนและมีความเป็นฉนวน ตามลำดับ เราจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าค่าสภาพนำความร้อนระหว่างวัสดุทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างกันอย่างมาก

ตารางที่ 3-2 ค่าสมบัติของวัสดุประกอบเปลือกอาคารบางชนิด

รายการวัสดุ	อิฐมอญ ครึ่งแผ่น	อิฐมอญ เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีตมวล เบา	ยิบซัมบอร์ด	ไฟเบอร์บอร์ด
รูปแบบกายภาพ	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(แผ่น)	(แผ่น)
ขนาด (cm ³)	7x16x3.5	(2) 7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60	0.12x120x240	0.2x120x240
ความหนาแน่น (kg/m ³)	1615-1650	1650	765	550-640	800	1250-1350
สภาพนำความร้อน (W/m.K)	0.473	0.473	0.519	0.089-0.132	0.14-0.19	0.210
การบำรุงรักษา	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย
อายุการใช้งาน	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	ยังไม่คงที่	-	-
ข้อดี	- เป็นที่ยอมรับ - ช่างชำนาญ - แข็งแรง, ทน	- เป็นที่ยอมรับ - ช่างชำนาญ - แข็งแรง, ทน - กันความร้อนเข้าอาคารได้มากกว่า	- แข็งแรง - ราคาถูก - มีช่องอากาศที่ช่วยกันความร้อนได้	- คุณภาพคงที่ - น้ำหนักน้อย - กันความร้อนดี	- กันความร้อน - ดูแลรักษาง่าย - ไม่ลามไฟ - กันเสียง - ติดตั้งง่าย	- ทำงานเร็ว - นน.เบา - ไม่ลามไฟ - ป้องกันเสียง - ติดตั้งง่าย
ข้อเสีย	- คุณภาพและขนาดไม่แน่นอน - ใช้เวลานาน - น้ำหนักมาก	- ดูดซับน้ำและเก็บความชื้น	- อายุใช้งานยังไม่มีการยืนยัน - ต้องใช้ปูนฉาบเฉพาะ	- ไม่ค่อยแข็งแรง - ไม่ทนน้ำ - ราคาสูง	- หากชื้นมากจะบิดงอเปลี่ยนรูป - อาจมีราหากไม่ดูแล	- เก็บความชื้น



(ก) อิฐมอญ

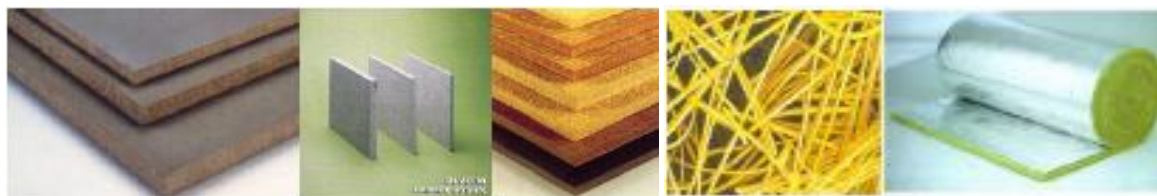


(ข) อิฐบล็อก



(ค) อิฐมวลเบา





(ก) ยิบซัมบอร์ด

(จ) ฉนวนใยแก้ว

รูปที่ 3-2 ตัวอย่างวัสดุประกอบผนังทึบ

ตารางที่ 3-3 ค่าสมบัติของวัสดุฉนวนบางชนิด

รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2"	ฉนวนเยื่อกระดาษ	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium	ยิบซัมบอร์ด+แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	เซรามิคโคตติ้ง
รูปแบบกายภาพ	หุ้มปิด, บุใต้หลังคา, ปูบนฝ้า (แผ่น)	หุ้มปิด, บุใต้หลังคา, ปูบนฝ้า (แผ่น)	ม้วน ติดตั้ง	แผ่น ติดตั้ง	หุ้ม ปิด บุ	พ่นเหนือหลังคา
ขนาด (cm ³)	5x60x400 >50 มม. (หุ้ม) >50 มม. (บุ) >75 มม. (บุ) >50 มม. (แผ่น)	7.5x60x400	หนา 150 ไมครอน x125x6,000	1.2x60x120	10x60x120	หนา x122x1,650 50 มม. 75 มม.
ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	16 >64 มม. (หุ้ม) >24 มม. (บุ) >16 มม. (บุ) >32 มม. (แผ่น)	45-80	0.17	800+Fail	1 ปอนด์/ลบ.ฟ. 16	-
สภาพนำความร้อน (W/m.K)	0.035 (บุ) 0.0365 (บุ) 0.033 (แผ่น)	0.029-0.045	-	0.19+Fail	0.035	-
การบำรุงรักษา		เปลี่ยนใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน	ทำไม่ได้	ทำความสะอาดได้	-	-
อายุใช้งาน (ปี)	5-10	5-10	-	-	5-15	-
ข้อดี	- หาง่าย - ติดตั้งง่าย	- หาง่าย - ติดตั้งง่าย	- ไม่มีสารพิษ - ลดเสียงสะท้อน - น้ำหนักเบา - ไม่มีกลิ่น - ไม่มีช่องว่างระหว่างฉนวนกับส่วนที่ฉีดพ่น	- ทน UV, ไม่ติดไฟ - ป้องกันการกัดกร่อนของสนิม - น้ำหนักเบา	- ใช้เป็นตัวฉนวนหรือกันซึม - การแทรกซึมไอน้ำ หรือการดูดซึมความร้อนต่ำ - น้ำหนักเบา - ผสมสีต่างๆ ได้	- ไม่เป็นอันตราย - ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ - ทน UV - ไม่ขึ้นรา
ข้อเสีย	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่ออันตราย - ย่อยสลายไม่ได้ - มีกลิ่น เมื่อขึ้น	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่ออันตราย - ย่อยสลาย	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะลดลง	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะลดลง	- ติดไฟได้ - ขณะลูกใหม่เกิดควันที่เป็นพิษแก้ด้วยการ	- เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงต่างๆ หากไม่มี

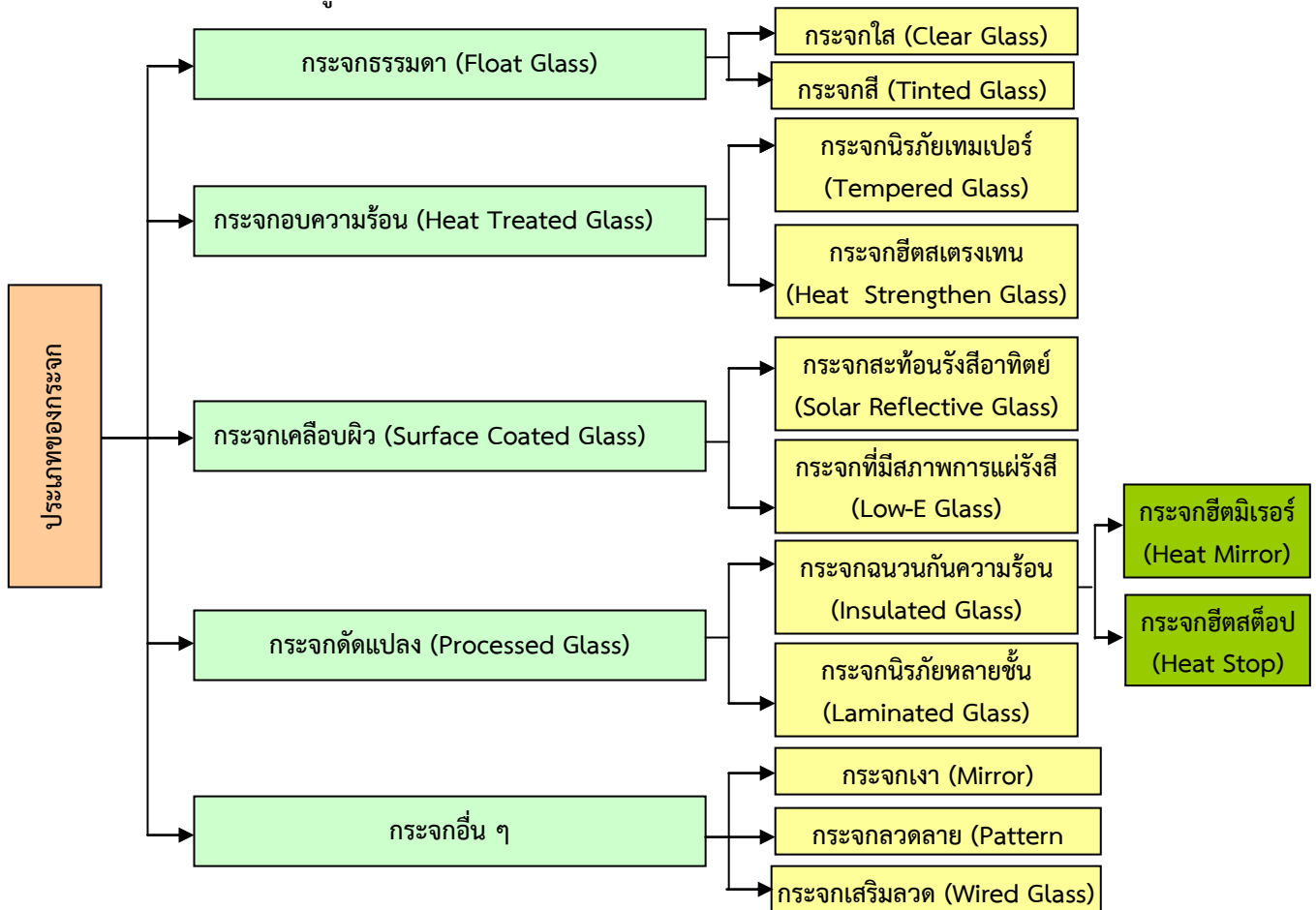
รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2"	ฉนวนเยื่อกระดาษ	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium	ยิปซัมบอร์ด+ แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	เซรามิกโคटติ้ง
	คุณสมบัติจะลดลง - สัตว์เล็กทำรังภายใน - ตัวประสานลูกใหม่ได้	ไม่ได้ - มีกลิ่น - สัตว์เล็กทำรังภายใน - เมื่อขึ้นคุณสมบัติจะลดลง			เติมสารกันไฟ - ไมทนน้ำมันเบนซิน ทินเนอร์ น้ำมันสน - ไมทนแสงแดด	การป้องกันที่ดีพอ

3.3 กระจก

กระจกเป็นวัสดุกรอบอาคารที่ปัจจุบันได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย กระจกมีด้วยกันหลายประเภท นอกจากนี้ในแต่ละประเภทยังมีความหนาและค่าสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกัน กระจกที่ใช้ประกอบอาคารโดยทั่วไปได้แก่ กระจกชั้นเดียวที่มีความหนาระหว่าง 3-6 มิลลิเมตร

กระจกมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อภาระความร้อนของอาคาร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังกระจกอาจมีค่าสูง 5-10 เท่าเมื่อเทียบกับผนังทึบ การเลือกใช้กระจกที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนจะสามารถลดภาระความร้อนของอาคารลงได้อย่างมาก สำหรับกระจกแล้ว เรายังต้องพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติของแสงธรรมชาติ ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันเราสามารถผลิตกระจกที่มีความเหมาะสมมากขึ้น กล่าวคือ มีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดี และในขณะเดียวกันก็สามารถนำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารได้อย่างเหมาะสมด้วย

สำหรับแผนภาพในรูปที่ 3-3 แสดงการจัดแบ่งประเภทของกระจกที่มีใช้ในอาคาร

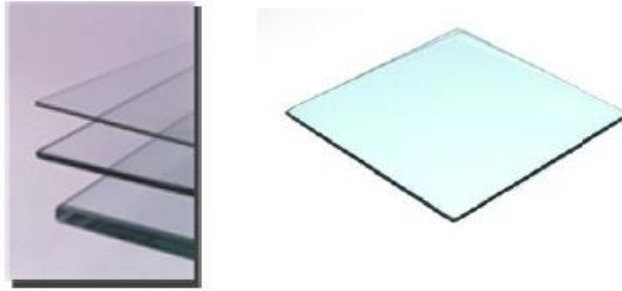


รูปที่ 3-3 ประเภทของกระจกอาคาร

3.3.1 กระจกธรรมดา (Float glass)

กระจกธรรมดาเป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กระจกใสและกระจกสี
ก) กระจกใส (Float glass)

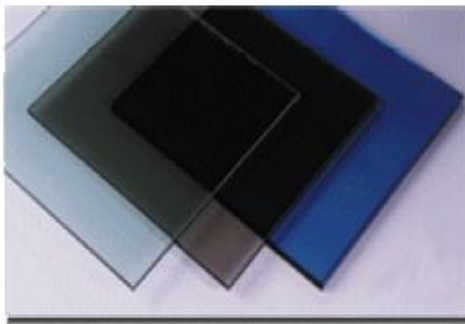
กระจกใสเป็นกระจกโปร่งใสที่มีผิวทั้งสองด้านเรียบสนิท ให้ภาพในการมองเห็นชัดเจน และมีราคาถูกที่สุด กระจกชนิดนี้ยอมให้แสงผ่านเข้ามาสูง (ร้อยละ88) จึงมีแสงสว่างกระจายเข้ามาภายในห้องเป็นจำนวนมาก แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาด้วยเช่นกัน (ร้อยละ83) ดังนั้น ในการใช้งานจึงมักมีการติดฟิล์มกรองแสง หรือการใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด เป็นต้น กระจกใสยังเป็นกระจกพื้นฐานเพื่อนไปผลิตกระจกประเภทอื่นๆ **รูปที่ 3-4** แสดงตัวอย่างของกระจกใส



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างของกระจกใส

ข) กระจกสี (Color glass)

กระจกสีหรือกระจกดูดกลืนความร้อน (Heat absorbing glass) ผลิตขึ้นโดยการผสมโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตกระจกทำให้กระจกมีสีส้ม ความเข้มของสีจะเพิ่มมากขึ้นตามความหนาของกระจก ซึ่งจะส่งผลทำให้การดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่สะสมอยู่ในเนื้อกระจกมีมากขึ้นด้วย ฉะนั้น การนำไปใช้งานจึงควรให้ความสนใจและระมัดระวังคุณสมบัติเหล่านี้ด้วย อีกทั้งกระจกชนิดนี้เมื่อมองภายนอกจะมีความคล้ายกับกระจกตัดแสงที่มีสี แต่คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจะต่างกัน จึงควรสอบถามให้แน่ชัดก่อนว่าเป็นชนิดใดก่อนการเลือกซื้อ



รูปที่ 3-5 ตัวอย่างของกระจกสี

3.3.2 กระจกอบความร้อน (Heat treated glass)

กระจกอบความร้อนเป็นกระจกใสหรือกระจกสีที่นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของเนื้อกระจกเพื่อให้มีความแข็งแรงมากขึ้น หรือรับแรงกระทำภายนอกได้มากขึ้น ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

ก) กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered glass)

กระจกนิรภัยเทมเปอร์เป็นการนำกระจกไปผ่านกระบวนการเทมเปอร์ริง (Tempering) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยการสร้างให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่ผิวแก้วเพื่อต้านแรงจากภายนอก ซึ่งทำได้โดยการให้ความร้อนกับกระจกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวของแก้วเล็กน้อยที่ประมาณ 650-700°C และทำให้ผิวกระจกเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

ข) กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat strengthen glass)

กระจกฮีตสเตรงเทนเป็นกระจกที่ได้จากกระบวนการผลิตที่คล้ายกับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ คือ ให้ความร้อนกับกระจกแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง แต่ต่างจากกระจกนิรภัยเทมเปอร์ตรงที่การผลิตกระจกฮีตสเตรงเทนจะปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จึงทำให้ความแข็งแรงน้อยกว่ากระจกนิรภัย

3.3.3 กระจกเคลือบผิว (Surface coated glass)

กระจกเคลือบผิวเป็นกระจกธรรมดาที่นำไปผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจก เพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงและความร้อนจากแสงอาทิตย์สำหรับนำไปใช้งานในด้านการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีความสวยงามมากขึ้น

ก) กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar reflective glass)

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์เป็นกระจกธรรมดาที่เคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสงทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากรังสีอาทิตย์ได้บางส่วน กระจกมีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย มีสีลึกลับสวยงามหลายสีที่แตกต่างกัน ขึ้นกับรูปแบบการเคลือบและสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ

ข) กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-e glass)

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นกระจกที่เคลือบสารโลหะโดยมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมาก ทั้งนี้เพื่อให้เกิดลักษณะเด่นในการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณสมบัติในการประหยัดพลังงาน โดยที่กระจกยังคงมีลักษณะใส ไม่ทึบแสง ให้ค่าแสงส่งผ่านมากและมีค่าการสะท้อนแสงน้อย ค่าการแผ่รังสีเป็นคุณสมบัติจำเพาะของผิววัตถุใดๆ ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนความร้อนที่ตกกระทบบนผิววัตถุนั้นๆ หรือความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิววัตถุนั้นๆ ดังนั้น กระจกแผ่นใดที่เคลือบด้วยสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมากๆ จึงหมายความว่า กระจกนั้นมีความสามารถในการแผ่รังสีต่ำ ด้วยเหตุนี้เองทำให้กระจกชนิดนี้ถูกนำไปใช้ทำเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำจะสะท้อนคลื่นความร้อนและยอมให้แสงผ่านกระจกได้ในปริมาณใกล้เคียงกับกระจกธรรมดา ในขณะที่เดียวกันก็สามารถสะท้อนคลื่นความร้อนและป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี และมีการสะท้อนแสงน้อย กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำช่วยในการประหยัดพลังงานได้สูง โดยยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในตัวอาคาร ขณะที่สะท้อนรังสีคลื่นยาวหรือรังสีความร้อนออกพอสมควร ในประเทศที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย กระจกประเภทนี้มีความเหมาะสม

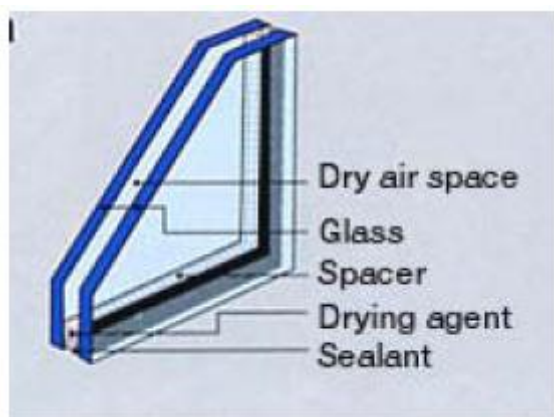
3.3.4 กระจกตัดแปลง (Processed glass)

กระจกตัดแปลงเป็นกระจกที่นำมาตัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป กระจกในกลุ่มนี้ ได้แก่ กระจกฉนวนกันความร้อน และกระจกนิรภัยหลายชั้น

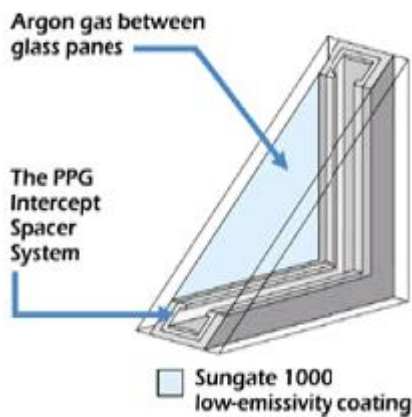
ก) กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated glass)

มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กระจก 2 ชั้น (Doubled Glazing) มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนต่ำ สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี สามารถแบ่งตามชนิดของฉนวนกันความร้อนได้ ดังนี้

- กระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวน ได้จากการนำกระจกแผ่นเรียบธรรมดา 2 แผ่น มาประกบกันโดยมีเฟรมอลูมิเนียมที่บรรจุสารดูดความชื้นคั่นกลาง จากนั้นปิดขอบกระจกให้สนิทดังรูปที่ 3-6 (ก) ผลที่ได้ก็คือ อากาศภายในช่องว่างระหว่างกระจกทั้ง 2 แผ่นจะเป็นอากาศแห้ง ซึ่งอากาศแห้งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้มากกว่ากระจกธรรมดาอีกด้วย



(ก) ใช้อากาศแห้งเป็นฉนวนตรงกลาง



(ข) ใช้ก๊าซเป็นฉนวนตรงกลาง

รูปที่ 3-6 กระจกกันความร้อน

- กระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวน คล้ายกับแบบใช้อากาศแห้งคือ การใช้กระจกแผ่นเรียบ 2 แผ่นประกบกับเฟรมอลูมิเนียมแต่ชนิดนี้จะบรรจุก๊าซเฉื่อยลงไปแทนดังรูปที่ 3-6 (ข) ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบใช้อากาศแห้ง และในกรณีที่นำกระจกนิรภัยมาประกอบเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน (Airless Laminated Insulating Glass) ก็จะทำให้ความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แต่จะมีราคาสูงขึ้นไปจากเดิมที่มีราคาสูงอยู่แล้ว การใช้กระจก 2 ชั้นโดยที่มีช่องว่างอากาศและก๊าซป้องกันความร้อนคั่นอยู่ตรงกลางนี้ สามารถช่วยลดความร้อนได้ประมาณ 70-80% ในขณะที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านได้ในปริมาณสูง จึงให้ความสว่างที่ปลอดภัย และในกรณีที่ติดฟิล์มด้านในของกระจกทั้ง 2 แผ่น ก็จะช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) เข้ามาทำลายวัสดุต่างๆ ภายในอาคารได้อีกด้วย

3.3.5 คำศัพท์และคำนิยามสมบัติของกระจก

ในการเลือกใช้กระจกได้อย่างถูกต้องเหมาะสม เราจำเป็นต้องรู้จักคำศัพท์และคำนิยามที่ใช้ในการอ่านค่าคุณสมบัติของกระจก ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงาน โดยพิจารณาจากตารางตัวอย่าง ซึ่งเป็นรูปแบบที่บริษัทผู้ผลิตกระจกส่วนใหญ่ใช้ใน ปัจจุบัน ตารางดังกล่าวเป็นตัวอย่างที่แสดงค่าคุณสมบัติของกระจก ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของวิธีการอ่านค่าคุณสมบัติได้ดังนี้

Visible Light			UV	Solar Energy					U-Value		RHG (W/m ²)
Trans. (%)	Refl.			Trans. (%)	Trans. (%)	Refl. (%)	Abs.	Solar factor	SC.	U-Summer (W/m ² K)	
	Out (%)	In (%)									
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]

1. Visible Light Transmission หน่วยเป็น %
เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สามารถส่งผ่านกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด
2. Visible Light Reflection (Out) หน่วยเป็น %
เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด เมื่อแสงที่ตกกระทบมาจากด้านนอกอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)
3. Visible Light Reflection (In) หน่วยเป็น %
เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด เมื่อแสงที่ตกกระทบมาจากด้านในอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)
4. Ultra-Violet Transmission หน่วยเป็น %
เป็นอัตราส่วนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สามารถส่งผ่านกระจก ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด
5. Solar-Energy Transmission or Direct Energy Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกโดยตรง โดยที่ความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

6. Solar Energy Reflection หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)

7. Solar Energy Absorption หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

8. Solar Factor or Total Energy Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคารต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดเป็นผลรวมของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกเข้ามาโดยตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการแผ่รังสีของพลังงานที่สะสมอยู่ในกระจกทั้งหมดเข้ามาด้านในอาคาร (Reradiation (In)) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1/3 เท่าของพลังงานที่สะสมอยู่ในกระจกทั้งหมด

9. Shading Coefficient ; SC

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร กล่าวคือ Shading Coefficient เป็นอัตราส่วนของ Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัดกับค่า Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Shading Coefficient} = \frac{\text{Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัด}}{\text{Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร}}$$

หมายเหตุ : Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าประมาณ 0.87

10. U-Summer-W/m²K

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (U-Value) โดยคำนวณตามสภาพอากาศในฤดูร้อนของประเทศอเมริกาและใช้เงื่อนไขการคำนวณของ ASHRAE ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิภายนอกอาคาร = 89 °F (≈ 32°C)
- อุณหภูมิภายในอาคาร = 75 °F (≈ 24°C)
- ความเร็วลม = 7.5 ไมล์ต่อชั่วโมง (≈ 12 km/h)
- ความเข้มรังสีอาทิตย์ = 248.2 Btu/ft²-h (≈ 782 W/m²)

11. U-Winter-W/m²K

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (U-Value) โดยคำนวณตามสภาพอากาศในฤดูหนาวของประเทศอเมริกาและใช้เงื่อนไขการคำนวณของ ASHRAE ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิภายนอกอาคาร = 0 °F (≈ -18°C)
- อุณหภูมิภายในอาคาร = 75 °F (≈ 20°C)
- ความเร็วลม = 15 ไมล์ต่อชั่วโมง (≈ 24 km/h)

12. RHG (Relative Heat Gain) -W/m²K

เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคารทั้งหมด ซึ่งรวมพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์โดยตรง และพลังงานความร้อนจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารเข้าด้วยกัน ซึ่งการพิจารณาค่าของพลังงานดังกล่าวทำได้ดังนี้

12.1 พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พิจารณาได้จากค่า Shading Coefficient

12.2 พลังงานความร้อนจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร พิจารณาได้จากค่า U-Value Summer โดยค่า RHG สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{RHG} = (630 \text{ W/m}^2 \times \text{Shading Coefficient}) + (8 \text{ }^\circ\text{C} \times \text{U-Value (Summer)})$$

ตารางที่ 3-4 ค่าสมบัติของกระจกบางชนิด

รายการวัสดุ	กระจกใส	กระจกสี			กระจกตัดแสง			กระจกสะท้อนแสง			กระจกกันความร้อน			ฟิล์มลดความร้อน
		Cool Gray	Skyblue	Ocean Green	Cool gray	Skyblue	Ocean Green	Yellow	Blue	Green	Clear G.-Dry Air-Clear G.	CG.+LowE-Dry Air-Clear G.	CG.+LowE-Dry Air-Clear G.	
ความหนา (mm.)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6-12-6	6-12	6-12-6	
ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (SC)	0.96	0.64	0.68	0.65	0.32	0.51	0.67	0.24	0.32	0.28	0.82	0.65	0.27	0.20-0.60
ค่าการนำความร้อน (W/m.K)	0.779	0.904								0.909	0.751			
ค่าสะท้อนแสง (%)	7	5	6	7			7	19	21	29	14	147	38	<25
ค่าส่องผ่านแสง (%)	88	38	58	72			74	10	21	14	78	72	7	>30
ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ (%)	7	6	6	7			5	21	19	24	11	12	33	
ค่าส่องผ่านรังสีอาทิตย์ (%)	80	43	45	42			43	6	13	10	61	46	5	<40
ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (%)	13	51	49	51	45	48	52	73	68	66	28	42	62	

3.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) โดยอาจเกิดจากวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายๆ วิธีพร้อมๆ กัน อย่างไรก็ตาม กระบวนการถ่ายเทความร้อนจะดำเนินไปจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลทางความร้อน

3.4.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกันโดยที่ทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

3.4.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนเป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ เมื่อของไหลสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุใดๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น ในสภาพธรรมชาติเมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนจะสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ทำให้เกิดการไหลเวียนพาความร้อน โมเลกุลที่เย็นกว่าและหนักจะตกลงข้างล่าง ส่วนที่ร้อนกว่าจะเบาและลอยขึ้นด้านบน การพาความร้อนเกิดได้ 2 ลักษณะคือ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ และการพาความร้อนโดยการบังคับ

3.4.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

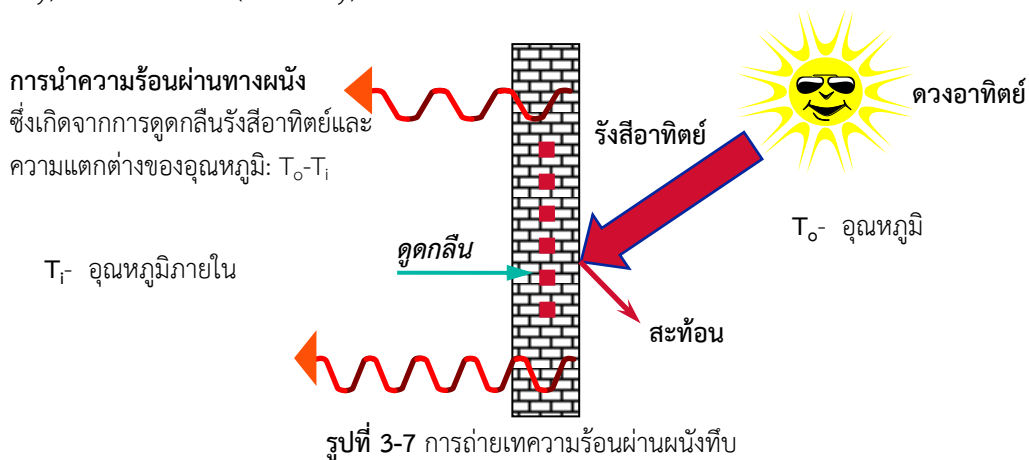
การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างใดๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทาง **รูปที่ 3-7** แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกเมื่อได้รับรังสีอาทิตย์

รูปที่ 3-7 แสดงภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ จากรูปร่างรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบ ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในกรณีของผนังก่ออิฐฉาบปูน อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกอาจสูงได้ถึง 45°C ในวันที่แดดจัดและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง 38-40°C ในกรณีของหลังคากระเบื้องอุณหภูมิผิวสามารถสูงได้ถึง 60°C

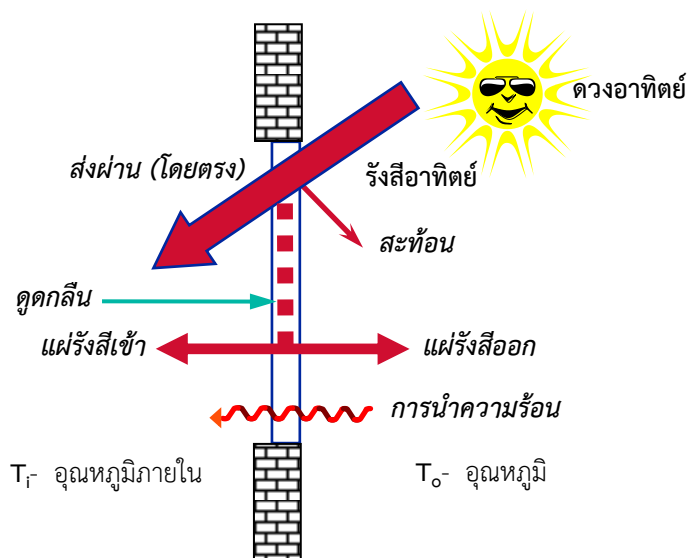
การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของผนังเป็นผลจากทั้ง

- พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้ และ
- ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

ในช่วงเวลากลางคืน เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงผนังทึบจะมีการถ่ายเทความร้อนจากตัวผนังสู่สิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนเหล่านี้ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิผนัง อุณหภูมิอากาศภายนอก ค่าสมบัติสภาพนำความร้อน (Conductivity) สภาพการแผ่รังสี (Emissivity) ฯลฯ



รูปที่ 3-8 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้



รูปที่ 3-8 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก

รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคารและอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

ในช่วงเวลากลางคืน ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านกระจกไปยังสิ่งแวดล้อมได้เช่นเดียวกับกรณีของผนังทึบ

3.5 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

กรอบอาคารมีลักษณะที่หลากหลยขึ้นกับการออกแบบ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารยังขึ้นกับปัจจัยอื่นอีกจำนวนมาก (ดังจะได้กล่าวต่อไป) ดังนั้น การที่จะตรวจวัดเพื่อให้ทราบปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเหมือนระบบอื่นๆ เช่น ระบบไอน้ำ เตาอุตสาหกรรม ฯลฯ จึงเป็นสิ่งที่แทบจะเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น ปกติเราจึงเลือกใช้วิธีการคำนวณเพื่อประเมินปริมาณความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร รวมถึงวิเคราะห์สมรรถนะของกรอบอาคารทดแทน วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่ใช้กันมานานอย่างต่อเนื่องและเป็นที่ยอมรับกันดี คือ การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของกรอบอาคาร

สำหรับประเทศไทยได้มีการบังคับให้อาคารควบคุมต้องมีค่า OTTV และ RTTV เป็นไปตามข้อกำหนดทางกฎหมาย เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอาคารควบคุมนั้นๆ เป็นอาคารที่กรอบอาคารมีสมรรถนะดีเพียงพอในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เกณฑ์ดังกล่าวนี้บังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และในปี พ.ศ. 2544 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ให้มีความแม่นยำและมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยมากยิ่งขึ้น ในที่นี้ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยเบื้องต้น ตารางที่ 3-5 แสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคารประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ที่ได้ปรับปรุงใหม่

ตารางที่ 3-5 ค่า OTTV และค่า RTTV สูงสุดสำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งานอาคาร	OTTV (Wm^{-2} ของผนังด้านนอกอาคาร)	RTTV (Wm^{-2} ของหลังคาอาคาร)
สำนักงาน สถานศึกษา	$O-OTTV \leq 50$	$O-RTTV \leq 15$
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือซูเปอร์สโตร์	$S-OTTV \leq 40$	$S-RTTV \leq 12$
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	$H-OTTV \leq 30$	$H-RTTV \leq 10$

หมายเหตุ O, S และ H ที่นำหน้า OTTV และ RTTV เพื่อแสดงว่าเป็นการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยใช้สูตรการคำนวณใหม่ ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งานของอาคาร โดย

- O หมายถึง สำนักงาน และสถานศึกษา
- S หมายถึง ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือ ซูเปอร์สโตร์
- H หมายถึง โรงแรม โรงพยาบาล หรือสถานพักฟื้น

3.5.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน (OTTV_i) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3.1)$$

เมื่อ

OTTV_i คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา, W/m²

U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ, W/m².°C

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, °C

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก, W/m².°C

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ปริมาตรรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง, W/m²

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV_i) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (3.2)$$

เมื่อ A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง, m²

OTTV_i คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.1)

ก) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้าน ให้คำนวณจากวิธีการในส่วนตัวต่อไปนี้

- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ของกรอบอาคาร คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3.3)$$

เมื่อ R_T คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุ

- ค่าความต้านทานความร้อน ของวัสดุใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (3.4)$$

- เมื่อ R คือ ค่าความต้านทานความร้อน, $m^2.K/W$
 Δx คือ ความหนาของวัสดุ, m
 k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ, $W/m^2.K$

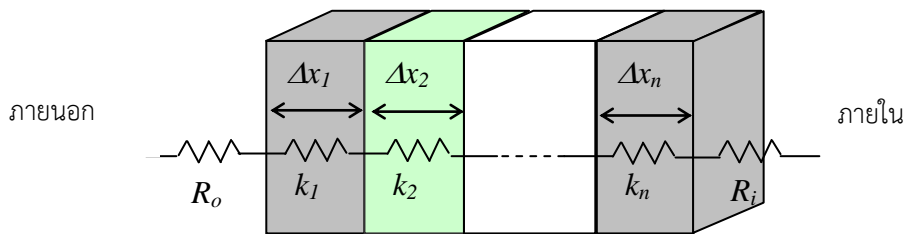
• **ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารแต่ละด้านที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายชนิด**

สำหรับผนังอาคารที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารจะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด

ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนังอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกของผนังอาคาร เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังอาคารจะถูกส่งผ่านจากพื้นผิวด้านในของผนังอาคารไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ดังนั้นฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคาร จึงถือว่ามีค่าความต้านทานความร้อน

▪ **กรณีที่มีผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด**

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า R_T ของส่วนใดๆ ของกรอบอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 3-9 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.5)



รูปที่ 3-9 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \tag{3.5}$$

เมื่อ

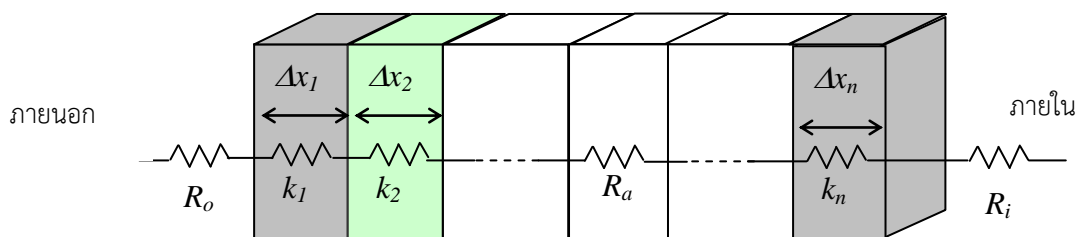
- $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$ คือ ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร
 $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร
 R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร
 R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร

▪ **กรณีที่มีผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ**

ช่องว่างอากาศ [Air gap (s) or air space (s)] ระหว่างชั้นของกรอบอาคารจะมีค่าความต้านทานความร้อนค่าหนึ่ง กลไกของการถ่ายเทความร้อน ทั้งการนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างอากาศจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ในรูปที่ 3.10 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคารส่วนนี้สามารถคำนวณได้จาก

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + R_a + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \tag{3.6}$$

โดยมีนิยามของค่าต่างๆ เช่นเดียวกับสมการที่ (3.5)



รูปที่ 3-10 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน

● ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคาร ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผนังอาคาร ตารางที่ 3-6 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ตารางที่ 3-6 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

	ผนังภายใน (R _i)	ผนังภายนอก (R _o)
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m ² .K/W)	0.12	0.044

พื้นผิวของวัสดุที่ถูกใช้เป็นผนังอาคารโดยส่วนใหญ่ จะถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังที่ขอบอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ปรากฏในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ (m ² .K/W)		
	ความหนาของช่องว่างอากาศ		
	5 mm	20 mm	100 mm
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.16
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

สำหรับกรณีพื้นผิวผนังทั่วไปให้ถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีพื้นผิวของผนังด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น ผนังที่มีการติดแผ่นพอยลัสสะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5 mm ถึง 20 mm หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20 mm ถึง 100 mm ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 100 mm ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 mm

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ ไป ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 3-8

นอกเหนือจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity; k) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ของวัสดุแล้ว ความหนาแน่นของวัสดุ (density; ρ) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat; c_p) ของวัสดุ ยังมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผนังดูดกลืนไว้ (heat absorption) และระยะเวลาที่ผนังอาคารสามารถหน่วงการส่งผ่านความร้อน (thermal time lag) จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

สำหรับวัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิวของผนังภายนอกอาคาร ซึ่งจะต้องสัมผัสกับรังสีอาทิตย์และท้องฟ้าโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar absorptance) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของวัสดุ ก็จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (heat gain) และการสูญเสียความร้อน (heat loss) ของผนังอาคารด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 3-8 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของวัสดุต่างๆ

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	ความหนาแน่น	ความร้อนจำเพาะ
		(W/m-K)	(Kg/m ³)	(kJ/(kg.K))
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	0.398	1860	1.00
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	0.108	720	1.00
3	วัสดุฉนวนหลังคาแอสฟัลท์	1.226	1100	1.51
4	บิตูเมน (bitumen)	1.298	1100	1.26
5	อิฐ			
	(ก) แห้งและฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสคหรือกระเบื้อง	0.807	1760	0.837
	(ข) ผนังไม่ฉาบปูน	1.154	1600	0.79
6	คอนกรีต	1.442	2400	0.92
7	คอนกรีตชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่างๆ			
	(ก) 620 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.160	620	0.84
	(ข) 960 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.303	960	0.84
	(ค) 1120 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.346	1120	0.84
	(ง) 1280 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.476	1280	0.84
8	บล็อกคอนกรีต	1.02	1370	0.92
9	แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
10	แผ่นไฟเบอร์ (fibre board)	0.052	264	0.59
11	ไฟเบอร์กลาส			
	(ก) แบบม้วน (blanket)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(ข) แบบแผ่น (rigid board)	0.033	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(ค) แบบท่อสำเร็จ (rigid pipe section)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
12	แผ่นกระจก	1.053	2512	0.88
13	แผ่นยิปซัม	0.191	880	1.09
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด			
	(ก) มาตรฐาน	0.216	1024	1.34
	(ข) ปานกลาง	0.123	640	1.30
15	โลหะ			
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	211	2672	0.896
	(ข) ทองแดง	388	8784	0.390
	(ค) เหล็กกล้า	47.6	7840	0.500
16	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	0.05	290	0.80
17	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว			
	(ก) ยิปซัม	0.235	720	1.09
	(ข) เพอร์ไลท์	0.115	616	1.34
	(ค) ปูนผสมทราย	0.553	1568	0.84
18	โพลีสไตรีน แบบขยายตัว	0.035	16	1.21

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	ความหนาแน่น	ความร้อนจำเพาะ
		(W/m-K)	(Kg/m ³)	(kJ/(kg.K))
19	โพลีโพลียูรีเทน	0.024	24	1.59
20	โพลีโพลียูเอทรีลีน	0.029	45	1.21
21	พื้นพีวีซี	0.713	1360	1.26
22	หิน			
	(ก) หินทราย	1.298	2000	0.79
	(ข) หินแกรนิต	2.927	2640	0.79
	(ค) หินอ่อน	1.298	2640	0.80
23	กระเบื้องหลังคา	0.836	1890	1.00
24	ไม้			
	(ก) ไม้เนื้ออ่อน	0.125	608	1.30
	(ข) ไม้เนื้อแข็ง	0.138	702	1.30
	(ค) ไม้อัด	0.138	528	1.21
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดหยาบอัดหลวม (ความหนาแน่นต่ำ)	0.065	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	1.34
26	ไม้อัดซีพบอร์ด	0.144	800	1.30
27	แผ่นกระดาดอัด	0.086	400	1.38

หมายเหตุ: ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะ จาก 2001 ASHREA Fundamentals Handbook (SI)

ข) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารเป็นค่าที่รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังที่บ ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุผนัง รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของผนัง

ค) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนังที่มีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนผนังอาคาร และใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร		หมายเหตุ
	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	สีภายนอก	
0.3	แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว	สีขาว สีเงิน สีเงิน/สีบรอนซ์สะท้อนแสง	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวสีขาว
0.5	หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน หินแกรนิตสีครีมหรือสีอ่อน กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน วัสดุปิดผิวสีอ่อน	สีครีม สีฟ้าอ่อน สีเขียวอ่อน สีเหลืองอ่อน สีส้มอ่อน	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน
0.7	คอนกรีตไม่ทาสี อิฐไม่ทาสี แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี	สีแดง สีฟ้า สีเขียว	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม

สัมประสิทธิ์การ ดูดกลืนรังสีอาทิตย์	พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร		หมายเหตุ
	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	สีทาภายนอก	
	กรวดล้างสีเทา ซีเมนต์เอสเบสต่อสไมท์	สีส้ม สีสนิม (rustic)	
0.9	อิฐสีแดง แอสฟัลต์ คอนกรีตสีเทาเข้มและสีดำ วัสดุผนังหลังคาสีเขียวเข้มและสี แดงเข้ม	สีน้ำเงินหรือสีเขียวเข้ม สีเทาเข้ม สีน้ำตาลเข้ม สีดำ	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ง) ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-Specific Heat product; DSH)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของผนังทึบ มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนังอาคาร

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุเพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่นเท่ากับ ρ_i ความร้อนจำเพาะเท่ากับ c_{pi} และมีความหนาเท่ากับ Δx_i ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i), \quad \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (3.7)$$

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน n ชนิด ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH = DSH_1 + DSH_2 + \dots + DSH_n, \quad \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (3.8)$$

เมื่อ DSH_i คือ ค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง

ρ_i คือ ความหนาแน่นของวัสดุ i

c_{pi} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ i

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุ i

กรณีที่มีผนังช่องว่างอากาศตรงกลาง ช่องว่างอากาศดังกล่าวไม่ทำให้ค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนังเปลี่ยนแปลงไป

จ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังทึบ

ตารางที่ 3.10 แสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา ค่าในตารางประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวของผนัง ค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนัง

มุมเอียงของผนัง คือ มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลก ผนังแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงของผนังเท่ากับ 90 องศา ส่วนหลังคาในแนวระนาบ จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา

สำหรับตารางที่ 3.11 และ 3.12 แสดงตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต และสำหรับอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลที่มีปริมาณมาก ตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบที่แสดงนี้ (ตารางที่ 3-10 ถึง 3-12) เป็นตารางที่คัดลอกมาเพียงบางส่วนเท่านั้น สำหรับผู้สนใจสามารถสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเอกสารฉบับเต็มไม่ยากนัก

เมื่อทราบชนิดวัสดุ ความหนาของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นผนังอาคาร ให้ใช้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะในตารางที่ 3-8 และสมการที่ (3.7) และ (3.8) คำนวณหาค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง กรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในตารางที่ 3.8 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ตารางที่ 3-10 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังที่บสำหรับอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและ ความร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	16.5	25.0	33.6	42.1
		30	16.2	24.6	33.0	41.5
		50	15.7	24.0	32.3	40.6
		100	14.4	22.3	30.3	38.2
		200	12.1	19.1	26.1	33.1
		300	10.5	16.8	23.0	29.2
		400	10.2	16.2	22.2	28.3
90	ทิศเหนือ	15	10.8	14.1	17.4	20.7
		30	10.4	13.7	16.9	20.1
		50	10.0	13.2	16.3	19.5
		100	9.1	12.1	15.1	18.1
		200	7.9	10.6	13.4	16.1
		300	7.3	9.9	12.5	15.1
		400	7.1	9.6	12.2	14.7
	ทิศตะวันออก	15	12.6	17.2	21.9	26.5
		30	12.3	16.9	21.5	26.1
		50	11.9	16.5	21.1	25.6
		100	11.1	15.5	20.0	24.4
		200	9.8	13.9	18.0	22.2
		300	9.0	12.8	16.6	20.4
		400	8.6	12.2	15.8	19.4
	ทิศใต้	15	13.0	18.0	22.9	27.8
		30	12.7	17.5	22.3	27.1
		50	12.2	16.9	21.6	26.3
		100	11.1	15.6	20.1	24.6
		200	9.7	13.7	17.8	21.9
		300	8.9	12.7	16.5	20.3
		400	8.6	12.2	15.9	19.5
	ทิศตะวันตก	15	12.3	16.7	21.1	25.5
		30	11.9	16.2	20.4	24.7
		50	11.3	15.5	19.6	23.7
		100	10.2	14.0	17.8	21.6
		200	8.7	12.1	15.5	18.9
		300	8.1	11.2	14.4	17.6
		400	7.9	11.0	14.1	17.2

ตารางที่ 3-11 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังที่บสำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต

มุมเอียงของผนัง , องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและ ความร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	12.1	17.8	23.4	29.0
		30	12.4	18.3	24.2	30.0
		50	12.7	18.8	24.9	31.0
		100	13.1	19.6	26.0	32.5
		200	12.6	19.0	25.5	31.9
		300	11.5	17.5	23.5	29.5
		400	11.0	16.9	22.7	28.5
90	ทิศเหนือ	15	8.3	10.6	12.9	15.2
		30	8.4	10.7	13.1	15.4
		50	8.4	10.8	13.2	15.5
		100	8.4	10.9	13.3	15.7
		200	8.1	10.5	12.9	15.2
		300	7.5	9.8	12.1	14.4
		400	7.0	9.2	11.4	13.6
	ทิศตะวันออก	15	9.2	12.1	15.0	17.9
		30	9.3	12.3	15.3	18.3
		50	9.5	12.6	15.7	18.7
		100	9.7	12.9	16.2	19.4
		200	9.5	12.8	16.1	19.5
		300	8.9	12.1	15.3	18.5
		400	8.3	11.4	14.5	17.6
	ทิศใต้	15	9.8	13.1	16.4	19.7
		30	9.9	13.3	16.6	20.0
		50	10.0	13.4	16.9	20.3
		100	10.1	13.7	17.2	20.8
		200	9.8	13.3	16.9	20.4
		300	9.1	12.5	15.9	19.3
		400	8.5	11.8	15.0	18.3
	ทิศตะวันตก	15	9.7	12.8	16.0	19.2
		30	9.7	12.9	16.2	19.4
		50	9.7	13.0	16.3	19.5
		100	9.7	13.0	16.3	19.6
		200	9.2	12.4	15.7	18.9
		300	8.5	11.6	14.6	17.6
		400	8.0	10.9	13.7	16.6

ตารางที่ 3-12 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล

มุมเอียงของผนัง , องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและ ความร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	7.3	10.7	14.1	17.5
		30	7.3	10.7	14.2	17.6
		50	7.3	10.8	14.3	17.7
		100	7.4	10.9	14.5	18.0
		200	7.5	11.2	14.9	18.6
		300	7.6	11.4	15.2	19.1
		400	7.7	11.5	15.4	19.3
90	ทิศเหนือ	15	4.7	6.1	7.5	8.9
		30	4.7	6.1	7.5	8.9
		50	4.7	6.1	7.5	8.9
		100	4.8	6.2	7.6	9.0
		200	4.8	6.3	7.7	9.2
		300	4.9	6.3	7.8	9.3
		400	4.9	6.4	7.9	9.4
	ทิศตะวันออก	15	5.5	7.4	9.4	11.3
		30	5.5	7.4	9.4	11.4
		50	5.5	7.5	9.4	11.4
		100	5.5	7.5	9.5	11.5
		200	5.6	7.7	9.7	11.7
		300	5.7	7.8	9.8	11.9
		400	5.7	7.8	9.9	12.0
	ทิศใต้	15	5.6	7.7	9.7	11.8
		30	5.6	7.7	9.8	11.8
		50	5.7	7.7	9.8	11.9
		100	5.7	7.8	9.9	12.0
		200	5.8	8.0	10.1	12.3
		300	5.9	8.1	10.3	12.5
		400	5.9	8.2	10.4	12.6
	ทิศตะวันตก	15	5.3	7.1	9.0	10.8
		30	5.3	7.2	9.0	10.9
		50	5.4	7.2	9.1	10.9
		100	5.4	7.3	9.2	11.1
		200	5.5	7.5	9.4	11.3
		300	5.6	7.6	9.5	11.5
		400	5.6	7.6	9.6	11.6

ฉ) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_p)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ โดยเลือกใช้สมการที่ (3.5) หรือ (3.6) ขึ้นอยู่กับชนิดของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

▪ **กระจกชั้นเดียว**

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_f) ของกระจกกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียว ให้คำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$U_f = \frac{1}{R_f}, \tag{3.9a}$$

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o, \tag{3.9b}$$

เมื่อ R_f คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

R_i และ R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 3.6

Δx คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง

k_g คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง

▪ **กระจกลามิเนต**

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณโดยใช้สมการที่ (3.5)

▪ **ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น และมีช่องว่างอากาศภายใน**

ให้ใช้สมการที่ (3.6) ในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศจากตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3-13 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความกว้างของช่องว่างอากาศ (มิลลิเมตร)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ (m^2K/W)	
	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.110	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.167

ให้ใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงสำหรับช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสงทั่วไป นอกเหนือจากการกำหนดว่ากระจกหรือผนังโปร่งแสงด้านที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (Low emissivity coating) จึงใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดไว้ในตาราง (5-13 mm.) ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 13 mm. ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 13 mm.

ข) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า OTTV ตามสมการที่ (3.1) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท แสดงในตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-14 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	สำนักงานและสถานศึกษา	โรงพยาบาลและโรงแรม	ห้างสรรพสินค้าและซูเปอร์มาร์เก็ต
ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (°C)	5	3	5

ข) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคา ส่วนโปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางที่ 3-15

ณ) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient; SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบบนยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจก ของหน้าต่าง

ตารางที่ 3-15 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance) ของกระจกชนิดต่างๆ

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว (Uncoated single glazing)			
6	กระจกใส	0.88	0.73
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.54
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.54
6	กระจกสีเทา	0.46	0.52
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว	0.75	0.55
กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว (Reflective single glazing)			
6	กระจกใสเคลือบโลหะสแตนเลส 20%	0.20	0.28
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 20%	0.20	0.27
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30%	0.30	0.35
กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว (Uncoated double glazing)			
6	กระจกใส-กระจกใส	0.78	0.60
6	กระจกสีบรอนซ์-กระจกใส	0.47	0.41
6	กระจกสีเขียว-กระจกใส	0.68	0.41
6	กระจกสีเทา-กระจกใส	0.41	0.39
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว-กระจกใส	0.67	0.43
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกใส	0.59	0.33
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น (Reflective double glazing)			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30% และกระจกใส	0.27	0.25
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e double glazing, e = 0.2 on surface 2)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.73	0.53
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e double glazing), e = 0.1 on surface 2)			

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.72	0.44
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.57	0.27

ญ) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation; ESR)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังของอาคาร วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้ง จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา สำหรับตารางค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่างๆ ของอาคารประเภทสำนักงาน/สถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า และประเภทโรงแรม โรงพยาบาล ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-16 ถึง 3-18 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-16 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา (W/m²)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38
15	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53
30	358.99	390.20	412.96	425.48	428.59	422.98	408.39	385.65
45	306.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.20	372.57	341.61
60	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33
75	212.39	255.60	291.21	312.65	317.70	306.52	281.11	246.70
90	185.06	215.84	244.53	263.14	267.41	256.82	234.58	207.62

ตารางที่ 3-17 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้า (W/m²)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55
15	303.15	307.90	315.66	323.63	330.14	333.80	331.91	321.31
30	268.08	278.60	293.82	308.44	319.42	324.35	319.10	299.32
45	227.46	243.07	264.27	283.71	297.18	301.59	292.50	266.04
60	187.41	205.70	230.29	252.20	266.21	268.90	256.53	226.97
75	154.06	170.92	195.12	216.63	229.31	229.66	215.55	187.56
90	133.52	143.11	162.04	179.75	189.27	187.26	173.98	153.31

ตารางที่ 3-18 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม โรงพยาบาล (W/m²)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44
15	177.49	185.24	190.45	193.01	193.33	191.76	188.38	183.39
30	157.51	171.84	181.79	186.87	187.63	184.64	178.12	168.59
45	134.67	153.68	167.29	174.48	175.71	171.59	162.54	149.52
60	112.13	133.17	148.76	157.33	158.93	154.12	143.54	128.65
75	93.08	112.74	128.05	136.87	138.66	133.74	123.01	108.45

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
90	80.68	94.81	106.98	114.57	116.26	111.96	102.86	91.40

3.5.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ก) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (RTTV_{ni}) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_{ni} = (U_r)(1-SRR)(TD_{eq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3.10)$$

เมื่อ

RTTV_{ni} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา, W/m²

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา, W/m².°C

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ, °C

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง, W/m².°C

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ ผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง, W/m²

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (RTTV_{ni}) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_n = \frac{(A_{w1})(RTTV_{n1}) + (A_{w2})(RTTV_{n2}) + \dots + (A_{wi})(RTTV_{ni})}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (3.11)$$

เมื่อ

A_{wi} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง, m²

RTTV_{ni} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (3.10)

ข) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ของหลังคาอาคาร ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.5.1 และใช้คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ ในตารางที่ 3-8 อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศสำหรับกรณีที่เป็นหลังคาอาคารให้ใช้ค่าจากตารางที่ 3-19, 3-20 และ 3-21

ตารางที่ 3-19 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคาอาคาร

	พื้นผิวหลังคาภายใน (R _i) ที่มุมเอียงต่างๆ กันจากแนวระนาบ			พื้นผิวหลังคาภายนอก (R _o) ที่มุมเอียงใดๆ
	0	22.5	45	
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์)	0.162	0.148	0.133	0.055

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในหลังคาของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของหลังคาด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ แสดงในตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)			
	ความหนาของช่องว่างอากาศ			
	5 mm.	20 mm.	100 mm.	
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.11	0.148	0.174
	22.5°	0.11	0.148	0.165
	45°	0.11	0.148	0.158
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.25	0.572	1.423
	22.5°	0.25	0.571	1.095
	45°	0.25	0.570	0.768

สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือเป็นพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของหลังคาด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น หลังคาที่มีการติดตั้งพอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5-20 mm. หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20-100 mm. ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างเกินกว่า 100 mm. ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่มีความกว้าง 100 mm. ตารางที่ 3-21 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา

ตารางที่ 3-21 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเพดาน	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.458
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	1.356

ค) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุหลังคา รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของหลังคา

ง) สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของหลังคามีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคาร และใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 3-9

จ) ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง (Density-Specific Heat product; DSH)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของหลังคา มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุหลังคาอาคาร ค่าความร้อนจากผลของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ ของหลังคา ให้คำนวณโดยใช้วิธีการในหัวข้อที่ 3.5.1

ฉ) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของหลังคา

ตารางที่ 3-10 แสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ที่ประยุกต์ใช้สำหรับหลังคาอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา เมื่อทราบชนิดวัสดุ ความหนาของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นหลังคาอาคาร ให้ใช้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะในตารางที่ 3-8 และสมการที่ (3.7) และ (3.8) คำนวณหาค่า ความร้อนที่เกิดจากผลของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของ

วัสดุ กรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในตารางที่ 3-8 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ข) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง (U_g)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกและผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_f) สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในหลังคา ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 3-20

ช) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า RTTV ตามสมการที่ 3.10 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท แสดงในตารางที่

3-14

ฅ) ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุหลังคาส่วนโปร่งแสงและก่อให้เกิดความร้อนขึ้นภายในอาคาร ค่าดังกล่าวเป็นผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสงโดยตรง กับ การแผ่รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในวัสดุหลังคาโปร่งแสงทั้งหมดเข้ามาภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิต ที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางที่ 3-15

ญ) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient; SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารสำหรับหลังคา ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีการในหัวข้อ 3.5.1 (ฅ)

ฎ) ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation; ESR)

คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่าน ผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน สำหรับหลังคาอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา ให้ใช้ค่าในตารางที่

3-16

3.6 การปรับปรุงสมรรถนะกรอบอาคาร

เราสามารถปรับปรุงสมรรถนะของกรอบอาคารได้ทั้งในส่วนของผนังทึบ ผนังกระจก หลังคา และพื้น โดยมาตรการที่ก้าวไปที่สามารถดำเนินการได้รวบรวมได้ดังนี้

3.6.1 ผนังทึบ

ก) การเลือกใช้วัสดุที่มีมวลอุณหภูมิต่างที่เข้ากับอาคาร

มวลอุณหภูมิต่าง (Thermal Mass) เป็นค่าสมบัติของวัสดุในการดูดกลืนและสะสมความร้อน วัสดุที่หนักและมีความหนาแน่นสูงจะเก็บความร้อนไว้ได้มากและใช้เวลานานกว่าความร้อนเหล่านั้นจะถูกถ่ายเทเข้าไปยังภายในอาคาร ในกรณีที่ภาวะอากาศมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนสูง และอาคารมีการใช้งานเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน วัสดุที่มีมวลมากจะช่วยหน่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ทำให้ภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศต่ำ และในช่วงเย็นเมื่อเลิกใช้อาคารและเครื่องปรับอากาศ ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังจะไม่มีผลต่อการใช้พลังงาน เนื่องจากไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแล้ว และความร้อนส่วนหนึ่งที่สะสมอยู่ในตัวผนังจะถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมในช่วงค่ำ



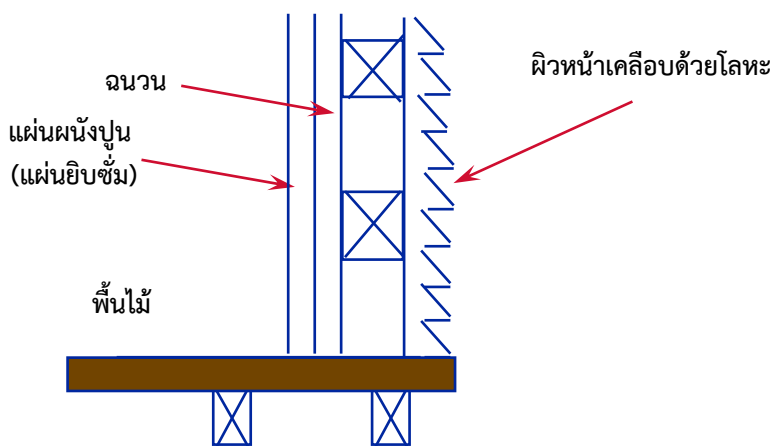
(ก) อิฐ



(ข) คอนกรีตบล็อก

รูปที่ 3-11 วัสดุที่มีมวลอุณหภาพ (Thermal Mass) สูง

วัสดุที่มีค่ามวลความร้อนต่ำจะสะสมความร้อนน้อย ในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกไม่ต่ำมากในเวลากลางคืน วัสดุที่มีมวลมากจะสะสมความร้อนไว้ตลอดเวลา ขณะที่วัสดุที่มีมวลน้อย จะไม่สะสมความร้อนไว้ วัสดุที่มีมวลน้อยสามารถถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน แม้ว่าการแผ่รังสีไม่ใช่วิธีถ่ายเทความร้อนที่ดีนัก แต่ก็ดีกว่าการเก็บความร้อนในวัสดุที่มีมวลมากซึ่งไม่สามารถเย็นลงอย่างรวดเร็วโดยการแผ่รังสีได้ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนและความชื้นสูง การใช้วัสดุที่มีค่ามวลความร้อนต่ำและใช้ควบคู่กับฉนวนด้วยจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม ในขณะที่ภายนอกมีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 3-12 วัสดุที่มีค่ามวลความร้อน (Thermal Mass) ต่ำ

จากที่กล่าวข้างต้น มวลอุณหภาพสามารถช่วยลดภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศได้ อย่างไรก็ตามการใช้งานต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น ช่วงเวลาการใช้อาคารหรือเครื่องปรับอากาศ การใช้มวลอุณหภาพอย่างผิดวิธีจะส่งผลในทางตรงกันข้ามกล่าวคือ ภาระการปรับอากาศสูงขึ้น และเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานสูง ตัวอย่างหนึ่งได้แก่ การใช้ผนังที่มีมวลอุณหภาพสูงกับบ้าน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้งานในเวลาเย็นและกลางคืน ผนังที่มีมวลมากจะกักเก็บความร้อนในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งไม่มีผู้อาศัยในบ้าน และถ่ายเทให้กับบ้านในเวลาเย็นและค่ำ เมื่อผู้อาศัยกลับบ้านภายหลังจากการทำงาน และเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

ข) ผนังคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตสังเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ทราย ปูนขาว ปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม และสารกระจายฟองอากาศ ไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดา 2-3 เท่า เนื่องจากเนื้อวัสดุประกอบด้วยฟองอากาศเล็กๆ กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอประมาณ 75 % ของเนื้อวัสดุ น้ำหนักประมาณ 50 kg/m² (ความหนา 10 cm.) แต่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดได้ประมาณ 30 - 80 kg/m² ดังนั้น จึงสามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร สามารถใช้ก่อได้ทั้งผนังรับแรง (Load Bearing Wall) และผนังกั้นที่ไม่ได้รับแรง (Non-Load Bearing Wall) สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น แบบบล็อก แบบแผ่น แบบคานเสริมเล็ก ฯลฯ มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน มีค่าความต้านทานความร้อนประมาณ 0.6 - 0.8 m²/W.K ทั้งนี้ในการก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบาจะมีการฉาบปูนเช่นเดียวกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

ค) การใช้วัสดุแผ่รังสีความร้อนต่ำ

วัสดุโดยทั่วๆ ไปเป็นวัสดุที่มีค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ต่ำ เพื่อที่จะลดปริมาณความร้อนรับที่เข้าสู่อาคารให้เหลือน้อยที่สุด

สภาพเปล่งรังสี (Emissivity) คือ ความสามารถของพื้นผิวในการดูดกลืนความร้อน และสะท้อนความร้อนกลับ ตัวอย่างเช่น : พื้นผิวที่มีสีเข้มจะดูดกลืนความร้อนได้มากกว่า และสะท้อนรังสีได้น้อยกว่าพื้นผิวที่มีสีอ่อนและมีความแวววาว ค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของวัสดุทั่วไป เช่น

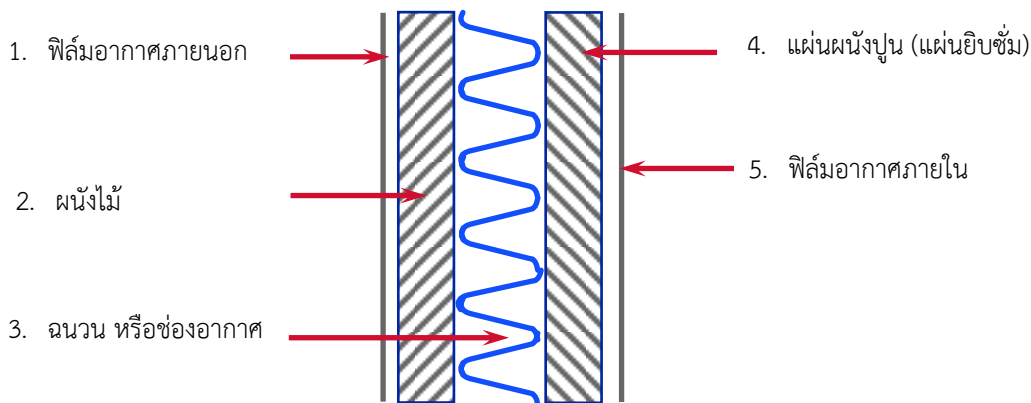
พอลิเอทิลีน	0.05
กระจกที่มีค่า “E” ต่ำ	0.15 - 0.3
กระจกใส	0.85
อิฐ	0.90
ไม้	0.91
พื้นลงน้ำมันชักเงาสีดำ	0.96

ค่าสภาพเปล่งรังสียิ่งต่ำก็จะดูดกลืนความร้อนได้น้อยกว่า และสะท้อนกลับได้มากกว่า

ง) ทาผนังด้วยสีอ่อน ซึ่งสามารถสะท้อนความร้อนและรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดีกว่า

จ) การบุฉนวนผนังเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคาร

การบุฉนวนกับผนังอาคารสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้ และหากการบุฉนวนสามารถทำควบคู่ไปกับการติดแผ่นสะท้อนรังสี (Reflective Foil) โดยผนังมีช่องอากาศก็จะลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างมากทีเดียว



รูปที่ 3-13 ผนังที่บุฉนวน

ส่วนประกอบ	R ₁ (มีฉนวน)*	R ₂ (มีเฉพาะช่องอากาศ)*
1.	0.03	0.03
2.	0.14	0.14
3.	1.94 (มีฉนวน)	0.15 (มีช่องอากาศ)
4.	0.08	0.08
5.	0.12	0.12

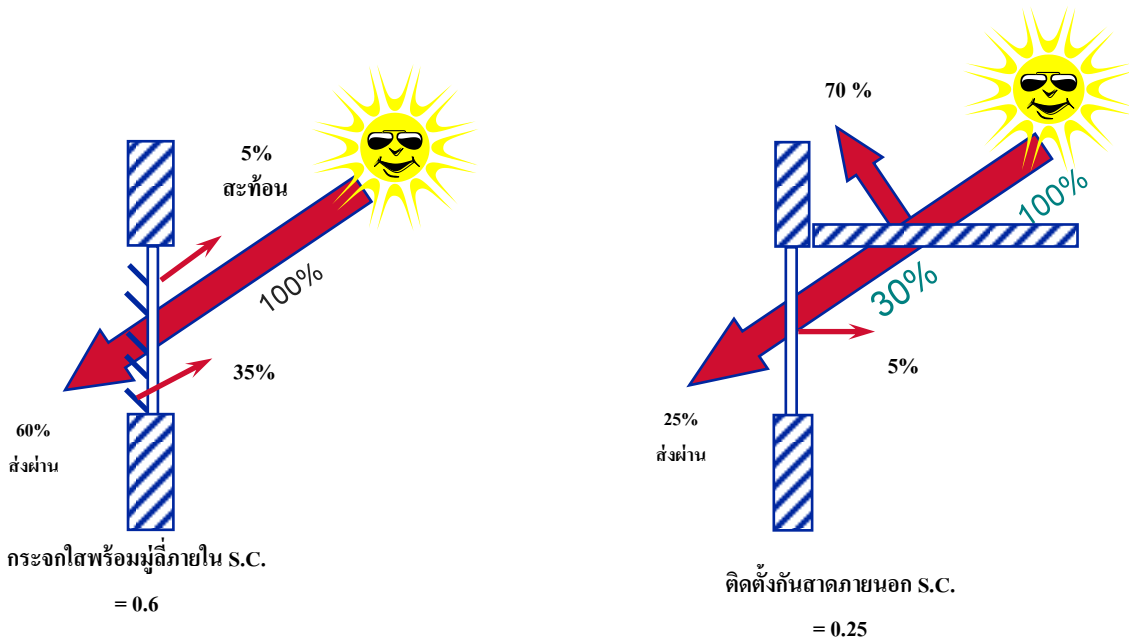
$R_1 = 2.3 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$ $R_2 = 0.52 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$

หมายเหตุ ค่า R ยิ่งสูง หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย ค่า U ต่ำ หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย

3.6.2 กระจกหน้าต่าง

ก) การใช้อุปกรณ์บังแดด

- อุปกรณ์บังแดดภายนอก
 - ชายคา (Overhangs) เหนืออาคาร
 - บานเกล็ด (Louvers) ภายนอกของหน้าต่าง
 - กันสาดหรือผ้าใบบังแดด (Awnings) เหนือหน้าต่าง
 - ม่านบังตาหรือมู่ลี่ (Shutters or Blinds) แบบใช้ภายนอกม้วนได้ หรือมู่ลี่
 - ร่มเงาจากต้นไม้
- อุปกรณ์บังแดดภายใน
 - ม่านบังตา หรือมู่ลี่ที่ม้วนหรือรูดขึ้นลงได้ (Venetian or Roller Blinds)
 - ม่าน (Curtains)

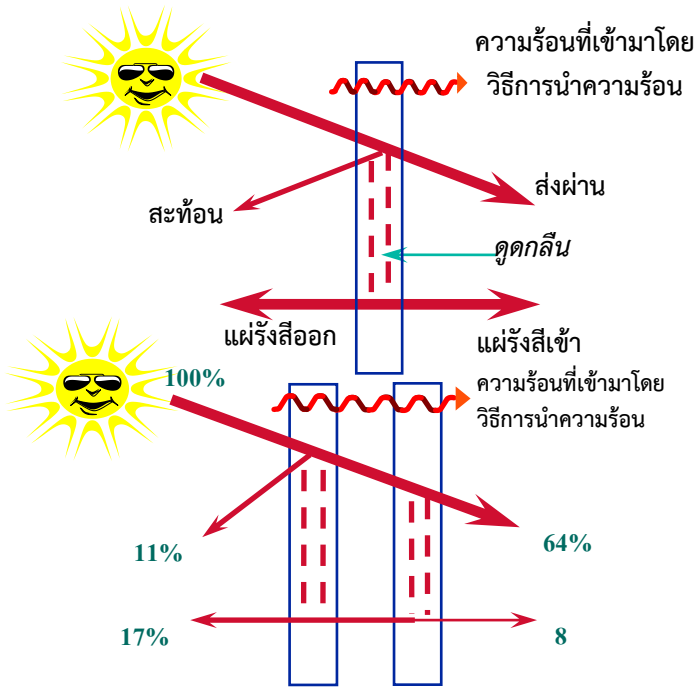


การบังแดดจากภายนอกจะให้ผลดีกว่า เนื่องจากสามารถป้องกันความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ไม่ให้เข้ามาภายในอาคารได้วิธีแบบนี้ เรียกว่า การบังแดดแบบ Passive Solar Shading การบังแดดภายใน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นมู่ลี่หรือม่าน จะสะท้อนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างกลับออกไปภายนอกได้บางส่วน และจะดูดกลืนความร้อนบางส่วนไว้ถ่ายเทเข้าสู่ภายในห้อง ดังนั้นจึงเป็นการดีอย่างยิ่ง หากสามารถป้องกันไม่ให้รังสีจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบกระจกของหน้าต่างได้ แต่เนื่องจากการติดตั้งการบังแดดด้านนอกจะเป็นแบบติดตายตัว ซึ่งจะไม่สามารถให้การบังแดดได้เต็มที่ตลอดเวลา เพราะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ดังนั้นการใช้วิธีการบังแดดทั้งด้านนอกและด้านในของอาคารจึงมักจะใช้ควบคู่กัน

ข) การใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้และช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร

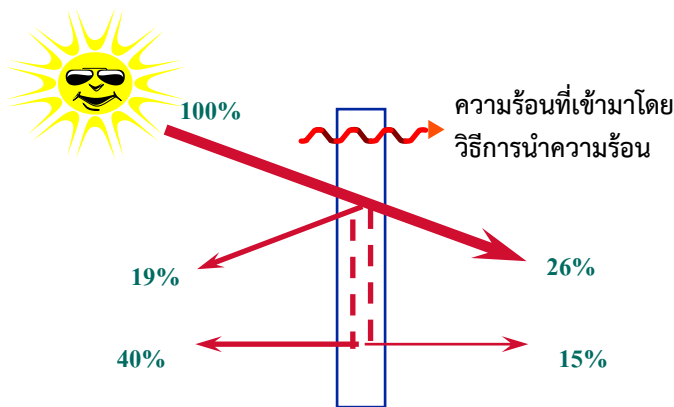
- กระจกที่มีค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ต่ำ จะมีการฉาบสารที่ผิวกระจก เพื่อที่จะลดความร้อนที่จะดูดกลืนไว้มีให้แผ่รังสีเข้าสู่ภายในห้องซึ่งจะมีประโยชน์มากในฤดูร้อน ขณะที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอก ซึ่งจะมีประโยชน์ในฤดูหนาว กระจกชนิดนี้ส่วนมากจะเป็นกระจกแบบ 2 ชั้น
- กระจก 2 ชั้นระบบกระจก 2 ชั้นจะมีค่า U ประมาณ 50% ของกระจกชั้นเดียว ดังนั้นสามารถลดปริมาณความร้อนรับได้มากที่สุด
- กระจก 2 ชั้น พร้อมทั้งมู่ลี่ระหว่างแผ่นกระจก
- กระจกชนิด “สมาร์ทกลาส” (Smart Glass) คือ กระจกชนิดใหม่ซึ่งเพิ่งได้พัฒนาขึ้นมาใช้ โดยคุณสมบัติของกระจกสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป

ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์
ที่ตกกระทบหน้าต่าง 100%



ก) หน้าต่างทั่วไป (กระจกชั้นเดียว)

ข) กระจก 2 ชั้น 6 มม. + 6 มม.

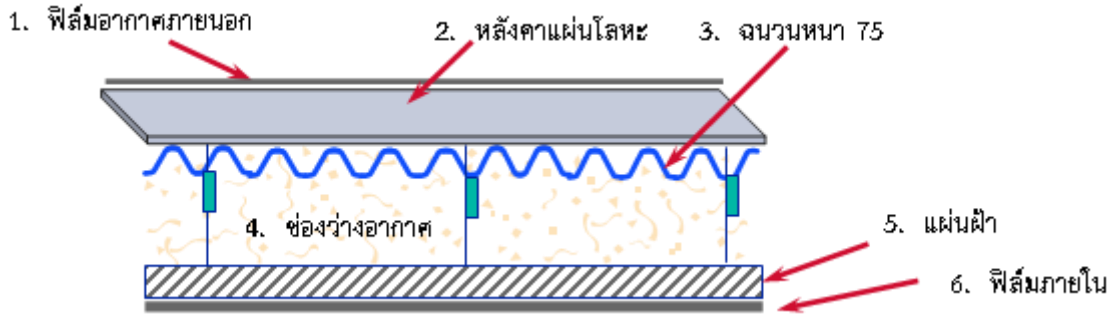


ค) กระจกใสติดฟิล์มสะท้อนแสงสีฟ้า

รูปที่ 3-14 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านทางกระจกชนิดต่างๆ

3.6.3 หลังคา

- ก) บุฉนวนพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา เพื่อลดปริมาณความร้อนรับที่เข้าสู่อาคารจาก ภายนอกผ่านทางหลังคา
- ข) ใช้หลังคาที่มีสีอ่อน เพื่อสะท้อนความร้อนจากรังสีของอาทิตย์



รูปที่ 3-15 การบุฉนวนที่ได้หลังคาแผ่นโลหะ

ส่วนประกอบ	R ₁ (มีฉนวน)*	R ₂ (ไม่มีฉนวน)*
1. พิล์มอากาศภายนอก	0.04	0.040
2. หลังคาแผ่นโลหะ	0	0
3. ฉนวนหนา 75	1.8 (ฉนวน)	(ไม่มีฉนวน)
4. ช่องว่างอากาศ	0.6	0.6
5. แผ่นผ้า	0.07	0.07
6. พิล์มภายใน	0.15	0.15

$R_1 = 2.66 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$

$R_2 = 0.86 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$

$U_1 = 0.38 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$

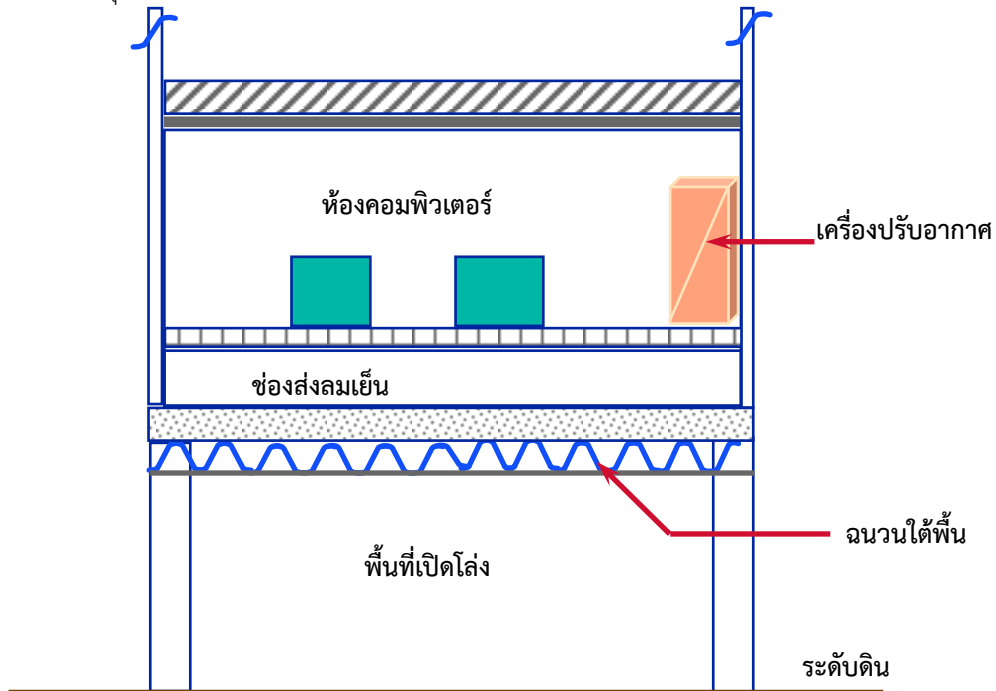
$U_2 = 1.16 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$

หมายเหตุ ค่า R สูง หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย ค่า U ต่ำ หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย

3.6.4 พื้น

ความร้อนรับที่เข้าสู่อาคารผ่านชั้นมาจากทางพื้นโดยทั่วไปจะน้อยมากไม่มีผล ถ้าพื้นตั้งอยู่บนดินโดยตรง เนื่องจากอุณหภูมิของดินในภูมิภาคเขตร้อนค่อนข้างคงที่

สำหรับพื้นที่ยกระดับเหนือดินจะมีช่องว่างอากาศใต้พื้น ซึ่งจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) การบุฉนวนพื้น โดยปกติก็ไม่จำเป็น ยกเว้นว่า ส่วนบนของพื้นตรงนั้นเป็นห้องปรับอากาศ เช่น ห้องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3-16 การบุฉนวนใต้พื้นช่องส่งลมเย็นของห้องคอมพิวเตอร์

3.6.5 การรั่วซึม (Infiltration)

การรั่วซึม เป็นลักษณะของการที่อากาศไหลจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารผ่านช่องเปิดหรือรอย แตกต่างๆ หรือการเปิดหรือแง้มประตูหรือหน้าต่างทิ้งไว้ อากาศที่รั่วซึมเข้ามานี้ไม่สามารถควบคุมได้และจะนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเพิ่มขึ้น และจะต้องใช้พลังงานในการขับความร้อนนี้ออกไปโดยการปรับระบบปรับอากาศ

แนวทางปฏิบัติต่อไปนี้จะสามารถลดการรั่วซึม (Infiltration) อากาศได้

- ระหว่างการก่อสร้าง ให้แน่ใจว่าช่องเปิดที่ไม่จำเป็นและรอยแตกต่างๆ ของเปลือกอาคารจะต้องมีน้อยที่สุด หรือได้ทำการอุดปิด (Seal) ไว้ทั้งหมด และหมั่นดูแลรักษาอุดตลอดอายุของอาคาร
- แน่ใจว่าประตูที่เปิดสู่ภายนอกอาคารอยู่ในสภาพปิดอยู่เสมอโดยการติดตั้งอุปกรณ์ดึงประตูปิด (Door Closer) และมีการอุดปิดขอบประตูไว้เป็นอย่างดี
- จัดให้มีระบบป้องกันอากาศไหลเข้าออก (Air Lock) หรือประตูแบบหมุนรอบ (Revolving Door) ที่ประตูทางเข้าที่มีการเปิด-ปิดเป็นประจำ
- แน่ใจว่าประตูที่เปิดเข้าสู่บันไดอยู่ในสภาพปิดเสมอ เนื่องจากบริเวณบันไดส่วนมากจะติดตั้งระบบระบายอากาศเอาไว้
- แน่ใจว่าหน้าต่างที่สามารถเปิดได้ปิดสนิทอยู่เสมอ

3.7 ข้อเสนอแนะสำหรับอาคารเก่าในการป้องกันความร้อนผ่านเข้าสู่กรอบอาคาร

หลักสูตรนี้มีจุดมุ่งหมายอยู่ที่การก่อสร้างอาคารใหม่ สำหรับอาคารที่มีอยู่เดิม โอกาสในการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานในโครงสร้างของตัวอาคารเองมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามวิธีการทางเทคนิคดังต่อไปนี้ สามารถนำไปใช้กับอาคารเก่า เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานและเพิ่มความสะดวกสบายในการอาศัยได้ดังนี้

- ติดตั้งฉนวนที่หลังคา หรือบริเวณช่องว่างเหนือฝ้าเพดาน
- ติดตั้งอุปกรณ์ในการบังแดดภายนอกอาคาร ที่หน้าต่างที่แดดสามารถส่องได้
- ติดตั้งอุปกรณ์ในการบังแดดภายใน เช่น ม่านหรือมู่ลี่ที่หน้าต่างที่มีแดดส่องถึง
- ติดตั้งพอลิเอสเตอร์สะท้อนแสงบริเวณหน้าต่างที่แดดส่องถึง
- เคลือบผิวของหลังคาให้มีการสะท้อนความร้อนได้
- ลดการแทรกซึมของอากาศจากภายนอกโดยการปิดอุดช่องว่างที่ประตู และหน้าต่างทั้งหมดและเพิ่มระบบป้องกันอากาศไหลเข้า-ออก (Air Lock) ที่ประตูทางเข้า
- ทาสีตัวอาคารใหม่โดยให้เป็นสีอ่อน
- ปลูกต้นไม้เพื่อให้ร่มเงาแก่ผนัง (และหลังคาในกรณีของอาคารที่ไม่สูง)

3.8 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1

จงคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของวัสดุต่างๆ ในตาราง

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad \text{และ} \quad U = \frac{1}{R}$$

จากสมการ

วัสดุ	ความหนา Δx	k (W/m. °C)	R (°C. m ² /W)	U (W/m ² . °C)
อิฐมวลเบาแห้ง (ความหนาแน่น 1,600 kg/m ³)	5 cm	1.154	0.043	23.26
ฉนวนใยแก้ว (ความหนาแน่น 32 kg/m ³)	5 cm	0.033	1.515	0.66
แผ่นยิปซัม	12 mm	0.191	0.063	15.87
ปูนฉาบ	1 cm	0.553	0.018	55.56

กรณีศึกษาที่ 2

จงคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (U_w) และเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังทั้งสองแบบ

ผนังทึบแบบที่ 1 อิฐมอญแห้ง (ความหนาแน่น 1,600 kg/m³) หนา 5 cm ฉาบปูนหนา 1 cm ทั้งด้านนอกและด้านใน

วัสดุ	$\Delta x/k$ ($^{\circ}Cm^2W^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^{\circ}Cm^2W^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	ผนังแนวตั้ง
ปูนฉาบ	$\frac{0.01}{0.553}$	0.018	
อิฐมอญแห้ง	$\frac{0.05}{1.154}$	0.043	ความหนาแน่น 1760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ปูนฉาบ	$\frac{0.01}{0.553}$	0.018	
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	ผนังแนวตั้ง
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		0.262	
ความนำความร้อนรวม ($U_T=1/R_T$)		3.817	

ผนังทึบแบบที่ 2 คอนกรีตมวลเบา (ความหนาแน่น 1,280 kg/m³) หนา 10 cm ฉาบปูนหนา 1 cm ด้านนอก โดยด้านในติดฉนวนใยแก้วซึ่งมีแผ่นสะท้อนรังสีหนา 5 cm และแผ่นยิปซัมหนา 12 mm

วัสดุ	$\Delta x/k$ ($m^2^{\circ}CW^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^{\circ}Cm^2W^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	
ปูนฉาบ	$\frac{0.01}{0.553}$	0.018	ความหนา 1 ซม.
คอนกรีตมวลเบา.	$\frac{0.1}{0.476}$	0.210	ความหนา 10 ซม.
ฉนวนใยแก้ว	$\frac{0.05}{0.033}$	1.515	ความหนา 5 ซม.
แผ่นยิปซัม	$\frac{0.012}{0.191}$	0.063	ความหนา 12 มม.
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		1.970	
ความนำความร้อนรวม ($U_T=1/R_T$)		0.508	

กรณีศึกษาที่ 3

จากโจทย์คำถามที่ 2 จงคำนวณหาค่า DSH ของผนังทึบแบบที่ 2 กำหนดให้สีด้านนอกของผนังเป็นสีอ่อน (ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ = 0.5) และจงคำนวณหาค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) กรณีอาคารเป็น ห้างสรรพสินค้า

$$\begin{aligned}
 \text{ค่า } DSH \text{ ปูนฉาบ} &= (0.01)(1568)(0.84) &= & 13.17 \text{ } kJm^{-2} \cdot ^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ คอนกรีตมวลเบา} &= (0.1)(1280)(0.84) &= & 107.52 \text{ } kJm^{-2} \cdot ^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ ฉนวน} &= (0.05)(32)(0.96) &= & 1.54 \text{ } kJm^{-2} \cdot ^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ แผ่นยิปซัม} &= (0.01)(880)(1.09) &= & 9.59 \text{ } kJm^{-2} \cdot ^{\circ}C^{-1} \\
 \text{ค่า } DSH \text{ ผนังคอนกรีตมวลเบาดัดตั้งฉนวนและแผ่นยิปซัม} &= 13.17+107.52+1.54+9.59 &= & 131.82 \text{ } kJm^{-2} \cdot ^{\circ}C^{-1}
 \end{aligned}$$

ค่า TD_{eq} (ห่างสรรพลินค่า) ของผนังเมื่อติดตั้งฉนวนและแผ่นยิปซัม

รายการ	TD_{eq}			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
ห่างสรรพลินค่า	10.77	13.57	12.87	12.81

กรณีศึกษาที่ 4

จงคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน (R) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ค่า $SHGC$ และค่าอัตราส่วน $T_{\sqrt{SHGC}}$ ของกระจกต่อไปนี้

ชนิดกระจก	กระจกเขียว ความหนา 6 mm	กระจกสีเขียว-กระจกใสความหนา 6 mm ช่องว่างอากาศ 6 mm (ไม่เคลือบผิว)
ความต้านทานความร้อน (R)	0.17	0.259
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	5.882	3.86
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ($SHGC$)	0.54	
อัตราส่วน $T_{\sqrt{SHGC}}$	$0.76/0.54 = 1.407$	$0.68/0.41 = 1.659$

กระจกเขียว ความหนา 6 mm

โครงสร้าง	$\Delta x/k$ ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^\circ C \cdot m^2 \cdot W^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	กระจกแนวตั้ง
กระจก	$\frac{0.006}{1.053}$	0.0057	กระจกหนา 6 มม.
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	กระจกแนวตั้ง
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		0.170	
ความนำความร้อนรวม ($U_T=1/R_T$)		5.882	

กระจกสีเขียว-กระจกใสความหนา 6 mm ช่องว่างอากาศ 6 mm (ไม่เคลือบผิว)

โครงสร้าง	$\Delta x/k$ ($m^2 \cdot ^\circ C \cdot W^{-1}$)	ความต้านทาน (R) ($^\circ C \cdot m^2 \cdot W^{-1}$)	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศด้านนอก		0.044	กระจกแนวตั้ง
กระจกเขียว	$\frac{0.006}{1.053}$	0.0057	กระจกหนา 6 มม.
ช่องอากาศ		0.084	ช่องอากาศหนา 6 มม.
กระจกใส	$\frac{0.006}{1.053}$	0.0057	กระจกหนา 6 มม.
ฟิล์มอากาศด้านใน		0.120	กระจกแนวตั้ง
ความต้านทานความร้อนรวม (R_T)		0.259	
ความนำความร้อนรวม ($U_T=1/R_T$)		3.86	

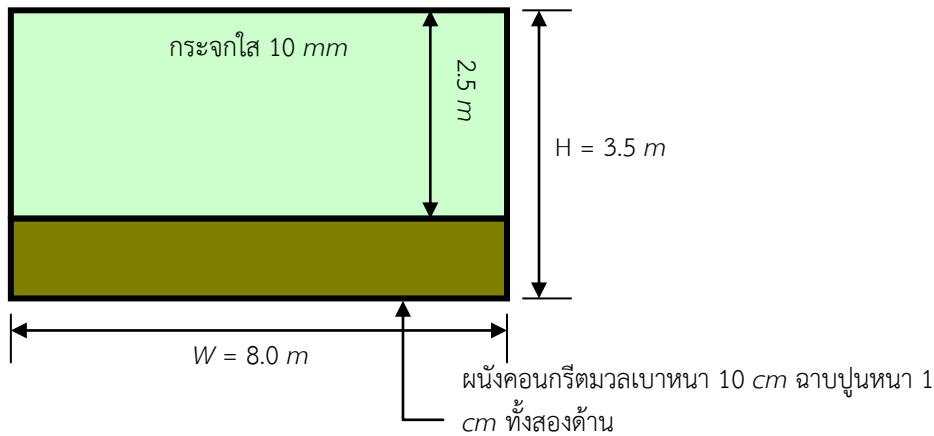
กรณีศึกษาที่ 5

จงคำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับกระจกเขียวความหนา 6 มม. กรณีห้างสรรพสินค้า

ชนิดกระจก	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR)			
	เหนือ (N)	ตะวันออก (E)	ใต้ (S)	ตะวันตก (W)
กระจกเขียว ความหนา 6 มม.	133.52	162.04	189.27	173.98

กรณีศึกษาที่ 6

จงคำนวณหาค่า OTTV ของผนังของห้างสรรพสินค้า ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูป

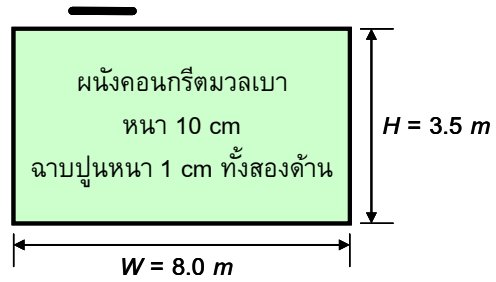
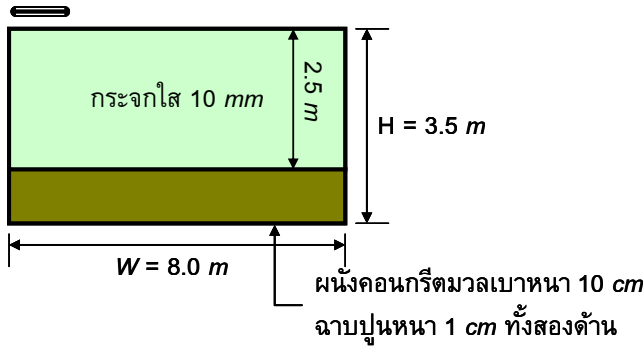
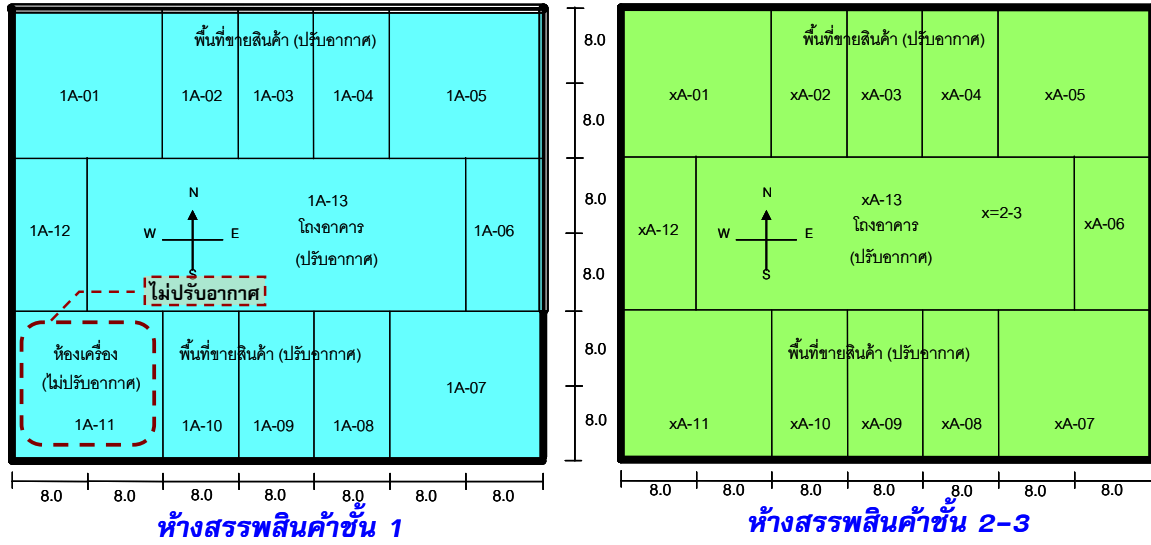


$U_w = 2.439 \quad W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
 $U_f = 5.764 \quad W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
 $WWR = (2.5 \times 8) / (3.8 \times 8) = 0.714$
 $\Delta T = 5.0 \quad ^\circ C$
 $SC = 1.0$
 $SHGC = 0.73$

ทิศ	N	E	S	W
ESR	133.52	162.04	189.27	173.98
TD_{eq}	10.76	12.87	13.56	12.80
$OTTV (W/m^2)$	97.65	113.98	128.65	120.15

กรณีศึกษาที่ 7

จงคำนวณหาค่า OTTV ของผนังของอาคารห้างสรรพสินค้า 3 ชั้น ดังแสดงในรูป



พื้นที่ผนัง		เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก
ห้างสรรพสินค้า (ชั้นที่ 1-3)	แบบที่ 1	196.0	112.0	0.0	0.0
	แบบที่ 2	392.0	392.0	532.0	448.0
	รวม	588.0	504.0	532.0	448.0

ประเภทของอาคาร	OTTV (W/m^2)			
	N	E	S	W
ห้างสรรพสินค้า	50.04	49.74	33.07	31.22

OTTV รวม = 41.54 วัตต์/ตร.ม.

ประเภทอาคาร	ศักยภาพของระบบกรอบอาคาร		ผลประเมิน
	เกณฑ์ขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	
ห้างสรรพสินค้า	40 W/m ²	41.54 W/m ²	ผ่าน √ ไม่ผ่าน

กรณีศึกษาที่ 8

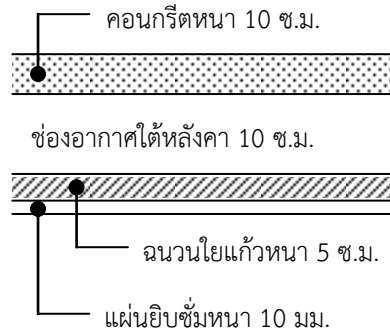
จงคำนวณหาค่า RTTV ของหลังคาตาม ตัวอย่างที่ 7 สำหรับกรณีของอาคารสำนักงาน

$U_r = 0.493 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$

$DSH = 232.05 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{°C)}$

$TD_{eq} = 18.36 \text{ °C}$

$RTTV = 9.05 \text{ W/m}^2$



ประเภทอาคาร	ศักยภาพของระบบกรอบอาคาร		ผลประเมิน
	เกณฑ์ศักยภาพขั้นต่ำ	อาคารตัวอย่าง	
สำนักงาน	15 W/m ²	9.05 W/m ²	ผ่าน

บทสรุป

กรอบอาคารมีส่วนสำคัญยิ่งต่อการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

กรอบอาคารประกอบด้วยส่วนที่เป็นผนังทึบและผนังกระจก การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบและผนังกระจกมีลักษณะที่ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3-7 และ 3-8 สำหรับผนังทึบ รัังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบ ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบเป็นผลจาก

- ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้
- ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

สำหรับผนังกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคารและอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

เพื่อให้อาคารที่ก่อสร้างใหม่เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน ประเทศไทยได้กำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร ซึ่งเป็นการบังคับโดยกฎหมาย ประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารกำหนดด้วยค่าดัชนีการถ่ายเทความร้อนรวม OTTV และ RTTV อาคารที่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพของกรอบอาคารดังมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งานอาคาร	OTTV (Wm^{-2} ของผนังด้านนอกอาคาร)	RTTV (Wm^{-2} ของหลังคาอาคาร)
สำนักงาน สถานศึกษา	$O-OTTV \leq 50$	$O-RTTV \leq 15$
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือซูเปอร์สโตร์	$S-OTTV \leq 40$	$S-RTTV \leq 12$
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	$H-OTTV \leq 30$	$H-RTTV \leq 10$

ค่าประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร OTTV และ RTTV ขึ้นกับค่าสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นกรอบอาคาร และสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio: WWR) อาคารที่มีพื้นที่ที่กระจกมากจะมีค่า OTTV สูง ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV มีดังนี้

ประเภทกรอบอาคาร	ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV
ผนังทึบ	<ul style="list-style-type: none"> - สัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุ - มวลของผนัง - ทิศทางการหันของผนัง - มุมเอียงของผนัง - สีทาภายนอกผนัง
ผนังโปร่งแสง ผนังกระจก	<ul style="list-style-type: none"> - สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง - สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสง (SHGC) - อุปกรณ์บังแดดรวม - ทิศทางการหันของกระจก - มุมเอียงของกระจก

การดำเนินการมาตรการเพื่อให้กรอบอาคารมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทผ่านกรอบอาคารมากเกินไป เกณฑ์ที่กำหนดไว้สามารถทำได้ดังนี้

กรอบอาคาร	มาตรการ
ผนังทึบ	<ul style="list-style-type: none"> - เลือกใช้วัสดุที่มีมวลอุณหภาพที่เหมาะสมกับอาคาร - ใช้วัสดุแผ่รังสีความร้อนต่ำ - ทาผนังด้วยสีอ่อน - บุนนวมผนังเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคาร
กระจกหน้าต่าง	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้อุปกรณ์บังแดดทั้งชนิดติดตั้งภายในและภายนอก - ใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษที่มีค่า SHGC ต่ำและมีค่าการส่งผ่านแสงสูง - ไม่ใช่พื้นที่หน้าต่างมากเกินไป
หลังคา	<ul style="list-style-type: none"> - บุนนวมพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา - ใช้หลังคาที่มีสีอ่อน

เมื่อศึกษาเนื้อหาในบทนี้จบแล้ว ผู้เข้ารับการอบรมต้องสามารถคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของกรอบอาคารได้ และสามารถเปิดค่าต่างๆ จากตารางได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ.) สามัญ
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2550), คู่มือมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
- [3] http://www.cdnarchitect.com/asf/principles_of_enclosure/environmental_mediation/environmental_mediation.htm (พฤศจิกายน 2551)
- [4] http://www.solarhome.net.au/roof_insulation/ (พฤศจิกายน 2551)
- [5] <http://www.westlondonblinds.co.uk/venetianBlinds2.html> (พฤศจิกายน 2551)



บทที่ 4 ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning System)

ความสำคัญ

การปรับอากาศมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ภายในอาคารจำเป็นต้องมีการปรับอากาศ เพื่อให้เจ้าหน้าที่หรือบุคลากรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นที่ทราบกันดีว่าการปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่สูง

ระบบปรับอากาศ ประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์จำนวนมาก อุปกรณ์เหล่านี้หลายส่วนสามารถปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายสืบเนื่องจากระบบปรับอากาศลงได้ อนึ่ง การใช้งานระบบปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของบทที่ 4 ระบบปรับอากาศ ต้องการให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เบื้องต้นและทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศโดยวัตถุประสงค์ย่อยของบทนี้มีดังต่อไปนี้

1. รู้จักอุปกรณ์และหลักการทำงาน ของระบบปรับอากาศ
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบปรับอากาศ
3. เข้าใจวิธีตรวจวัดและประเมินประสิทธิภาพพลังงานของระบบปรับอากาศ
4. ทราบมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

4.1 บทนำ

การปรับอากาศเป็นกระบวนการควบคุมสถานะของอากาศเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไปปัจจัยหรือพารามิเตอร์ของอากาศที่ต้องควบคุมประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด การกระจายลม และปริมาณลม การปรับอากาศมุ่งให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรม การปรับอากาศอาจใช้เพื่อควบคุมภาวะอากาศในกระบวนการผลิต

สำหรับประเทศไทยซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น หน้าที่หลักของระบบปรับอากาศ คือ การทำความเย็น หรือการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่ด้วยวิธีการดึงอากาศออกไปโดยตรง หรือด้วยการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่านคอยล์เย็นโดยใช้พัดลม น้ำยาหรือสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบปรับอากาศจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการขนถ่ายความร้อนเพื่อออกไประบายทิ้งภายนอกผ่านคอยล์ร้อน

โดยปกติไม่ว่าจะเป็นอาคารพาณิชย์หรือโรงงานอุตสาหกรรม ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานที่สูงมาก การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจึงสามารถประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้เป็นอย่างมาก

4.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศ

สำหรับโรงงานและอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ ระบบปรับอากาศที่นิยมติดตั้งและใช้มักเป็น ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air-conditioning System) โดยเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (รูปที่ 4.1)

ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และเอ็กแพนชันวาล์ว (Expansion Valve) โดยมีสารทำความเย็น เช่น R22 หรือ R134 a บรรจุอยู่ภายในวงจรสารทำความเย็น

เมื่อป้อนไฟฟ้าให้คอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์จะดูดไอสารทำความเย็นจากอีวาพอเรเตอร์แล้วอัดส่งไปที่คอนเดนเซอร์ ที่อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิต่ำ สารทำความเย็นจะดูดความร้อนจากน้ำเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์ และระเหยกลายเป็นไอ ในขณะที่เดียวกันที่คอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิสูง ความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นทำให้สารทำความเย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวที่ความดันสูง เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านเอ็กแพนชันวาล์วความดันก็จะลดลงเท่ากับความดันต่ำที่ อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นก็จะไหลครบ **วัฏจักรสารทำความเย็น**

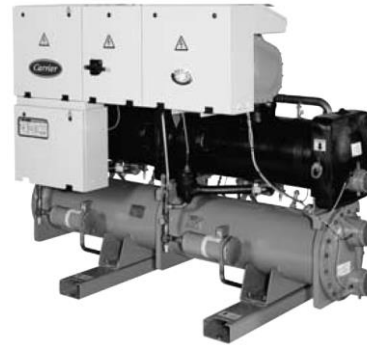
น้ำหล่อเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นส่งไปที่หอทำความเย็น (Cooling Tower) ก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยการระเหยน้ำ ทำให้น้ำที่เหลือเย็นลง แล้วไหลกลับไปรับความร้อนที่คอนเดนเซอร์อีกทำให้ครบ **วัฏจักรน้ำหล่อเย็น**

น้ำเย็นเมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์ก็มีอุณหภูมิต่ำลง เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำเย็นส่งไปที่เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) ก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศทำให้น้ำร้อนขึ้นแล้วไหลกลับไปถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์อีกทำให้ครบ **วัฏจักรน้ำเย็น**

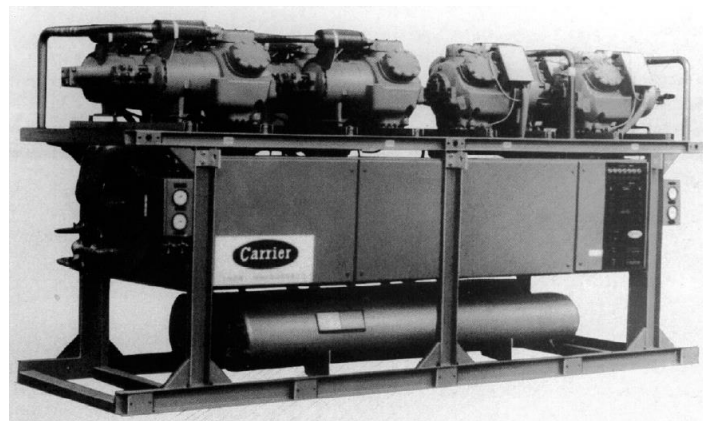
เครื่องส่งลมเย็นจะดูดอากาศร้อนจากห้องปรับอากาศผ่านระบบท่อลมไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็นทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงแล้วส่งกลับไปให้ห้องปรับอากาศทำให้ครบ **วัฏจักรลมเย็น**



ก) เครื่องทำน้ำเย็นแบบเซ็นทริฟิวเกิล (Centrifugal)



ข) เครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรู (Screw)



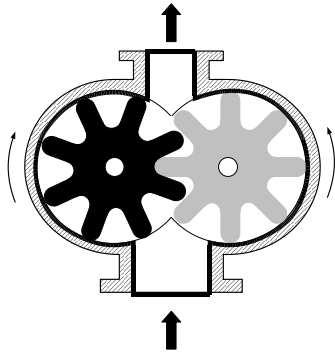
ค) เครื่องทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (Piston)

รูปที่ 4-2 เครื่องทำน้ำเย็นแบบต่างๆ ในระบบปรับอากาศ

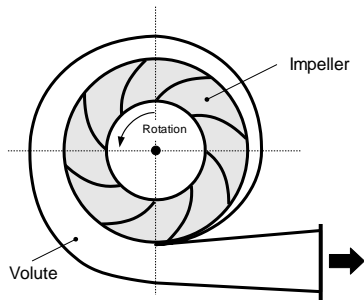
4.3.2 เครื่องสูบน้ำ (Water Pump)

เป็นอุปกรณ์หลักในการขับเคลื่อนของเหลวซึ่งในที่นี้คือน้ำโดยการป้อนพลังงานเชิงกลเข้าไป ทำให้น้ำที่ถูกขับมีความดันสูงขึ้น ความดันดังกล่าวจะทำให้หน้าที่เอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากท่อ ข้อต่อ วาล์ว และอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการ การขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำนั้นอาจจะใช้แรงจากคนหรือจะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในระบบปรับอากาศนั้นเครื่องสูบน้ำจะสามารถพบได้ในทั้งระบบน้ำเย็นและระบบน้ำระบายความร้อน (ระบบน้ำหล่อเย็น) เครื่องสูบน้ำจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

- ก) **แบบ Positive Displacement** เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะอาศัยการกักน้ำในบริเวณที่มีปริมาตรจำกัด แล้วอาศัยแรงดันเพื่อลดปริมาตรนั้นลง ส่งผลให้เกิดการไหลขึ้น ตัวอย่างได้แก่ แบบลูกสูบ แบบโรตารีเวน แบบไดอะแฟรม เครื่องสูบน้ำประเภทนี้จะให้ความดันสูงและอัตราการไหลต่ำ
- ข) **แบบ Rotodynamic** เครื่องสูบน้ำแบบนี้จะอาศัยหลักการเหวี่ยงของใบพัด เพื่อให้ น้ำมีความเร็วเพิ่มขึ้นและพลังงานจลน์ที่ได้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความดันของน้ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการไหลขึ้นเช่นกัน ตัวอย่าง ได้แก่ แบบหอยโข่ง ซึ่งมีใช้กันอย่างแพร่หลายในที่อยู่อาศัยอาคารพาณิชย์และโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องสูบน้ำประเภทนี้จะให้ความดันต่ำถึงปานกลาง และอัตราการไหลสูง



ก) เครื่องสูบน้ำแบบโรตารีเวเน

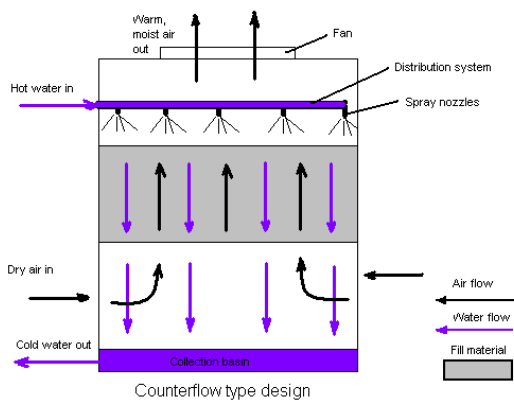


ข) เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง
รูปที่ 4-3 เครื่องสูบน้ำ

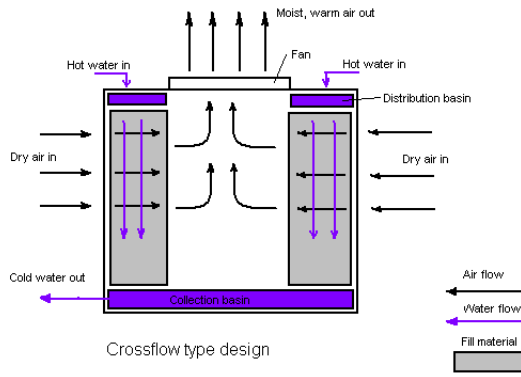
4.3.3 หอทำความเย็น (Cooling Tower)

หอทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำหล่อเย็น ซึ่งทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสู่บรรยากาศ ดังนั้น ปริมาณของน้ำหล่อเย็นที่ผ่านหอทำความเย็นจะมีปริมาณลดลง จากการระเหยและ Drift Loss จึงต้องมีการเติมน้ำจากแหล่งน้ำ ภายนอกเข้าสู่ตัวหอทำความเย็นเพื่อรักษาปริมาณน้ำในระบบให้คงที่ หอทำความเย็นนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะทิศทางการไหล ระหว่างอากาศและน้ำจะสามารถแบ่งหอทำความเย็นได้เป็น 2 ชนิดคือ

- ก) แบบการไหลสวนทาง (Counter Flow)
- ข) แบบการไหลตั้งฉาก (Cross Flow)



ก) แบบการไหลสวนทาง (Counter Flow)



ข) แบบการไหลตั้งฉาก (Cross Flow)

รูปที่ 4-4 หอทำความเย็นจำแนกตามการไหลของน้ำและอากาศ

4.3.4 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)

เครื่องส่งลมเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำเย็น ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็นกับอากาศส่งผลให้อากาศที่ผ่านออกไปมีอุณหภูมิต่ำลงและนำไปใช้เพื่อปรับอากาศต่อไป เครื่องส่งลมเย็นเป็นเครื่องชุดคอยล์ทำลมเย็นที่ประกอบด้วย พัดลม คอยล์ทำความเย็น แคมเปอร์ และแผงกรองอากาศรวมอยู่ในตัวเครื่องเดียวกัน เครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่มักจะมีมียกเรียกสั้น ๆ ว่า AHU (Air Handling Unit) สำหรับเครื่องขนาดเล็ก จะเรียกว่า FCU (Fan Coil Unit) การติดตั้งเครื่องมักจะติดตั้งอยู่ภายในอาคาร โดยถ้าเป็นเครื่องขนาดเล็ก มักจะติดตั้งโดยการแขวนใต้ฝ้าเพดาน ยึดติดกับผนัง ตั้งพื้นหรือซ่อนในฝ้าเพดาน สำหรับเครื่องขนาดใหญ่ มักจะจัดให้มีห้องเครื่อง และนำเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่มาตั้งภายในห้องนี้ หากมีการใช้ระบบท่อลมในการส่งลมเย็น ก็จะต้องท่อลมมาเข้ากับเครื่อง ท่อลมที่ออกจากเครื่องเรียกว่า ท่อลมส่ง (Supply Air Duct) ท่อลมที่นำลมภายในห้องกลับมาที่เครื่อง เรียกว่า ท่อลมกลับ (Return Air Duct)



(ก) FCU (Fan Coil Unit)



(ข) AHU (Air Handling Unit)

รูปที่ 4-5 เครื่องทำน้ำเย็นแบบต่างๆ ในระบบปรับอากาศ

4.4 วงจรการทำความเย็นแบบอัดไอ

โดยส่วนใหญ่ ระบบปรับอากาศจะใช้หน่วยทำความเย็น (Refrigeration Unit) ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของวงจรการทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cycle) จากรูปที่ 4-6 วงจรการทำความเย็นแบบอัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ตัว ได้แก่

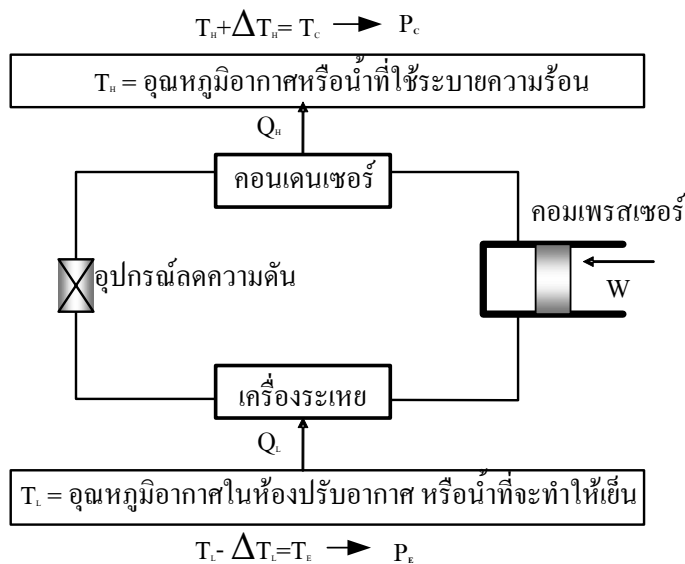
1. อีวาโปเรเตอร์หรือคอยล์เย็น (Evaporator) ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากอากาศ (หรือน้ำในกรณีของเครื่องทำน้ำเย็น) ที่เคลื่อนผ่านคอยล์เย็น โดยสารทำความเย็นซึ่งไหลอยู่ในคอยล์เย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของผสมระหว่างของเหลวและไอที่ความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำ ไปเป็นไอร้อนยิ่งยวดที่ความดันและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

2. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) ทำหน้าที่เพิ่มความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็น คอมเพรสเซอร์จะอัดไอสารทำความเย็นซึ่งมีความดันและอุณหภูมิต่ำให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่อส่งต่อไปยังคอนเดนเซอร์ คอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารทำความเย็นเกิดการไหลเวียนในระบบ และมีอุณหภูมิสูงพอที่จะระบายความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

3. **คอนเดนเซอร์หรือคอยล์ร้อน (Condenser)** ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่มาจากคอมเพรสเซอร์ โดยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอที่มีความดันสูง อุณหภูมิสูง เป็นของเหลวที่มีความดันสูง อุณหภูมิสูง การระบายความร้อนอาจใช้วิธีระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำก็ได้

4. **วาล์วลดความดัน (Expansion Valve)** ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่มาจากคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวความดันสูง อุณหภูมิสูง เป็นของผสมระหว่างของเหลวและไอที่มีความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำ ก่อนไหลเข้าสู่อีวาโปเรเตอร์ต่อไป

ไม่ว่าจะเป็นเครื่องปรับอากาศ ฮีตปั๊ม ตู้เย็น ตู้แช่ เครื่องทำน้ำแข็ง และอีกหลายอย่าง จะมีหลักการเดียวกันหมด ดังแสดงในรูปที่ 4-6 คือ อาศัยกฎธรรมชาติทำให้สารเปลี่ยนแปลงสถานะ เช่น ถ้าเป็นของเหลวที่มีความดันสูงอยู่ ก็ทำให้ความดันลดลงถึงค่าหนึ่ง สารทำความเย็นจะกลายเป็นไอ วิธีการลดความดันก็ให้ไหลผ่านอุปกรณ์ลดความดัน เช่น ท่อทองแดงขนาดเล็ก เรียกว่า หลอดรูเล็ก (Capillary tube) หรือวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) มวลที่กลายเป็นไอส่วนหนึ่ง เช่น ในเครื่องปรับอากาศจะประมาณ 20-30% สารทำความเย็นจะต้องเอาความร้อนแฝงใส่ตัวเองจำนวนมาก ก็โดยการดูดจากมวลส่วนที่ยังเป็นของเหลวอยู่ประมาณ 70-80% ทำให้ของเหลวเย็นลงอย่างมาก (ไอก็เย็นตามไปด้วย) ของเหลวที่เหลือซึ่งเย็นนี้ คือ ส่วนที่ใช้ในการทำความเย็น โดยจะให้ไหลเข้าไปในเครื่องระเหย (Evaporator) หรือคอยล์ทำความเย็น ของเหลวที่เย็นนี้จะดูดความร้อนจำนวน Q_L จากสิ่งที่ต้องการทำให้เย็น จนตัวเองกลายเป็นไอไปหมด



รูปที่ 4-6 วงจรการทำความเย็นแบบอัดไอ

โดยอาศัยกฎธรรมชาติ ในทางกลับกัน คือ ถ้าสารนั้นเป็นไออยู่ เมื่อเพิ่มความดันถึงค่าหนึ่ง สารทำความเย็นต้องกลายเป็นของเหลว การเพิ่มความดันก็โดยใช้คอมเพรสเซอร์อัด การอัด คือ การเพิ่มพลังงานให้กับไอ ไอจะร้อนขึ้นมาก จะยังเปลี่ยนเป็นของเหลวไม่ได้ จึงต้องปล่อยไอร้อนนี้เข้าไประบายความร้อนออกที่ที่คอนเดนเซอร์ จนอุณหภูมิไอร้อนลดลงถึงจุดหนึ่ง ธรรมชาติจะบังคับให้เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว การเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวได้ จะต้องคายความร้อนแฝงออกมามาก ซึ่งความร้อนทั้งหมดที่คอนเดนเซอร์นี้คือที่ต้องระบายทั้งจำนวน Q_H ของเหลวความดันสูงก็จะไหลผ่านอุปกรณ์ลดความดันอีกวนเวียนเป็นวัฏจักร

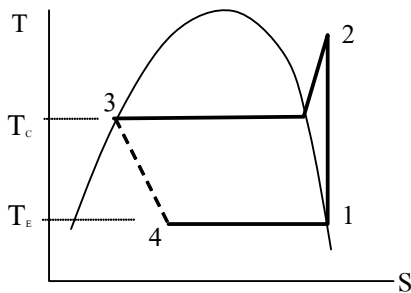
จะเห็นว่าระบบทำความเย็นเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็น คือ ความดันสูงก็จะกลายเป็นของเหลวแม้จะร้อน (อุณหภูมิสูง) สำหรับความดันต่ำก็จะกลายเป็นไอได้แม้จะเย็น (อุณหภูมิต่ำ) นั่นคือ ในวัฏจักรทำความเย็นจะมีส่วนความดันต่ำและส่วนความดันสูง ซึ่งคอมเพรสเซอร์ คือ หัวใจในการดูดสารทำความเย็นจากความดันต่ำอัดให้เป็นความดันสูง ซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ใช้พลังงานส่วนใหญ่ ถ้าต้องการอัดมวลจำนวนเดียวกัน ความดันด้านสูงยิ่งสูงก็จะใช้พลังงานในการอัดยิ่งมาก หรือความดันด้านต่ำหรือความดันระเหยยิ่งต่ำก็จะใช้พลังงานในการอัดยิ่งมากเช่นกัน

4.4.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอแบบอุดมคติ

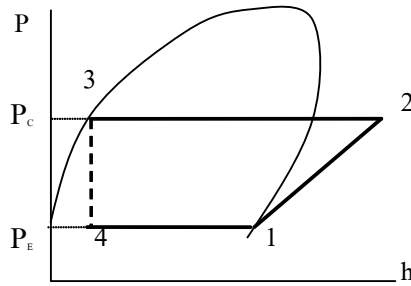
วัฏจักรเครื่องทำความเย็นอุดมคติ เป็นวัฏจักรที่เป็นต้นแบบของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอหรือเครื่องปรับอากาศที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ วัฏจักรนี้ประกอบด้วยกระบวนการย้อนกลับได้ภายในเกือบหมด ยกเว้นเพียงกระบวนการเดียวที่ย้อนกลับไม่ได้ คือ กระบวนการลดความดัน

วัฏจักรนี้ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ คือ

1-2	การอัดแบบย้อนกลับได้โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนหรือกระบวนการไอเซนโทรปิก
2-3	การถ่ายเทความร้อนในคอนเดนเซอร์(หรือทำความร้อนกรณีใช้เป็นฮีตปั๊ม) ไม่มีความเสียหายภายในระบบ ความดันจิ้งจกที่ หรือย้อนกลับได้ภายใน (ภายนอกย้อนกลับไม่ได้)
3-4	การลดความดันโดยไม่มีการทำงาน จึงเป็นกระบวนการย้อนกลับไม่ได้ แต่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน
4-1	การถ่ายเทความร้อน (ทำความเย็น) ในเครื่องระเหย ไม่มีความเสียหายภายในระบบ ความดันจิ้งจกที่หรือย้อนกลับได้ภายใน (ภายนอกย้อนกลับไม่ได้)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-7 T-S และ P-h ไดอะแกรมของวัฏจักรเครื่องทำความเย็นอุดมคติ

สมมุติข้อที่ต่อระหว่างอุปกรณ์หรือเครื่องทั้งหมดไม่มีความเสียหาย นั่นคือ ความดันคงที่ขณะไหลผ่านท่อ และสมมุติไม่มีการถ่ายเทความร้อน

จุดมุ่งหมายของวัฏจักรอุดมคตินี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆในวัฏจักร หรือการเปลี่ยนชนิดสารทำความเย็น และเป็นการบอกถึงขอบเขตของประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นจริงที่ใช้กันอยู่

จากวัฏจักรทางอุณหพลวัต รูปที่ 4-7 (ข) จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวเท่านั้น คือ P_c และ P_e ส่วนอีก 2 ตัวนั้นซึ่งต่างก็ขึ้นกับมัน ซึ่งมีชื่อเรียกอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

P_c - ความดันด้านสูงหรือความดันในคอนเดนเซอร์ (High/Discharge/Head/ Condensing Pressure)

P_e - ความดันด้านต่ำหรือความดันในเครื่องระเหย (Low/Suction/Back/ Evaporating Pressure)

T_c - อุณหภูมิอิ่มตัวด้านความดันสูง (Condensing Temperature or Saturated Discharge Temperature) คือ อุณหภูมิอิ่มตัว (Saturated Temperature) ที่ตรงกับความดันด้านสูง (P_c)

T_e - อุณหภูมิอิ่มตัวด้านความดันต่ำหรือด้านดูด (Evaporating Temperature or Saturated Suction Temperature) คืออุณหภูมิอิ่มตัวที่ตรงกับความดันด้านต่ำ (P_e)

ตามที่กล่าวมาแล้วว่า ในทางปฏิบัติจะสะดวกกว่าถ้ากล่าวถึง T_c และ T_e แทนการกล่าวถึง P_c และ P_e ดังนั้น ตารางไอร่อนยิ่งยวดหรือไอซูเปอร์ฮีทบางตาราง จึงนำด้วยค่าอุณหภูมิอิ่มตัวแทนความดัน โดยความดันพิมพ์ไว้ในวงเล็บ

เราสามารถคำนวณสมรรถนะการทำความเย็นของวัฏจักรความเย็นแบบอัดไอโดยใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยสมมุติให้มีสารทำความเย็นไหลผ่าน 1 หน่วยมวล เช่น 1 kg (กก.) ถ้าต้องการพลังงานต่อหน่วยเวลา (kJ/s = kW) ก็เอาอัตราไหลของมวลคูณกับพลังงานต่อหน่วยมวลนั้น จากรูปที่ 4-7

$$q_L = h_1 - h_4$$

และที่อุปกรณ์ลดความดัน $h_4 = h_3$

$$q_L = h_1 - h_3$$

ถ้า m = อัตราไหลของมวล

$$Q_L = m q_L = m (h_1 - h_3)$$

ขนาดกำลังของมอเตอร์ที่ดูดคอมเพรสเซอร์

$$w_c = h_1 - h_2$$

$$W_c = m w_c = m (h_1 - h_2)$$

ความร้อนที่ต้องระบายทิ้งที่คอนเดนเซอร์

$$q_H = h_3 - h_2$$

$$Q_H = m q_H = m (h_3 - h_2)$$

และ $Q_H = Q_L + W_c$

ประสิทธิภาพ (Coefficient of Performance)

$$COP = Q_L / W_c = q_L / w_c = (h_1 - h_3) / (h_1 - h_2)$$

4.4.2 วัฏจักรเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอทางปฏิบัติ

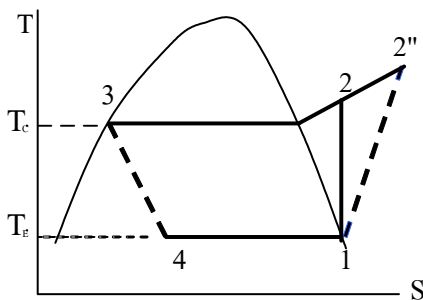
ในทางปฏิบัติคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ มักจะเป็นแบบหุ้มปิดชิด (Hermetic Compressor) คือ ทั้งคอมเพรสเซอร์และมอเตอร์ขับเคลื่อนหุ้มปิดชิดในกล่องหรือถังโลหะ โดยไอสารทำความเย็นที่ไหลเข้าคอมเพรสเซอร์จะดูดความร้อนที่ถ่ายออกจากมอเตอร์และคอมเพรสเซอร์เองกลับเข้าไปสู่สารทำความเย็น นั่นก็เปรียบเหมือนในกระบวนการ 1-2 ไม่มีการถ่ายเทความร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.7 และในทางปฏิบัติจะมีความเสียดทาน จึงทำให้ไม่สมบูรณ์ เมื่อไม่สมบูรณ์และไม่มีการถ่ายเทความร้อน

เอนโทรปีจะเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเอนทัลปี นั่นก็หมายถึงว่า สภาวะที่ 2' จะร้อน (มีอุณหภูมิสูง) กว่าทางทฤษฎีที่สมบูรณ์หรืออุดมคติ (สภาวะที่ 2) ดังนั้นกำลังที่ต้องใช้จริงในทางปฏิบัติ $W_{C-ACTUAL}$ ที่วัดออกมาได้ก็จะมากกว่ากำลังทางทฤษฎีที่สมบูรณ์หรือ

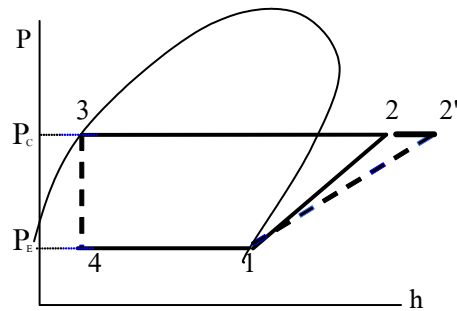
$$W_{C-ACTUAL} = h_{2'} - h_1$$

นิยมให้นิยาม ประสิทธิภาพของคอมเพรสเซอร์ η_c ดังนี้

$$\eta_c = W_c / W_{C-ACTUAL} = (h_2 - h_1) / (h_{2'} - h_1)$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 4-8 T-S และ P-h ไดอะแกรมของวัฏจักรเครื่องทำความเย็นทางปฏิบัติ

4.5 แผนภูมิไซโครเมตริก

อากาศที่อยู่โดยรอบตัวเราประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) อากาศแห้งและ 2) ไอน้ำ (หรือความชื้น) เราสามารถทราบค่าสมบัติของอากาศชื้นได้จากการอ่านแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

แผนภูมิไซโครเมตริกยังสามารถใช้เพื่อแสดงสภาวะของอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับอากาศต่างๆ และสามารถใช้ในการประเมินภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินค่าของพลังงานที่ใช้ของระบบปรับอากาศได้ต่อไป

จากรูปที่ 4-9 แผนภูมิไซโครเมตริกสามารถแสดงค่าสมบัติที่สำคัญของอากาศชื้นได้ดังนี้

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature) แสดงบนแกนนอนของแผนภูมิ อุณหภูมิกระเปาะแห้งสามารถวัดและอ่านได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา

2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature) แสดงบนเส้นแนวทแยงของแผนภูมิ อุณหภูมิกระเปาะเปียกสามารถวัดและอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าหรือสำลีชุบน้ำหุ้มอยู่ที่กระเปาะ

3. อุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dew-point Temperature) คือ ค่าของอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำเริ่มกลั่นตัว อุณหภูมิจุดกลั่นตัวที่ภาวะหนึ่งๆ อ่านได้โดยการลากเส้นแนวนอนจากสภาวะนั้นๆ ไปทางซ้ายของแผนภูมิจนตัดเส้นโค้งความชื้นสัมพัทธ์ 100% และค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่อ่านได้ ณ จุดนั้นคืออุณหภูมิจุดกลั่นตัว

4. ความชื้น

4.1 ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง มวลของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรอากาศ (กรัม/ลบ.ม.)

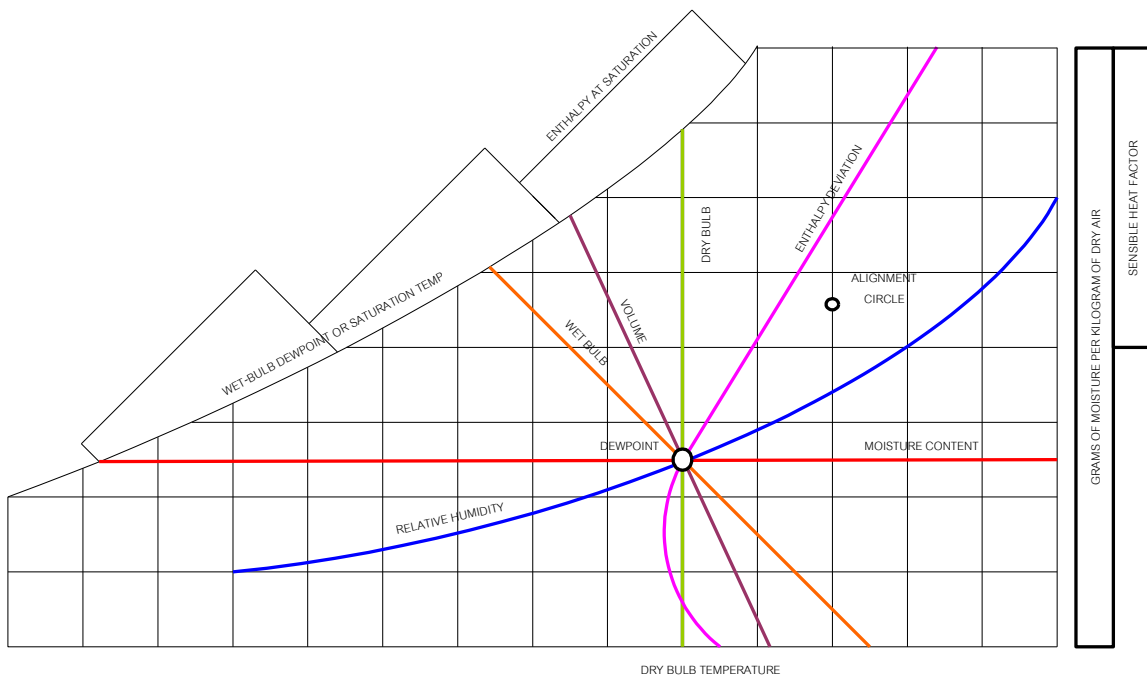
4.2 ความชื้นจำเพาะหรือสัดส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หมายถึง มวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งหนึ่งหน่วย (g/kg) แสดงบนแกนตั้งของแผนภูมิ

4.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอที่ปริมาณไอน้ำจริงในอากาศต่อความดันไอที่ปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงบนเส้นโค้งของแผนภูมิ

5. เอนทัลปี (Enthalpy) คือ ปริมาณพลังงานความร้อนในอากาศ ซึ่งสามารถอ่านได้จากเส้นทแยงในแผนภูมิที่มีความชันใกล้เคียงกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก ค่าความร้อนภายในของอากาศประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

5.1 ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ความชื้นจำเพาะคงที่

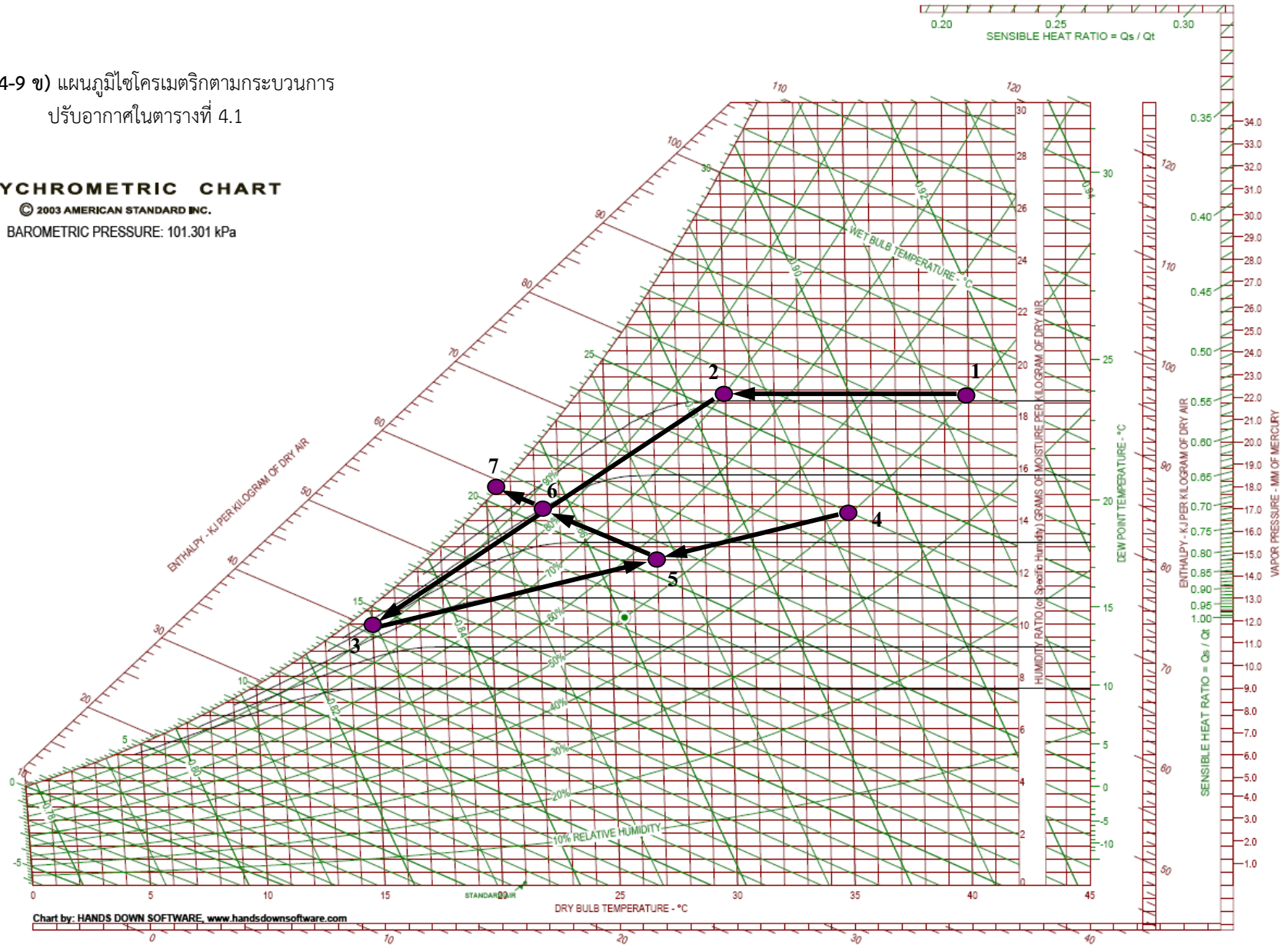
5.2 ความร้อนแฝง (Latent Heat) การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่



รูปที่ 4-9 ก) ค่าสมบัติของอากาศชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก

รูปที่ 4-9 ข) แผนภูมิไซโครเมตริกตามกระบวนการ
ปรับอากาศในตารางที่ 4.1

PSYCHROMETRIC CHART
© 2003 AMERICAN STANDARD INC.
BAROMETRIC PRESSURE: 101.301 kPa



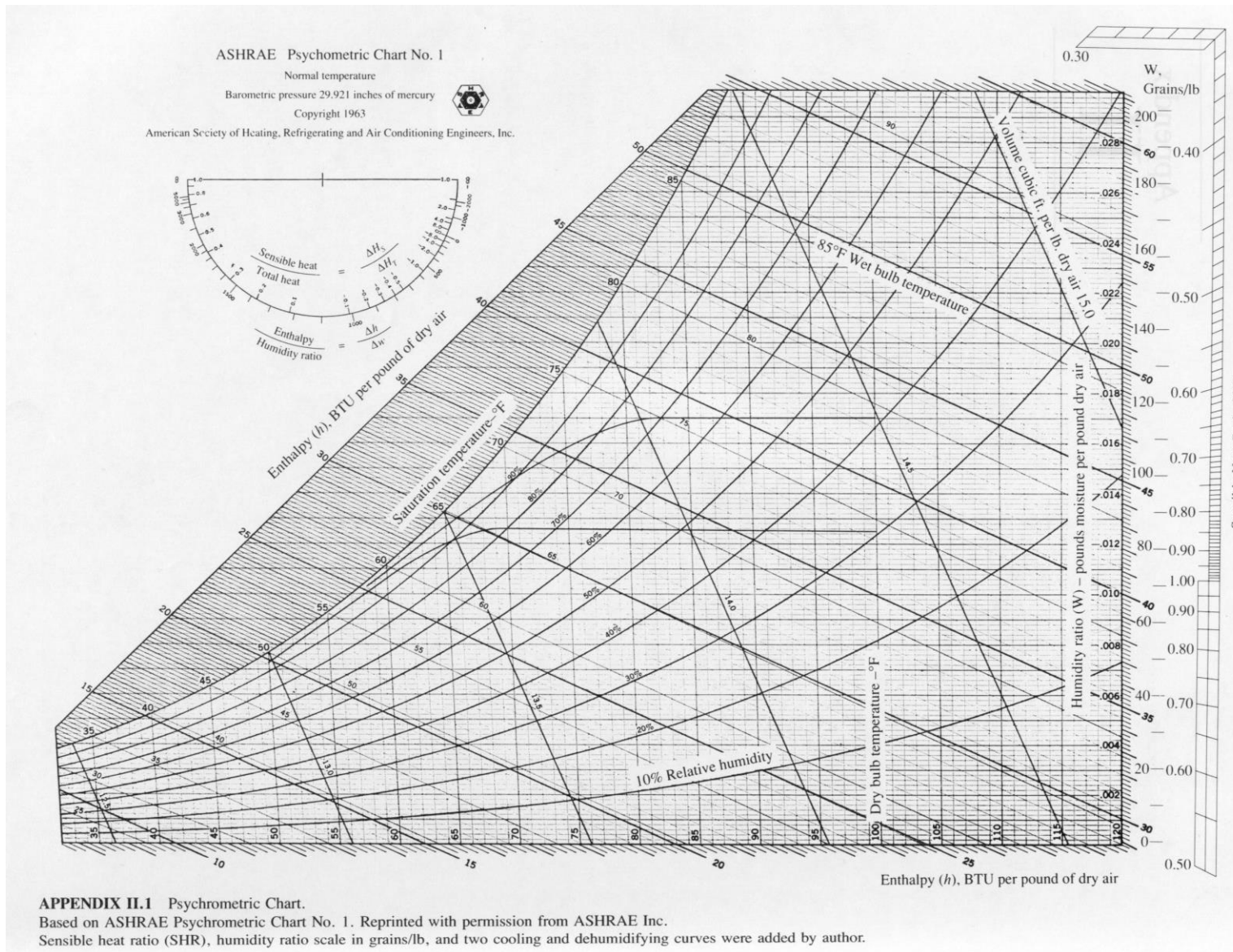


Table A-1a Properties of Refrigerant 718 (Water–Steam)—English Units

Temp., ^a F	Pressure, psia	Density, Liquid, lb/ft ³	Volume, Vapor, ft ³ /lb	Enthalpy, Btu/lb		Entropy, Btu/(lb-F)		Specific Heat <i>c_p</i> , Btu/(lb-F)		Viscosity, lbm/(ft-hr)		Thermal Cond., Btu/(hr-ft F)		Temp., ^a F
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
32.02	0.089	62.41	3299.6	0.0	1075.0	0.0000	2.1864	1.0100	0.4461	4.336	0.0223	0.3241	0.00986	32.02
40.00	0.122	62.42	2443.5	8.0	1078.5	0.0162	2.1586	1.0037	0.4467	3.740	0.0226	0.3290	0.01000	40.00
50.00	0.178	62.41	1703.1	18.1	1082.9	0.0361	2.1254	1.0003	0.4476	3.161	0.0229	0.3351	0.01018	50.00
60.00	0.256	62.37	1200.3	28.0	1087.3	0.0555	2.0938	0.9993	0.4480	2.713	0.0232	0.3411	0.01037	60.00
70.00	0.363	62.30	867.45	38.0	1091.7	0.0745	2.0637	0.9992	0.4497	2.360	0.0236	0.3469	0.01057	70.00
80.00	0.507	62.21	632.67	48.0	1096.0	0.0932	2.0351	0.9992	0.4511	2.075	0.0240	0.3524	0.01078	80.00
90.00	0.699	62.11	467.66	58.0	1100.3	0.1116	2.0078	0.9991	0.4525	1.842	0.0244	0.3576	0.01100	90.00
100.00	0.950	61.99	350.05	68.0	1104.6	0.1296	1.9818	0.9990	0.4542	1.648	0.0248	0.3625	0.01123	100.00
110.00	1.276	61.86	265.16	78.0	1108.9	0.1473	1.9569	0.9989	0.4560	1.486	0.0252	0.3670	0.01147	110.00
120.00	1.694	61.71	203.11	88.0	1113.2	0.1646	1.9332	0.9988	0.4580	1.348	0.0256	0.3710	0.01171	120.00
130.00	2.224	61.55	157.23	98.0	1117.4	0.1817	1.9105	0.9988	0.4602	1.230	0.0260	0.3747	0.01197	130.00
140.00	2.891	61.38	122.93	108.0	1121.6	0.1985	1.8888	0.9990	0.4627	1.129	0.0264	0.3781	0.01224	140.00
150.00	3.720	61.19	97.021	118.0	1125.7	0.2150	1.8680	0.9995	0.4654	1.040	0.0269	0.3810	0.01252	150.00
160.00	4.743	61.00	77.262	128.0	1129.8	0.2313	1.8481	1.0002	0.4683	0.963	0.0273	0.3836	0.01281	160.00
170.00	5.994	60.80	62.046	138.0	1133.9	0.2473	1.8290	1.0011	0.4715	0.894	0.0278	0.3859	0.01311	170.00
180.00	7.513	60.58	50.224	148.0	1137.9	0.2631	1.8107	1.0023	0.4750	0.834	0.0282	0.3879	0.01342	180.00
190.00	9.341	60.36	40.962	158.0	1141.9	0.2787	1.7930	1.0036	0.4788	0.781	0.0287	0.3896	0.01374	190.00
200.00	11.526	60.12	33.546	168.1	1145.8	0.2940	1.7761	1.0052	0.4829	0.733	0.0291	0.3910	0.01408	200.00
210.00	14.122	59.88	27.826	178.2	1149.6	0.3091	1.7598	1.0069	0.4873	0.690	0.0296	0.3922	0.01443	210.00
212.00	14.696	59.83	26.809	180.2	1150.4	0.3121	1.7566	1.0072	0.4882	0.682	0.0297	0.3924	0.01450	212.00
220.00	17.184	59.63	23.159	188.2	1153.4	0.3241	1.7441	1.0087	0.4921	0.651	0.0300	0.3931	0.01478	220.00
230.00	20.774	59.37	19.393	198.3	1157.0	0.3388	1.7289	1.0108	0.4973	0.616	0.0305	0.3939	0.01516	230.00
240.00	24.960	59.10	16.332	208.5	1160.6	0.3534	1.7143	1.0129	0.5029	0.585	0.0310	0.3944	0.01555	240.00
250.00	29.814	58.82	13.830	218.6	1164.1	0.3678	1.7001	1.0153	0.5089	0.556	0.0314	0.3948	0.01595	250.00
260.00	35.411	58.54	11.772	228.8	1167.6	0.3820	1.6861	1.0177	0.5155	0.530	0.0319	0.3950	0.01636	260.00
270.00	41.835	58.24	10.069	239.0	1170.9	0.3960	1.6732	1.0203	0.5225	0.506	0.0324	0.3950	0.01679	270.00
280.00	49.173	57.94	8.6520	249.2	1174.1	0.4099	1.6603	1.0231	0.5301	0.484	0.0328	0.3949	0.01723	280.00
290.00	57.516	57.63	7.4677	259.5	1177.2	0.4237	1.6478	1.0261	0.5383	0.464	0.0333	0.3946	0.01769	290.00

^a Temperatures are on the IPTS-68 scale.

Source: Reprinted by permission from ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, 1997.

Table A-1b Properties of Refrigerant 718 (Water–Steam)—SI Units

Temp., ^a C	Absolute Pressure, MPa	Density, Liquid, kg/m ³	Volume, Vapor, m ³ /kg	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat <i>c_p</i> , kJ/(kg·K)		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Temp., ^a C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	
0.01	0.00061	999.8	205.98	0.0	2500.5	0.0000	9.1541	4.229	1.868	1792.4	9.22	561.0	17.07	0.01
5.00	0.00087	999.9	147.02	21.0	2509.7	0.0763	9.0236	4.200	1.871	1519.1	9.34	570.5	17.34	5.00
10.00	0.00123	999.7	106.32	42.0	2518.9	0.1510	8.8986	4.188	1.874	1306.6	9.46	580.0	17.62	10.00
15.00	0.00171	999.1	77.900	62.9	2528.0	0.2242	8.7792	4.184	1.878	1138.2	9.59	589.3	17.92	15.00
20.00	0.00234	998.2	57.777	83.8	2537.2	0.2962	8.6651	4.183	1.882	1002.1	9.73	598.4	18.23	20.00
25.00	0.00317	997.0	43.356	104.8	2546.3	0.3670	8.5558	4.183	1.887	890.5	9.87	607.1	18.55	25.00
30.00	0.00425	995.6	32.896	125.7	2555.3	0.4365	8.4513	4.183	1.892	797.7	10.01	615.4	18.88	30.00
35.00	0.00563	994.8	25.221	146.6	2564.4	0.5050	8.3511	4.183	1.898	719.6	10.16	623.2	19.23	35.00
40.00	0.00738	992.2	19.528	167.5	2573.4	0.5723	8.2550	4.182	1.905	653.2	10.31	630.5	19.60	40.00
45.00	0.00959	990.2	15.263	188.4	2582.3	0.6385	8.1629	4.182	1.912	596.3	10.46	637.3	19.97	45.00
50.00	0.01234	988.0	12.037	209.3	2591.2	0.7037	8.0745	4.182	1.919	547.0	10.62	643.5	20.36	50.00
55.00	0.01575	985.6	9.5730	230.2	2600.0	0.7680	7.9896	4.182	1.928	504.1	10.77	649.2	20.77	55.00
60.00	0.01993	983.2	7.6746	251.2	2608.8	0.8312	7.9080	4.183	1.937	466.5	10.93	654.3	21.18	60.00
65.00	0.02502	980.5	6.1996	272.1	2617.5	0.8935	7.8295	4.184	1.947	433.4	11.10	658.9	21.62	65.00
70.00	0.03118	977.8	5.0447	293.0	2626.1	0.9549	7.7540	4.187	1.958	404.0	11.26	663.1	22.07	70.00
75.00	0.03856	974.8	4.1333	314.0	2634.6	1.0155	7.6813	4.190	1.970	377.8	11.42	666.7	22.53	75.00
80.00	0.04737	971.8	3.4088	334.9	2643.1	1.0753	7.6112	4.194	1.983	354.5	11.59	670.0	23.01	80.00
85.00	0.05781	968.6	2.8289	355.9	2651.4	1.1343	7.5436	4.199	1.996	333.4	11.76	672.8	23.50	85.00
90.00	0.07012	965.3	2.3617	376.9	2659.6	1.1925	7.4784	4.204	2.011	314.5	11.93	675.3	24.02	90.00
95.00	0.08453	961.9	1.9828	398.0	2667.7	1.2501	7.4154	4.210	2.027	297.4	12.10	677.4	24.55	95.00
100.00	0.10132	958.4	1.6736	419.1	2675.7	1.3069	7.3545	4.217	2.044	281.2	12.27	679.1	25.09	100.00
105.00	0.12079	954.8	1.4200	440.2	2683.6	1.3630	7.2956	4.224	2.062	267.7	12.44	680.6	25.66	105.00
110.00	0.14324	951.0	1.2106	461.3	2691.3	1.4186	7.2386	4.232	2.082	254.8	12.61	681.7	26.24	110.00
115.00	0.16902	947.1	1.0370	482.5	2698.8	1.4735	7.1833	4.240	2.103	243.0	12.78	682.6	26.84	115.00
120.00	0.19848	943.2	0.89222	503.8	2706.2	1.5278	7.1297	4.249	2.126	232.1	12.96	683.2	27.46	120.00
125.00	0.23201	939.1	0.77089	525.1	2713.4	1.5815	7.0777	4.258	2.150	222.2	13.13	683.6	28.10	125.00
130.00	0.27002	934.9	0.66872	546.4	2720.4	1.6346	7.0272	4.268	2.176	213.0	13.30	683.7	28.76	130.00
135.00	0.31293	930.6	0.58234	567.8	2727.2	1.6873	6.9780	4.278	2.203	204.5	13.47	683.6	29.44	135.00
140.00	0.36119	926.2	0.50898	589.2	2733.8	1.7394	6.9302	4.288	2.233	196.6	13.65	683.3	30.13	140.00
145.00	0.41529	921.7	0.44643	610.8	2740.2	1.7910	6.8836	4.300	2.265	189.3	13.82	682.8	30.85	145.00

^aTemperatures are on the IPTS-68 scale.

Source: Reprinted by permission from ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, 1997.

4.5.1 กระบวนการปรับอากาศ

กระบวนการปรับอากาศมีอยู่หลายลักษณะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน ตารางที่ 4-1 และแผนภูมิไซโครเมตริกในรูปที่ 4-9 ข) แสดงกระบวนการปรับอากาศในลักษณะต่างๆ

ตารางที่ 4-1 กระบวนการปรับอากาศ

ตำแหน่งในรูปที่ 4.9 ข	กระบวนการ	วิธีการ	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เอนทาลปี (kJ/kg)	การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี(kJ/kg)
1→2	การทำความเย็น	คอยล์เย็น	40→30	40→70	88→78.5	9.5
2→3	การทำความเย็นและลดความชื้น	คอยล์เย็นทำความเย็นและเกิดการกลั่นตัว	30→15	70→93	78.5→40	38.5
3+4→5	การผสมระหว่างอากาศ 2 สภาวะ	กระเปาะแห้ง 35°C กระเปาะเปียก 24°C 7 อยู่ระหว่าง 5 และ 6 และใช้สัดส่วนของอากาศที่ไหล	27	56	59	19
5→6	การทำความเย็นแบบระเหย	ตัวทำความเย็นแบบระเหยเชิงพาณิชย์ (อุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่) ประสิทธิภาพ 80%	27→21.5	56→90	59	0
5→7	การทำความเย็นแบบระเหยและเกิดการกลั่นตัว	บนเส้นอิ่มตัว	27→20.5	56→100	59	0

ประโยชน์สำคัญประการหนึ่งของแผนภูมิไซโครเมตริก คือ การใช้คำนวณภาระการทำความเย็น หรือปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออกจากอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ ตัวอย่างเช่น จากตารางที่ 4-1 อากาศที่ผ่านกระบวนการทำความเย็นและลดความชื้น (2→3) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ อากาศจะเปลี่ยนสภาวะจากอุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% เป็นอากาศที่อุณหภูมิ 15°C ความชื้นสัมพัทธ์ 93% ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นต่ออากาศ 1 kg คือ ค่าเอนทาลปีที่เปลี่ยนแปลงซึ่งเท่ากับ 38.5 kJ/kg หากอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็นมีค่าเท่ากับ 0.1 kJ/s หมายความว่าเครื่องปรับอากาศสามารถทำความเย็นหรือดึงความร้อนออกได้ในอัตรา 3.85 kJ/s หรือ 3.85 kW (เทียบเท่ากับ 13,136 Btuh)

ค่าอัตราการทำความเย็นหรือความสามารถในการทำความเย็นนี้ สามารถนำไปใช้คำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้และประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศต่อไปได้

4.6 การตรวจวัดและประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศ

ในการประเมินสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศและระบบปรับอากาศแบบอัดไอ เราต้องทราบภาระการทำความเย็นและความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศหรือระบบปรับอากาศนั้นๆ

4.6.1 เครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

ในทางปฏิบัติการประเมินสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว เราจะวัดภาระการทำความเย็นจากอากาศที่หมุนเวียนผ่านคอยล์เย็น และความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ร่วมกับพัดลมของอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ อย่างไรก็ตาม ความต้องการไฟฟ้าของพัดลมอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์จะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับของคอมเพรสเซอร์

ก) การตรวจวัดภาระการทำความเย็น

ภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ในที่นี้หมายถึง ปริมาณหรืออัตราของพลังงานความร้อนที่ดูดซับโดยคอยล์เย็นหรืออีวาโปเรเตอร์ ในพื้นที่ปรับอากาศหนึ่งๆ ซึ่งประกอบด้วย

1. แหล่งความร้อนภายใน (Internal Heat Source) ได้แก่ คน ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์ต่างๆ

2. แหล่งความร้อนภายนอก (External Heat Source) ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน และการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ผ่านกรอบอาคารที่เป็นกระจก

3. อากาศระบายและอากาศรั่วไหล (Ventilation and Infiltration Air) ได้แก่ อากาศภายนอกที่ป้อนเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศเพื่อรักษาคุณภาพของอากาศ และอากาศภายนอกที่รั่วไหลเข้ามาตามรอยแยกของกรอบอาคารหรือวงกบประตูหน้าต่าง อัตราการทำความเย็นที่คอยล์เย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.1)

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_a (h_i - h_e) \tag{4.1}$$

- เมื่อ \dot{Q}_L = อัตราการทำความเย็น, kW
 \dot{m}_a = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น, kg/s
 h_i = เอนทาลปีของอากาศที่เข้าคอยล์เย็น, kJ/kg
 h_e = เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็น, kJ/kg

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศผ่านคอยล์เย็นคำนวณได้จาก

$$\dot{m}_a = \rho_a \dot{V}_a = \rho_a v_a A_{diff} \tag{4.2}$$

- เมื่อ ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³
 \dot{V}_a = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็น, m³/s
 v_a = ความเร็วของอากาศที่หัวจ่ายลม, m/s
 A_{diff} = พื้นที่ของหัวจ่ายลม, m²

และจากสมการที่ (4.1) และ (4.2) ขนาดการทำความเย็นในหน่วยตันความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$$\dot{Q}_L = 5.707 \times 10^{-3} \times \dot{V}_a \times (h_i - h_e) \tag{4.3}$$

- เมื่อ \dot{Q}_L = ความสามารถในการทำความเย็น, Ton of Refrigeration (TR)
 \dot{V}_a = ปริมาณลมหมุนเวียนผ่านคอยล์เย็น, m³/min

$$\dot{Q}_L = 4.5 \times \dot{V}_a \times (h_i - h_e) \tag{4.4}$$

- เมื่อ \dot{V}_a = ปริมาณลมหมุนเวียนผ่านคอยล์เย็น, ft³/min
 หมายเหตุ \dot{Q}_L มีหน่วยเป็น Ton of Refrigeration โดย 1 TR = 12,000 Btu/h = 3.517 kW

สำหรับสมการที่ (4.1) ถึง (4.4) สามารถใช้คำนวณภาระความเย็นของพัดลม (Fan Coil Unit) และเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) ของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ได้เช่นกัน

ข) การตรวจวัดความต้องการไฟฟ้า

เราสามารถตรวจวัดความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ (E_{comp}) พัดลมที่อิวาโปรเตอร์และคอนเดนเซอร์ได้จากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าโดยตรงในขณะที่เครื่องปรับอากาศกำลังทำงาน

ดังนั้น ในการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว รายการเครื่องมือวัดที่จำเป็น ได้แก่ Power Meter หรือ kW Meter, Thermometer (เครื่องมือวัดอุณหภูมิ), Anemometer (เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ), Hygrometer (เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์) และ Psychrometric Chart (แผนภูมิอากาศ) โดยมีแนวทางการเก็บข้อมูล มีดังนี้

- บันทึกค่าความเร็วลมผ่านหน้าตัดของช่องลมกลับ ในหน่วย m/s โดยควรวัดหลาย ๆ จุดให้ทั่วทั้งหน้าตัดแล้วหาค่าเฉลี่ย
- วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องลมกลับ แล้วนำไปคูณกับค่าความเร็วลมเฉลี่ยเพื่อหาปริมาณลมหมุนเวียนผ่านคอยล์เย็นได้

- บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย (Supply Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทัลปีของลมจ่าย (h_e) จากแผนภูมิ Psychrometric
- บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ (Return Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทัลปีของลมกลับ (h_r) จากแผนภูมิ Psychrometric
- บันทึกค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมเป็น kW ด้วย Power Meter

ค) สมรรถนะการทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแสดงในรูปของค่าสมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ซึ่งนิยามด้วย อัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น (ปริมาณความเย็นที่ทำได้) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{E_{comp}} \tag{4.5}$$

เมื่อ \dot{Q}_L = อัตราการทำความเย็น, kW
 E_{comp} = ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ, kW

ค่า COP สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ สำหรับค่า COP ที่พิจารณาเฉพาะพลังงานที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ เป็นเพียงค่าที่แสดงประสิทธิภาพของการทำความเย็นเท่านั้น ส่วนค่าสมรรถนะของทั้งระบบ (System COP, SCOP) จะต้องรวมพลังงานที่จ่ายให้กับพัดลมและเครื่องสูบน้ำด้วย ค่า SCOP สูงหมายถึงระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานน้อย

ในทางปฏิบัติ สมรรถนะของระบบปรับอากาศยังสามารถแสดงได้ในรูปของ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER) และค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (kW/TR) โดยค่า EER ซึ่งมีหน่วยเป็น บีทียูต่อชั่วโมง/วัตต์ นิยมใช้แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องชนิดไดเร็คเอ็กซ์แพนชั่นหรือเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ส่วนค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็น นิยมใช้แสดงค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ เช่น ระบบน้ำเย็น

$$EER = 3.415 \cdot COP \tag{4.6}$$

เมื่อ COP = สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ตัวอย่างที่ 1 ในการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศแบบ Split type เครื่องหนึ่ง บันทึกค่าความเร็วลมกลับเฉลี่ยบริเวณช่องลมกลับได้เท่ากับ 0.5 m/s วัดขนาดของช่องลมกลับได้พื้นที่เท่ากับ 0.9 m² ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายเท่ากับ 15.8°C และ 78.7%RH สำหรับลมกลับวัดได้ 25.1°C และ 58.2%RH ค่าการใช้ไฟของเครื่องปรับอากาศวัดได้เท่ากับ 2.4 kW คำนวณหาขนาดการทำความเย็นและสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ

วิธีการคำนวณ

จากข้อมูลของลมจ่ายและลมกลับ นำไปพล็อตในแผนภูมิอากาศ จะได้ค่าเอนทัลปีของลมจ่ายเท่ากับ 38.1 kJ/kg ส่วนของลมกลับเท่ากับ 54.8 kJ/kg

ปริมาณลมหมุนเวียนผ่านคอยล์เย็นคิดเป็น 0.5*60*0.9 = 27.0 ลบ.ม./นาที

ขนาดทำความเย็นของเครื่องส่งลมเย็นตัวนี้จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \dot{Q}_L &= 5.707 \times 10^{-3} \times \dot{V}_a \times (h_r - h_e) \\ \dot{Q}_L &= 5.708 \times 10^{-3} \times 27.0 \times (54.8 - 38.1) = 2.6 \quad \text{TR} \\ &\text{หรือ } 2.6 \times 12000 = 30,879 \quad \text{Btu/h} \\ &\text{หรือ } 30,879 \times 0.2928 / 1000 = 9.05 \text{ kW} \quad (1 \text{ Btu/h} = 0.2928 \text{ W}) \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

$$\begin{aligned} EER &= (30,879)/(2.4 \times 1000) = 12.9 \\ COP &= (9.05)/(2.4) = 3.77 \end{aligned}$$

4.6.2 เครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็น คือ เครื่องปรับอากาศที่ผลิตครบชุดในตัวจากโรงงาน โดยทำน้ำหรือน้ำเกลือให้เย็นก่อนแล้วจึงใช้ปั๊มสูบน้ำหรือน้ำเกลือที่เย็นไปทำอากาศให้เย็นอีกทอดหนึ่ง อุณหภูมิโดยประมาณที่ใช้งานดังแสดงตามรูปที่ 4-1 สำหรับเครื่องทำน้ำเย็น อัตราการทำความเย็นสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_w c_{p,w} (T_{w,in} - T_{w,out}) \tag{4.7}$$

- เมื่อ
- \dot{Q}_L = อัตราการทำความเย็น, kW
 - \dot{m}_w = อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น, kg/s
 - $c_{p,w}$ = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg.K
 - $T_{w,in}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น, °C
 - $T_{w,out}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, °C

อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{m}_w = \rho_w \dot{V}_w \tag{4.8}$$

- เมื่อ
- ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ, kg/m³
 - \dot{V}_w = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็น, m³/s

ในกรณีของน้ำ $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ (8.333 lb/gallon) และ $c_{p,w} = 4.187 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ (1 Btu/lb.°F) ภาระการทำความเย็นในหน่วยอังกฤษ ต้นความเย็น สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_L = \frac{\dot{V}_w (T_{w,in} - T_{w,out})}{24} \tag{4.9}$$

- เมื่อ
- \dot{Q}_L = อัตราการทำความเย็น, TR
 - \dot{V}_w = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็น, gpm
 - $T_{w,in}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น, °F
 - $T_{w,out}$ = อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น, °F

จากสมการข้างต้น ในการวิเคราะห์อัตราการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น สิ่งที่จะต้องทำการตรวจวัด ได้แก่

- อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำเย็น โดยอ่านจากมิเตอร์ หรือใช้เครื่องมือวัดแบบอุลตราโซนิก เพื่อนำไปคำนวณหา ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็น
- อุณหภูมิน้ำเย็นด้านเข้าของเครื่องทำน้ำเย็น
- อุณหภูมิน้ำเย็นด้านออกของเครื่องทำน้ำเย็น

ตัวอย่างที่ 2 จากรูปที่ 4-1 น้ำเย็นไหลเข้าเครื่องทำน้ำเย็นวัดได้ในอัตรา 480 gpm อุณหภูมิน้ำเข้า 55°F และไหลออก 45°F และวัดความต้องการไฟฟ้าได้ 120 kW จงหาขนาดทำความเย็นและสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ขนาดทำความเย็น} \quad \dot{Q}_L &= \frac{\dot{V}_w (T_{w,in} - T_{w,out})}{24} \\ &= 480 \cdot (55 - 45) / 24 \\ &= 200 \text{ TR} \\ &= 2,400,000 \text{ Btu/h} \quad (= 200 \times 12000) \\ &= 702.7 \text{ kW} \quad (= 2,400,000 \times 0.2928 / 1000) \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น

$$\begin{aligned} \text{EER} &= (2,400,000)/(120 \times 1000) &= 20.0 \\ \text{COP} &= (702.7 \times 1000)/(120 \times 1000) &= 5.85 \\ \text{kW/Ton} &= (120)/(200) &= 0.6 \end{aligned}$$

4.7 มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

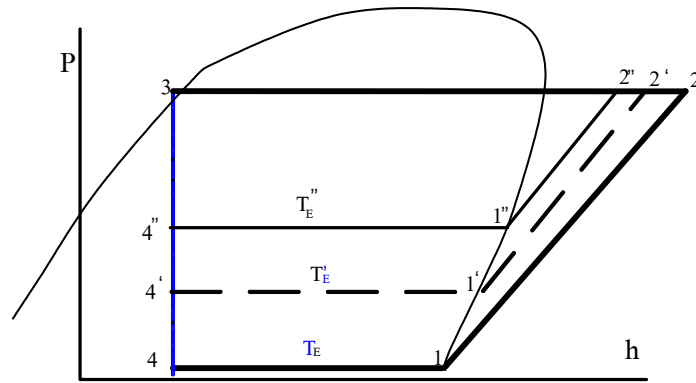
แนวทางในการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศด้วยการลดปริมาณการใช้พลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ สามารถทำได้หลายประการดังต่อไปนี้

4.7.1 การเพิ่มอุณหภูมิระเหยด้านดูดหรือความดันด้านต่ำ (T_E/P_E)

เราสามารถดูแผนภูมิ P-h ของวัฏจักรอัดมคติวิเคราะห์ให้เห็นว่า อุณหภูมิระเหยหรืออุณหภูมิอิ่มตัวด้านดูดหรือความดันด้านต่ำมีค่าสูงประสิทธิภาพซีโอพียิ่งดี

จากแผนภูมิ P-h จะเห็นว่า ประสิทธิภาพที่ T_E ต่างๆดังนี้

$$\begin{aligned} \text{COP} &= (h_1 - h_3) / (h_2 - h_1) \quad \text{สำหรับ } T_E \text{ (อุณหภูมิระเหยเดิม)} \\ \text{COP}' &= (h_1' - h_3) / (h_2' - h_1') \quad \text{สำหรับ } T_E' \text{ (อุณหภูมิระเหยเพิ่มขึ้น)} \\ \text{COP}'' &= (h_1'' - h_3) / (h_2'' - h_1'') \quad \text{สำหรับ } T_E'' \text{ (อุณหภูมิระเหยเพิ่มขึ้นมาก)} \end{aligned}$$



รูปที่ 4-10 การเพิ่มอุณหภูมิระเหยด้านดูดหรือความดันด้านต่ำ

จากแผนภูมิจะเห็นว่า $(h_1 - h_3) < (h_1' - h_3) < (h_1'' - h_3)$ และ $(h_2 - h_1) > (h_2' - h_1') > (h_2'' - h_1'')$

ประสิทธิภาพดีขึ้น เพราะ $\text{COP}'' > \text{COP}' > \text{COP}$

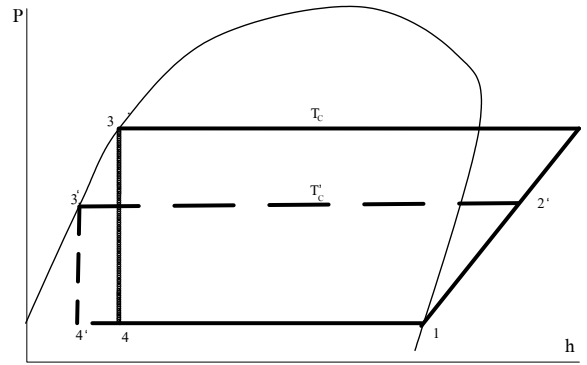
นอกจากนี้ จากแผนภูมียังเห็นได้ว่า อุณหภูมิคอมเพรสเซอร์เย็นลง $T_2'' < T_2' < T_2$ และปริมาตรจำเพาะของไอที่คอมเพรสเซอร์ดูดเข้าเล็กลง (ความหนาแน่นมากขึ้น) $v_1'' < v_1' < v_1$ ขนาดคอมเพรสเซอร์เล็กลงได้

4.7.2 การลดอุณหภูมิควบแน่นความดันด้านสูง

เราสามารถวิเคราะห์ได้เช่นกันว่า ถาลดอุณหภูมิควบแน่นหรือความดันด้านสูง ประสิทธิภาพ ซีโอพียิ่งสูงขึ้น และความสามารถในการทำความเย็นก็เพิ่มขึ้น

จากแผนภูมิ P-h จะเห็นได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{COP} &= (h_1 - h_3) / (h_2 - h_1) \quad \text{สำหรับ } T_C \text{ (อุณหภูมิควบแน่นเดิม)} \\ \text{และ } \text{COP}' &= (h_1 - h_3') / (h_2' - h_1) \quad \text{สำหรับ } T_C' \text{ (อุณหภูมิควบแน่นลดลง)} \\ \text{ซึ่ง } &(h_1 - h_3') > (h_1 - h_3) \text{ และ } (h_2' - h_1) < (h_2 - h_1) \\ \text{ดังนั้น } &\text{COP}' > \text{COP} \end{aligned}$$



รูปที่ 4-11 การลดอุณหภูมิควบแน่นความชื้นด้านสูง

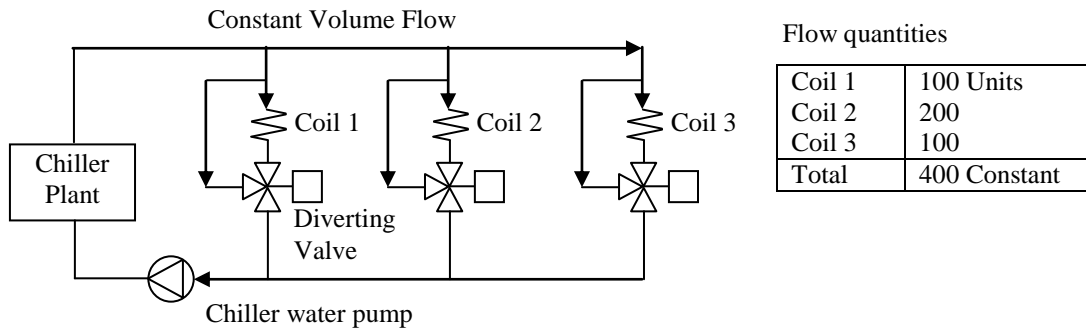
4.7.3 ระบบส่งน้ำเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Water Volume (VWV) System)

ในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่จะใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางในการดูดความร้อนที่ห้องปรับอากาศร่วมกับการใช้เครื่องส่งลมเย็น แล้วนำความร้อนกลับไประบายทิ้งที่เครื่องทำน้ำเย็น ในการหมุนเวียนน้ำเย็นจะใช้เครื่องสูบน้ำขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งจะใช้กำลังไฟฟ้าตามสมการ

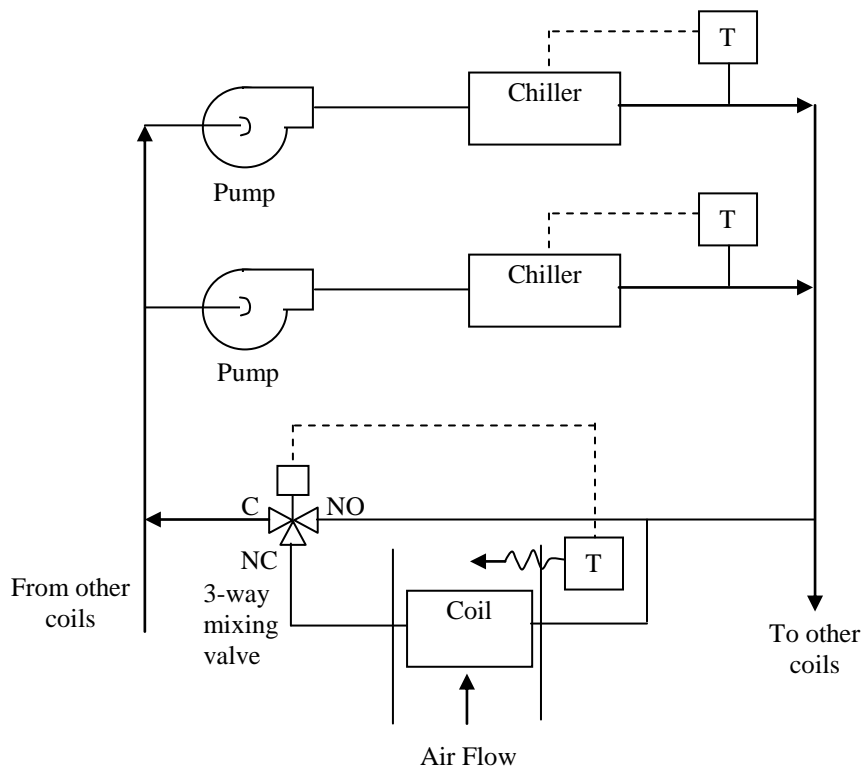
$$P_p = \frac{\gamma Q_w H}{\eta_m \eta_p} \quad (4.10)$$

- โดย
- P_p = กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ, W
 - γ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ, N/m³
 - Q_w = อัตราการไหลของน้ำเย็น, m³/s
 - H = ความดันรวมของน้ำ (Total Dynamic Head), m
 - η_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์
 - η_p = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

จากสมการที่ 4.10 เมื่อ Q_w และ H มีค่าสูง ระบบจะต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ในระบบที่อัตราการไหลของน้ำเย็นจะคงที่ โดยไม่ขึ้นกับภาระการทำความเย็น ระบบนี้เรียกว่า ระบบปริมาตรคงที่ และเป็นระบบที่ใช้พลังงานมาก ส่วนระบบที่ใช้วาล์ว 2 ทาง อัตราการไหลจะเปลี่ยนไปตามภาระในการทำความเย็น เรียกว่า ระบบปริมาตรน้ำแปรเปลี่ยน (ดังแสดงในรูปที่ 4-13) ระบบนี้จะมีระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำเพื่อปรับลดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ และสามารถประหยัดพลังงานได้เมื่อภาระในการทำความเย็นลดลง นอกจากนี้การออกแบบระบบท่อน้ำและอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบท่อน้ำที่ดี จะช่วยลด H ของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งเป็นการลดพลังงานที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำด้วย

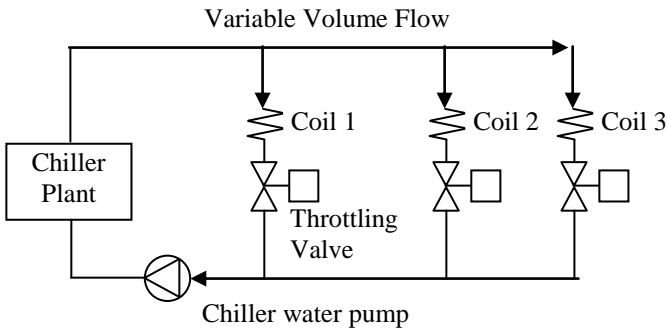


Three-way valve control to a cooling coil



Note:
 Constant chilled water flow at all conditions
 Must use all pumps regardless of load
 Difficult to keep chillers on line at light load

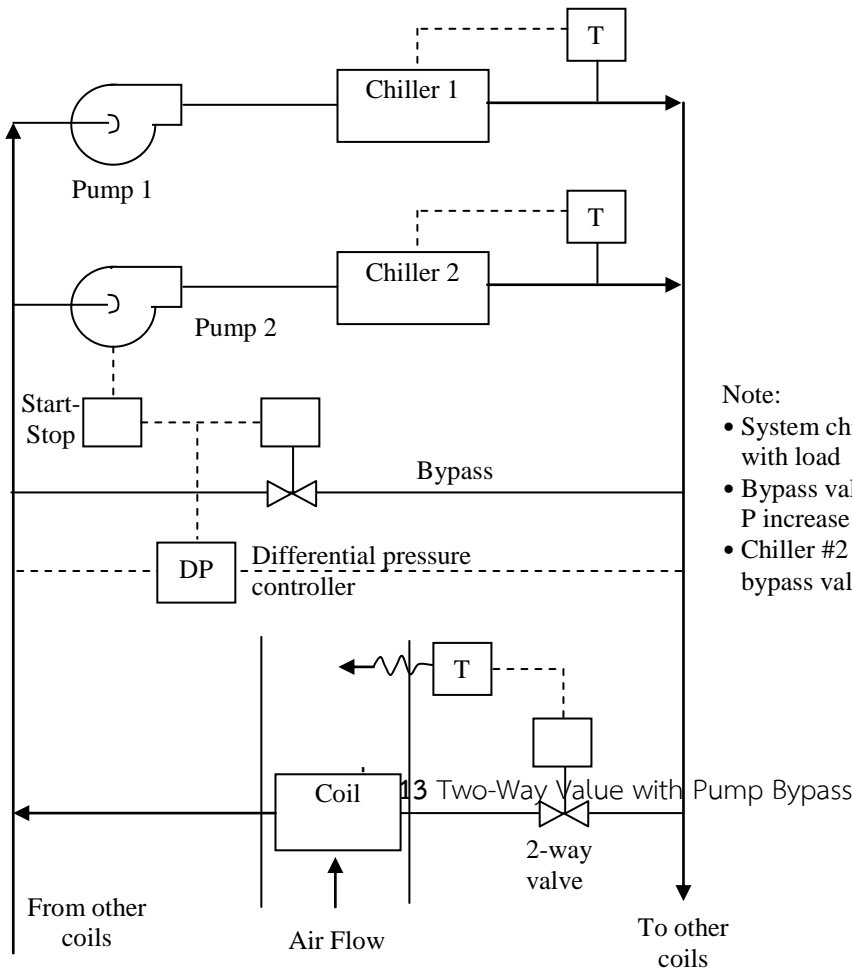
รูปที่ 4-12 Three-Way Valve Control of a Coil



Flow quantities

	Time (hrs)				
	10	12	14	16	18
Coil 1	90	<u>100</u>	90	80	70
Coil 2	160	180	<u>200</u>	180	150
Coil 3	60	70	80	<u>100</u>	80
Simultaneous flow	310	350	<u>370</u>	360	300

System with two-way control valves

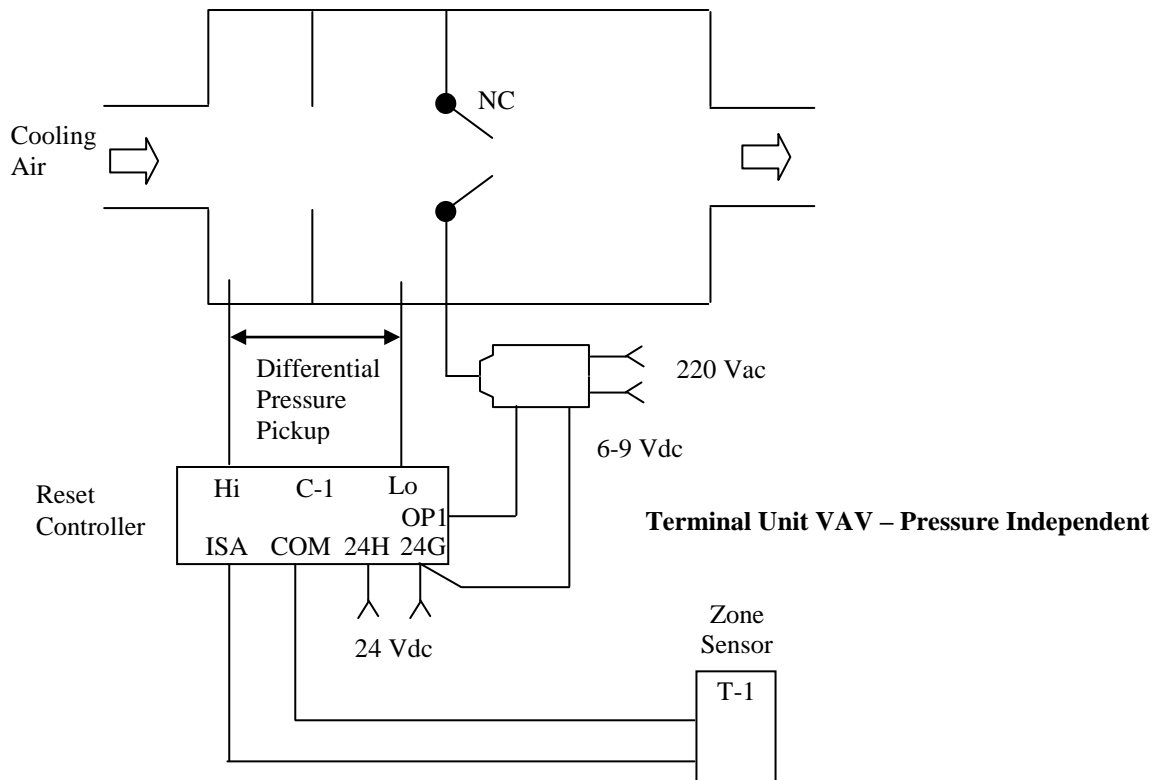
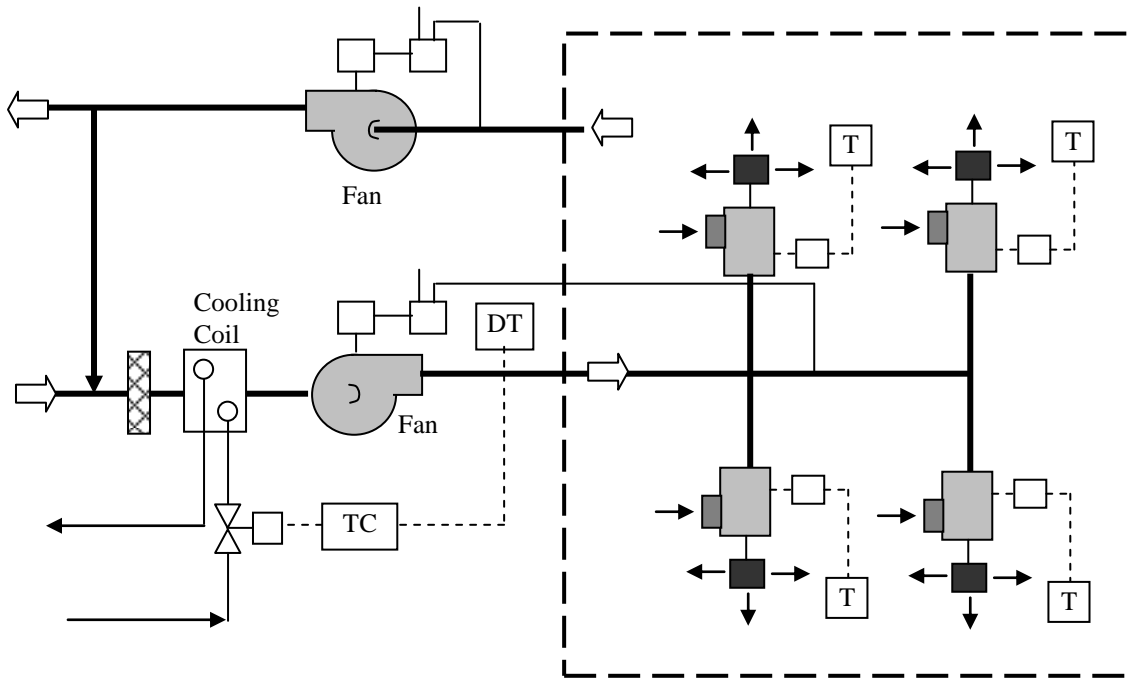


Note:

- System chilled water flow decrease with load
- Bypass valve modulates open to reduce P increase
- Chiller #2 and pump shut down when bypass valve is nearly open

4.7.4 ระบบส่งลมเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume (VAV) System)

ในระบบส่งลมเย็นจะใช้อากาศเย็นเป็นตัวกลางในการดูดความร้อนในห้องหรือโซนต่างๆ โดยใช้หัวจ่ายลมดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากนั้นจะนำความร้อนกลับไปทิ้งที่เครื่องส่งลมเย็น ในการหมุนเวียนลมเย็นจะใช้พัดลมที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อภาระการทำความเย็นของห้องต่างๆ ลดลง ระบบควบคุมจะปรับลดความเร็วรอบของมอเตอร์และปริมาณลมตาม ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน



รูปที่ 4-14 VAV System Control

4.7.5 การใช้ท่อความร้อน (Heat Pipe)

งานบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยา ฯลฯ จำเป็นต้องมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศไปพร้อมกัน วิธีการดั้งเดิม ได้แก่ วิธีลดอุณหภูมิให้ต่ำแล้วให้ความร้อนซ้ำ (Overcool and Reheat) ซึ่งมีหลักการทำงานคือ คอยล์เย็นจะลดอุณหภูมิของอากาศให้ต่ำกว่าค่าที่ต้องการก่อน เพื่อดึงความชื้นออกจนถึงระดับที่ต้องการ จากนั้น จะใช้ขดลวดความร้อนทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศเพื่อให้ลมจ่ายมีอุณหภูมิสูงกลับขึ้นมาถึงค่าที่ต้องการ

ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อน ส่วนประกอบมีเพียงท่อทองแดงหรือท่อโลหะอื่นปลายปิดสองข้าง ภายในบรรจุสารทำความเย็นปริมาณเล็กน้อย สารทำความเย็นที่ปลายด้านที่ต่ำกว่าจะมีสถานะเป็นของเหลว ทำหน้าที่ดูดความร้อนจากภายนอก ซึ่งจะทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอลอยขึ้นไปสู่ปลายด้านที่สูงกว่า และคายความร้อนสู่ภายนอก จากนั้น สารทำความเย็นจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลกลับลงสู่ปลายด้านที่ต่ำกว่า วนเวียนอยู่อย่างนี้เป็นวัฏจักร

เมื่อนำท่อความร้อนไปติดตั้งภายในเครื่องส่งลมเย็น จะใช้สำหรับนำความร้อนจากอากาศที่เข้าคอยล์เย็นหรือลมกลับ (Return Air) ไปถ่ายเทให้กับอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นหรือลมจ่าย (Supply Air) เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในลักษณะที่คล้ายกับวิธีดั้งเดิม แต่จะประหยัดพลังงานกว่าเพราะไม่ต้องลดอุณหภูมิทำงานของคอยล์เย็นให้ต่ำกว่าปกติ และไม่ต้องใช้ขดลวดความร้อนซึ่งต้องการพลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างการทำงานของท่อความร้อนที่ติดตั้งในเครื่องส่งลมเย็นแสดงไว้ในรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-15 การติดตั้งท่อความร้อนในเครื่องส่งลมเย็น

4.7.6 การปรับปรุงตัวอาคาร

การปรับปรุงที่ตัวอาคารเป็นการลดภาระของการปรับอากาศลง อาจเป็นการออกแบบอาคารใหม่หรือปรับปรุงอาคารเก่า โดยคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ (อย่างไรก็ตาม การประหยัดพลังงานจะได้ผลมากที่สุดถ้าคำนึงถึงตั้งแต่ช่วงเริ่มออกแบบ)

- อาคารหันในทิศทางที่ถูกต้อง
- ผนังที่ใช้ถูกต้องและเหมาะสม
- อุดช่องรอยรั่วทั้งหมด
- ติดตั้งชุดปิดประตู (Door Closer) ที่ประตู
- หน้าต่างต้องมีการบังแดดที่ดี
- ปริมาณอากาศจาก
- ภายนอกที่เข้ามาในระบบปรับอากาศต้องไม่เกินความต้องการ
- การออกแบบที่เหมาะสมจะทำให้สามารถลดขนาดของเครื่องปรับอากาศ ลดต้นทุนในการติดตั้ง และลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบ

4.7.7 การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ

การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพอาจทำได้หลายแนวทาง เช่น

- เลือกประเภทและขนาดให้ถูกต้องตามประเภทของงาน
- ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

- ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบในการควบคุมภาระที่เปลี่ยนแปลงของเครื่องสูบน้ำและพัดลม
- จัดอุปกรณ์และการควบคุมตามพื้นที่หรือโซนที่แตกต่างกัน (ไม่ควรให้พื้นที่ที่คาบเกี่ยวกัน)

4.7.8 การควบคุมการทำงานที่เหมาะสม

แนวทางการควบคุมการทำงานให้เหมาะสมอาจทำได้หลายประการ เช่น

- ตั้งค่าอุณหภูมิให้ถูกต้องและเหมาะสม (อย่าให้เย็นเกินไป)
- อย่าเดินระบบถ้าไม่จำเป็น
- ติดตั้งอุปกรณ์ส่งสัญญาณช่วยในการควบคุม
- ใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีคุณภาพดี
- ใช้โปรแกรมควบคุมเวลา 365 วัน สำหรับอุปกรณ์ที่ง่ายหรือเล็ก
- สำหรับระบบที่มีความซับซ้อน ใช้การควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการตรวจสอบ บันทึกข้อมูลของระบบพร้อมรายงานผล

4.7.9 การบำรุงรักษาที่เหมาะสม

อุปกรณ์ทั้งหมดต้องทำการดูแลรักษาเป็นประจำ ซึ่งความถี่ในการดูแลตรวจสอบจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ การบำรุงรักษาที่ดีควรจะต้อง

- ถูกต้องตามความต้องการของอุปกรณ์
- ยึดอายุการใช้งาน
- ป้องกันประสิทธิภาพไม่ให้ต่ำลง
- ใช้พลังงานน้อย

โดยทั่วไปการบำรุงรักษาขึ้นอยู่กับ

- ช่วงระยะเวลาที่กำหนดตามคำแนะนำของผู้ผลิต
- จำนวนชั่วโมงในการทำงาน
- ผลการตรวจสอบ

4.8 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1: การปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นจาก 7°C เป็น 10°C (เพิ่มความดันและอุณหภูมิสารทำความเย็นในฮีวโปเรเตอร์) และลดการเดินเครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มน้ำเย็นลงอย่างละ 1 ชุด ในช่วง 8:00–12:00 น. (การใช้พลังงานอย่างเหมาะสม)

โรงงานแห่งหนึ่งมีระบบทำน้ำเย็นสำหรับการปรับอากาศ ประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air cooled water chiller) 2 ชุด แต่ละตัวมีค่าพิกัด 55 kW และปั๊มน้ำเย็น (Chilled water pump) ขนาด 7.5 kW จำนวน 2 ชุด เดินใช้งาน 8–9 ชั่วโมง/วัน 312 วัน/ปี ตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นที่ 7°C

จากการตรวจวัดพบว่าในช่วงเวลา 8:00–12:00 น. ภาระการทำความเย็นของระบบต่ำ แต่โรงงานยังทำการเดินเครื่องทำน้ำเย็นทั้งหมดตลอดเวลา ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

หยุดเดินเครื่องทำน้ำเย็นและปั๊มน้ำเย็นลงอย่างละ 1 ชุด ในช่วง 8:00–12:00 น. และปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นจาก 7°C เป็น 10°C โดยทดสอบว่าระบบทำน้ำเย็นยังสามารถทำงานได้หรือไม่ ซึ่งจากการทดสอบพบว่ามาตรการข้างต้นสามารถดำเนินการได้โดยไม่มีผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารในโรงงาน

ก่อนปรับปรุง

รายละเอียด	พิกัดพลังไฟฟ้า (kW)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	รายละเอียด	พิกัดพลังไฟฟ้า (kW)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
เครื่องทำน้ำเย็น 1	55	44.20	ปั้มน้ำเย็น 1	7.5	5.90
เครื่องทำน้ำเย็น 2	55	43.60	ปั้มน้ำเย็น 2	7.5	5.97
รวม	110	87.80	รวม	15.0	11.87



ภาพเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศและการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้า

หลังปรับปรุง

เดินเครื่องทำน้ำเย็นเพียง 1 เครื่องในเวลา 08.00 – 12.00 น. หรือ 4 ชั่วโมง/วัน คิดเป็น 1,248 ชั่วโมง/ปี ซึ่งเครื่องทำน้ำเย็นและปั้มน้ำใช้พลังงานไฟฟ้าดังแสดงในตาราง

รายละเอียด	พิกัดพลังไฟฟ้า (kW)	พลังไฟฟ้า ที่ใช้ (kW)	รายละเอียด	พิกัดพลังไฟฟ้า (kW)	พลังไฟฟ้า ที่ใช้ (kW)
เครื่องทำน้ำเย็น 1	55	64.4	ปั้มน้ำเย็น 1	7.5	5.97
เครื่องทำน้ำเย็น 2	55	0.0	ปั้มน้ำเย็น 2	7.5	0.0
รวม	110	64.4	รวม	15.0	5.97



ภาพแสดงการตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นและการเดิน Comp. และ ปั้มน้ำเย็นอย่างละเอียด



ภาพการตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นและการเดิน Comp. และ ปั้มน้ำเย็นอย่างละเอียด

การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จำนวนวันทำงาน	=	312	วัน/ปี
พลังไฟฟ้าที่ใช้เดิม	=	99.67	kW (87.80+11.87=99.67)
พลังไฟฟ้าที่ใช้ใหม่	=	70.37	kW (64.4+9.97=70.73)
พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	29.30	kW (99.67-70.37=29.30)
ชั่วโมงใช้งานที่สามารถหยุดได้ On Peak	=	1,000.00	ชม/ปี
ชั่วโมงใช้งานที่สามารถหยุดได้ Off Peak	=	248.00	ชม/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak	=	2.695	บาท/kWh
ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak	=	1.1914	บาท/kWh
ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต Ft	=	0.4683	บาท/kWh
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ช่วง On peak	=	29.30 x 1,000	
	=	29,300.00	kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ช่วง Off peak	=	29.30 x 248	
	=	7,266.40	kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้	=	29,300 + 7,266.40	
	=	36,566.40	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ On peak	=	29,300.00 x (2.695+0.4683)	
	=	92,684.69	บาท/ปี
คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ Off peak	=	7,266.40 x (1.1914+0.4683)	
	=	12,060.04	บาท/ปี
ภาษีมูลค่าเพิ่มที่ประหยัดได้	=	(92,684.69+12,060.04) x 0.07	
	=	7,332.13	บาท/ปี
รวมเงินที่สามารถประหยัดได้	=	92,684.69+12,060.04+7,332.13	
	=	112,076.86	บาท/ปี

การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

เงินที่ประหยัดได้	=	112,076.86	บาท/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	=	36,566.40	kWh/ปี
เงินลงทุน	=	-	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี
*ไม่มีการลงทุน			

กรณีศึกษาที่ 2: การลดการใช้เครื่องปรับอากาศในอาคาร

มาตรการนี้เป็นการลดการใช้งานของเครื่องปรับอากาศเมื่อไม่จำเป็น เช่น เวลาไม่มีคนอยู่หรือช่วงพักรับประทานอาหารกลางวัน ซึ่งพนักงานส่วนใหญ่ไม่อยู่ในห้อง มาตรการดังกล่าวสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของสำนักงานค่อนข้างมาก อีกทั้งยังไม่มีการลงทุน

บริเวณสำนักงานของโรงงานแห่งหนึ่งมีการใช้ระบบปรับอากาศ หลังจากเริ่มโครงการอนุรักษ์พลังงานได้มีการกำหนดให้ปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาพักเที่ยงระหว่าง 12.00-13.00 และปรับลดเวลาปิดเครื่องให้เร็วขึ้นอีก 1 ชั่วโมง รวมเวลาการปิด 2 ชั่วโมง โรงงานมีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 29 เครื่อง

ก่อนปรับปรุง

โรงงานใช้เครื่องปรับอากาศตั้งแต่ 8:00 และไม่มีการปิดกระทั่งเลิกงานเวลา 17:30 ทำให้มีการใช้พลังงานที่มากเกินไปจนเกินความจำเป็น



เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในสำนักงาน

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้งหมดมีการใช้พลังงานดังนี้

ขนาด (Btu/h)	kW	ขนาด (Btu/h)	kW
10640	1	18000	1.75
12000	1.5	20000	1.3
12000	0.95	22000	1.24
12000	0.93	22000	0.94
12000	1.21	22000	2.33
12000	2.3	22000	1.58
12500	1.01	30000	2.06
13000	1.26	30000	1.61
13000	1.05	30000	2.36
13000	1.46	30000	4.34
13000	3.99	36000	2.66
18000	2.11	36000	3.15
18000	1.94	36000	2.3
18000	1.21	36000	3.66
		48000	2.37
		พลังไฟฟ้ารวม	55.57

หลังปรับปรุง

การดำเนินการทำได้ทันทีโดยการออกระเบียบให้มีการปิดเครื่องปรับอากาศทั้ง 29 ชุดในช่วงเวลาเที่ยงถึงบ่ายโมงและในช่วงเย็นจะมีการปิดเครื่องตอน 16:30 รวมเวลาปิดเครื่อง 2 ชั่วโมงครึ่งต่อวัน การกำหนดให้ปิดเครื่องทั้ง 29 เครื่อง ลดการใช้พลังงานรวม 55.57 kW

การวิเคราะห์

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ	=	(พลังไฟฟ้ารวมของเครื่อง) x (ชั่วโมงทำงานต่อปี) x (เปอร์เซ็นต์การทำงานของเครื่อง)
เปอร์เซ็นต์การทำงานของเครื่อง	=	0.8 x (ข้อมูลจากการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศ)
ชั่วโมงการหยุดทำงานของเครื่อง	=	297 x 2.5
	=	742.5 ชั่วโมง/ปี
พลังงานไฟฟ้าใช้ของเครื่องปรับอากาศ	=	55.7 kW x 742.5 ชั่วโมง/ปี x 0.8
	=	33,085.8 kWh/ปี
ผลประหยัดต่อปี	=	33,085.8 kWh/ปี x 2.5 บาท/kWh
	=	82,714.5 บาท/ปี

ความคุ้มค่าทางการลงทุน

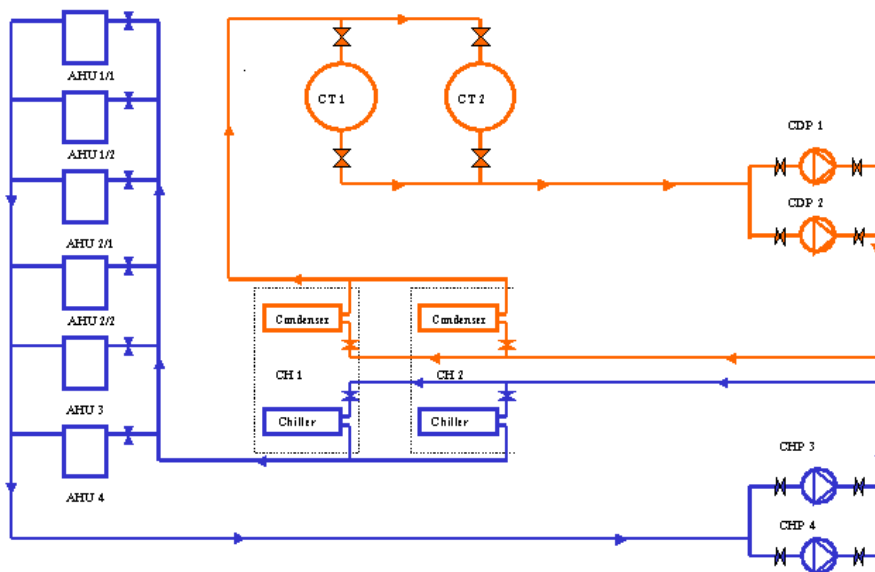
เงินที่ประหยัดได้	=	82,714.5บาท/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	=	33,085.8kWh/ปี
เงินลงทุน	=	- บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	- ปี
*ไม่มีการลงทุน		

กรณีศึกษาที่ 3: การปรับปรุงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ

จากการสำรวจโรงงานแห่งหนึ่งพบว่า โรงงานมีระบบทำน้ำเย็นซึ่งประกอบด้วยเครื่องส่งลม 6 ชุด หอระบายความร้อน 2 ชุด เครื่องสูบน้ำเย็น 2 ชุด เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน 2 ชุด เครื่องทำน้ำเย็น 2 ชุด ซึ่งปกติเปิดใช้งานทั้งหมด โรงงานนี้ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน 25 วันต่อเดือน และ 300 วันต่อปี

ก่อนปรับปรุง

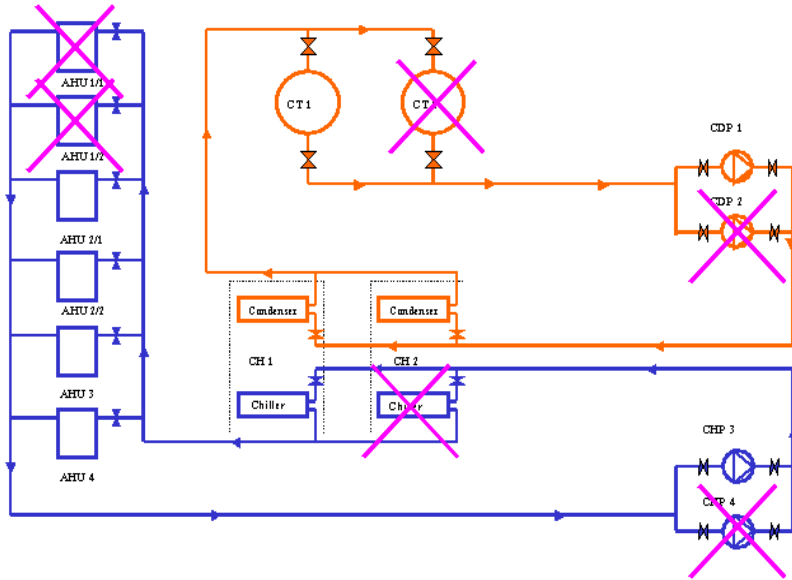
เครื่องทำน้ำเย็นยังทำงานได้ไม่เหมาะสมเท่าที่ควร เพราะ ขาดการบำรุงรักษาที่ดี ท่อมีการรั่วและอุดตัน อุณหภูมิน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นต่ำเกินไป



แผนภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ (ก่อนปรับปรุง)

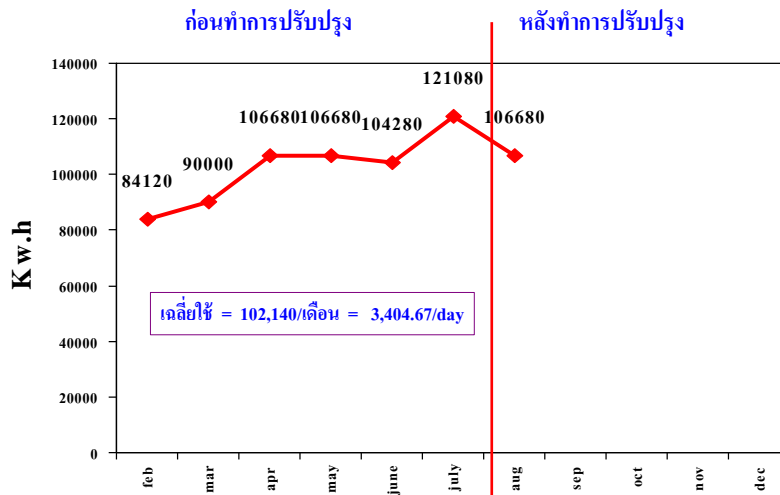
หลังปรับปรุง

เพื่อลดการสูญเสียพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ควรมีการปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น ให้สูงขึ้นอีก จาก การเก็บข้อมูลพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นสามารถลดการใช้พลังงานลงได้จาก 121,080 kWh เหลือ 106,680 kWh ภายใน 15 วัน ซึ่งเกิด จากการหยุดเครื่องทำน้ำเย็น 1 ชุด ตั้งแต่ 17:00 น. จนถึง 7:00 น. ของอีกวัน และปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำ จาก 44°F เป็น 46°F ดังนั้น สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 28,800 kWh / เดือน (เป็นข้อมูลจากการวัดไฟฟ้าจริงของโรงงาน เนื่องจากการใช้ ระบบการวัดแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ตรวจวัดไว้ตลอดเวลา)



แผนภาพแสดงระบบการทำงานของ Air Chiller (หลังปรับปรุง)

แสดงดังรูปข้างล่าง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการปรับปรุงการทำงานของระบบปรับอากาศเท่ากับ 28,800 kWh/เดือน $[(121,080-106,680) \times 2] = 28,800 \text{ kWh}$



การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ Air Chiller หลังปรับปรุง 15 วัน

มาตรการนี้เป็นมาตรการบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็นให้มีประสิทธิภาพดีและลดการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง

- = พลังไฟฟ้าที่ระบบ Chiller ใช้ ต่อเดือน x 12 เดือน
- = 28,800 kWh / เดือน x 12 เดือน /ปี
- = 345,600 kWh / ปี

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นค่าไฟฟ้า (หน่วยละ 3 บาท)} &= 345,600 \times 3 \\ &= 1,036,800 \quad \text{บาท/ปี} \\ \text{สามารถประหยัดพลังงานได้} &= 345,600 / 11,628 \times 10^3 \\ &= 0.0297 \quad \text{ktoe/ปี} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ผลความคุ้มค่าทางการลงทุน

เงินที่ประหยัดได้	=	1,036,800	บาท/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	=	345,600 kWh/ปี	
เงินลงทุน	=	-	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี

*ไม่มีการลงทุนเนื่องจากใช้บุคลากรของทางโรงงานดำเนินการ

บทสรุป

ระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีใช้งานที่แทบทุกสถานประกอบการไม่ว่าจะเป็นโรงงานหรืออาคาร อีกทั้งเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูง ระบบปรับอากาศมีหลากหลายประเภทและรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการออกแบบของวิศวกรผู้ออกแบบ สำหรับหนังสือเล่มนี้ให้ความสำคัญกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้ เครื่องทำน้ำเย็น เครื่องส่งลมเย็น (AHU และ FCU) หอผึ่งลมเย็น เครื่องสูบน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4-1

ในระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานสูงได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น เครื่องทำน้ำเย็นทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็น เพื่อส่งจ่ายไปยังพื้นที่ปรับอากาศต่างๆ โดยเครื่องสูบน้ำเย็น การทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นอาศัยหลักการวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ ดังแสดงในรูปที่ 4-7 และ 4-8 กระบวนการทำงานของวัฏจักรประกอบด้วย

1-2	การอัดแบบย้อนกลับได้โดยไม่มีการถ่ายเทความร้อนหรือกระบวนการไอเซนโทรปิก
2-3	การถ่ายเทความร้อนในคอนเดนเซอร์(หรือทำความร้อนกรณีใช้เป็นฮีตปั๊ม) ไม่มีความเสียดทานภายในระบบ ความดันจิ่งคงที่ หรือย้อนกลับได้ภายใน (ภายนอกย้อนกลับไม่ได้)
3-4	การลดความดันโดยไม่มีการทำงาน จึงเป็นกระบวนการย้อนกลับไม่ได้ แต่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน
4-1	การถ่ายเทความร้อน (ทำความเย็น) ในเครื่องระเหย ไม่มีความเสียดทานภายในระบบ ความดันจิ่งคงที่หรือย้อนกลับได้ภายใน (ภายนอกย้อนกลับไม่ได้)

การประเมินสมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้งานอยู่จำเป็นต้องมีการจัดเก็บข้อมูล โดยข้อมูลที่ต้องการประกอบด้วย อัตราการไหลของน้ำเย็นผ่านเครื่องทำน้ำเย็น และอุณหภูมิเข้าและออกของน้ำเย็น ข้อมูลทั้ง 3 ค่านี้สามารถใช้คำนวณอัตราการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น (โดยใช้สมการที่ 4.7 และ 4.8) ข้อมูลที่ต้องการอีกตัวหนึ่งคือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในขณะนั้นๆ ของเครื่องทำน้ำเย็น ข้อมูลทั้งหมดนี้มักมีการแสดงผลผ่านจอแสดงผลของเครื่องทำน้ำเย็นรุ่นใหม่ เมื่อทราบอัตราการทำความเย็นและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในขณะนั้นๆ เราสามารถคำนวณค่า COP ของเครื่องทำน้ำเย็นได้

มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศมีมากมายหลายวิธี ซึ่งสามารถปรับใช้ให้เหมาะกับแต่ละสถานะการณ์โดยพอสรุปได้ดังนี้

- การเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นจ่ายออกจากเครื่องทำน้ำเย็น (การเพิ่มอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็น)
- การลดอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (การลดอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น)
- การใช้ระบบส่งน้ำเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Water Volume: VVV)
- การใช้ระบบส่งลมเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume: VAV)
- การใช้ท่อความร้อน (Heat Pipe)
- การปรับปรุงตัวอาคาร
- การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง
- การควบคุมการทำงานที่เหมาะสม
- การบำรุงรักษาที่เหมาะสม

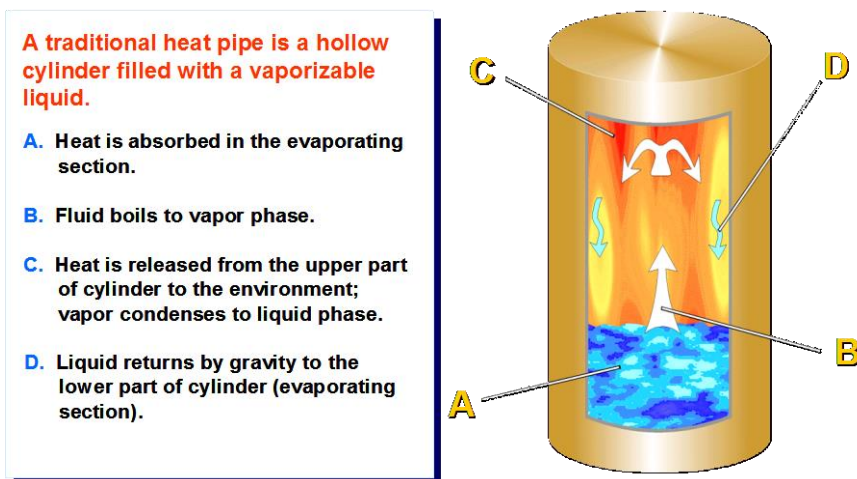
4.9 เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ (Heat Pipe Dehumidification)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี ⁽¹⁾

ฮีทไปป์ คือ อะไร

ฮีทไปป์คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนประกอบของฮีทไปป์จะเป็นท่อโลหะที่ปิดหัวท้ายภายในเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) หรือ R22 หรือ R134a การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นอีกด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่น แล้วกลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) ดังแสดงในรูปที่ 1-1



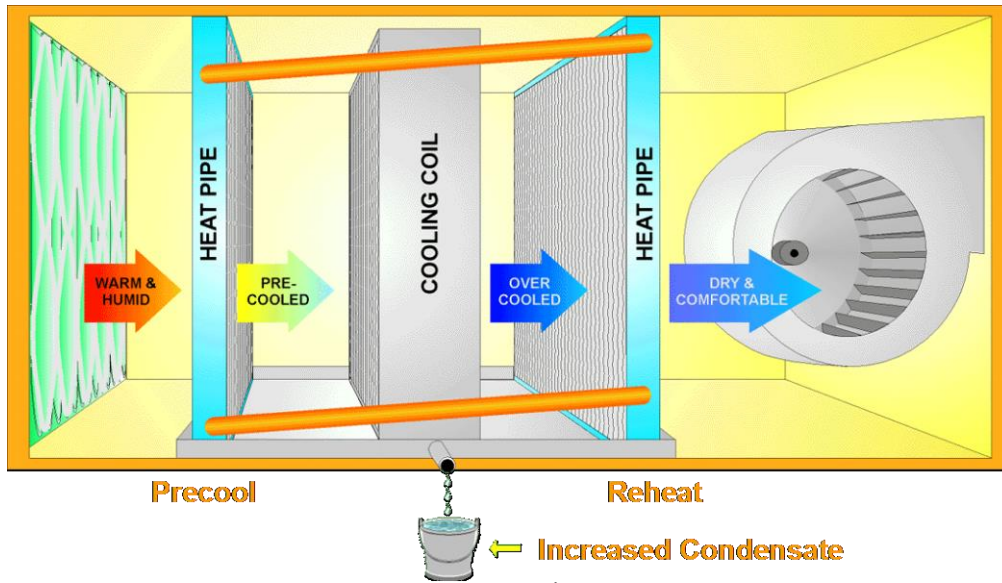
รูปที่ 1-1: แสดงโครงสร้างภายในของฮีทไปป์ ⁽¹⁾

การใช้ฮีทไปป์ในการลดความชื้น

ฮีทไปป์สามารถใช้ในการลดความชื้นในระบบปรับอากาศ โดยการติดตั้งฮีทไปป์คร่อมคอยล์เย็น (Cooling Coil) ของระบบปรับอากาศ ฮีทไปป์ที่ติดตั้งจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก เรียกว่า ส่วนให้ความเย็นเบื้องต้น (Precool Heat Pipe Section) ซึ่งอยู่ทางช่องลมเข้าก่อนที่จะผ่านคอยล์เย็น เมื่ออากาศร้อนผ่านฮีทไปป์ส่วนนี้ อากาศร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนให้แก่ฮีทไปป์ อากาศที่ผ่านไปยังคอยล์เย็นจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ ทำให้คอยล์เย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากไอน้ำกลั่นตัวได้มาก อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็นจะเย็นกว่าเครื่องปรับอากาศทั่วไป (Overcooled Air)

ในขณะที่ฮีทไปป์ส่วนแรกรับพลังงานจากลมร้อน สารทำความเย็นภายในตัวฮีทไปป์จะระเหยและพาความร้อนที่ได้รับจากอากาศร้อนนั้นไปยังฮีทไปป์ส่วนที่สอง (Reheat Heat Pipe Section) เมื่ออากาศจากคอยล์เย็นผ่านฮีทไปป์ส่วนที่สอง ก็จะได้รับความร้อนจากฮีทไปป์ส่วนนี้ ทำให้อากาศที่ผ่านระบบมีอุณหภูมิที่พอเหมาะ

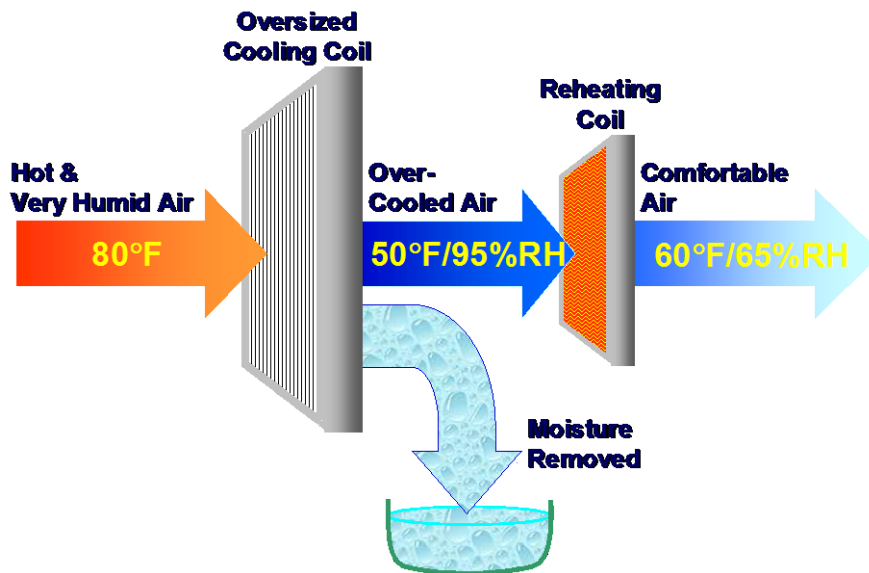
ขั้นตอนทั้งหมดเกิดขึ้นโดยไม่อาศัยพลังงานจากภายนอก และผลที่ได้คือ เครื่องปรับอากาศสามารถดึงเอาความชื้นจากอากาศได้สูงถึง 50%-100% กว่าปกติ



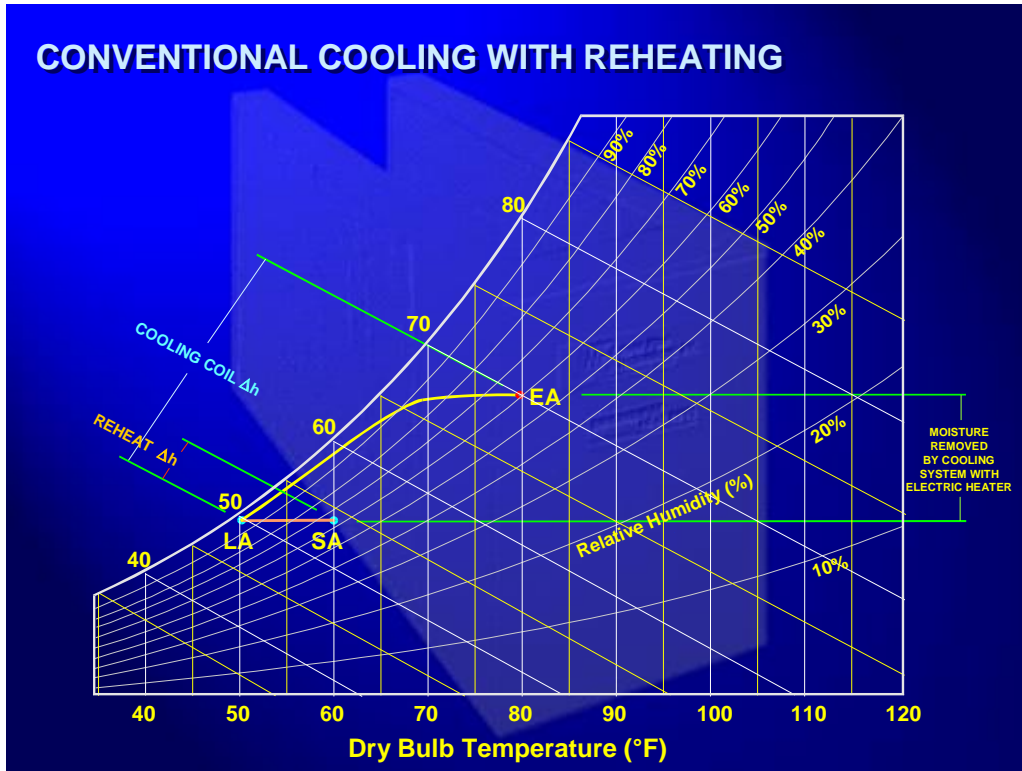
รูปที่ 1-2: ระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์⁽¹⁾

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

การควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศโดยทั่วไปจะใช้คอยล์เย็นเพื่อทำหน้าที่ในการดึงความชื้นออกจากอากาศ โดยอากาศภายนอกที่ร้อนชื้นเมื่อผ่านคอยล์เย็นก็จะคายความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ทำให้อุณหภูมิต่ำลง ถ้าคอยล์เย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดกลั่นตัวของไอน้ำ (Dew Point) ไอน้ำบางส่วนจะคายความร้อนแฝง (Latent Heat) พร้อมทั้งควบแน่นเป็นหยดน้ำ ในกรณีนี้ อากาศที่ผ่านการดึงความชื้นออกแล้วจะเย็นจัด (Overcooled Air) ไม่เหมาะสมที่จะส่งผ่านเข้าไปยังพื้นที่ทำงานได้ จึงต้องใช้ขดลวดไฟฟ้าหรือท่อแก๊สร้อนทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นกว่าเดิม เพื่อให้ได้อากาศที่อุณหภูมิสบาย (Comfortable Air) ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงเพื่อทำให้อากาศเย็นและร้อนในภายหลัง ดังแสดงในรูปที่ 2-1 และแผนภูมิ Psychrometric ในรูป 2-2

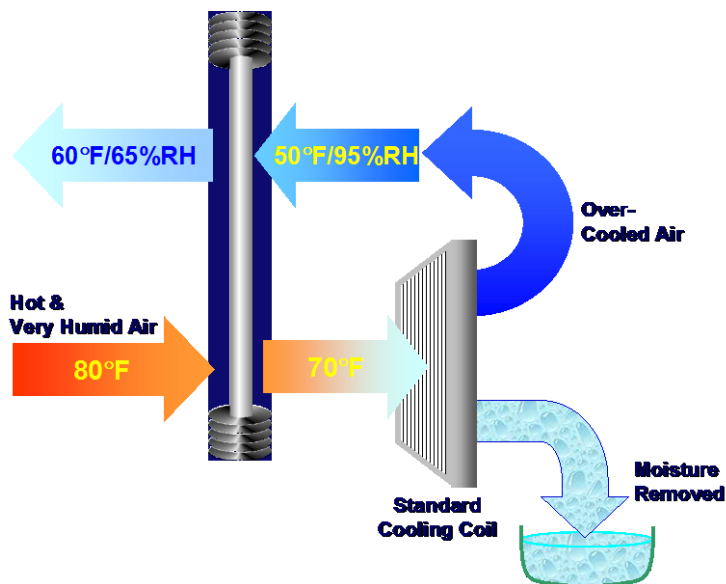


รูปที่ 2-1: แสดงการลดความชื้นในระบบปรับอากาศทั่วไป⁽¹⁾

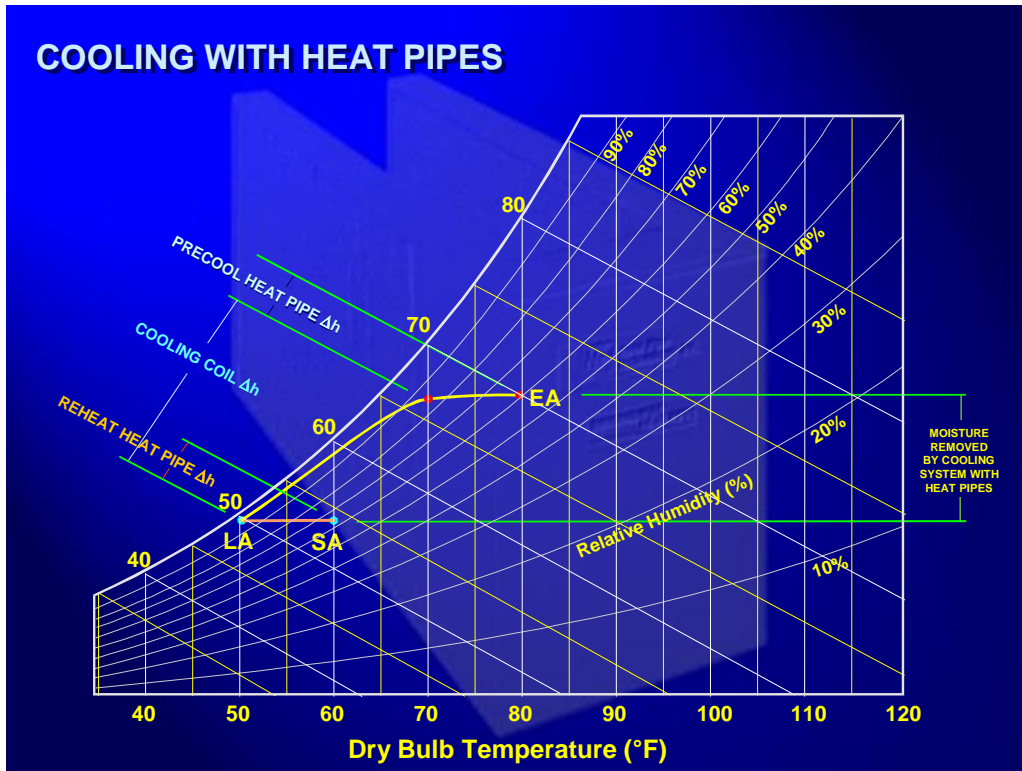


รูปที่ 2-2: แผนภูมิ Psychrometric ของการลดความชื้นในระบบปรับอากาศทั่วไป⁽²⁾

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิม การติดตั้งฮีทปัปจึงสามารถลดความชื้นของอากาศ โดยไม่ต้องใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิอากาศให้เย็นกว่าปกติเพื่อดึงความชื้น (Overcool) และไม่ต้องใช้ไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ (Reheat) ให้เป็นไปตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2-3 และแผนภูมิ Psychrometric ในรูป 2-4



รูปที่ 2-3: แสดงการลดความชื้นด้วยฮีทปัป⁽¹⁾

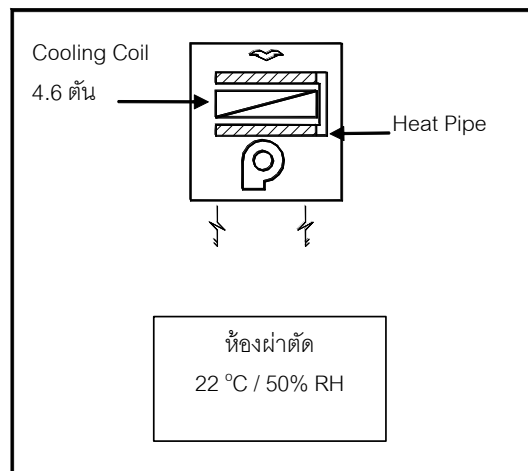
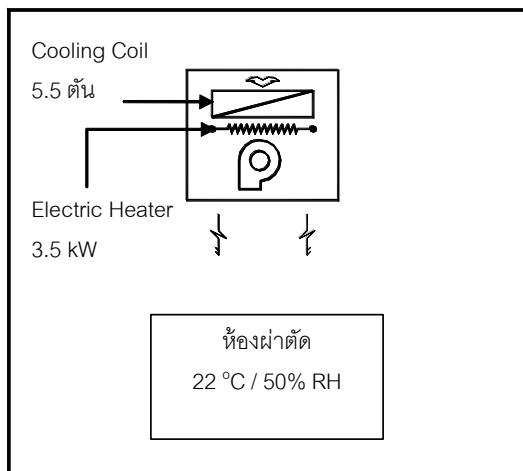


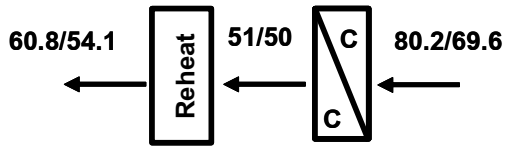
รูปที่ 2-4: แผนภูมิ Psychrometric ของการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์⁽²⁾

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

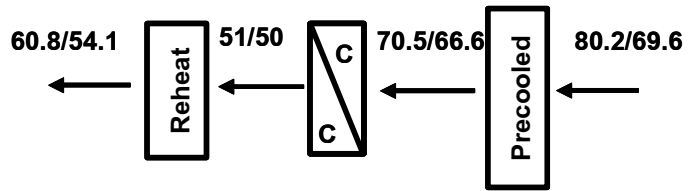
จากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งในต่างประเทศ⁽³⁾ และกรณีศึกษาในประเทศไทย⁽⁴⁾ การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถลดการใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นของอากาศที่เติมเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ได้ประมาณ 30%-50% เมื่อเทียบกับระบบลดความชื้นเดิมที่ทำให้อากาศเย็นลงกว่าปกติ (Overcool) และใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในภายหลัง (Reheat)

ทั้งนี้ศักยภาพการประหยัดพลังงานสามารถแสดงให้เห็นได้ดังกรณีตัวอย่างการติดตั้งระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์กับระบบปรับอากาศของโรงพยาบาล⁽⁶⁾ เพื่อต้องการควบคุมสภาวะอากาศในพื้นที่ห้องผ่าตัดให้อยู่ที่ 22 °C 50% RH โดยระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถให้ผลประหยัดเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้การทำความเย็นและการใช้ขดลวดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 3.5 kW ดังนี้





ระบบเดิมที่ใช้ Electric Heater



ระบบที่ติดตั้ง Heat Pipe

	รายละเอียด	การปรับอากาศและควบคุมความชื้น	
		ระบบเดิมที่ติดตั้ง Heater	ระบบที่ติดตั้ง Heat Pipe
PRECOOL	อากาศเข้า (°FDB/°FWB)	-	80.2 / 69.6
	อากาศออก (°FDB/°FWB)	-	70.5 / 66.6
	ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Btu/h)	-	11,807 (0.98 Ton)
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	-	-
COOLING COIL	อากาศเข้า (°FDB/°FWB)	80.2 / 69.6	70.5 / 66.6
	อากาศออก (°FDB/°FWB)	51 / 50	51 / 50
	ขนาดทำความเย็น (Btu/h)	66,511 (5.5 Ton)	54,704 (4.6 Ton)
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	6.6	5.5
REHEAT	อากาศเข้า (°FDB/°FWB)	51 / 50	51 / 50
	อากาศออก (°FDB/°FWB)	60.8 / 54.1	60.8 / 54.1
	ขนาดทำความร้อน (Btu/h)	11,807 (0.98 Ton)	11,807 (0.98 Ton)
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	3.5	-
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้รวม (kW)	10.1	5.5
	กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kW)	-	4.6 (46%)

พลังงานที่ประหยัดได้เท่ากับพลังงานที่ลดลงในการทำความเย็นและพลังงานที่ลดลงในการให้ความร้อนกับอากาศ ซึ่งรวมกันได้เท่ากับ 4.6 kW หรือคิดเป็นประมาณ 46% เมื่อเทียบกับระบบเดิม

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคารปรับอากาศที่ต้องการควบคุมความชื้นในพื้นที่หรือกระบวนการผลิตให้อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 40%-60%RH เพื่อทดแทนระบบควบคุมความชื้นเดิมที่มีการใช้พลังงานสูง โดยสามารถออกแบบติดตั้งฮีทไปป์เข้ากับคอยล์เย็นของเครื่องเติมอากาศ (Fresh Air Unit) หรือเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) ระบบปรับอากาศได้ทันที และยกเลิกการใช้ขดลวดความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ

ในกรณีออกแบบติดตั้งระบบปรับอากาศใหม่การใช้ระบบฮีทไปป์ในการลดความชื้นก็จะช่วยลดขนาดคอยล์เย็นลงได้ เนื่องจาก Cooling Load ที่ลดลง จากการ Precool อากาศด้วยฮีทไปป์



รูปที่ 4-1: แสดงการติดตั้งฮีทไปป์กับคอยล์เย็นของเครื่องเติมอากาศ ⁽¹⁾

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ^{(3) (5) (6)}

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร
- โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
- โรงงานผลิตอาหาร
- โรงงานผลิตยา
- ห้องเก็บผลิตภัณฑ์
- ห้องควบคุมกระบวนการผลิต (Control Room)
- ห้องเครื่องมือสื่อสาร (Communication Room)
- ห้องผ่าตัดในโรงพยาบาล
- ห้องพักของโรงแรม
- ฯลฯ

6. ราคาของเทคโนโลยี

จากข้อมูลของผู้จำหน่ายในประเทศไทย ราคาเฉลี่ยของอุปกรณ์รวมการติดตั้งของฮีทไปป์ซึ่งติดตั้งกับคอยล์เย็นของเครื่องส่งลมเย็นหรือเครื่องเติมอากาศของระบบปรับอากาศ จะอยู่ที่ประมาณ 15,000 บาทต่อตันความเย็น โดยมีอายุใช้งานประมาณ 20 ปี

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลจากกรณีศึกษาในต่างประเทศ ⁽³⁾ และกรณีศึกษาการติดตั้งใช้ระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ในประเทศไทย ⁽⁴⁾ เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถให้ผลประโยชน์ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณไม่เกิน 1 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากฮีทไปป์เป็นท่อปิดและไม่มีส่วนเคลื่อนที่ มีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็นออกสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามผู้ผลิตส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็น R-134a ทดแทน R-22 ในการผลิตฮีทไปป์ เพื่อให้เป็นไปตามพิธีสารมอนทรีออลในการควบคุมปริมาณการใช้สารทำความเย็นที่มีผลต่อการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ประมาณการว่ามีการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยฮีทไปป์ไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการประมาณไม่เกิน 4% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 101 แห่งจาก 2,223 แห่ง)

โดยเมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 472 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549⁽⁷⁾ และจากการประมาณการในกรณีนี้ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้ นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 756 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา⁽⁴⁾

กรณีศึกษา:	โรงงานบริษัท กุลธร เคอร์บี้ จำกัด (มหาชน)
ประเภทโรงงาน:	ผลิตคอมเพรสเซอร์
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งฮีทไปป์ทดแทนเครื่องลดความชื้นเดิมแบบ Desiccant ซึ่งใช้ Steam Coil ในระบบเติมอากาศเข้าสู่ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางในห้องประกอบคอมเพรสเซอร์
เงินลงทุน:	750,000 บาท (เครื่องเติมอากาศใหม่พร้อมฮีทไปป์ขนาด 84,000 Btu/hr)
ผลประหยัดพลังงาน:	ไฟฟ้า 548,424 kWh/ปี
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	1,371,060 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	0.55 ปี
กรณีศึกษา:	โรงงานบริษัท ไทยเพรซิเดนทึฟูดส์ จำกัด (มหาชน)
ประเภทโรงงาน:	ผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งฮีทไปป์เพื่อลดความชื้นที่คอยล์เย็นของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางห้องผสมเครื่องปรุงบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปใส่ซอง ทดแทนการระบลดความชื้นเดิม ซึ่งใช้การลดอุณหภูมิของอากาศ และใช้ขดลวดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้า
เงินลงทุน:	1,140,000 บาท (เครื่องปรับอากาศใหม่พร้อมฮีทไปป์ 28,500 Btu/hr x 4 ชุด)
ผลประหยัดพลังงาน:	ไฟฟ้า 673,344 kWh/ปี
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	1,683,360 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	0.68 ปี

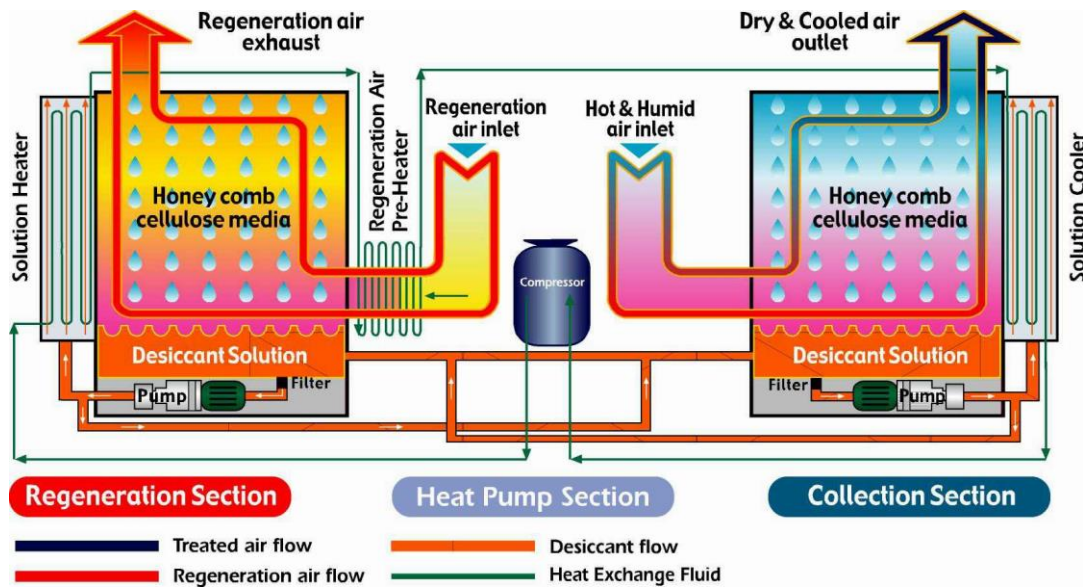
11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) Wrap-Around Dehumidifier Heat Pipes, Heat Pipe Technology, Inc.
- (2) เอกสารประกอบการนำเสนอ What are Heat Pipes, Heat Pipe Technology, Inc., Natural Green Innovation.
- (3) Why Heat Pipes? Case Summaries, Heat Pipe Technology, Inc.
- (4) กรณีศึกษา 013 การใช้ฮีทไปป์เพื่อประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547
- (5) เอกสารประกอบการนำเสนอ ระบบปรับอากาศ และ ระบบควบคุมความชื้น สำหรับโรงแรมกับการประหยัดพลังงาน, บริษัท เนเชอรัล กรีน อินโนเวชั่น จำกัด
- (6) เอกสารประกอบการนำเสนอ ระบบปรับอากาศ และระบบควบคุมความชื้น สำหรับห้องผ่าตัดกับการประหยัดพลังงาน, บริษัท เนเชอรัล กรีน อินโนเวชั่น จำกัด
- (7) รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2549, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว (Liquid Desiccant Dehumidification)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี ^{(1) (2)}

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวอาศัยการทำงานของสารละลายของสารดูดความชื้นในการดึงความชื้นออกจากอากาศ โดยสามารถควบคุมความชื้นของอากาศได้ในระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 40% RH ในช่วงอุณหภูมิประมาณ $22 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนดูดความชื้น (Collection Section), ส่วนคายความชื้น (Regeneration Section) และส่วนปั๊มความร้อน (Heat Pump Section) ดังแสดงในรูปที่ 1-1



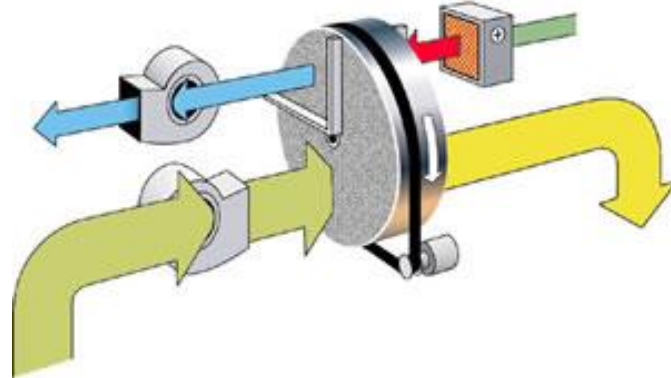
รูปที่ 1-1: แสดงส่วนประกอบของระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว

- ส่วนดูดความชื้น (Collection Section) จะดูดอากาศที่ต้องการลดความชื้นผ่านส่วนดูดความชื้น ที่มีสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ซึ่งไหลผ่าน Heat Exchanger ฝั่งเย็นและได้รับการถ่ายเทความร้อนจาก Heat Exchanger จนมีอุณหภูมิต่ำ พ่นกระจายเป็นละอองฝอยอยู่ในส่วนดูดความชื้น เมื่ออากาศที่ต้องการลดความชื้นสัมผัสกับสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ตัวสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ก็จะดูดความชื้นในอากาศไว้พร้อมกับถ่ายเทความร้อนจากสารละลายให้แก่อากาศ จึงทำให้อากาศที่ผ่านส่วนดูดความชื้นมีคุณสมบัติแห้งและเย็น สารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ที่ดูดความชื้นไว้ก็จะไหลลงมายังถาดรองรับ และไหลวนจากด้านดูดความชื้นไปยังส่วนคายความชื้น (Regeneration Section)
- ส่วนคายความชื้น (Regeneration Section) จะมีปั๊มซึ่งทำหน้าที่ดูดสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ไหลผ่าน Heat Exchanger ฝั่งร้อน และได้รับการถ่ายเทความร้อนให้สารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) จนมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นจะพ่นเป็นละอองฝอยลงในด้านคายความชื้น และเครื่องจะดูดอากาศจากภายนอกมาผ่าน Pre-Heat Coil ของส่วนปั๊มความร้อน เพื่อทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น เมื่ออากาศจากภายนอกสัมผัสกับสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ด้านคายความชื้น อากาศจากภายนอกก็จะพาความชื้นที่เกาะอยู่ที่สารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ออกไปด้วย สารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ที่คายความชื้นออกก็จะไหลวนกลับไปยังด้านดูดความชื้นเพื่อทำการดูดความชื้นต่อไป
- ส่วนปั๊มความร้อน (Heat Pump Section) จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของน้ำยา R-22 เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและความเย็นให้แก่ Heat Exchanger ทั้งฝั่งร้อนและฝั่งเย็นซึ่งจะนำไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิและลดอุณหภูมิของสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) จึงเห็นได้ว่ากระบวนการต่างๆของระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวจะมีการใช้พลังงานหลักที่ส่วนปั๊มความร้อนเท่านั้น และได้นำคุณสมบัติด้านความเย็นและความร้อนไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ จึงทำให้มีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าระบบอื่นๆ

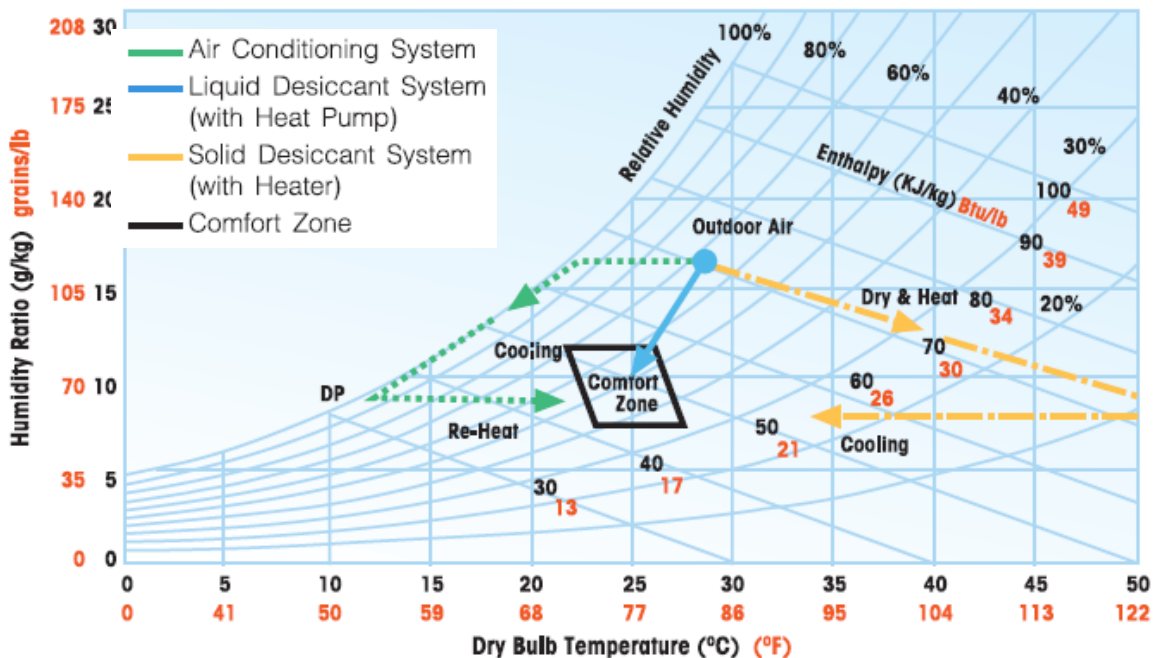
2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม ^{(2) (3)}

ในอดีตการออกแบบระบบควบคุมความชื้นในระดับต่ำกว่า 40% RH โดยมีอุณหภูมิของห้องปรับอากาศประมาณ 22 ± 1 °C มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องลดความชื้น (Desiccant Dehumidifying Unit) ในการรักษาระดับความชื้นภายในห้องให้ได้ตามต้องการ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศโดยทั่วไปไม่สามารถดึงความชื้นออกจากอากาศที่สภาวะดังกล่าว ดังนั้นเครื่องปรับอากาศจึงทำหน้าที่ในการเก็บความร้อนสัมผัสของห้องเท่านั้น และความชื้นที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกกำจัดโดยเครื่องลดความชื้นแต่เพียงอย่างเดียว

เครื่องลดความชื้นแบบเดิมที่นิยมใช้กันจะเป็นชนิดวงล้อดูดความชื้น (Desiccant Wheel) ซึ่งมีการใช้สารดูดความชื้น อาทิเช่น LiCl หรือ Silica Gel และมีการใช้ Heater ซึ่งอาจเป็น Electric Heater หรือ Steam Heater ในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเพื่อไล่ความชื้นออกจากสารดูดความชื้น ซึ่งต้องใช้พลังงานสูงมาก และผลที่ตามมา คือ อากาศแห้งที่ส่งกลับสู่ห้องจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก (เพิ่มประมาณ 15 – 20 °C จากอุณหภูมิห้อง) จึงทำให้การออกแบบเครื่องปรับอากาศจะต้องมีขนาดการทำความเย็นที่มากขึ้น เพื่อชดเชยภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากเครื่องลดความชื้น ดังนั้น เทคโนโลยีในการควบคุมความชื้นแบบเดิมจึงจำเป็นที่จะต้องสิ้นเปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก (ดูรูป 2-1 และแผนภูมิ Psychrometric ในรูป 2-2)



รูปที่ 2-1: แสดงระบบลดความชื้นด้วยวงล้อดูดความชื้นซึ่งใช้ Electric Heater



รูปที่ 2-2: แผนภูมิ Psychrometric เปรียบเทียบสภาวะอากาศสำหรับระบบควบคุมความชื้นแบบต่างๆ ⁽³⁾

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับเครื่องลดความชื้น และอุปกรณ์ลดความชื้นสำหรับเครื่องปรับอากาศ ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมาก เทคโนโลยีใหม่ที่กล่าวถึงนี้คือ เครื่องลดความชื้นแบบสารดูดซึมเหลว (Liquid Desiccant) ซึ่งใช้สารดูดความชื้นชนิดสารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ในการดึงความชื้นและลดอุณหภูมิของอากาศไปพร้อมกัน ข้อได้เปรียบอย่างหนึ่งของเทคโนโลยีนี้ คือ การออกแบบใช้งานร่วมกับระบบปั๊มความร้อนทำให้การใช้พลังงานของตัวเครื่องเหลือเพียง 1 ใน 3 เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีเดิม อากาศที่ผ่านการดึงความชื้นออกจะมีคุณสมบัติแห้งและเย็น มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องลดความชื้นประมาณ 5-7 °C จึงทำให้ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ทำความเย็นให้แก่ห้องมีขนาดเล็กลงได้ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานของทั้งเครื่องลดความชื้นและเครื่องปรับอากาศลงได้อย่างมาก

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากข้อมูลกรณีศึกษาในประเทศไทย⁽³⁾ เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวสามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการลดความชื้นได้ประมาณ 50% เมื่อเทียบกับระบบลดความชื้นเดิมที่ใช้กิ้งล้อดูดความชื้น (Desiccant Wheel) และพลังงานไฟฟ้า (Electric Heater) หรือพลังงานความร้อน (Steam Heater) ในการไล่ความชื้นจากกิ้งล้อดูดความชื้น (Regeneration)

จากข้อมูลผลการติดตั้งใช้งานของผู้จำหน่าย⁽²⁾⁽⁴⁾ ในการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวมาติดตั้งสำหรับห้องบรรจุอาหารอบแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบ Vacuum Freeze Drying เพื่อควบคุมสภาวะอากาศของห้องดังกล่าวให้มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมาก คือ 30% RH ที่อุณหภูมิห้อง 22.5 °C การเปรียบเทียบการลงทุนและการประหยัดพลังงานระหว่างระบบปรับอากาศและควบคุมความชื้นแบบเดิมกับแบบใหม่ ดังตารางต่อไปนี้

รายละเอียดงบประมาณการลงทุน	ระบบ Liquid Desiccant	ระบบ Desiccant Wheel	ส่วนต่าง
1. ระบบ Air-Cooled Split Type (บาท)	1,250,000 (25 tons)	1,750,000 (35 tons)	500,000
2. เครื่องลดความชื้น (บาท)	1,500,000	1,350,000	-150,000
งบประมาณการลงทุนทั้งหมด (บาท)	2,750,000	3,100,000	350,000
1. ระบบปรับอากาศ			
ขนาดทำความเย็นรวม (Ton)	25	35	10
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	37.5	52.5	15
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 เดือน (kW/เดือน)	27,000	37,800	10,800
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (บาท/เดือน)	74,250	103,950	29,700
2. ระบบควบคุมความชื้น			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	25	70	45
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 เดือน (kWh/เดือน)	18,000	50,400	32,400
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า (บาท/เดือน)	49,500	138,600	89,100
รวมค่าใช้จ่ายไฟฟ้าทั้งหมด (บาท/เดือน)	123,750	242,550	118,800
รวมค่าใช้จ่ายไฟฟ้าทั้งหมด (บาท/ปี)	1,485,000	2,910,600	1,425,600

หมายเหตุ: คัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ 2.75 บาท/kWh, 24 ชั่วโมง/วัน, 30 วัน/เดือน, 1.5 kW/ton

จากตารางข้างต้นสามารถจะเห็นได้ว่าการใช้ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว สามารถลดงบประมาณรวมในการลงทุนได้ประมาณ 10% – 15% รวมทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 50%

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคารปรับอากาศที่ต้องการควบคุมความชื้นในพื้นที่หรือกระบวนการผลิตให้อยู่ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 40% RH เพื่อทดแทนระบบควบคุมความชื้นแบบกักล่อดูดความชื้นที่มีการใช้พลังงานสูง

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานผลิตและบรรจุอาหารอบแห้ง
- โรงงานผลิตอาหารแช่แข็ง
- โรงงานผลิตภัณฑ์นม
- โรงงานผลิตยา
- โรงงานผลิตภัณฑ์พลาสติก
- โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
- โรงงานผลิตเคมีภัณฑ์
- ฯลฯ



รูปที่ 5-1: ระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวที่ติดตั้งในโรงงานผลิตยา⁽⁴⁾

6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว จะขึ้นอยู่กับขนาดติดตั้งของระบบและประเภทการติดตั้งใช้งาน โดยจากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย⁽²⁾ ค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบจะอยู่ที่ประมาณ 400,000 – 600,000 บาทต่อขนาดอัตราการไหล 1,000 CFM

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลจากกรณีศึกษาในต่างประเทศ⁽¹⁾ และกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศไทย⁽²⁾ เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวสามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3 – 5 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลว มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำอยู่ในระดับเดียวกับเครื่องปรับอากาศทั่วไป และสารลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ซึ่งเป็นสารดูดความชื้นเหลว เป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ (ระดับใกล้เคียงกับเกลือโซเดียมคลอไรด์)

9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ประมาณการว่ามีการนำเทคโนโลยีการลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการประมาณไม่เกิน 3% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 40 แห่งจาก 1,218 แห่ง)

โดยเมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 472 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549⁽⁵⁾ และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้ นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 378 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา⁽³⁾

กรณีศึกษา:	โรงงานบริษัท โรงงานเภสัชกรรมแอตแลนติก จำกัด
ประเภทโรงงาน:	ผลิตยา
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวชนิดใช้ปั๊มความร้อน ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศของโรงงาน เพื่อควบคุมสภาพความชื้น อุณหภูมิ และความชื้นของพื้นที่กระบวนการผลิต
เงินลงทุน:	600,000 บาท (เครื่องลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวชนิดใช้ปั๊มความร้อนขนาด 1,650 CFM)
ผลประหยัดพลังงาน:	ไฟฟ้า 40,248 kWh
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	110,688 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	5.4 ปี
กรณีศึกษา:	โรงงานบริษัท ดัชมิลล์ จำกัด
ประเภทโรงงาน:	ผลิตอาหารประเภทผลิตภัณฑ์นม
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นเหลวชนิดใช้ปั๊มความร้อน ทำงานร่วมกับระบบเติมอากาศควบคุมความชื้น (ฮีทไปป์) เพื่อควบคุมสภาพอุณหภูมิ และความชื้นภายในตู้ฉีดพลาสติกสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม
เงินลงทุน:	1,654,000 บาท (แบ่งเป็น ค่าเครื่องลดความชื้นด้วยสารดูดความชื้นขนาด 1,000 CFM 592,000 บาท, ค่าระบบเครื่องเติมอากาศ 476,000 บาท, ค่าติดตั้งงานระบบและค่าอุปกรณ์อื่นๆ 586,000 บาท)
ผลประหยัดพลังงาน:	ไฟฟ้า 207,360 kWh/ปี
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	570,240 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	-
ระยะเวลาคืนทุน:	2.9 ปี

11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) 1996 ASHRAE Handbook: HVAC System and Equipment, Chapter 22 Desiccant Dehumidification and Pressure Drying Equipment.
- (2) เอกสาร การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศและควบคุมความชื้นระดับต่ำโดยใช้เทคโนโลยีใหม่, บริษัท เนเชอรัลกรีน อินโนเวชั่น จำกัด
- (3) กรณีศึกษา 027 การใช้เครื่องลดความชื้นแบบสารดูดซึมเหลว (Liquid Desiccant Dehumidifier), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547

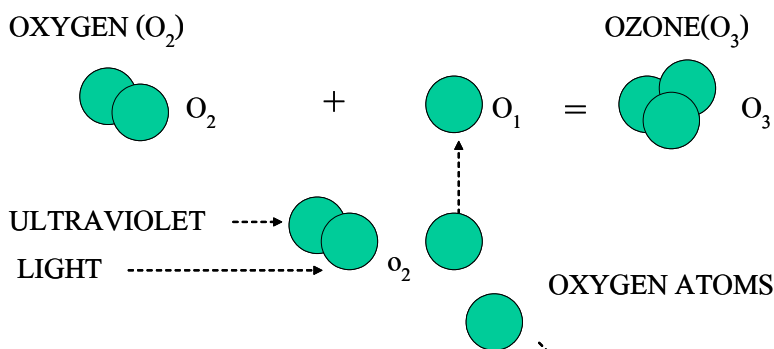
- (4) Newsletter, Dry-Cooling News, Spring 2004, Volume III, DryKor Inc.
- (5) รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2549, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

เทคโนโลยีการบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยโอโซน (Ozone Water Treatment)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี⁽³⁾⁽⁴⁾

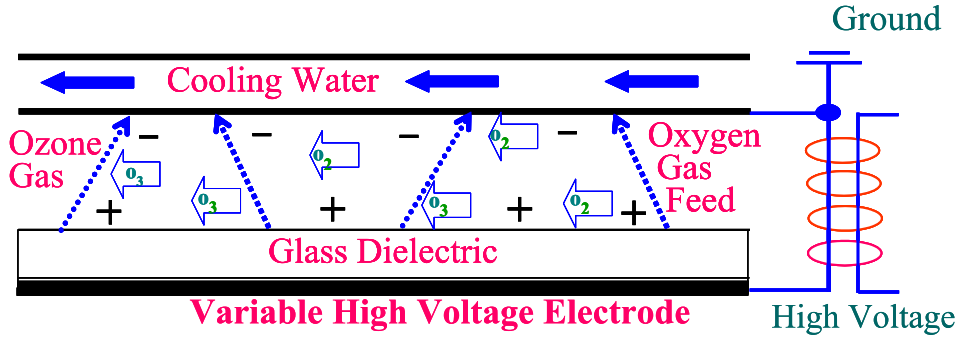
โอโซน คือ อะไร

โอโซนเป็นโมเลกุลที่ประกอบไปด้วยออกซิเจนสามอะตอม มีสัญลักษณ์ทางเคมีเป็น O₃ โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรและสลายได้ด้วยตัวเอง โดยปกติโอโซนจะเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติจากการที่รังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงอาทิตย์ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ที่ระดับความสูง 15-50 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเลแตกตัวออกเป็นอะตอมของออกซิเจนและไปทำปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจนกลายเป็นโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1: การเกิดโอโซนตามธรรมชาติ⁽⁴⁾

นอกจากการเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแล้ว โอโซนยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการผ่านอากาศแห้งและมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเข้าไปยังสนามไฟฟ้าแบบ Corona Discharge ทำให้ออกซิเจนในอากาศบางส่วนแตกตัวเกิดอะตอมออกซิเจน ซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นโอโซนได้ ดังแสดงในรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-2: แสดงรูปแสดงการเกิดโอโซนจากสนามไฟฟ้าแบบ Corona Discharge⁽⁴⁾

โอโซนมีคุณสมบัติที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างรุนแรง สามารถทำลายเซลล์เนื้อเยื่อของเชื้อโรคได้แบบเฉียบพลัน มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้เร็วกว่าคลอรีน 3,125 เท่า

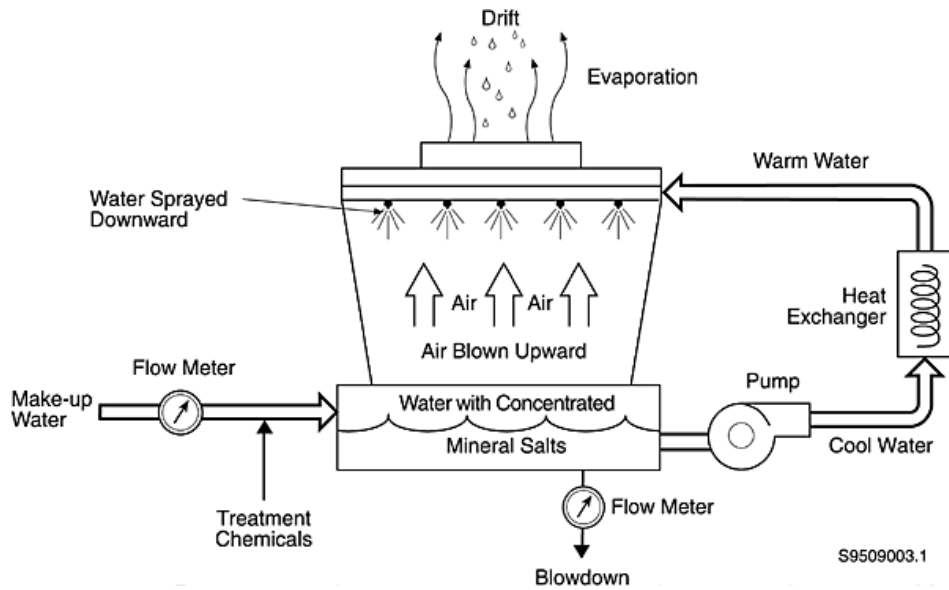
การประยุกต์ใช้โอโซน

โอโซนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น ใช้ปรับสภาพอากาศ เพื่อขจัดกลิ่นอับ และฆ่าเชื้อโรค ใช้ประกอบกับเครื่องทำน้ำดื่ม ใช้ประกอบการล้างผักผลไม้ และอาหารสด ใช้ในการแพทย์ เช่น ใช้ฆ่าเชื้อโรคในห้องผ่าตัด ใช้บำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ ใช้ในกระบวนการซักผ้า รวมถึงใช้เพื่อฆ่าเชื้อโรคและปรับสภาพน้ำในระบบน้ำระบายความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศและกระบวนการผลิต

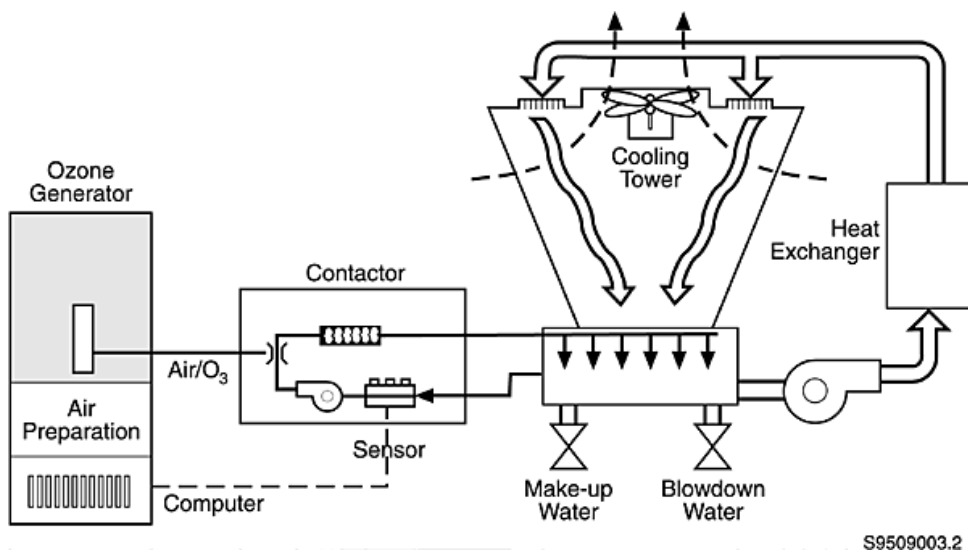
2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

ไอโซนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการบำบัดและปรับสภาพน้ำ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อโรคหรือปรับสภาพน้ำ และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ดังต่อไปนี้

- การใช้ไอโซนในระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อฆ่าเชื้อโรคและปรับสภาพน้ำซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนและตะกอนในระบบแทนการใช้สารเคมีในการปรับสภาพน้ำ ระบบไอโซนเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อโรคที่อยู่ในน้ำ ทำให้ลดการใช้สารเคมี และความจำเป็นในการโบลด์าวน์เพื่อรักษาคุณภาพน้ำของระบบหอระบายความร้อน และที่สำคัญช่วยลดการเกิดตะกอนทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของหอระบายความร้อน ส่งผลให้สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่อยู่ตลอดเวลา ทำให้การใช้พลังงานของระบบการทำความเย็นลดลง

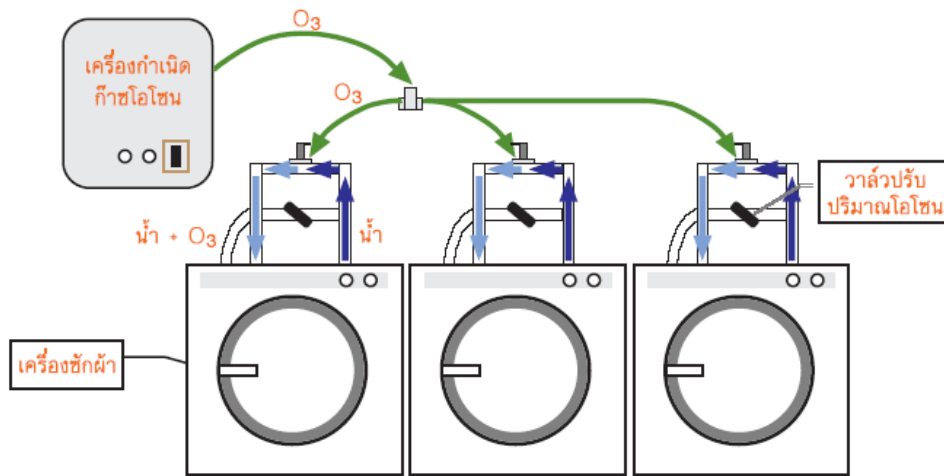


รูปที่ 2-1: แสดงการใช้สารเคมีและการโบลด์าวน์ในระบบน้ำระบายความร้อนสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น (1)



รูปที่ 2-2: แสดงการใช้ไอโซนในระบบน้ำระบายความร้อนสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น (1)

- การใช้โอโซนในกระบวนการซักผ้า ระบบโอโซนสามารถติดตั้งกับระบบเครื่องซักผ้าทดแทนการใช้น้ำร้อนและลดการใช้ผงซักฟอก ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำ ผงซักฟอก สารเคมีและพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนในระบบลงได้



รูปที่ 2-3: แสดงการใช้โอโซนในระบบเครื่องซักผ้า⁽⁴⁾

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

การใช้โอโซนในการบำบัดและปรับสภาพน้ำ มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานดังนี้

- กรณีการใช้โอโซนในระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น

จากข้อมูลการติดตั้งใช้งานระบบโอโซนกับระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นในประเทศสหรัฐอเมริกา⁽¹⁾ การใช้โอโซนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มขึ้นประมาณ 10%-20% ช่วยลดปริมาณการใช้สารเคมี ลดปริมาณการใช้น้ำ และการโบลว์ดาวน์น้ำทิ้ง ทั้งนี้ได้มีการสรุปแสดงผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการติดตั้งโอโซนกับระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นกับโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ไว้ดังนี้

รายละเอียดค่าใช้จ่าย	การปรับสภาพด้วยเคมี	การปรับสภาพด้วยโอโซน	ผลประหยัด
ค่าไฟฟ้าของระบบปรับสภาพ	\$0	\$2,592	-\$2,592 (-100%)
ค่าสารเคมี	\$18,613	\$0	\$18,613 (100%)
ค่าแรงงาน	\$9,370	\$2,808	\$6,562 (70%)
ค่าใช้จ่ายจากการโบลว์ดาวน์	\$45,360	\$4,536	\$40,824 (90%)
ค่าก๊าซคลอรีน	\$6,120	\$0	\$6,120 (100%)
ค่าไฟฟ้าของระบบรวม	\$118,715	\$47,479	\$71,236 (60%)
รวมค่าใช้จ่ายต่อปี	\$198,168	\$57,415	\$140,753 (71%)

- กรณีการใช้โอโซนในระบบซักผ้า

จากข้อมูลการติดตั้งระบบโอโซนในระบบเครื่องซักผ้าขนาดใหญ่ในต่างประเทศ⁽²⁾⁽³⁾ และกรณีศึกษาในประเทศไทย⁽⁴⁾⁽⁵⁾ การใช้โอโซนสามารถให้ผลที่ชัดเจนในการลดขั้นตอนการซัก ปริมาณการใช้น้ำร้อน ปริมาณการใช้สารเคมีและผงซักฟอก ทำให้ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตน้ำร้อนในการกระบวนการซักได้ประมาณ 80% ลดปริมาณการใช้น้ำได้ประมาณ 5%-20% และลดปริมาณสารเคมีสำหรับซักล้างได้ประมาณ 5%-30% นอกจากนี้การซักผ้าที่ใช้น้ำอุณหภูมิต่ำลงยังส่งผลต่อคุณภาพของผ้าที่ซักด้วย

จากข้อมูลการวิจัยการใช้ระบบไอโซนกับระบบเครื่องซักผ้าขนาดใหญ่กับโรงแรมแห่งหนึ่งในประเทศไทย⁽³⁾ ได้แสดงผลประหยัดไว้ดังนี้

ตารางที่ 3-1: แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบขั้นตอนการซักผ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบไอโซน (3)

ขั้นตอน	ก่อนติดตั้งระบบไอโซน	หลังติดตั้งระบบไอโซน
1	ซักล้างน้ำเปล่า (3 นาที)	-
2	ซักโดยใช้ผงซักฟอกและน้ำร้อน (20 นาที)	ซักโดยใช้ผงซักฟอกและน้ำไอโซน (15 นาที)
3	ซักล้างน้ำเปล่า (5 นาที)	ซักล้างน้ำไอโซน (3 นาที)
4	ซักล้างน้ำเปล่า (5 นาที)	ซักล้างน้ำไอโซน (3 นาที)
5	ซักล้างน้ำเปล่า (5 นาที)	-

ตารางที่ 3-2: แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลประหยัดในการติดตั้งระบบไอโซน (3)

พลังงานที่ประหยัดได้	ค่าใช้จ่ายก่อนติดตั้ง (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายหลังติดตั้ง (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (บาท/ปี)	ผลการประหยัด (%)
เคมีภัณฑ์	698,979	412,807	286,172	40.94
ค่าไฟฟ้า	471,061	229,948	241,113	51.18
ค่าก๊าซ LPG สำหรับทำน้ำร้อน	166,688	-	166,688	100
ค่าน้ำ	76,851	63,718	13,133	17.09
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	1,413,579	706,474	707,105	50.03

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีการบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยไอโซนเหมาะสำหรับการติดตั้งใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมหรืออาคารที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำเพื่อใช้ทดแทนระบบปรับสภาพน้ำด้วยสารเคมี และเหมาะกับการติดตั้งกับกระบวนการซักล้างของโรงงานหรืออาคารขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ เพื่อทดแทนการใช้ผงซักฟอก สารเคมีและพลังงานความร้อน

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- อุตสาหกรรมอาหาร เช่น โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม
- อุตสาหกรรมสิ่งทอ ในกระบวนการซักฟอกย้อม
- โรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ หรือระบบทำความเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ
- อาคารโรงแรมและโรงพยาบาลขนาดใหญ่ ที่มีกระบวนการซักผ้า
- ฯลฯ

6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของระบบการบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยไอโซนจะขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของการติดตั้งใช้งาน โดยค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบไอโซนสำหรับการปรับสภาพน้ำระบายความร้อน⁽¹⁾ จะอยู่ในช่วงประมาณ 850,000 – 2,500,000 บาท (\$25,000 - \$70,000) สำหรับหอระบายความร้อนขนาด 1,000 ตัน หรือเฉลี่ยประมาณ 1,250 บาท (\$36) ต่อตัน สำหรับราคาของระบบไอโซนตามกำลังผลิตสำหรับช่วง 10 ถึง 3,700 กรัม/ชม. จะมีราคาอยู่ในช่วง 340,000 ถึง 10,200,000 บาท (\$10,000 - \$300,000)

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งใช้เทคโนโลยีการบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยไอโซนในประเทศไทย⁽¹⁾ แสดงผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3 – 5 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีการบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยโอโซน ช่วยควบคุมคุณภาพน้ำระบายความร้อน ทำให้ลดความถี่และปริมาณการใช้สารเคมีและน้ำเพื่อล้างทำความสะอาดระบบน้ำระบายความร้อน การใช้โอโซนในระบบซักผ้าช่วยลดปริมาณการใช้น้ำ ลดปริมาณการใช้ผงซักฟอก สารเคมี และทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการซักผ้ามีคุณภาพที่ดีขึ้นเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. ประมาณการว่ามีการนำเทคโนโลยีการบำบัดและปรับสภาพน้ำด้วยโอโซนไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการประมาณไม่เกิน 1% ของจำนวนสถานประกอบการที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้ (ประมาณ 11 แห่งจาก 2,972 แห่ง)

โดยเมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคารที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 450 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549⁽⁵⁾ และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 1,441 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา⁽¹⁾

กรณีศึกษา:	โรงงานบริษัท ชิงเดนเกิน (ประเทศไทย) จำกัด
ประเภทโรงงาน:	ผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งระบบโอโซน เพื่อปรับสภาพน้ำในระบบน้ำระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น
เงินลงทุน:	410,250 บาท (ระบบโอโซนขนาดกำลังผลิตก๊าซโอโซน 20 กรัม/ชม.)
ผลประหยัดพลังงาน:	ไฟฟ้า 48,260 kWh/ปี
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	93,756 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	200,000 บาท/ปี (ค่าล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์)
ระยะเวลาดำเนินการ:	1.4 ปี

กรณีศึกษา:	โรงแรมโซฟีเทล เซ็นทรัล หัวหิน
ประเภทอาคาร:	โรงแรมขนาดใหญ่
การใช้เทคโนโลยี:	ติดตั้งติดตั้งระบบผลิตก๊าซโอโซนเพื่อทำงานร่วมกับเครื่องซักผ้าเดิมจำนวน 6 เครื่อง ของโรงแรม
เงินลงทุน:	1,800,000 บาท (ระบบโอโซนสำหรับเครื่องซักผ้า 6 ชุดขนาดซักผ้ารวม 387 ปอนด์)
ผลประหยัดพลังงาน:	ไฟฟ้า 31,965 kWh/ปี, LPG 13,671 kg/ปี
ค่าพลังงานที่ประหยัดได้:	270,300 บาท/ปี
ค่าใช้จ่ายอื่นที่ประหยัดได้:	347,000 บาท/ปี
ระยะเวลาดำเนินการ:	2.9 ปี

11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) Federal Technology Alert: Ozone Treatment for Cooling Towers, The New Technology Demonstration Program, U.S. Department Of Energy, 1998.
- (2) Ozone in Laundry: Measurable Economic Benefits, American Laundry News, July 2007.
- (3) จันทนา กุญชรรัตน์, ไพรวัดย์ เชียงหลิว, การใช้เทคโนโลยีระบบโอโซนเพื่อการประหยัดพลังงานในเครื่องซักผ้าขนาดใหญ่ (Ozone for Energy Saving in Laundry System), การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548
- (4) กรณีศึกษา 029 การทำความสะอาดและปรับสภาพน้ำโดยใช้โอโซน (Ozone for Water Treatment), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547
- (5) รายงานพลังงานของประเทศไทยปี 2549, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

เทคโนโลยีระบบปรับอากาศแบบ VRF (VRV)

แนวคิดและหลักการทำงาน

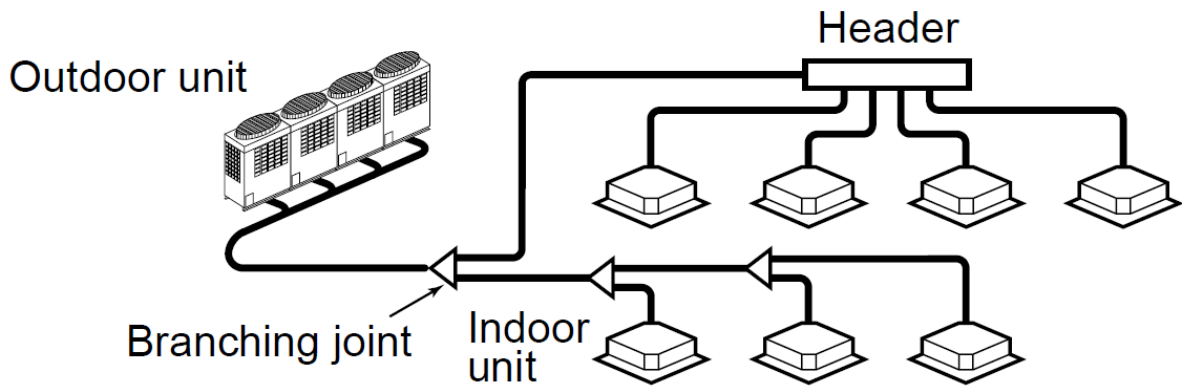


ภาพแสดงตัวอย่างระบบ VRF (VARIABLE REFRIGERANT VOLUME)

ระบบปรับอากาศแบบ VRF (VARIABLE REFRIGERANT FLOW SYSTEM) ได้ถูกออกแบบขึ้นในประเทศญี่ปุ่นเมื่อ 20 กว่าปีที่ผ่าน มาและได้ขยายออกมาสู่ประเทศต่างๆ ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรป และประเทศอื่นๆ ทั่วโลก ในประเทศญี่ปุ่นเองมีการใช้ ระบบ VRF ประมาณ 50% ของอาคารพาณิชย์ขนาดกลาง (พื้นที่ไม่เกิน 6,500 ตารางเมตร) และประมาณ 33% ของอาคารพาณิชย์ ขนาดใหญ่ (พื้นที่มากกว่า 6,500 ตารางเมตร) ถึงแม้ว่าระบบ VRF ในบางประเทศเช่นประเทศสหรัฐอเมริกายังเพิ่มเริ่มต้นมีการใช้ ระบบนี้ไม่กี่ปีที่ผ่านมาแต่ก็มีแนวโน้มเติบโตและมีการใช้มากขึ้นบริษัทผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศจากประเทศต่างๆ ก็มีการพัฒนาระบบ VRF ภายใต้ชื่อทางการค้าของตนเองออกมา

บริษัทผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศ	ชื่อทางการค้า
DAIKIN	VRV
HITACHI	SET FREE
SAMSUNG	DVM
MIDEA	MDV
TRANE	TVR
LG	MULTI V
YORK (JOHNSON AND CONTROL)	VRF
CARRIER (TOSHIBA)	VRF
FUJITSU	VRF

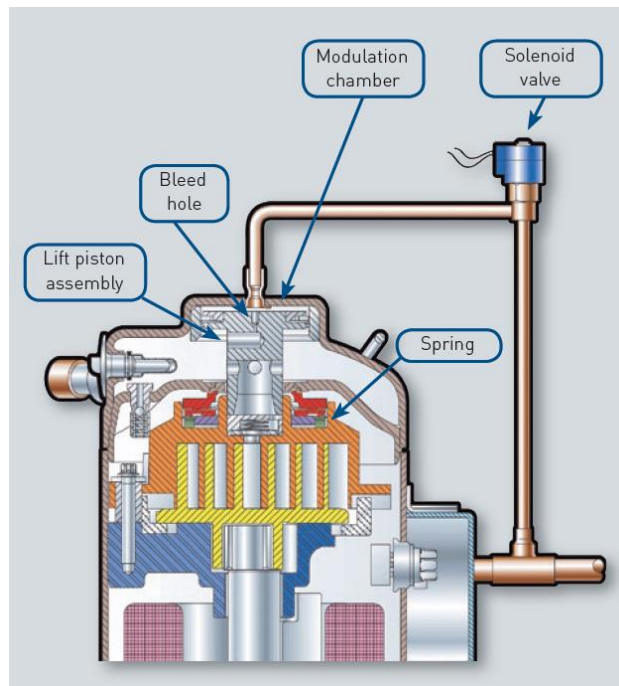
คนที่ทำงานกับเครื่องปรับอากาศโดยส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้ ผู้ออกแบบ ผู้ติดตั้ง ผู้ดูแลรักษา ค่อนข้างคุ้นเคยระบบแบบแยกส่วน SPLIT TYPE หรือไม่กี่ระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ หรือ CENTRAL WATER CHILLER สำหรับความหมายของระบบ VRF อาจ พิจารณาได้ว่าเป็นแบบ SPLIT TYPE ที่มี EVAPORATOR หรือ FAN COIL UNIT หลายตัว ต่ออยู่กับ CONDENSING UNIT ตัวเดียว



ภาพแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง CONDENSING UNIT และ EVAPORATORS

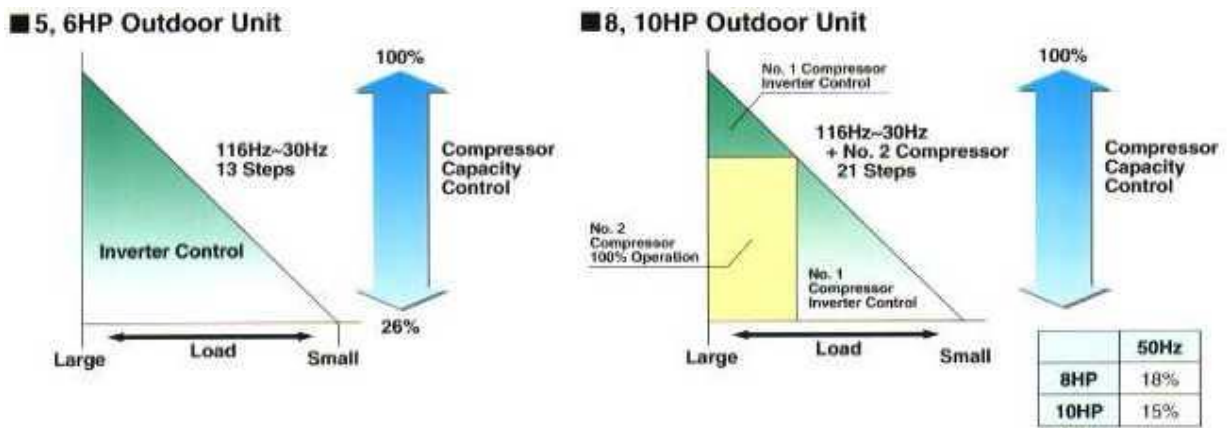
ถ้าเปรียบเทียบระหว่าง ระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ กับ ระบบ VRF จะพบว่าระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ จะต้องอาศัยทั้งระบบท่อน้ำและระบบท่อลม ในการหมุนเวียนถ่ายเทความร้อนออกจากอาคาร ในขณะที่ VRF จะใช้การอาศัยระบบน้ำยาโดยตรง ในการหมุนเวียนถ่ายเทความร้อนออกจากอาคาร แต่ทั้งนี้ระบบเองก็จะต้องใช้ระบบท่อน้ำยาและการควบคุมที่ซับซ้อนกว่า

คำว่า VARIABLE REFRIGERANT VOLUME หมายถึงการที่ระบบจะต้องสามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยา ไปยัง EVAPORATOR แต่ละตัวได้อย่างอิสระ ซึ่งจะทำให้ระบบปรับอากาศ ทำงานได้หลายสภาวะในขณะเดียวกัน ขึ้นกับพื้นที่และการใช้งาน ตัวอย่างเช่นพื้นที่ที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่แตกต่างกัน หรือพื้นที่สองโซนทำงานพร้อมกัน โดยโซนหนึ่งต้องการความร้อน อีกโซนหนึ่งต้องการความเย็น อีกทั้งยังสามารถนำความร้อนและความเย็นมาแลกเปลี่ยนกันได้อีกด้วย การควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยาโดยการใช้ VARIABLE SPEED COMPRESSOR เป็นหัวใจสำคัญของการทำงานของระบบ VRF



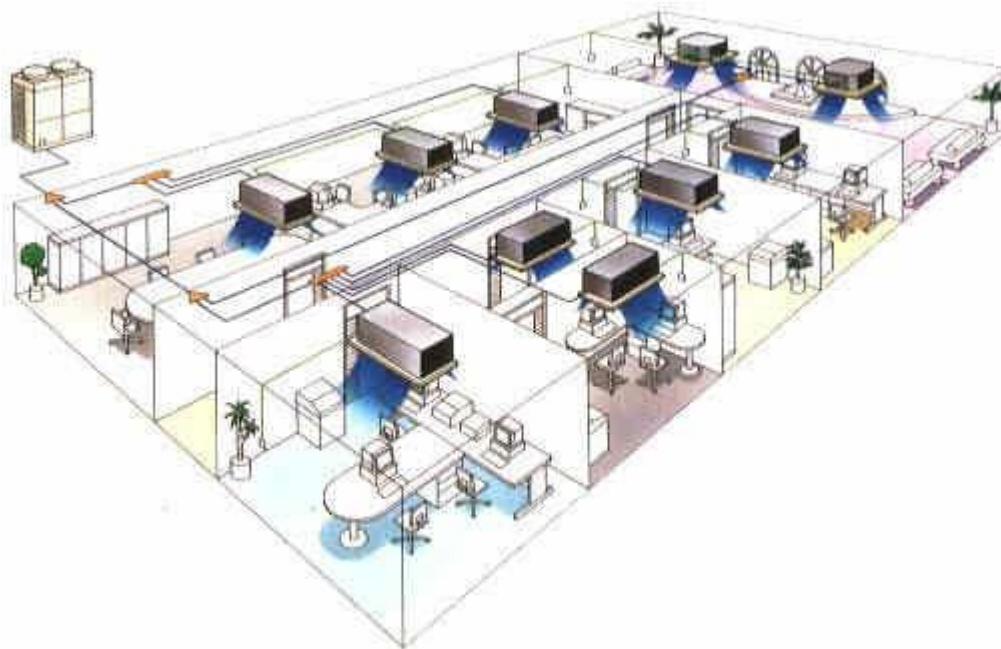
ภาพแสดงตัวอย่างเทคโนโลยี VARIABLE SPEED COMPRESSOR

การปรับเปลี่ยนระดับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ระบบ VRF ซึ่งเป็นระบบหลักของเครื่องระบบนี้ ทำงานผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า VARIABLE SPEED COMPRESSOR ทำให้ คอมเพรสเซอร์ ของระบบนี้ สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานเป็นขั้นๆ ตามภาระการทำความเย็นที่ต้องการ โดยตัวอย่างของผู้ผลิตรายหนึ่ง เริ่มต้นจากรุ่นเล็กซึ่งมีขนาด 6 แรงม้า (ประมาณ 5 ตัน ความเย็น) สามารถควบคุม การทำงานขึ้นลงได้ 13 ขั้น ส่วนในรุ่นใหญ่ขนาด 10 แรงม้า (ประมาณ 9 ตันความเย็น) สามารถ ควบคุมรอบ การทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ 21 ขั้น



ภาพแสดงตัวอย่างการปรับเปลี่ยนระดับการทำงานของคอมเพรสเซอร์

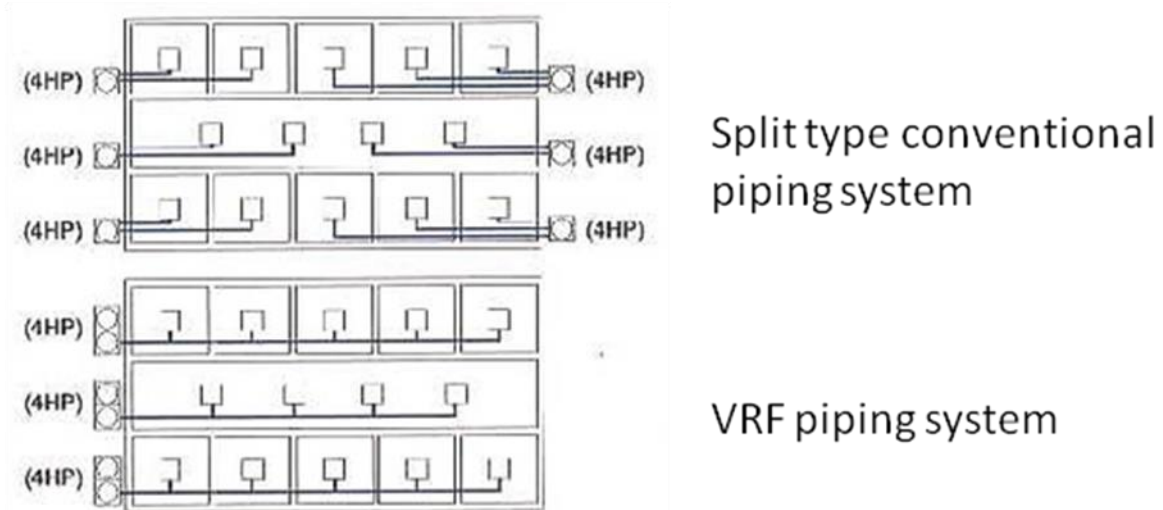
อุปกรณ์ท่อแบ่งจ่ายน้ำยา (REFRIGERANT PIPING) เป็นอุปกรณ์เสริมที่ทำให้สามารถเดินท่อน้ำยาแบบรวมท่อหรือแยกท่อได้เหมือน การเดินระบบท่อน้ำประปา ทำให้ การติดตั้ง ท่อน้ำยาปรับอากาศ สะดวก ประหยัด และยืดหยุ่น กว่าเดินท่อน้ำยาในระบบเดิม ทำให้ระบบนี้ สามารถติดตั้ง FCU หลายชุด กับ CDU เพียงตัวเดียวได้



ภาพแสดงการเดินท่อน้ำยาระหว่าง FCU และ CDU



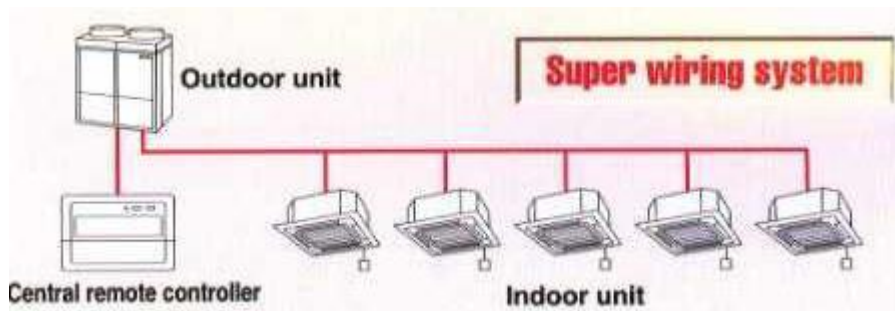
ภาพแสดงอุปกรณ์ท่อแบ่งจ่ายน้ำยา (REFRIGERANT PIPING)



ภาพแสดงการเดินท่อน้ำยา ระหว่าง CONVENTIONAL SPLIT TYPE และ VRF SYSTEM

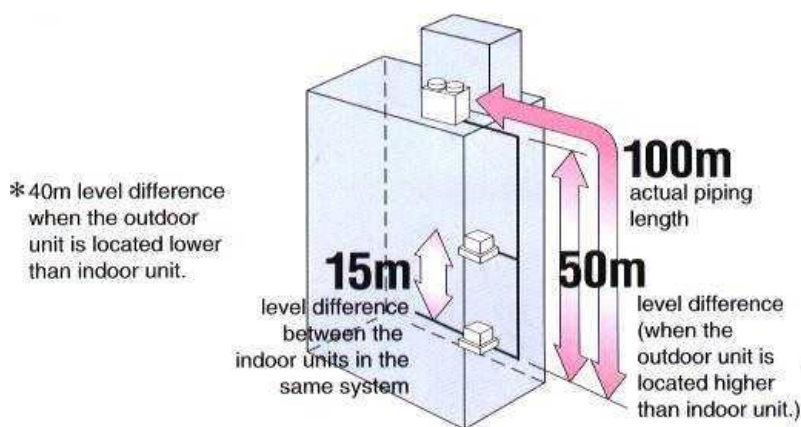
ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ FCU หรือ INDOOR UNITS หลายชนิด ได้ตามความเหมาะสม เช่น แบบฝังฝ้าเพดาน (CEILING MOUNTED CASSETTE), แบบซ่อนในฝ้าเพดาน (CEILING MOUNTED DUCT TYPE และ CEILING MOUNTED BUILT-IN TYPE), แบบแขวนใต้ฝ้า (CEILING SUSPENDED TYPE), แบบติดผนัง (WALL MOUNTED TYPE), แบบตั้งพื้นภายนอก (FLOOR STAND TYPE), แบบตั้งพื้นชนิดซ่อน (CONCEALED FLOOR STAND TYPE) เพื่อให้เกิด ความ หลากหลายในการใช้งาน

การควบคุมของระบบ VRF จะใช้ WIRING SYSTEM ลักษณะจะเป็นสายสัญญาณที่ต่อกันในรูปแบบอนุกรมจากเครื่อง FCU เข้าหากันแล้วต่อเข้าเครื่อง CDU การต่ออุปกรณ์ควบคุมสามารถต่อกับ CDU เพียงจุดเดียวจะสามารถควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดได้ (รายละเอียดเกี่ยวกับระบบควบคุมการทำงาน มีข้อปลีกย่อย อีกรวม สามารถ ศึกษาได้จากเอกสารของผู้ผลิตแต่ละราย) ระบบควบคุมการทำงานและแจ้งความผิดพลาดในการทำงานของเครื่องตั้งแต่การตรวจสอบความผิดพลาดในการต่อเชื่อมสายเคเบิลความผิดพลาดในการเดินท่อน้ำยาปรับอากาศ และในบางผลิตภัณฑ์สามารถเชื่อมต่อระบบควบคุมนี้ เข้ากับระบบบริหารอาคาร (BMS) ส่วนกลางได้ด้วย



ภาพแสดงระบบ WIRING ของการควบคุมระหว่าง FCU และ CDU

การแก้ปัญหาเรื่องระบบน้ำมันหล่อลื่นระบบ VRF มีการพัฒนาและแก้ไข้ปัญหาเรื่องระบบน้ำมันหล่อลื่นในคอมเพรสเซอร์ ทำให้สามารถวางท่อน้ำยาทำความเย็นได้ไกลกว่าการวางท่อน้ำยาในระบบเดิมมาก ดังในภาพเป็นตัวอย่างของผลิตภัณฑ์หนึ่งซึ่งระยะห่างของระหว่าง CDU (OUTDOOR UNIT) กับ FCU (INDOOR UNIT) ในระบบแบบนี้ มีระยะทางสูงสุดเท่ากับ 100 เมตร ระดับแตกต่างระหว่าง OUTDOOR UNIT กับ INDOOR UNIT เท่ากับ 50 เมตร ระดับแตกต่างของ INDOOR UNIT แต่ละชุดในระบบเดียวกันเท่ากับ 15 เมตร (ทั้งนี้ในแต่ละผลิตภัณฑ์อาจมีข้อจำกัดในส่วนนี้แตกต่างกัน ซึ่งผู้ออกแบบและผู้ใช้งานจะต้องศึกษาข้อมูลจากผู้ผลิตแต่ละราย)



ภาพแสดงตัวอย่าง ระยะห่างระหว่าง CDU และ FCU

ข้อเปรียบเทียบระบบปรับอากาศ

ลักษณะการเปรียบเทียบ	ระบบ SPLIT TYPE แบบ CONSTANT REFRIGERANT FLOW SYSTEM	ระบบ WATER COOLED CHILLER SYSTEM	ระบบ VRF VARIABLE REFRIGERANT FLOW SYSTEM
อุปกรณ์และการใช้พื้นที่	ต้องมีพื้นที่วาง FCU โดยสามารถกระจายไปเป็นจุดย่อยหรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่อง FCU ก็ได้ ต้องมีพื้นที่วาง CDU ตำแหน่งจะต้องอยู่ใกล้ FCU	ต้องมีพื้นที่วาง FCU โดยสามารถกระจายไปเป็นจุดย่อยหรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่อง FCU ก็ได้ ต้องมีพื้นที่วาง CHILLER COOLING TOWER และปั๊มน้ำส่วนกลาง	ต้องมีพื้นที่วาง FCU โดยสามารถกระจายไปเป็นจุดย่อยหรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่อง FCU ก็ได้ พื้นที่วาง CDU รวมเป็นจุดใหญ่จุดเดียวหรือแบ่งเป็นโซน
การวางอุปกรณ์แต่ละส่วน	ระยะห่างของ FCU กับ CDU ได้ประมาณ 15 เมตร	ระยะห่างระหว่าง FCU, CHILLER, COOLING TOWER อยู่ห่างกันได้มาก เนื่องจากใช้ระบบปั๊มน้ำและต้องใช้ระบบท่อน้ำเย็นในการทำงาน ซึ่งระบบท่อน้ำเย็นมักมีขนาดใหญ่ และต้องการพื้นที่ติดตั้งมากในอาคาร	ระยะห่างระหว่าง FCU, CDU อยู่ห่างกันได้มาก เนื่องจากใช้ระบบ VARIABLE SPEED COMPRESSOR ไม่ต้องใช้ระบบท่อน้ำเย็นในการทำงาน ส่วนระบบท่อน้ำยาที่ต้องเดินในอาคารมีขนาดเล็ก และต้องการพื้นที่ติดตั้งน้อยกว่าระบบท่อน้ำ
การถ่ายเทความร้อน	การถ่ายเทความร้อน เกิดขึ้นในชั้นตอนเดียวระหว่างน้ำยาทำความเย็นและอากาศ	การถ่ายเทความร้อน เกิดขึ้นสองขั้นตอนประกอบไปด้วย 1)ชั้นตอนระหว่างน้ำยาทำความเย็นและน้ำเย็น 2) ชั้นตอนระหว่างน้ำเย็นและอากาศ ส่งผลต่อความสูญเสียของพลังงาน	การถ่ายเทความร้อน เกิดขึ้นในชั้นตอนเดียวระหว่างน้ำยาทำความเย็นและอากาศ
ผลกระทบต่อรูปแบบ	ต้องมีสถานที่เปิดโล่งหรือมี	ไม่จำเป็นต้องมีสถานที่เปิด	ต้องมีสถานที่เปิดโล่งหรือมี

<p>สถาปัตยกรรมภายนอก</p>	<p>เกล็ดระบายนอากาศ ทุกตำแหน่งของการติดตั้ง CDU ซึ่งกระจายไปทั่วอาคาร</p>	<p>โล่งหรือมีเกล็ดระบายนอากาศ ทุกตำแหน่งของการติดตั้ง CDU ซึ่งกระจายไปทั่วอาคาร แต่จำเป็นต้องมีห้องเครื่องสำหรับ CHILLER, ระบบป้อนน้ำ, ที่ตั้งของ COOLING TOWER</p>	<p>เกล็ดระบายนอากาศ ทุกตำแหน่งของการติดตั้ง CDU ซึ่งกระจายไปทั่วอาคารแต่จำนวนของ CDU จะน้อยกว่าในกรณีของ ระบบ SPLIT TYPE แบบ CONSTANT REFRIGERANT FLOW SYSTEM อยู่มาก</p>
<p>การทำงาน PART LOAD ของอุปกรณ์ทำความเย็น</p>	<p>การทำงานของ CDU เป็นแบบ ON/OFF CONTROL ไม่สามารถทำงานแบบขั้นได้</p> <p>แบ่งส่วนการทำงานโดยกระจาย FCU ไปในพื้นที่ที่ต้องการ</p> <p>เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีการเปิดปิดระบบปรับอากาศไม่พร้อมกันและการควบคุมอุณหภูมิไม่เท่ากันในแต่ละส่วน</p>	<p>CHILLER ในระบบ CONSTANT WATER FLOW ทำงาน PART LOAD ไม่ได้ ต้องเปิดหรือปิดอย่างเดียว ในขณะที่ CHILLER ในระบบ VARIABLE WATER FLOW ทำงาน PART LOAD ได้ แต่ได้น้อยขึ้น</p> <p>แบ่งส่วนการทำงานโดยกระจาย FCU หรือ AHU ไปในพื้นที่ที่ต้องการ</p> <p>เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีการเปิดปิดระบบปรับอากาศพร้อมกัน</p>	<p>การทำงานของ CDU เป็นแบบ VARIABLE SPEED CONTROL สามารถทำงานแบบขั้นได้</p> <p>แบ่งส่วนการทำงานโดยกระจาย FCU ไปในพื้นที่ที่ต้องการ</p> <p>เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีการเปิดปิดระบบปรับอากาศไม่พร้อมกันและการควบคุมอุณหภูมิไม่เท่ากันในแต่ละส่วน</p>
<p>การแบ่งช่วงการติดตั้งระบบ</p>	<p>สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆ ได้ตามการเปิดใช้งานของอาคาร</p>	<p>ต้องติดตั้งระบบทั้งหมดในครั้งเดียว</p>	<p>สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆ ได้ตามการเปิดใช้งานของอาคาร</p>
<p>การควบคุมอุณหภูมิในส่วนพื้นที่ปรับอากาศ</p>	<p>ตัดการทำงานของ CDU ถ้าอุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการและจะเริ่มทำงานอีกครั้งเมื่อเวลาผ่านไปไม่น้อยกว่า 3 นาที</p> <p>การทำงานของ CDU เป็นแบบรอบการหมุนคงที่</p>	<p>ต้องใช้ระบบ VAV (VARIABLE AIR VOLUME) เข้ามาช่วยในการควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้าพื้นที่ใช้งาน</p>	<p>ทำงานร่วมกันระหว่าง FCU และ CDU สามารถควบคุมอุณหภูมิในแต่ละพื้นที่ได้แตกต่างกัน</p> <p>การทำงานของ CDU เป็นแบบ VARIABLE SPEED COMPRESSOR</p>
<p>การใช้งานและการบำรุงรักษา</p>	<p>มีจำนวนอุปกรณ์ที่ต้องดูแลรักษาน้อย</p> <p>สามารถใช้ช่างเครื่องปรับอากาศทั่วไปในการซ่อมบำรุง</p>	<p>มีจำนวนอุปกรณ์ที่ต้องดูแลรักษามาก</p> <p>และต้องใช้ช่างเครื่องปรับอากาศที่มีความรู้เฉพาะในการซ่อมบำรุง</p>	<p>มีจำนวนอุปกรณ์ที่ต้องดูแลรักษาน้อย</p> <p>แต่ยังคงต้องใช้ช่างเครื่องปรับอากาศที่มีความรู้เฉพาะในการซ่อมบำรุง</p>

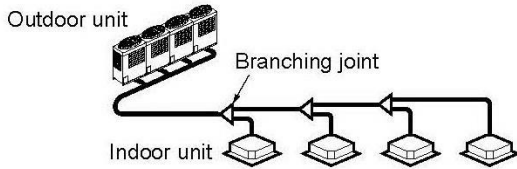
ประโยชน์ของระบบ VRF

การติดตั้ง : ระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ หรือ CENTRAL WATER CHILLER มีการใช้ WATER CHILLER ซึ่งเป็นอุปกรณ์หนัก และต้องการการยกด้วยปั้นจั่น ส่วนระบบ VRF เป็นอุปกรณ์ที่มีน้ำหนักเบามากกว่า ไม่ว่าจะเป็น CONDENSING UNIT หรือ EVAPORATOR การขนย้ายแต่ละ UNIT ทำได้ง่ายกว่า ในกรณีที่ต้องระบบที่มี CAPACITY มาก เช่นหลายร้อยตันความเย็น ก็ สามารถทำได้โดยใช้ UNIT ย่อยมาทำงานต่อเนื่องกัน แต่ละระบบเป็นระบบน้ำยาที่สามารถควบคุมได้โดยอิสระ แต่ใช้ระบบ ควบคุมร่วมกัน ซึ่งมีประโยชน์ในกรณีที่อาคารมีภาระความร้อนไม่เต็มพิกัด (PART LOAD) หรือมีการใช้อาคารในบางพื้นที่ไม่ทั้งหมด การปรับน้ำยาสามารถทำให้ระบบมีความเหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ได้ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับระบบ VAV (VARIABLE AIR VOLUME SYSTEM) ที่ทำงานร่วมกับระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ และยังคงใช้แนวคิดในการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านระบบท่อน้ำและระบบ ท่อลม การที่ระบบ VRF มีน้ำหนักเบา ทำให้โครงสร้างที่ต้องรองรับ มีขนาดเล็กลง ไม่ต้องมีการใช้ท่อลมสำหรับการจ่ายลมเย็น แต่ ยังคงมีการใช้ท่อลมสำหรับการระบายอากาศระบบ VRF มีความเหมาะสมสำหรับการปรับปรุง หรือติดตั้งเครื่องปรับอากาศสำหรับ อาคารเก่าหรืออาคารที่ต้องมีการอนุรักษ์เพราะทำให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างเดิมน้อยกว่าระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ ซึ่งต้อง มีพื้นที่ในการวาง WATER CHILLER, พื้นที่ในการวาง AHU, และการเดินท่อลม อย่างไรก็ตามเนื่องจากการที่ต้องใช้การเดินท่อน้ำยา จำนวนมากในอาคาร การเดินท่อดังกล่าวต้องการช่างติดตั้งที่มีทักษะการทำงานที่สูง เพื่อให้ได้งานติดตั้งที่มีคุณภาพและไม่มีปัญหา ในการทำงานต่างๆ เช่น การรั่ว เกิดขึ้น

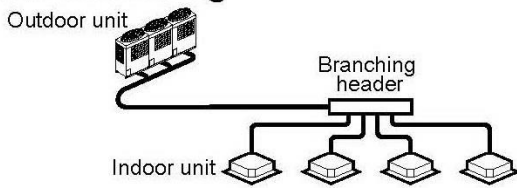
◆ Shortest route design by free branching

Combination of line and header branching is highly flexible. This follows for the shortest design route possible, thereby saving on installation time and cost. Line/header branching after header branching is only available with TOSHIBA Super MMS.

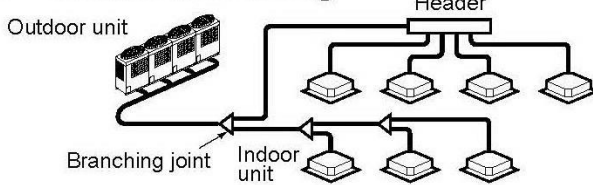
Line branching



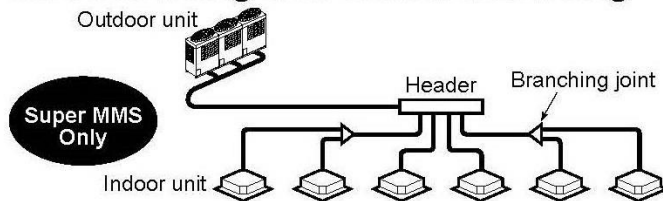
Header branching



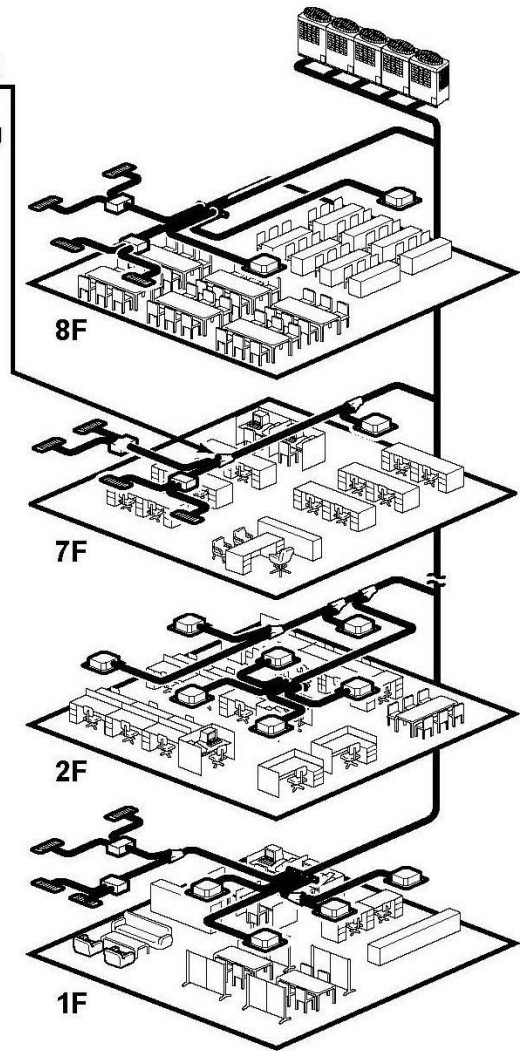
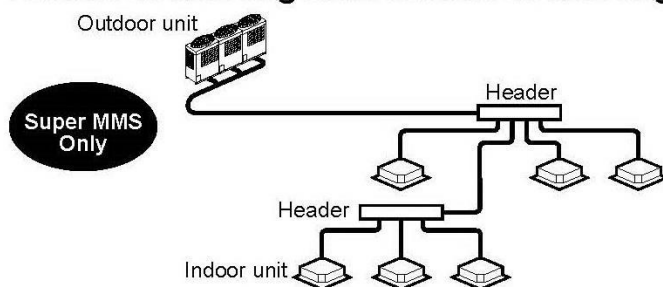
Line + Header branching



Line branching after header branching

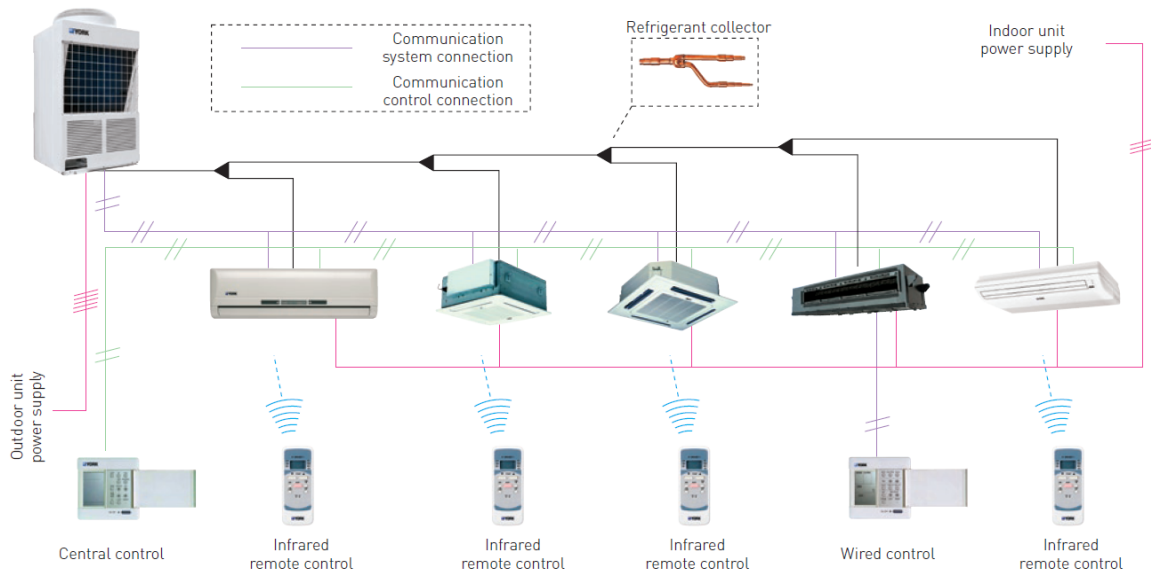


Header branching after header branching



ภาพแสดงตัวอย่างการติดตั้งระบบ VRF

ความยืดหยุ่นในการออกแบบ : CONDENSING UNIT 1 ตัวสามารถทำงานได้กับ EVAPORATOR ได้หลายตัว (ข้อมูลเรื่องจำนวน สอบถามได้จากบริษัทผู้ผลิต) โดยที่ EVAPORATOR หรือ FAN COIL UNIT อาจมีได้หลายรูปแบบเช่น แบบติดผนัง แบบแขวนใต้ฝ้า แบบตั้งพื้น การเพิ่มเติมระบบสามารถทำได้ง่ายกว่าระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์

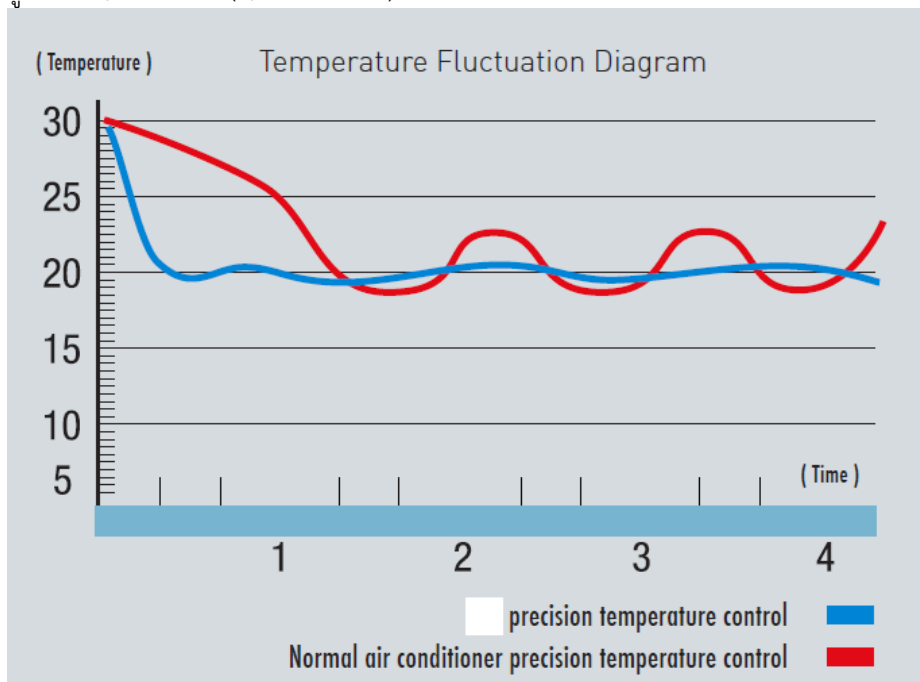


ภาพแสดงการทำงานร่วมกันระหว่าง CDU 1 UNIT กับ FCU หลาย UNIT ที่มีความหลากหลาย

การดูแลรักษาและซ่อมบำรุง

ถึงแม้ว่าระบบจะมีความซับซ้อนเรื่องการควบคุมน้ำยาแต่เป็นความซับซ้อนภายในวงจรควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น ในแง่ผู้ใช้ ผู้ติดตั้ง ผู้ดูแลรักษา ระบบ VRF จะมีลักษณะที่คล้ายกับ ระบบ SPLIT TYPE มาก ซึ่งมีความซับซ้อน อุปกรณ์ที่น้อยกว่า และการดูแลรักษาที่ประหยัดกว่า ระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ การดูแลรักษาพื้นฐานก็จะเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทั่วไป เช่นการเปลี่ยนแผ่นกรอง การทำความสะอาด COIL ความแตกต่างที่ชัดเจนคือไม่มีระบบท่อน้ำเย็น ไม่ต้องมีการทำ WATER TREATMENT ใดๆก็ตามการดูแลรักษาสำหรับระบบควบคุมและอิเล็กทรอนิกส์อาจจะต้องพึ่งพาบริษัทผู้ผลิตทั้งในแง่ SERVICE และ SPARE PART

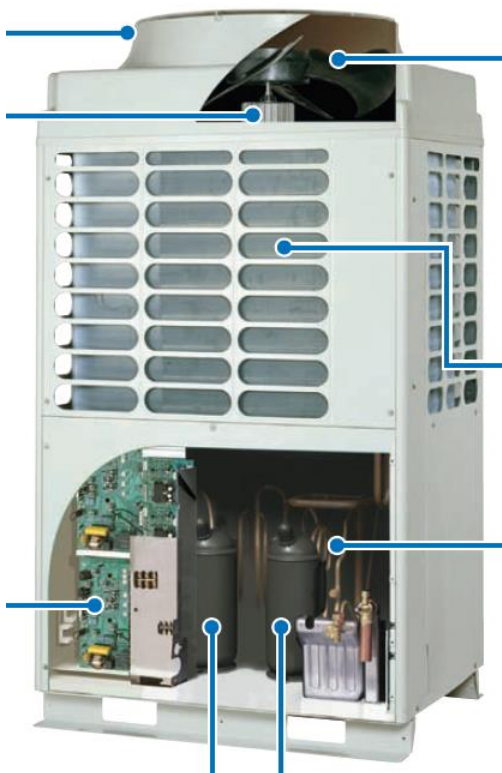
การควบคุมอุณหภูมิและความชื้น : ระบบ VRF สามารถควบคุมโซนหลายๆ โซนที่ต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นได้ เนื่องจากระบบใช้ VARIABLE SPEED COMPRESSOR ทำให้สามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยา ความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง +/- 1 DEG F (+/- 0.6 DEG C)



ข้อเปรียบเทียบการควบคุมอุณหภูมิระหว่าง VRF และ ระบบ AHU ทั่วไป

การประหยัดพลังงาน :

ด้วยพื้นที่และสภาพการณ์ที่เหมาะสม ระบบ VRF อาจมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ ที่ทำงานร่วมกับระบบท่อลม เนื่องจากการที่มีท่อลม โดยทั่วไปจะมีการรั่วของอากาศหมุนเวียนประมาณ 10-20 % ของระบบลมหมุนเวียนทั้งหมด ระบบ VRF มักจะประกอบไปด้วย 2-3 COMPRESSOR ต่อ 1 CONDENSING UNIT ทำให้เกิดผลดีเมื่อระบบต้องการการทำงานแบบ PART LOAD ซึ่งโดยทั่วไประบบปรับอากาศจะทำงานอยู่ที่ 40-80 % ของ FULL LOAD กรณีอาคารที่ต้องการทั้งความร้อนและความเย็นในเวลาเดียวกัน ระบบสามารถถ่ายโอนพลังงานระหว่างโซนได้ โดยการใช้ระบบ HEAT RECOVERY



ภาพแสดง TWIN DC COMPRESSOR

สำหรับผู้ผลิต VRF แต่ละราย จะมีแนวทางการออกแบบเป็นของตนเอง หลายรายมีการใช้ระบบท่อแบบสามทาง (LIQUID, SUCTION และ DISCHARGE) ประกอบกับวาล์วและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่ใช้ในถ่ายเทความร้อนจากน้ำยาสถานะ SUPERHEAT ไปสู่อุปกรณ์อื่นที่ต้องการความร้อน

ประสิทธิภาพของระบบ VRF ขึ้นกับพื้นที่และสภาพการณ์ที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่นอาคารหน่วยงานรัฐหลังหนึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา แบ่งพื้นที่เป็น 2 โซน มีพื้นที่ใกล้เคียงกัน โดยโซน 1 มีการติดตั้ง ระบบ ROOFTOP VAV และโซน 2 มีการติดตั้งระบบ VRF จากการทดสอบเปรียบเทียบพบว่า การใช้พลังงานของ VRF ต่ำกว่า ระบบ VAV ประมาณ 38%

การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างผู้ผลิต VRF ขนาด 200 TR ระหว่าง VRF แบบระบายความร้อนด้วยอากาศและระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ ในประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงให้เห็นค่าติดตั้งของระบบ VRF ที่ถูกกว่าระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ ประมาณ 5-20% สำหรับการทำงานในช่วงปกติสำหรับ VRF ที่ใช้น้ำยา R410A พบว่าค่าการประหยัดพลังงานของระบบ VRF ดีกว่าระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ ประมาณ 30-40% โดยเฉลี่ย ชื่อน่าสังเกตอันหนึ่งจากการทดสอบพบว่า ระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบ VRF ณ ที่สถานะมากกว่า 90% ของ FULL LOAD แต่ในช่วงเวลาทำงานจริง มากกว่า 80% ของระบบทำปรับอากาศทำงานอยู่ที่สถานะ 45-80% ของ FULL LOAD ซึ่งระบบ VRF มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ จากการเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าในช่วง PART LOAD ของระบบ VRF

การตรวจสอบการใช้พลังงานของระบบ VRF โดยการติดตั้งมิเตอร์วัดย่อยสำหรับแต่ละชุด CONDENSING UNIT สามารถทำได้โดยง่าย ทำให้สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานของแต่ละโซน แต่ละพื้นที่ได้อย่างชัดเจน มากกว่าระบบระบบผลิตน้ำเย็นแบบรวม

ศูนย์ซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบการใช้พลังงานในภาพรวมเท่านั้น ในบางลักษณะงานเช่นเป็นในอาคารที่มีพื้นที่ใช้งานร่วมกันหลายหน่วยงาน ก็สามารถทำการตรวจสอบการใช้พลังงานของแต่ละโซน แต่ละพื้นที่ได้อย่างชัดเจน

ความสามารถในการควบคุมสถานะอากาศที่หลากหลาย

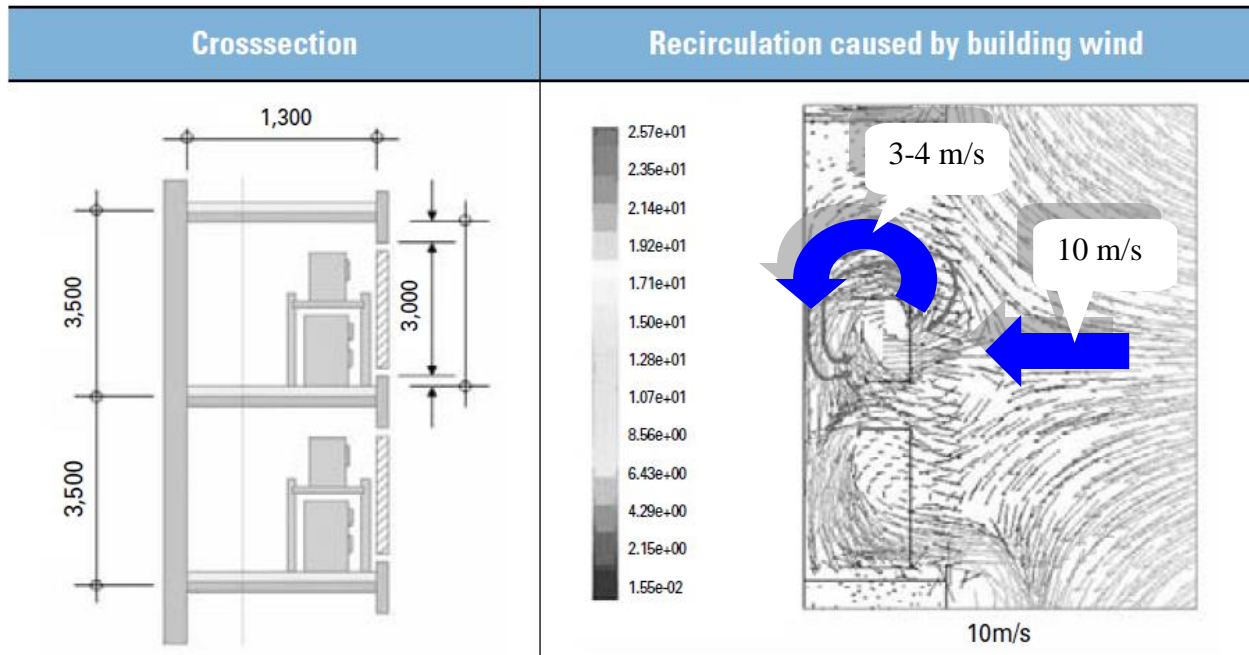
ระบบ VRF สามารถควบคุมโซนหลายๆ โซนที่ต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นได้ เนื่องจากระบบใช้ VARIABLE SPEED COMPRESSOR ทำให้สามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยาได้อย่างแม่นยำ จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารที่มีหลายลักษณะพื้นที่ใช้งานและต้องการการควบคุมที่แตกต่างกัน เช่นอาคารสำนักงาน โรงพยาบาล โรงแรม เป็นต้น



ภาพแสดงระบบ VRF ที่สามารถควบคุมโซนหลายๆ โซนที่ต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นได้

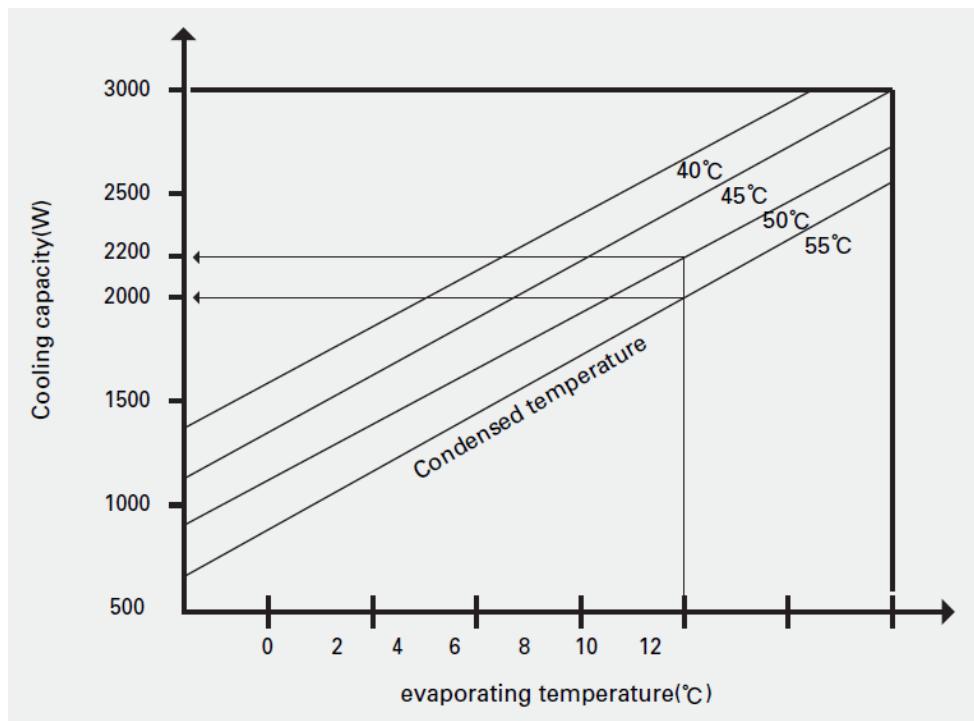
ความต้านทานต่อกระแสลมในอาคารสูง

โดยทั่วไปความเร็วในการ DISCHARGE อากาศออกจาก CONDENSING UNIT อยู่ที่ความเร็ว 3-4 M/S เมื่อติดตั้ง CONDENSING UNIT ในอาคารสูงซึ่งมีกระแสลมที่แรงทำให้การระบายความร้อนไม่สามารถทำได้อย่างที่ควรจะเป็นจากในภาพจะเป็นผลการ SIMULATION ของอากาศที่เกิดการ RECIRCULATION เนื่องจากลมแรงในอาคารสูง ส่งผลให้การระบายความร้อนของ CONDENSING UNIT เกิดปัญหา



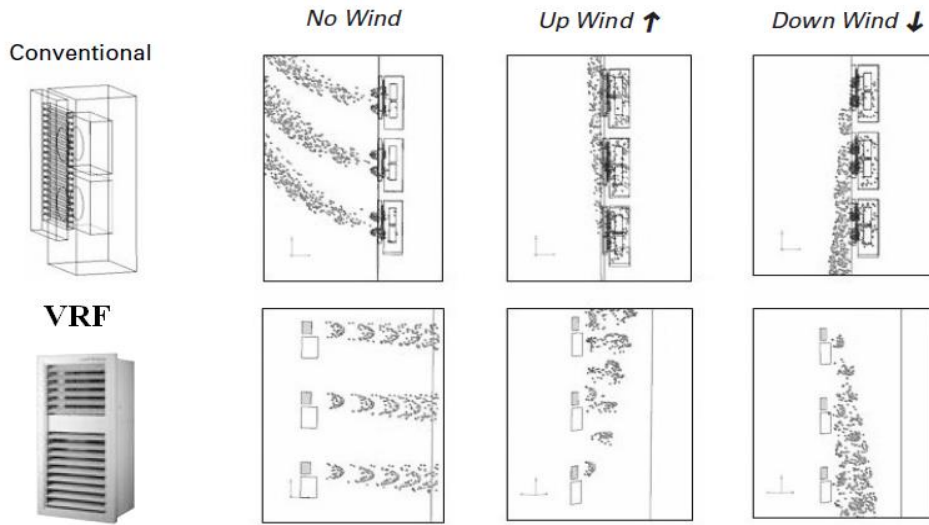
ภาพแสดงผลการ SIMULATION ของอากาศที่เกิดการ RECIRCULATION เนื่องจากลมแรงในอาคารสูง

จากกราฟในภาพแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบ CONVENTIONAL SPLIT TYPE ซึ่ง CONDENSING TEMPERATURE ส่งผลต่อ COOLING CAPACITY ถ้าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการควบแน่นของ CDU จะอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิของอากาศภายนอกเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการควบแน่นของ CDU จะอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้าอุณหภูมิในการควบแน่นเพิ่มขึ้นจาก 50 องศาเซลเซียส มาเป็น 55 องศาเซลเซียส ความสามารถในการทำความเย็น หรือ COOLING CAPACITY ก็จะลดลงประมาณ 10 % ส่งผลต่อการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น



ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของ COOLING CAPACITY เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ CONDENSING TEMPERATURE

เมื่อนำมาเปรียบเทียบระหว่างระบบ CONVENTIONAL SPLIT TYPE และระบบ VRF ไม่ว่าจะป็นสภาวะมีลมแรงไหลขึ้นบน หรือลมแรงไหลลงล่าง ระบบ VRF ทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยไม่มีผลกระทบจากลมแรงของอาคารสูง



ภาพแสดงผลการเปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงลม
ระหว่างระบบ CONVENTIONAL SPLIT TYPE และระบบ VRF

ตัวอย่างอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศ VRF



อาคาร A.C.E. DAIKIN COMPLEX

ชนิดของอาคาร: สำนักงาน, โห้รู่ม, ห้องสัมนนาและฝีกอบรม โรงงานผลิตสินค้าโฮเทค, ส่วนบริกาารซ่อมบำรุง,

โกดัง เก็บสินค้า แบบ อัตโนมัติ

ที่ตั้ง: ANG MO KIO INDUSTRIAL PARK



ตำแหน่งที่ตั้งของ CDU บริเวณดาดฟ้าชั้น 2 ของอาคารได้มีการแบ่งกลุ่มของ CDU เป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะจ่ายน้ำยาปรับอากาศให้แก่ FCU ของอาคารแต่ละชั้น



อาคาร GOLDBELL TOWER

ชนิดของอาคาร: อาคารสำนักงาน สูง: 25 ชั้น ก่อสร้างเสร็จ: 2541

จำนวน เครื่องปรับอากาศภายนอก: 160 หน่วย

จำนวนเครื่องปรับอากาศภายใน: 505 หน่วย

ชนิดของเครื่องปรับอากาศภายใน: ติดผนัง และแบบฝังฝ้าเพดาน



ผนัง ด้านข้างของอาคารส่วนหนึ่ง เป็นเกล็ดดอลุมิเนียมระบายอากาศ เป็นบริเวณที่ใช้ตั้งเครื่อง CDU โดยกระจายอยู่ใน ทุกชั้น ของอาคาร



ห้องควบคุมงานระบบของอาคาร ด้านซ้ายมือ จะเห็น แผงวงจร ควบคุม ที่ต่อจาก ระบบ ปรับอากาศ ของอาคาร แต่ละชั้น มา รวมกันที่ห้องนี้ และ ระบบนี้ จะเชื่อม เข้า เครื่องคอมพิวเตอร์กลาง เพื่อ ความสะดวก ในการควบคุมระบบ ทั้งหมด จากจุดเดียว



อาคาร ITE HQ

ชนิดของอาคาร: อาคารด้านการศึกษาด้านเทคนิค ระดับ ปวส. ปวช.

ที่ตั้ง: ฝั่งตะวันออกของเกาะสิงคโปร์ ปีที่ก่อสร้างเสร็จ: พ.ศ.2538

จำนวน เครื่องปรับอากาศภายนอก: 84 หน่วย จำนวนเครื่องปรับอากาศภายใน: 354 หน่วย

ชนิดของเครื่องปรับอากาศภายใน: แบบซ่อนในฝ้าเพดาน ติดผนัง และแบบฝังฝ้าเพดาน



ลักษณะ การวาง FCU แบบ CEILING MOUNTED CASSETTE TYPE ในห้องเรียน ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่นิยมในประเทศสิงคโปร์มากกว่า การเดินท่อลม เนื่องจากค่าแรงในการติดตั้งท่อลมมีราคาสูง ประกอบกับอุปกรณ์แบบ CEILING MOUNTED CASSETTE TYPE มีราคาไม่แพง



ตำแหน่ง CDU ของอาคารแห่งนี้ตั้งอยู่บนดาดฟ้าชั้นสองของอาคาร



โรงแรม OXFORD

ที่ตั้ง: ใจกลางเมืองสิงคโปร์ ชนิดของอาคาร: โรงแรมระดับ 3 ดาว
จำนวนชั้นของอาคาร: 11 ชั้น จำนวนห้องพัก: 135 ห้อง
จำนวน เครื่องปรับอากาศภายนอก: 20 หน่วย จำนวนเครื่องปรับอากาศภายใน: 190 หน่วย
ชนิดของเครื่องปรับอากาศภายใน: ติดผนัง และแบบฝังฝ้าเพดาน



ตำแหน่ง CDU. ของโรงแรม อยู่บริเวณดาดฟ้าชั้นที่ 12 จะสังเกตเห็นว่า สามารถวางเครื่อง อยู่ใกล้กันมาก เนื่องจากเป็นระบบลมร้อนพัดขึ้นด้านบน



JOHN HANCOCK TOWER

ที่ตั้ง: ย่านธุรกิจ ใจกลางเมืองสิงคโปร์ จำนวนชั้นของอาคาร: 25 ชั้น ปีที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ: 2535
จำนวน เครื่องปรับอากาศภายนอก: 152 หน่วย จำนวนเครื่องปรับอากาศภายใน: 348 หน่วย
ชนิดของเครื่องปรับอากาศภายใน: แบบฝังฝ้าเพดาน



ด้านข้างของอาคาร ที่มีการออกแบบผนังบางส่วนเป็นผนังเคลือบลูมิเนียมระบายอากาศ ใช้เป็นที่ตั้ง CDU สำหรับระบบปรับอากาศในแต่ละชั้น



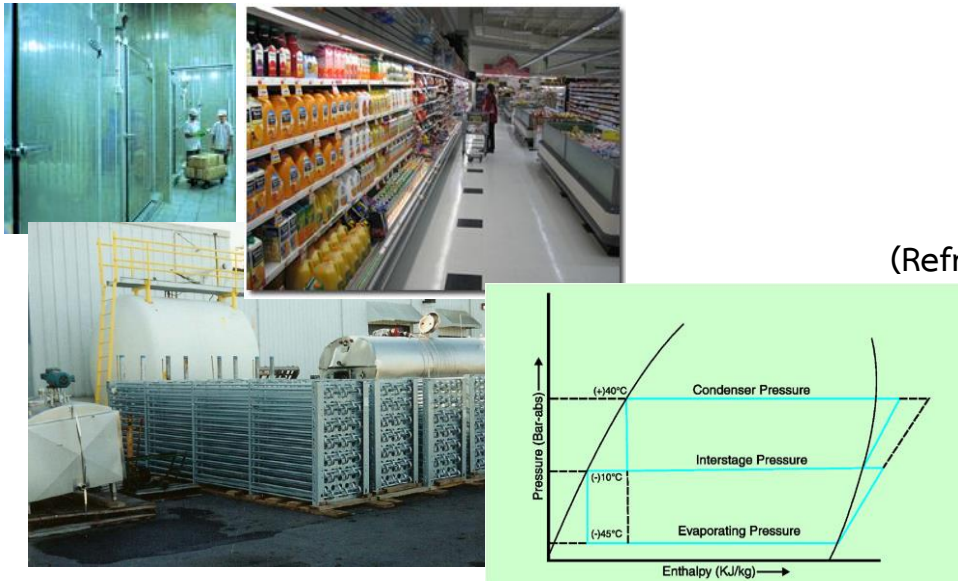
CDU บางเครื่องตั้งอยู่บริเวณที่จอดรถยนต์



ที่ตั้งของเครื่อง CDU บริเวณมุมอาคาร อุปกรณ์ วางอยู่บนพื้นตระแกรงเหล็ก

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผขพ.) สามัญ
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), คู่มือประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร “พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
- [3] วัชระ มิ่งวิฑิตกุล (2544), กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- [4] Chirarattananon, S. (2005), Building for Energy Efficiency, Asian Institute of Technology and Energy Policy and Planning Office, Bangkok, Thailand.
- [5] Kreider, J. F., Curtiss, P. S., and Rabl, A. (2002), Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., USA.
- [6] Sonntag, R. E., Borgnakke, C., and Van Wylen, G. J. (2003), Fundamentals of Thermodynamics, Sixth Edition, John Wiley & Sons, New York, USA.
- [7] Stoecker, W. F. and Jones, J. W. (1982), Refrigeration and Air Conditioning, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore.
- [8] Vangtook, P. and Chirarattananon, S. (2007), “Application of Radiant Cooling as a Passive Cooling Option in Hot Humid Climate”, Building and Environment, Vol. 42, No. 2, pp. 543-556.
- [9] <http://cipco.apogee.net/ces/library/cws.asp> (พฤศจิกายน 2551).
- [10] http://www.co2sensor.co.kr/new/eng/images/product4_01.gif (พฤศจิกายน 2551).
- [11] <http://www.corgi-direct.com/shopassets/ui/products/normal/4b4879ab350x350.jpg> (พฤศจิกายน 2551).
- [12] http://www1.eere.energy.gov/femp/new_technology/techdemo_comp1.html (พฤศจิกายน 2551).



บทที่ 5 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)

ความสำคัญ

อาคารบางแห่งบางประเภทที่มีการใช้ระบบทำความเย็น เพื่อการแช่แข็งหรือลดอุณหภูมิสินค้า จำเป็นต้องใช้พลังงานในปริมาณมหาศาล หากสามารถควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพได้แล้ว การใช้พลังงานก็จะ เป็นไปอย่างคุ้มค่าและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับสถานประกอบการลงได้เป็นอันมาก

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของบทที่ 5 ระบบทำความเย็น ต้องการให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้เบื้องต้นและทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น โดยวัตถุประสงค์ย่อยของบทนี้มีดังต่อไปนี้

1. ทราบหลักการการทำงานและอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบทำความเย็น
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบทำความเย็น
3. เข้าใจวิธีประเมินประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น
4. ทราบมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำความเย็น

5.1 บทนำ

การทำความเย็นเป็นกระบวนการดึงความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศเพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก เช่น การแช่เย็นอาหารในตู้เย็น การแช่แข็งอาหารสดในตู้แช่แข็งหรือห้องเย็นในห้างสรรพสินค้า ไฮเปอร์มาร์เกต

ระบบทำความเย็นมีหลากหลายประเภท อย่างไรก็ตามในที่นี้เราจะเน้นที่การทำทำความเย็นโดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอ เนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

5.2 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)

การทำความเย็นเป็นการดูดความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศ เพื่อรักษาให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศแวดล้อมภายนอก อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้ เรียกว่า เครื่องทำความเย็น (Refrigerator) กระบวนการทำความเย็นในเครื่องทำความเย็นอาจจำแนกได้เป็น ก) การทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cooling)

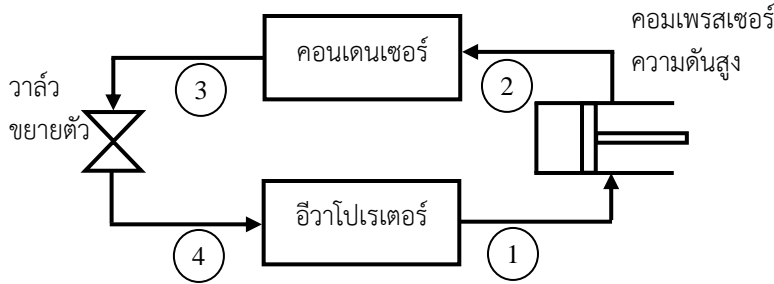
- แบบขั้นเดียว (Single stage)
- แบบหลายขั้น (Multi stage)

ข) การทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Cooling)

ในเครื่องทำความเย็นจะมีสารตัวกลางที่ทำหน้าที่ขนถ่ายความร้อน เรียกว่า สารทำความเย็น (Refrigerant) โดยมากเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอจะใช้แอมโมเนียและสารในกลุ่มฟรีออนเป็นสารทำความเย็น ส่วนในเครื่องทำความเย็นแบบดูดซึมจะใช้น้ำเป็นสารทำความเย็นร่วมกับการใช้สารในกลุ่มน้ำเกลือ เช่น ลิเทียมโบรไมด์ เป็นสารดูดซึม (Absorbent)

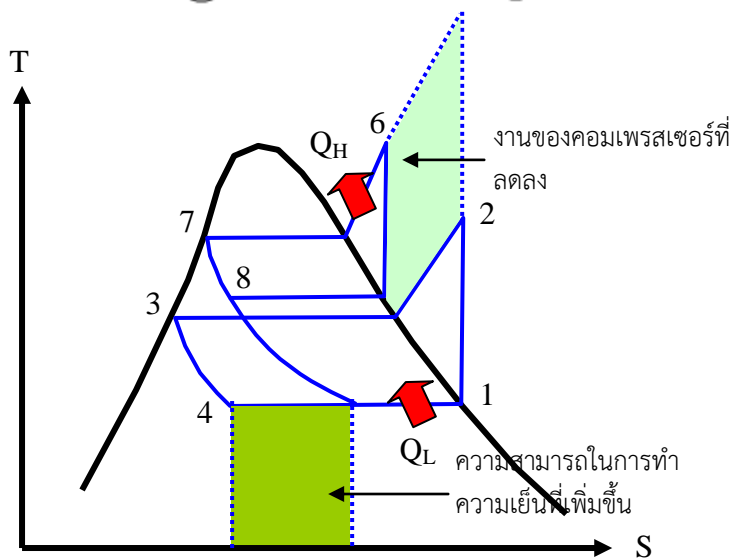
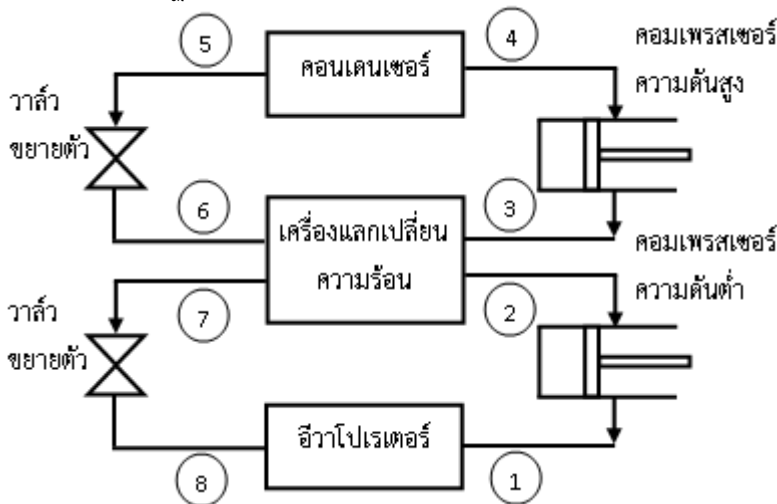
5.2.1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression System)

เช่นเดียวกับการปรับอากาศซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการสร้างสภาวะสบายให้กับผู้ใช้อาคาร การทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำพอควรก็ใช้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ตัว ดังรูป



รูปที่ 5-1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขั้นเดียว

ในบางกรณีของการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำพอควร เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอจะมีกระบวนการที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น เป็นกระบวนการทำความเย็นแบบ 2 ชั้น หรือแบบหลายชั้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำมีผลให้ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีค่ากว้างมาก วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอวัฏจักรเดียวจึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในเชิงปฏิบัติ ยิ่งช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิกว้างมากเท่าใด ก็ยิ่งทำให้ช่วงความแตกต่างของความดันในวัฏจักรกว้างมากขึ้นเท่านั้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง



รูปที่ 5-2 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ 2 ชั้น

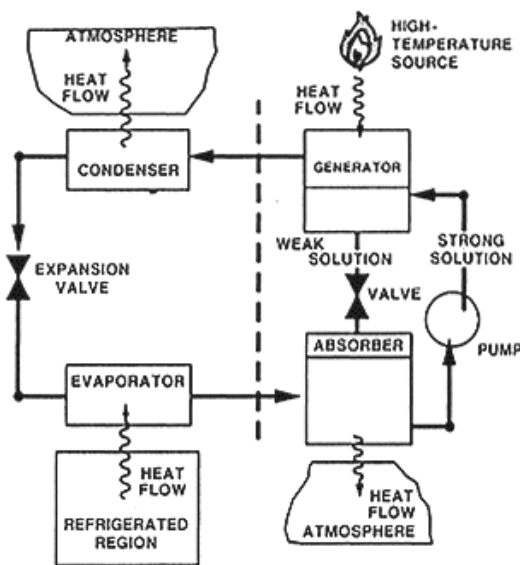
ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการทำความเย็นเป็นขั้นๆ หรือการใช้วัฏจักรการทำความเย็นมากกว่า 2 วัฏจักรขึ้นไปในลักษณะที่เป็นอนุกรม วัฏจักรนี้เรียกว่า วัฏจักรทำความเย็นแบบหลั่น (Cascade refrigeration cycles) รูปที่ 5.2 แสดงวัฏจักรการทำความเย็นประเภท 2 ขั้น โดยการเชื่อมต่อกันโดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ทำหน้าที่เป็นเครื่องระเหยในวัฏจักรส่วนบน และเป็นเครื่องควบแน่นในวัฏจักรส่วนล่าง

ระบบอาจใช้สารทำความเย็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันได้ เพราะไม่มีการผสมของสารทำความเย็นทั้งสองภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้น เราสามารถเลือกใช้สารทำความเย็นที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมได้ในแต่ละวัฏจักร จากภาพข้างต้น งานที่ต้องป้อนให้กับเครื่องอัดจะลดลง และปริมาณความร้อนที่ถูกดูดออกจะเพิ่มขึ้น

5.2.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration System)

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยพลังงานความร้อนในการขับเคลื่อนการทำงานของระบบ โดยความร้อนที่ป้อนให้มักจะอยู่ในรูปของไอน้ำ น้ำร้อน หรือก๊าซร้อนซึ่งเป็นพลังงานคุณภาพต่ำ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะต่ำกว่าระบบทำความเย็นแบบอัดไอ แต่หากพลังงานความร้อนที่ป้อนมาจากความร้อนเหลือทิ้ง (เช่น ไอเสีย) หรือมาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (เช่น แสงอาทิตย์ ชีวมวล) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า

ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องกำเนิด (Generator) เครื่องควบแน่นหรือคอยล์ร้อน (Condenser) อีวาโปเรเตอร์หรือคอยล์เย็น (Evaporator) เครื่องดูดซึม (Absorber) และวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ส่วนสารทำงานจะเป็นลักษณะของสารคู่ผสมระหว่างสารทำความเย็น (เช่น น้ำ) และสารดูดซึม (เช่น สารลิเทียมโบรไมด์, LiBr) ดังแสดงในรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-3 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

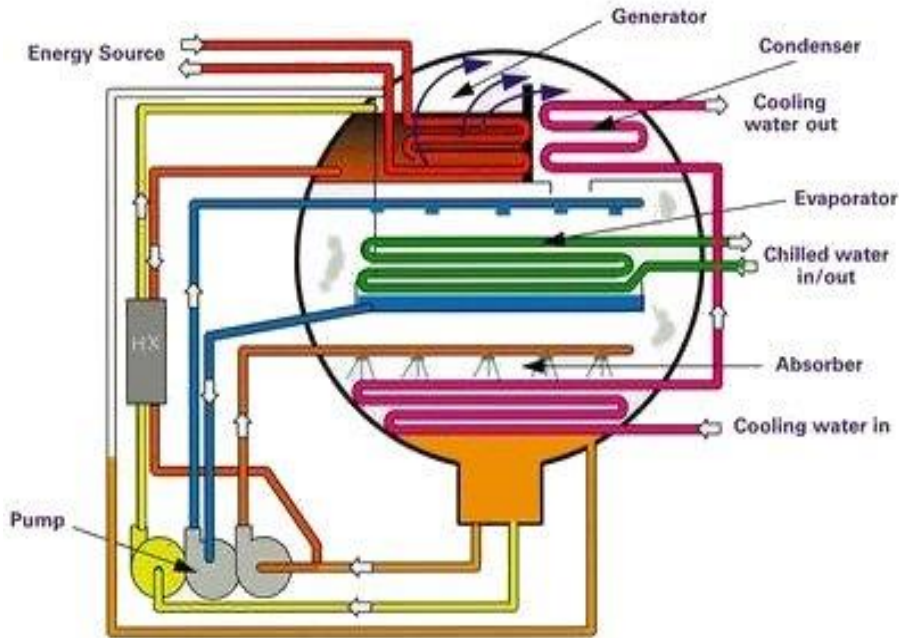
หลักการการทำงานเริ่มต้นจากเครื่องกำเนิดได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอก ทำให้สารทำความเย็นเดือดกลายเป็นไอและแยกตัวจากสารดูดซึม ไอสารทำความเย็นจะถูกทำให้ควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ (คอยล์ร้อน) ที่อุณหภูมิ ~40-50°C และเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวแล้วไหลผ่านวาล์วลดความดันไปสู่คอยล์เย็น ที่คอยล์เย็น สารทำความเย็นจะรับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเพื่อระเหยกลายเป็นไอ (ที่อุณหภูมิ ~5°C ความดัน ~6 mm.Hg) จากนั้นไอสารทำความเย็นจะถูกดูดซึมด้วยสารดูดซึมที่ไหลผ่านวาล์วลดความดันอีกตัวหนึ่งที่ต่อมาจากเครื่องกำเนิดและกลายเป็นของเหลวในเครื่องดูดซึม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จากนั้นของเหลวผสมจะถูกสูบโดยปั๊มให้มีความดันสูงขึ้นเป็น 75 mm.Hg และส่งไปยังเครื่องกำเนิดเพื่อรับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนต่อไป ซึ่งถือว่าเป็นการทำงานครบรอบวัฏจักร

ความแตกต่างระหว่างระบบทำความเย็นแบบอัดไอและแบบดูดซึม คือ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอเพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นทำโดยใช้คอมเพรสเซอร์ซึ่งทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าขับเคลื่อน แต่ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

ซึม การเพิ่มความดันให้กับสารทำงานทำโดยอาศัยเครื่องกำเนิดและเครื่องดูดซึมร่วมกัน โดยใช้ความร้อนป้อนเข้าที่เครื่องกำเนิดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อผลิตไอที่มีสมบัติเช่นเดียวกับไอที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ในระบบแบบอัดไอ

ก) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว (Single Effect Absorption Cooling)

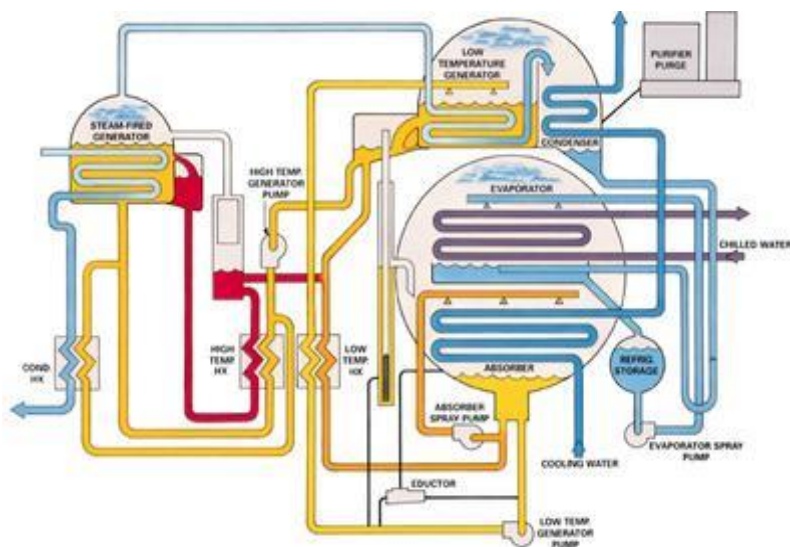
ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปของไอน้ำที่ความดันระหว่าง 0.8-1.5 kg/cm² หรือน้ำร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 130-150°C รูปที่ 5.4 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว



รูปที่ 5-4 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชั้นเดียว

ข) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น (Double Effect Absorption Cooling)

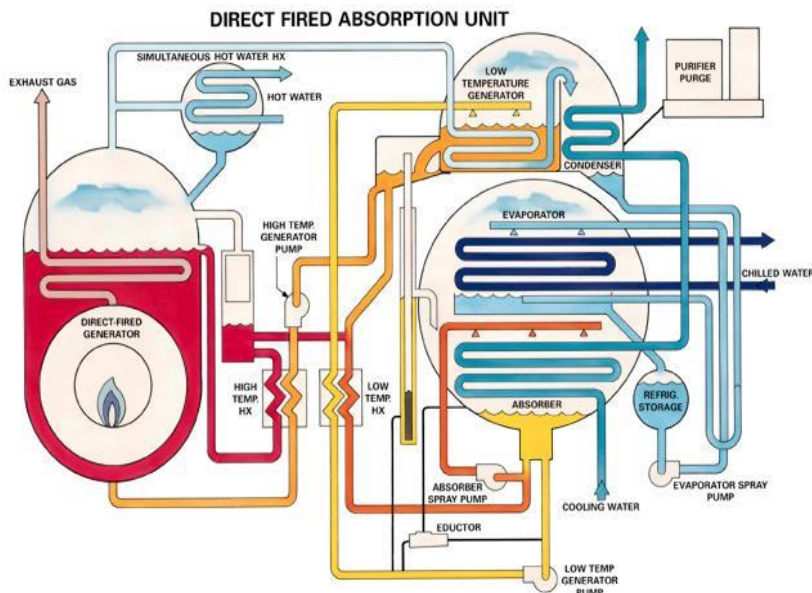
ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำที่ความดันประมาณ 8 kg/cm² หรือน้ำร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 180-200°C โดยระบบนี้จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าระบบแรกประมาณ 65% รูปที่ 5.5 แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น



รูปที่ 5-5 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมสองชั้น

ค) ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง (Direct-fired Absorption Cooling)

ระบบนี้ใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเครื่องกำเนิด หรือความร้อนในรูปของก๊าซร้อน โดยอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องกำเนิดจะมีอุณหภูมิประมาณ 190-204 °C โดยระบบนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะอยู่ในช่วง 0.85-1.14 **รูปที่ 5-6** แสดงแผนผังระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง



รูปที่ 5-6 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมชนิดเผาไหม้โดยตรง

5.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำความเย็นที่ใช้กันทั่วไปในระบบทำความเย็น ได้แก่ แอมโมเนียและสารในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน ในระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นที่ได้รับความนิยมใช้กัน

แอมโมเนียเป็นสารความเย็นชนิดเดียวที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มฟลูออโรคาร์บอน แต่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แม้ว่าแอมโมเนียจะเป็นสารพิษและสามารถจุดระเบิดได้ในบางสภาวะก็ตาม แต่คุณสมบัติทางด้านความร้อนที่ดีเยี่ยมของแอมโมเนีย ทำให้แอมโมเนียเหมาะที่จะนำไปใช้กับโรงงานลานสเก็ตและห้องหรืออุปกรณ์ทำความเย็นขนาดใหญ่ และถ้าประกอบกับความรู้อันชำนาญในการควบคุมระบบ จะทำให้ปัญหาความเป็นพิษของแอมโมเนียกลายเป็นเพียงปัญหาเล็กๆ เท่านั้น

แอมโมเนียมีความสามารถในการทำความเย็นสูงสุด เมื่อเทียบกับสารความเย็นชนิดอื่น แอมโมเนียมีจุดเดือดต่ำประมาณ -2.2°C ที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้น อีวาโปเรเตอร์และเครื่องควบแน่นในระบบจึงมีอุณหภูมิ และความดันอยู่ในช่วงปานกลางคือ -15°C และ 30°C ที่ความดัน 2.37 bar และ 11.67 bar

โดยปกติแอมโมเนียแห้งจะไม่กัดกร่อนโลหะ แต่เมื่อถูกความชื้นแอมโมเนียจะกัดโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น ทองแดง ทองเหลือง เป็นต้น ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าจะไม่ใช้โลหะเหล่านี้ในระบบที่ใช้แอมโมเนียเป็นสารความเย็น

แอมโมเนียมีคุณสมบัติไม่ผสมกับน้ำมัน จึงไม่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นเครื่องอัดเห็จจาก สำหรับการรั่วไหลของแอมโมเนีย เราสามารถทดสอบได้โดยเผาเทียนที่ทำด้วยกำมะถันในจุดที่จะทดสอบ ถ้าหากมีแอมโมเนียรั่วออกมาจะเกิดควันสีขาวขึ้น หรืออาจหาบริเวณรอยต่อของท่อด้วยสารละลายสบู่เข้มข้น ถ้ามีการรั่วไหลจะมีฟองเกิดขึ้น

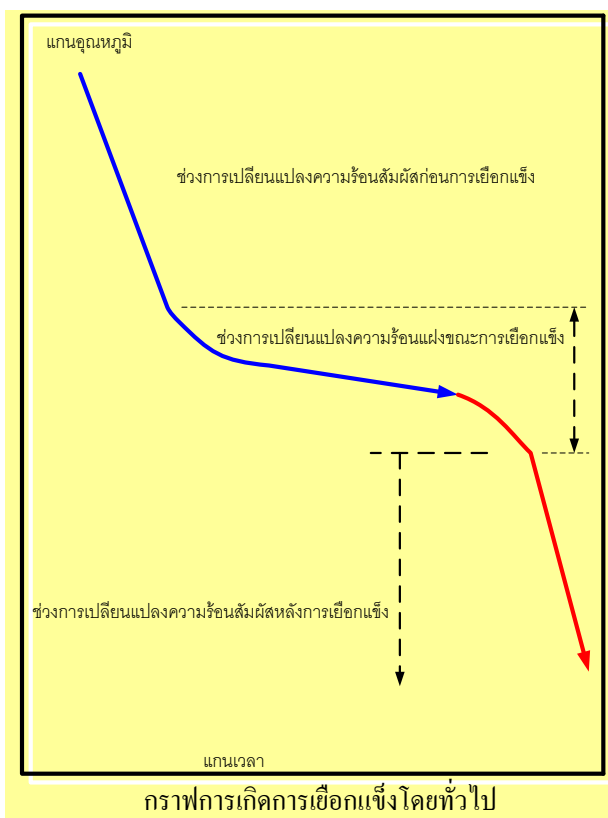
แอมโมเนียเป็นสารความเย็นที่มีราคาถูกและใช้งานได้อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางเคมีหลายอย่างที่เหมาะสมจะใช้กับระบบทำความเย็นใหญ่ๆ ซึ่งความเป็นพิษไม่ใช่ปัจจัยสำคัญ เช่น มีระบบควบคุมดีหรือตั้งอยู่ห่างจากชุมชน และแอมโมเนียยังมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงอีกด้วย แอมโมเนียสามารถใช้กับเครื่องอัดทั้งแบบลูกสูบชัก แบบโรตารีและแบบใช้แรงเหวี่ยง

5.4 การแช่เยือกแข็งอาหารและห้องเย็น

การแช่เยือกแข็ง เป็นวิธีถนอมอาหารซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีหลักการชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและเคมี รวมถึงปฏิกิริยาการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่จะทำให้อาหารเน่าเสีย โดยทั่วไปอาหารจะถูกแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C จากรูปที่ 5.7 ขบวนการแช่เยือกแข็งจะเริ่มตั้งแต่การนำอาหารที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งมาลดอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิจึงลดลงตามขบวนการความร้อนสัมผัส จากนั้น อาหารจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่จุดเยือกแข็ง ซึ่งจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร ขบวนการที่อาหารเข้าสู่จุดเยือกแข็งนี้ อาหารจะเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของแข็งตามขบวนการความร้อนแฝง ซึ่งอุณหภูมิจึงคงที่ และหากลดอุณหภูมิของอาหารต่อไป อาหารจะมีอุณหภูมิลดลงตามขบวนการความร้อนสัมผัสอีกครั้งหนึ่ง

5.4.1 การแช่แข็งแบบการพาความร้อน (Blast Freezing)

การแช่แข็งอาหารด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการพาความร้อน (Convection) โดยลมที่มีอุณหภูมิต่ำจะหมุนเวียนภายในห้องเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของอาหารหรือบรรจุภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้อง (รูปที่ 5.8) ลมที่มีอุณหภูมิต่ำนี้จะถูกลดอุณหภูมิลงตามวัฏจักรการทำความเย็นที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ เทคโนโลยีนี้ประกอบด้วยห้องเย็นที่หุ้มฉนวนมิดชิดด้วยโพลีที่มีขนาดความหนาเพื่อป้องกันการเกิดหยดน้ำที่ผนังภายนอก โดยความหนาของฉนวนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของห้องเย็นและประเภทของฉนวน ส่วนอุปกรณ์ทำความเย็นนิยมใช้เป็นวัฏจักรการทำความเย็นแบบกดดันไอที่ใช้แอมโมเนียหรือสารประกอบกลุ่ม CFC การกระจายลมเย็นภายในห้องเย็น นิยมใช้เครื่องกระจายลมเย็น ลักษณะเหมือนเครื่องเป่าลมเย็น แต่จะมีจำนวนครีบลำพัดความถี่เพียง 4-6 ครีบลำพัดนี้ ขณะที่เครื่องเป่าลมเย็นของระบบปรับอากาศ จะมีครีบลำพัด 10-12 พัดต่อนิ้ว เหตุที่ต้องให้ครีบลำพัดมีจำนวนน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดน้ำแข็งที่ครีบลำพัดเนื่องจากอากาศที่ไหลเข้าทางประตูขณะเปิดประตู



รูปที่ 5-7 การเกิดการเยือกแข็งของอาหาร

ห้องเย็น (Cold Storage Room)

ห้องเย็นทั่วไปที่ใช้แช่อาหารมีอุณหภูมิภายในห้องเย็นคงที่เพื่อให้เหมาะสมกับอาหารที่เก็บภายในห้อง ซึ่งอาจจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 0°C เพื่อใช้ในการแช่ผักและผลไม้ และต่ำกว่า 0°C เพื่อใช้ในการแช่เนื้อและไอศกรีม โดยถนอมอาหารและบรรจุภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้องเย็นให้เหมาะสมกับระยะเวลาการบริโภค โดยทั่วไปห้องเย็นที่มีอุณหภูมิภายในห้องมากกว่า 0°C มักนิยมใช้

สารประกอบ CFC เป็นสารทำความเย็น ส่วนห้องเย็นที่มีอุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า -10°C นิยมใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น ห้องเย็นประเภทนี้ เช่น ห้องแช่เนื้อ ห้องแช่ผัก ห้องแช่นมและไข่ ห้องแช่ปลา รวมไปถึงห้องแช่น้ำแข็งที่ผลิตแล้ว เป็นต้น ศูนย์การค้าและซูเปอร์สโตร์ส่วนใหญ่จะมีห้องเย็นลักษณะนี้



รูปที่ 5-8 ห้องแช่แข็งแบบการพาความร้อน (ห้องเย็นในห้างสรรพสินค้า)

ตารางที่ 5-1 การแช่แข็งอาหารประเภทต่างๆ

ประเภท	ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เวลาก่อนเน่าเสีย (สัปดาห์)
ผัก	หน่อไม้ฝรั่ง	0-2	95-100	2-3
	ถั่ว	5-7	95	1
	ข้าวโพด	0-2	95-100	1
	แครอท	0-2	95-100	4-6
	บร็อคโคลี่	0-2	95-100	2
	พริก	0-10	60-70	2-3
	มะเขือเทศ	2-4	90-95	1
	กะหล่ำปลี	0-2	95-100	35
	ฟักทอง	10-12	50-55	21
	ผักกาดหอม	0-2	95-100	2-3
	หัวหอม	0-2	95-100	3-4
	แตงกวา	5-7	95-100	2
ผลไม้	แอปเปิ้ล	2-4	90-95	21
	กล้วย	10-12	85-95	1-3
	องุ่น	10-12	90-95	2-8
	มะนาว	10-12	90-95	4-6
	ลิ้นจี่	0-2	90-95	3-5
	มะม่วง	10-12	90-95	2-3
	สตอเบอรี่	0-2	90-95	1
	ฝรั่ง	5-7	90-95	2-3
	ลำไย	0-2	90-95	0.5
	ส้ม	2-4	85-90	3-6
	มะละกอ	2-4	85-90	1-3
เนื้อสัตว์	ปลาทุ	0-2	95-100	2.5
	ปลาหูฉลาม	0-2	95-100	2

ประเภท	ชนิด	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เวลาก่อนนำเสียบ (สัปดาห์)
	ปลาแชลมอน	0-2	95-100	2
	กุ้ง	0-2	95-100	2
	ปลาหมึก	0-2	95-100	1.5
	หอย	0-2	100	1
	เนื้อ	0-2	85	1-3
	ตับ	0	90	0.75
	หมู	0-2	85-90	1
	เบคอน	0-2	80-85	2-3
	ไส้กรอก	0-2	85	1
	แฮม	0-2	80-85	0.75
	ไก่	-1 ถึง 0	90-95	1-3
นมและไข่	เนย	0	75-85	2-4
	ชีส	0	65	52
	ไอศกรีม	-15 ถึง -20	90-95	52-100
	นม	2-4	90-95	1
	ไข่	0-2	80-90	35
	ชีสโกแลต	-15 ถึง 0	40	42
	ขนมปัง	0	90-95	3-13
	กาแฟ	2-4	80-85	28
	เบียร์	2-4	80-85	3-8
	น้ำผึ้ง	10	80-85	มากกว่า 52
	น้ำมันพืช	20	65-70	มากกว่า 52
	น้ำส้ม	2-4	90-95	3-6
	ข้าวโพดยังไม่คั่ว	2-4	85	4-6
	บุหรี	2-4	50-55	42

5.5 การทำความเย็น

การทำความเย็นของระบบทำความเย็นเป็นผลรวมของความร้อนที่มาจากแหล่งต่างๆ ประกอบด้วย

ภาระจากความร้อนผ่านผนัง (Wall Heat Gain Load)	ภาระส่วนนี้ ได้แก่ ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังจากภายนอกเข้ามาภายในบริเวณทำความเย็นหรือห้องเย็น ถึงแม้ว่าจะมีฉนวนความร้อนหุ้มอยู่ก็ตาม สิ่งที่ต้องระวังประการหนึ่งคือความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผ่านช่องเปิดต่างๆ เข้ามาภายในห้องโดยตรง
ภาระจากอากาศอุ่นภายนอก (Air Change Load)	ในขณะที่เปิดประตูห้องเย็นหรือบริเวณทำความเย็นอากาศอุ่นจากภายนอกจะเข้าไปแทนที่อากาศเย็น เราจำเป็นต้องขจัดความร้อนออกจากอากาศอุ่นนี้เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในการออกแบบ ภาระความร้อนส่วนนี้จะต้องถูกรวมเข้าในการทำความเย็น
ภาระจากตัวสินค้า (Product Load)	ความร้อนที่ต้องดึงออกจากตัวสินค้า เพื่อลดอุณหภูมิจนถึงระดับที่ต้องการ ในบางกรณีผลิตภัณฑ์อาจถูกแช่แข็งซึ่งจะต้องรวมความร้อนแฝงเข้าไปด้วย ภาระจากตัวสินค้ามีผลต่อการทำความเย็นโดยรวมซึ่งก็ขึ้นกับลักษณะงาน ภาระจากตัวสินค้าอาจเป็นทั้งในลักษณะชั่วคราวและในลักษณะต่อเนื่องขึ้นอยู่กับลักษณะงาน

	<p>เช่นกัน</p> <p>ภาระจากตัวสินค้าจะเป็นส่วนหนึ่งของภาระการทำความเย็นเฉพาะช่วงที่กำลังลดอุณหภูมิลงเพื่อให้เท่าอุณหภูมิห้องเก็บ เมื่ออุณหภูมิเท่าห้องเก็บ ก็จะไม่มีความร้อนที่ต้องขจัดทิ้งอีกต่อไป</p>
ภาระอื่น ๆ (Miscellaneous Load)	<p>ความร้อนจากคนที่กำลังทำงานภายในบริเวณทำความเย็น และความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นตัวเกิดความร้อนที่อยู่ในบริเวณทำความเย็น เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ดวงไฟ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์</p>

ภาระความร้อนต่างๆ ข้างต้นยังสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ และความร้อนจากตัวสินค้าที่ต้องการทำความเย็น ในบางกรณีของห้องเย็น ความร้อนจากตัวสินค้าอาจไม่สูงนักเมื่อเทียบกับความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในห้องเย็น สำหรับกรณีของอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นส่วนใหญ่เกิดจากทำน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นให้กลายเป็นน้ำแข็ง

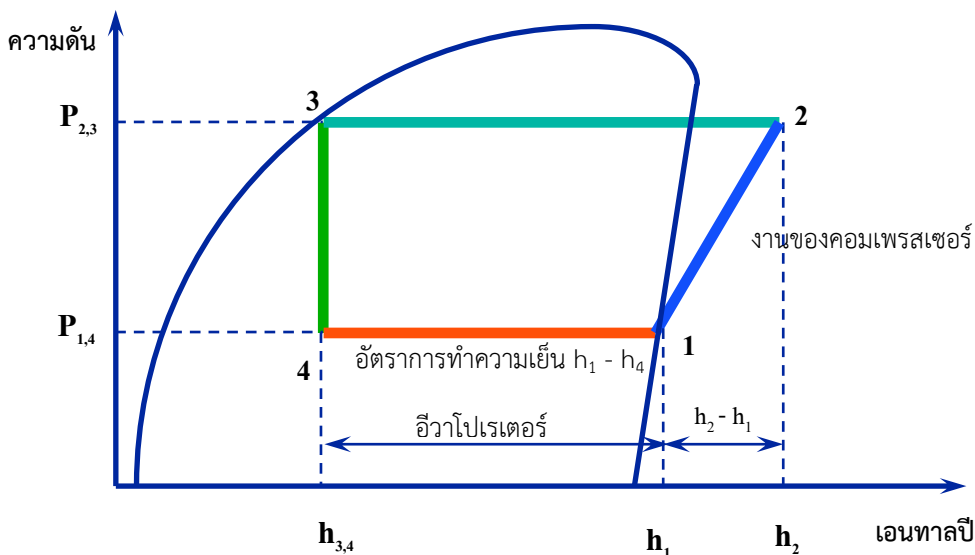
5.6 ประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ค่า COP หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานความร้อนที่ถูกดูดซับโดยคอยล์เย็น (ปริมาณความร้อนที่ทำได้) ต่อพลังงานที่ระบบใช้

การวิเคราะห์ค่า COP ของระบบทำความเย็นทำโดยใช้แผนภาพความดัน-เอนทาลปีดังแสดงในรูปที่ 5.9 จากแผนภาพด้านบน ค่า COP ของระบบทำความเย็นจะคำนวณได้จาก

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{5.1}$$

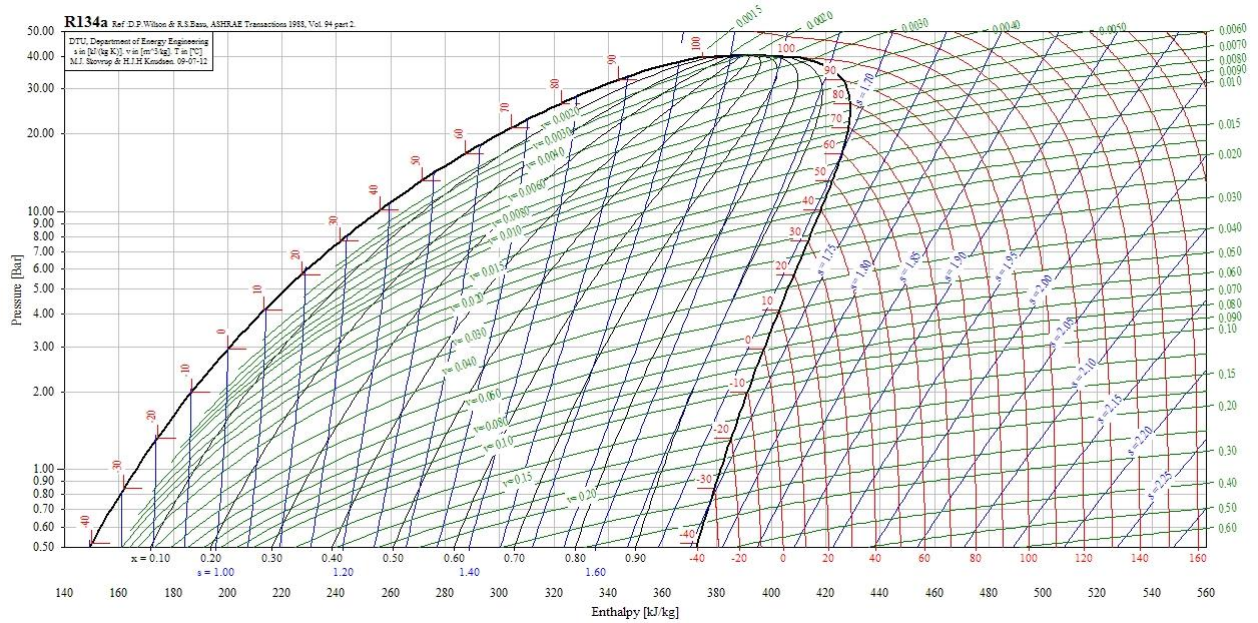
- โดย
- h_1 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์, kJ/kg
 - h_2 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์, kJ/kg
 - h_4 = เอนทาลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอยล์เย็น (เท่ากับเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์ร้อน), kJ/kg



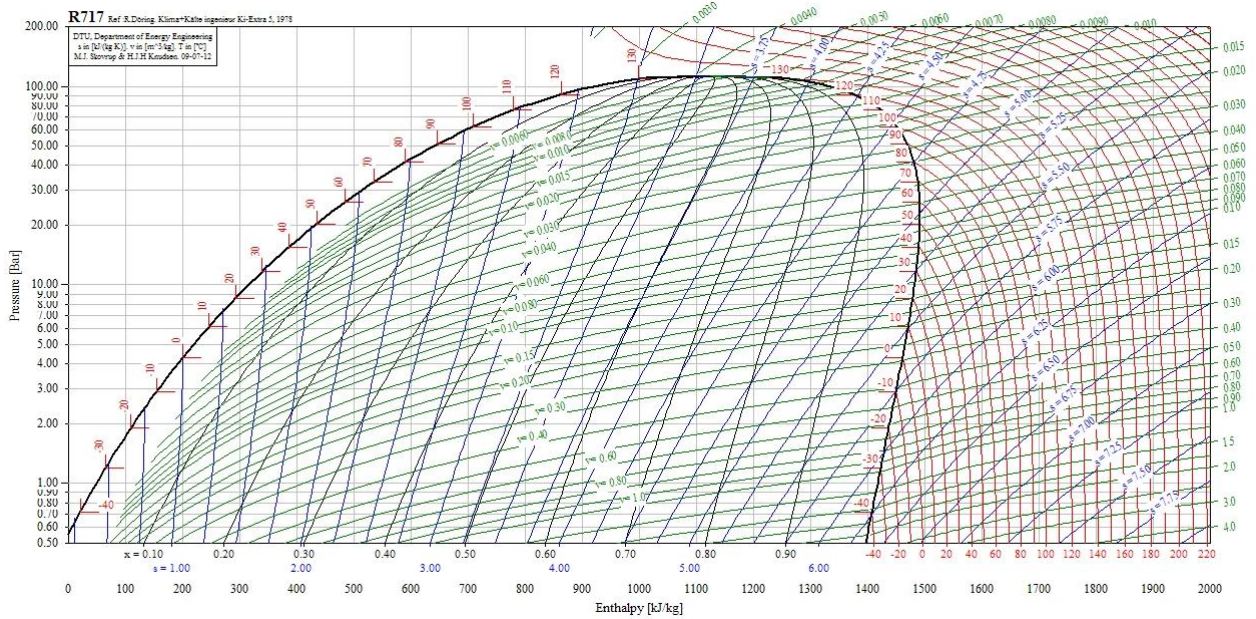
รูปที่ 5-9 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ดังนั้น สิ่งที่จะต้องทราบ ได้แก่ สภาวะ (ความดันและอุณหภูมิ) ของสารทำความเย็นที่แต่ละจุดของระบบ เพื่อนำไปหาค่าเอนทาลปีจากตารางคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ หรือจากแผนภาพความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นชนิดที่ใช้ในระบบ

ตัวอย่างแผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็น R-134a แอมโมเนีย และ R-22 ในหน่วย SI และ IP แสดงอยู่ในรูปที่ 5-10 ,5-11, 5-12 และ 5-13 ตามลำดับ



รูปที่ 5-10 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของสารทำความเย็น R-134a



รูปที่ 5-11 แผนภาพความดัน-เอนทัลปีของแอมโมเนีย

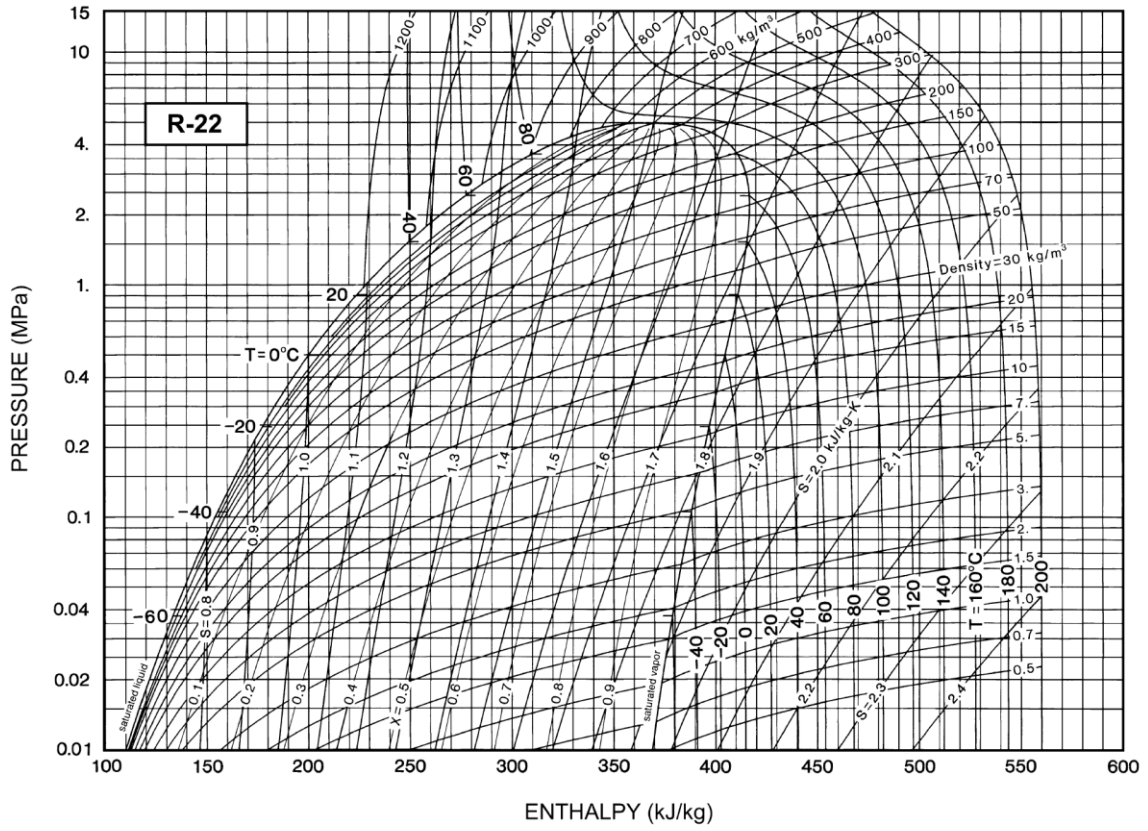


Fig. 2 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

รูปที่ 5-12 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของ R-22 (SI)

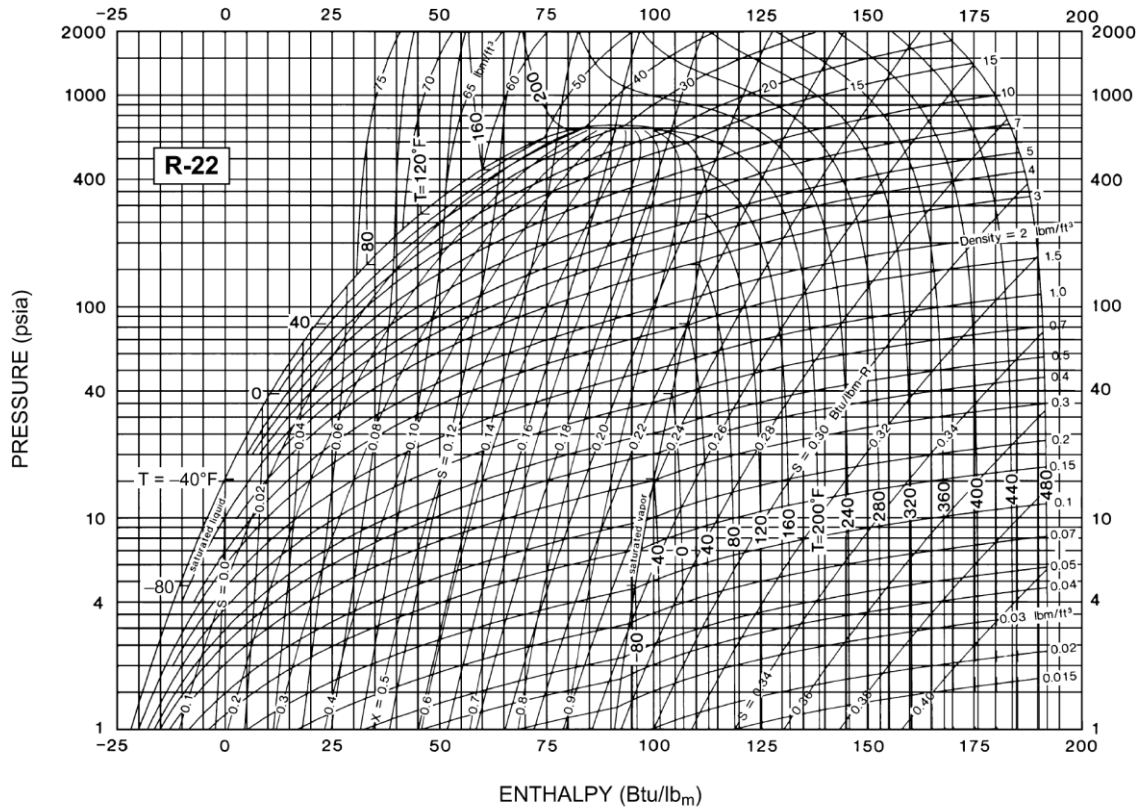


Fig. 2 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

รูปที่ 5-13 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีของ R-22 (IP)

5.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพพลังงานของระบบทำความเย็น

สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ อุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และของอีวาโปเรเตอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็น หากสามารถลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ได้ สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นก็จะสูงขึ้น

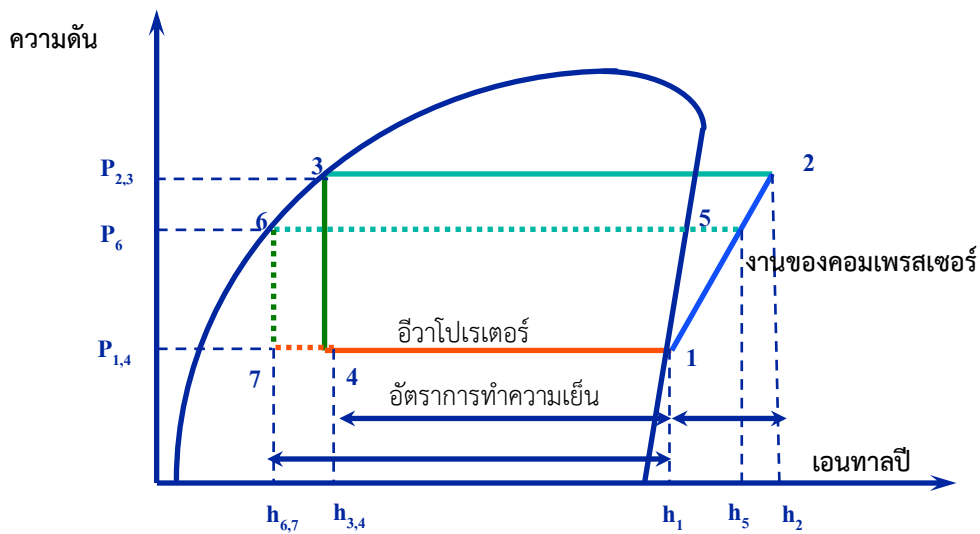
ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่ทำให้ระบบทำความเย็นมีสมรรถนะสูงขึ้น ระบบมีการใช้พลังงานลดลง ซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตามอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือ การลดภาระการทำความเย็นของระบบให้ต่ำลง

5.8 มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น

แนวคิดหลักในการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็น คือ การปรับปรุงสภาวะการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสม การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์ และการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์ นอกจากนี้ มาตรการเสริมอย่างการบำรุงรักษาที่เหมาะสมก็สามารถช่วยอนุรักษ์พลังงานได้โดยไม่ต้องลงทุนมาก

5.8.1 การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

พิจารณารูปที่ 5-14 การควบแน่นของสารทำงานในระบบทำความเย็นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 2-3 ถ้าสามารถลดอุณหภูมิและความดันที่คอนเดนเซอร์ลงได้ การควบแน่นจะเกิดขึ้นตามเส้นทาง 5-6 แทน และการทำงานของคอมเพรสเซอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 มาเป็น 1-5 ส่วนอัตราการทำความเย็นของอีวาโปเรเตอร์จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-1 ผลลัพธ์ที่ได้ คือ จะสามารถลดพลังงานที่ต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ลง และเพิ่มอัตราการทำความเย็นขึ้นได้ ทำให้ค่า COP ของระบบเพิ่มขึ้น



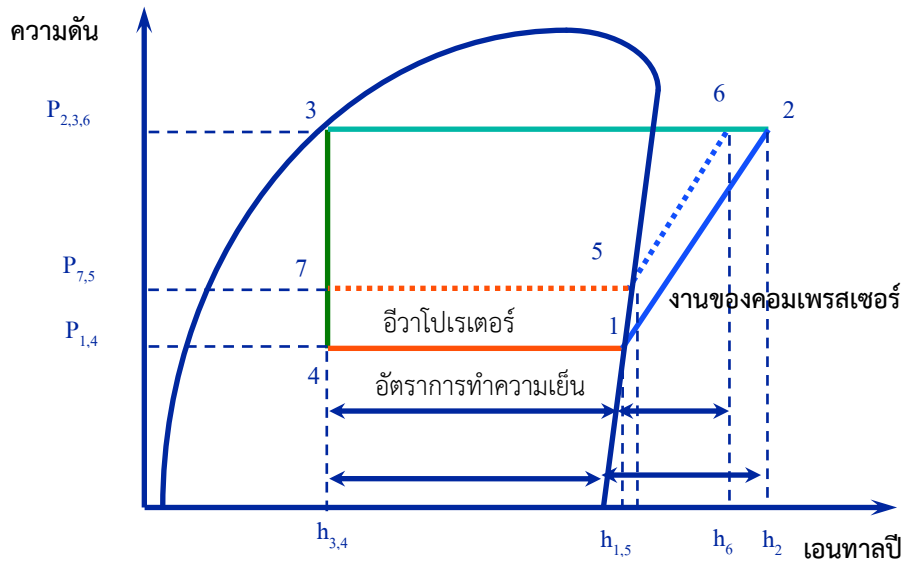
รูปที่ 5-14 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์

ข้อแนะนำในการลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

- ทำการเดินพัดลมคอนเดนเซอร์และเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นให้มากที่สุด เพื่อทำให้อุณหภูมิควบแน่นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับระบบที่มีคอมเพรสเซอร์และคอนเดนเซอร์หลายชุดนั้น ควรจะมีการตรวจตรากการใช้พลังงานของเครื่องจักรทั้งสองอย่างสม่ำเสมอ เพื่อกำหนดการใช้งานให้เหมาะสม โดยปกติคอนเดนเซอร์ควรจะใช้พลังงานน้อยกว่า 15% ของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้
- หัวฉีด (Spray Nozzle) ของคอนเดนเซอร์ต้องสะอาด
- ลดปริมาณลมเลี้ยง (Bypass) ที่ผ่านคอนเดนเซอร์ให้น้อยที่สุด
- รักษาพื้นผิวของคอนเดนเซอร์ให้สะอาด และตรวจสอบให้แน่ใจว่า น้ำหล่อเย็นที่ใช้ผ่านการปรับสภาพ (Treatment) มาอย่างดีแล้ว
- ไล่อากาศและก๊าซที่ไม่กลั่นตัวออกจากคอนเดนเซอร์ให้หมด โดยหมั่นตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

5.8.2 การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์

พิจารณารูปที่ 5-15 กระบวนการระเหยของสารทำความเย็นเกิดขึ้นภายในอีวาโปเรเตอร์ตามเส้นทาง 4-1 เมื่อความร้อนถูกดูดจากผลิตภัณฑ์ สารทำความเย็นจะมีค่าเอนทาลปีสูงขึ้น โดยที่ความดันยังคงคงที่ ถ้าเพิ่มอุณหภูมิและความดันในอีวาโปเรเตอร์ให้สูงขึ้นจากเส้นทาง 4-1 เป็น 7-5 งานของคอมเพรสเซอร์ที่จะเปลี่ยนจากเส้นทาง 1-2 เป็น 5-6 ผลที่ได้คือ งานที่จะต้องป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์จะลดลง และอัตรการทำความเย็นจะสูงขึ้นเล็กน้อย มีผลทำให้ค่า COP ของระบบทำความเย็นสูงขึ้น



รูปที่ 5-15 แผนภาพความดัน-เอนทาลปีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทำงานของฮีวโปรเตอร์

ข้อแนะนำในการเพิ่มอุณหภูมิทำงานของฮีวโปรเตอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

- ตั้งอุณหภูมิควบคุมที่เทอร์โมสแตทภายในพื้นที่ทำความเย็นให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ จะต้องไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
- ควบคุมความร้อนภายนอกไม่ให้เข้ามาในห้องเย็นมากเกินไป
- ระมัดระวังไม่ให้เกิดสภาพความเป็นไอร้อนยิ่งยวดของสารทำความเย็นที่ทางออกของฮีวโปรเตอร์ (ทางเข้าของคอมเพรสเซอร์) มากเกินไป
- พื้นที่ผิวของฮีวโปรเตอร์ต้องมีมากเพียงพอเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนทำได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้อุณหภูมิทำงานของฮีวโปรเตอร์สูงขึ้น และช่วยลดการสูญเสียความชื้นของตัวผลิตภัณฑ์ด้วย
- ละลายน้ำแข็งที่คอยล์เย็นเป็นระยะ เพราะน้ำแข็งที่เกาะที่คอยล์จะทำให้สมรรถนะของระบบลดลง ซึ่งจะสังเกตได้จากอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- หยุดการละลายน้ำแข็งทันทีที่น้ำแข็งได้ละลายออกจากคอยล์เย็นหมดแล้ว
- ใช้พัดลมและมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในห้องเย็นและห้องแช่แข็ง
- สารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ต้องถูกต้องเหมาะสม ทั้งชนิด คุณภาพ และปริมาณ
- ป้องกันการที่น้ำมันหล่อลื่นจะถูกพาไปตกค้างในฮีวโปรเตอร์ได้ด้วยการบันทึกปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ถ่ายออกและใส่เข้าไปแทนที่ในระบบ

บทสรุป

การแช่เยือกแข็งเป็นการใช้งานระบบทำความเย็นอีกลักษณะหนึ่ง นอกจากการใช้เพื่อการปรับอากาศ และสร้างความรู้สึกสบายให้กับพนักงานในโรงงานและอาคาร การแช่เยือกแข็งปกติเป็นการทำความเย็นที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ (0 °C หรือต่ำกว่า)

ในบางกรณีของการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำพอควร เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอจะมีกระบวนการที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น เป็นกระบวนการทำความเย็นแบบ 2 ชั้น หรือแบบหลายชั้น ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะการทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำมีผลให้ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องควบแน่นและเครื่องระเหยมีค่ากว้างมาก วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอวัฏจักรเดียวจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเชิงปฏิบัติ ยิ่งช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิกว้างเท่าใด ก็ยิ่งทำให้ช่วงความแตกต่างของความดันในวัฏจักรกว้างมากขึ้นเท่านั้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ปัญหาสามารถแก้ไขได้โดยการทำทำความเย็นเป็นชั้นๆ หรือการใช้วัฏจักรการทำความเย็นมากกว่า 2 วัฏจักรขึ้นไปในลักษณะที่เป็นอนุกรม วัฏจักรนี้เรียกว่า วัฏจักรทำความเย็นแบบหลั่น (Cascade refrigeration cycles) ดังแสดงในรูปที่ 5.2

สิ่งที่ควรคำนึงในระบบทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ คือ การประเมินภาระทำความเย็น ซึ่งแหล่งความร้อนประกอบด้วย

- ภาระจากความร้อนผ่านผนัง (Wall Heat Gain Load)
- ภาระจากอากาศอุณหภูมิต่ำภายนอก (Air Change Load)
- ภาระจากตัวสินค้า (Product Load)
- ภาระอื่น ๆ (Miscellaneous Load)

ภาระความร้อนต่างๆ ข้างต้นยังสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ และ ความร้อนจากตัวสินค้าที่ต้องการทำความเย็น ในบางกรณีของห้องเย็น ความร้อนจากตัวสินค้าอาจไม่สูงนักเมื่อเทียบกับความร้อนที่ผ่านผนังห้องเย็นหรืออุปกรณ์ต่างๆ ในห้องเย็น สำหรับกรณีของอุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็ง ภาระการทำความเย็นของระบบทำความเย็นส่วนใหญ่เกิดจากทำน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้นให้กลายเป็นน้ำแข็ง

มาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่

- การลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์
- การเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาโปเรเตอร์
- การทำความสะอาดชุดระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ
- การลดภาระทำความเย็นของระบบทำความเย็น

ในบทนี้ยังให้ข้อมูลอย่างย่อๆ เกี่ยวกับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม ซึ่งใช้ความร้อนเป็นแหล่งพลังงาน ถึงแม้ว่าระบบทำความเย็นแบบดูดซึมจะมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ แต่ในกรณีที่โรงงานมีความร้อนซึ่งเหลือทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนทิ้งเหล่านั้นสามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อทำความเย็นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2547), ตำราฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผขพ.) สามัญ
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2551), คู่มือประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร “พัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติ ด้านเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, (2549), คู่มือประกอบการฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (อุตสาหกรรมโรงงานน้ำแข็ง) สำหรับอุตสาหกรรมน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง
- [4] http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/Refrigeration/Website/caution.htm บทเรียนจำลองสถานการณ์ออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต วิชา การทำความเย็น ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด, ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2552)

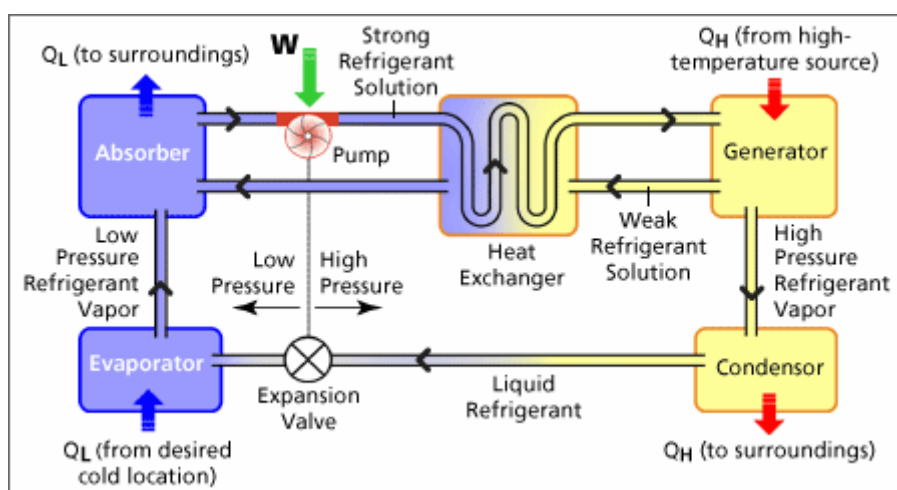
ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) คืออะไร

ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม ทำงานโดยการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) ร่วมกับแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิต่ำประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในการผลิตน้ำร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำเพียงอย่างเดียวได้

การทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดซึม ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ Evaporator, Absorber, Generator และ Condenser โดยปั๊มความร้อนแบบดูดซึมจะรับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำที่ Evaporator และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเพื่อผลิตเป็นน้ำร้อนที่ Absorber ในขณะที่ความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำจะเข้าสู่ปั๊มความร้อนแบบดูดซึมที่ Generator และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเพื่อผลิตเป็นน้ำร้อนที่ Condenser และ Absorber ดังแสดงในรูปที่ 1 ต่อไปนี้



รูปที่ 1 ไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของปั๊มความร้อนแบบดูดซึม

สำหรับรายละเอียดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความเย็นของสารทำงาน (ลิเทียมโบรไมด์กับน้ำ) ในส่วนประกอบทั้ง 4 ส่วนที่กล่าวมา สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

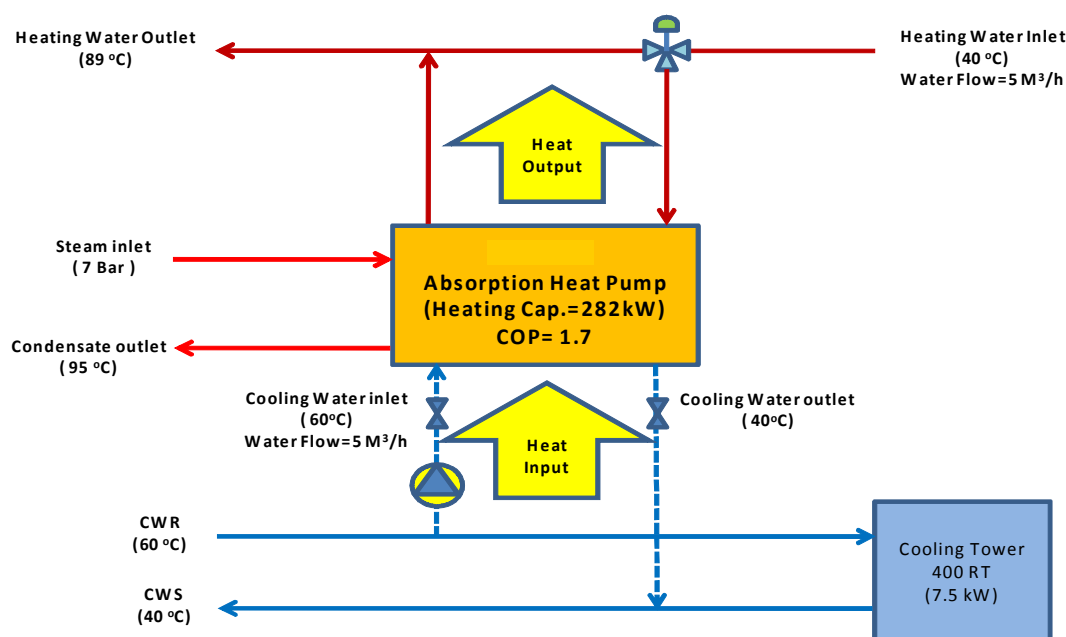
1. Generator จะทำหน้าที่แยกสารละลายลิเทียมโบรไมด์ (LiBr) ออกจากน้ำโดยแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอน้ำ หลังจากที่ได้รับความร้อน สารทำความเย็น (น้ำ) ก็จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอที่แรงดันสูง ไหลไปคายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser)

2. Condenser จะทำหน้าที่ควบแน่นสารทำความเย็น (น้ำ) โดยสารทำความเย็นจะคายความร้อนให้แก่น้ำที่เข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนและระบายทิ้งผ่านทางหอระบายความร้อน (Cooling Tower) หลังจากนั้นสารทำความเย็นก็จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวไหลไปรับความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ ที่ชุด Evaporator โดยน้ำร้อนที่ได้จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 80 ถึง 95 °C

3. Evaporator จะทำหน้าที่ดูดความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอุณหภูมิของแหล่งความร้อนจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 50 °C ซึ่งแหล่งความร้อนที่ใช้อาจจะเป็นน้ำที่ระบายความร้อนจากระบบหรือเป็นความร้อนทิ้งที่อุณหภูมิต่ำ ความร้อนทั้งหมดจะไปถ่ายเทความร้อนที่ Absorber

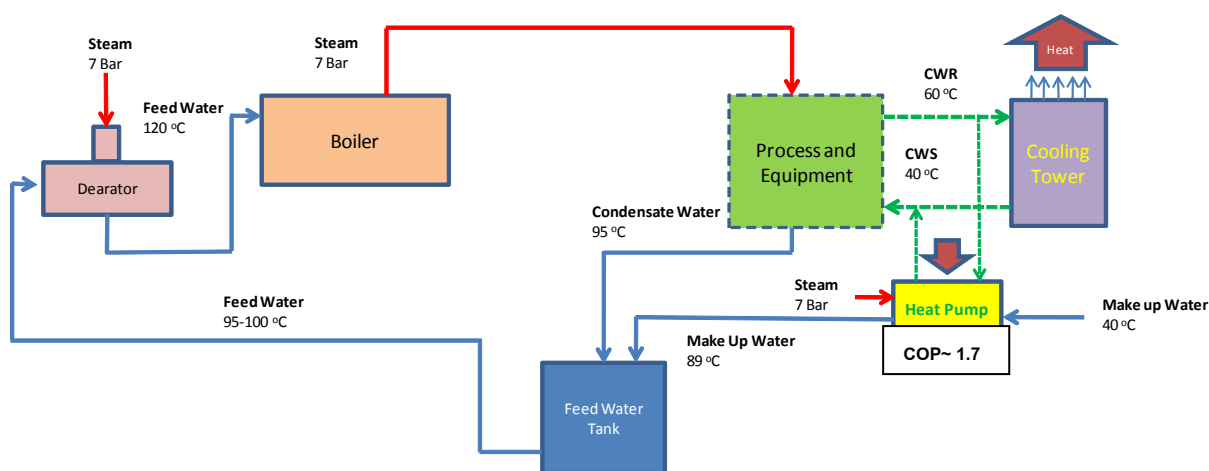
4. Absorber จะทำหน้าที่ดูดซึมน้ำและความร้อนที่อยู่ในสารทำงาน ทำให้สารละลายลิเทียมโบรไมด์ (LiBr) มีความเข้มข้นสูงขึ้นก่อนที่จะถูกปั๊มไปที่ Generator และการทำงานของระบบก็จะเริ่มต้นหมุนเวียนขึ้นใหม่

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในสภาวะต่างๆ ที่กล่าวมา สามารถแสดงได้ดังไดอะแกรมในรูปที่ 2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 ไดอะแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงสภาวะอุณหภูมิของเทคโนโลยีปั๊มความร้อนแบบดูดซึม

จากรูปที่ 2 เป็นการทำน้ำร้อนโดยปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) ซึ่งจะรับความร้อนจากแหล่งความร้อนสองส่วนด้วยกัน คือ ความร้อนอุณหภูมิต่ำจากน้ำระบายความร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C และไอน้ำที่ระดับแรงดัน 7 บาร์ (อุณหภูมิต่ำประมาณ 180 °C) โดยแหล่งความร้อนทั้งสองจะคายความร้อนให้แก่สารทำงานที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน โดยอุณหภูมิของน้ำเข้า 40 °C รับความร้อนจากสารทำงานที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำ



ระบบหม้อไอน้ำหลังปรับปรุง

หลังการปรับปรุงโดยการใช้ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) เข้ามาใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ Make Up แทนชุดแลกเปลี่ยนความร้อนของเดิม สำหรับการทำงานของระบบจะใช้ความร้อนจากระบบระบายความร้อนที่มีอุณหภูมิ 60°C เข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนในชุด Evaporator โดยอุณหภูมิของน้ำหลังจากที่ได้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนจะอยู่ที่ประมาณ 40°C และใช้น้ำที่ระดับแรงดัน 7 บาร์ ในส่วนของ Generator เพื่อให้ความร้อนแก่สารทำงาน โดยความร้อนที่ใช้ในระบบทั้งหมดจะคายความร้อนให้แก่ น้ำที่เข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อน โดยอุณหภูมิของน้ำ Make Up เข้าจะอยู่ที่ 40°C หลังจากที่ได้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนในชุด Condenser อุณหภูมิของน้ำ Make up จะอยู่ที่ 89°C และเข้าไปผสมกับน้ำคอนเดนเสทที่อุณหภูมิ 95°C จะได้น้ำที่อุณหภูมิ 95 ถึง 100°C หลังจากนั้นน้ำป้อนจะเข้าถัง Deaerator เพื่อลดปริมาณออกซิเจนที่เจือปนอยู่ในน้ำโดยการใช้ไอน้ำในการลดปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำป้อน โดยใช้น้ำที่ระดับแรงดัน 7 บาร์ ในการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำป้อน โดยน้ำป้อนหลังจากที่ผ่านระบบ Deaerator จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 120°C เข้าสู่หม้อไอน้ำ จากหลักการทำงานของระบบ Absorption Heat Pump จะช่วยในการลดการใช้พลังงานความร้อนในการทำน้ำร้อนโดยการใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำเข้ามาช่วยในการแลกเปลี่ยนความร้อน

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า COP โดยความร้อนขาออกที่ได้จะมากกว่าความร้อนขาเข้าที่ป้อนเข้าสู่ระบบประมาณ 1.7 เท่า และมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้ประมาณ **30-45%**

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

จากกระบวนการผลิตที่มีความร้อนเหลือทิ้งและมีการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง การใช้ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) จะสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ โดยน้ำร้อนที่ผลิตได้จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 80 ถึง 95 °C จึงเหมาะสำหรับโรงงานที่มีความต้องการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูง เช่น น้ำป้อนหม้อไอน้ำ การทำความสะอาวัตถุติบ (โรงงานที่มีหม้อไอน้ำขนาดตั้งแต่ 10 ตัน ขึ้นไป และต้องมีแหล่งความร้อนเสริม) ดังนั้นการใช้ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) ในกระบวนการผลิตแทนชุดแลกเปลี่ยนความร้อนของเดิมจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในภาพรวมได้

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานผลิตไฟฟ้า
- โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม
- โรงงานเคมี
- โรงงานเหล็ก

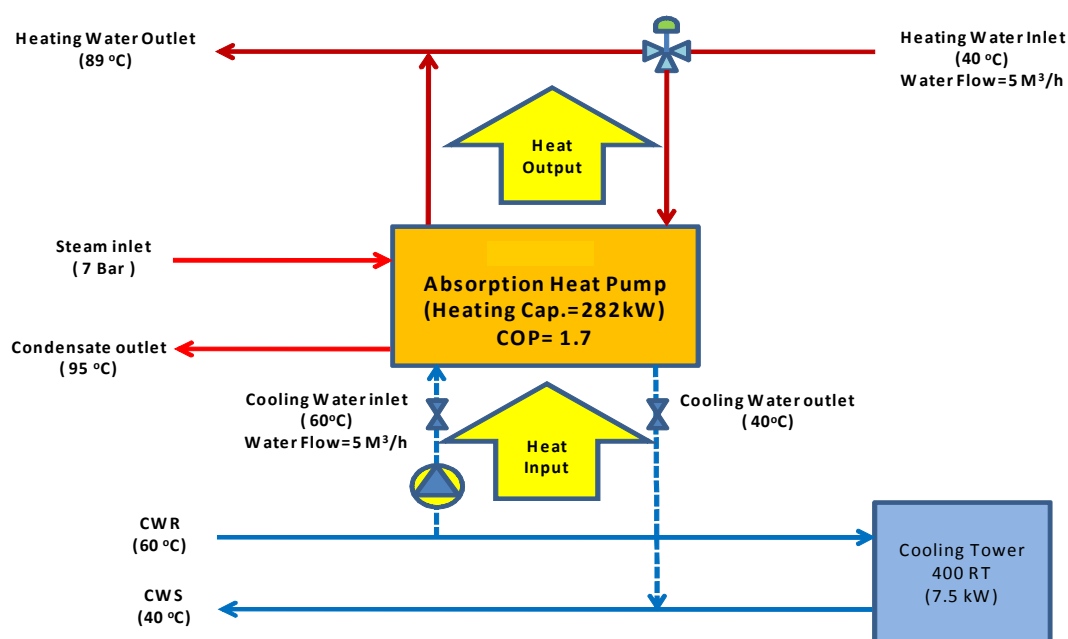
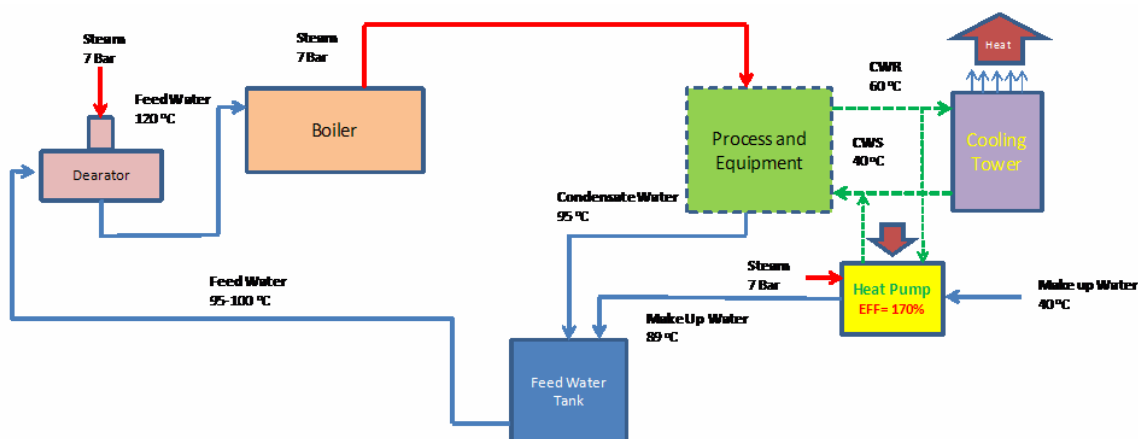
6. ราคาของเทคโนโลยี

ราคาของปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) จะขึ้นอยู่กับขนาดของความร้อนที่ต้องการโดยประเมินจาก kWt โดยเฉลี่ยราคาจะอยู่ที่ประมาณ 6,000 – 7,000 บาท/kWt (ขนาดต่ำสุดที่ระบบทำได้อยู่ที่ 200 kWt โดยจะทำน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิประมาณ 80 ถึง 95 °C ที่อัตราการไหลของน้ำร้อน 4 ตันต่อชั่วโมง)

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลกรณีศึกษาของ ราคาของปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) สามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 – 4 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งความร้อนและความร้อนเหลือทิ้ง ถ้ามีมากพอก็จะสามารถคืนทุนได้เร็ว

กรณีศึกษาผลการประหยัดพลังงานของ Absorption Heat Pump



จากรูปเป็นการทำน้ำร้อนโดยระบบ Absorption Heat Pump ซึ่งจะรับความร้อนจากแหล่งความร้อนสองส่วนด้วยกัน คือ ความร้อนอุณหภูมิต่ำจากน้ำระบายความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C และไอน้ำที่ระดับแรงดัน 7 บาร์ (อุณหภูมิไอน้ำประมาณ 180°C) โดยแหล่งความร้อนทั้งสองก็จะคายความร้อนให้แก่สารทำงานที่เข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อน ในที่นี้ น้ำเข้าจาก 40°C มารับความร้อนจากสารทำงานทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มเป็น 89°C แล้วใช้เป็นน้ำป้อนในระบบหม้อไอน้ำ โดยความร้อนที่ได้จากไอน้ำและน้ำจากระบบระบายความร้อนก็จะคายความร้อนให้แก่สารทำงานที่เข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด แหล่งความร้อนที่ได้จะมาจากไอน้ำ 100% และน้ำจากระบบระบายความร้อน 70% ซึ่งก็จะทำให้ค่า COP อยู่ที่ประมาณ 170%

การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

กรณีที่ใช้เชื้อเพลิง NG

Absorption Heat Pump		
Heat Flow Rate for Cooling tower		
Input		
water flow rate	L/h	5,000.00
Temp. water inlet	oC	60
Temp. water outlet	oC	40
Diff. Temp. water	oC	20
Heat Capacity	kJ/kg.oC	4.186
Heat flow rate	MJ/h	418.6
	kWth	116.28
Total heat require	kWth	282
	kJ/h	1,015,200.00
Steam flow rate exiting	kg/h	366.83
Heat Steam require	kWth	165.72
	kJ/h	596,600.00
enthalpy of steam at 7 bar	kJ/kg	2,767.46
Steam flow rate after	kg/h	215.58
Saving Steam flow rate	kg/h	151.26

ข้อมูลอ้างอิงที่ใช้ในการคำนวณ

อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน (m_c)	5,000	L/h
อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนเข้า (t_{ci})	60	°C
อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนออก (t_{co})	40	°C
ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (C_p)	4.186	kJ/kg.°C
Enthalpy of steam at 7 barg	2,767.46	kJ/kg
ปริมาณความร้อนที่ต้องการทั้งหมด	282	kWth
อัตราการไหลของไอน้ำก่อนปรับปรุง	366.83	kg/h
LHV of NG	1,055	MJ/MBtu
ราคา NG เฉลี่ย	400	Baht/MBtu
ชั่วโมงการทำงาน	8,760	h/yr
ราคาต้นทุนในการผลิตไอน้ำเฉลี่ย	1.50	Baht/kg

$$\begin{aligned}
 \text{Heat Flow Rate of Cooling Water} &= m_c \times C_p \times (t_{ci} - t_{co}) \\
 &= 5,000 \times 4.186 \times (60 - 40) / 1,000 \\
 &= 418.6 \quad \text{MJ/h} \\
 &= 418.6 \times 1,000 / 3,600 \\
 &= 116.28 \quad \text{kWth}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนที่ต้องการเพิ่มจากไอน้ำ 7 barg} \\
 &= 282 - 116.28
 \end{aligned}$$

$$= 165.72 \text{ kWth}$$

$$= 165.72 \times 3,600$$

$$= 596,600 \text{ kJ/h}$$

คิดเป็นปริมาณไอน้ำที่ใช้หลังปรับปรุง = $596,600 / 2,767.46$

$$= 215.58 \text{ kg/h}$$

ดังนั้นคิดเป็นปริมาณไอน้ำที่ใช้ลดลง = $366.83 - 215.58$

$$= 151.26 \text{ kgh}$$

Output (NG Fuel)		
LHV of NG	MJ/MBtu	1,055.00
NG Saving	MBtu/h	0.40
Operation per yr	h/yr	8,760.00
	MBtu/yr	3,475.77
NG Price	Baht/MBtu	400
Cost saving from cooling tower	Baht/yr	1,390,307.49
Steam flow rate saving	kg/yr	1,325,018.61
Steam Price	Baht/kg	1.5
Steam cost saving	Baht/yr	1,987,527.91
Total cost saving	Baht/yr	3,377,835.40
Investment		
Absorption heat pump capacity	kWth	282
Price per thermal	Baht/kWt	9,000.00
Total investment	Baht	2,538,000.00
Cost saving	Baht	3,377,835.40
Payback	yr	0.75

ผลการประหยัดเชื้อเพลิง NG = $418.60 / 1,055$

$$= 0.40 \text{ MBtu/h}$$

$$= 0.40 \times 8,760$$

$$= 3,475.77 \text{ MBtu/yr}$$

$$= 3,475.77 \times 400$$

$$= 1,390,307.49 \text{ Baht/yr}$$

ผลการประหยัดไอน้ำ = $151.26 \times 8,760$

$$= 1,325,018.61 \text{ kg/yr}$$

$$= 1,325,018.61 \times 1.5$$

$$= 1,987,527.91 \text{ Baht/yr}$$

รวมผลการประหยัดทั้งหมด = $1,390,307.49 + 1,987,527.91$

$$= 3,377,835.40 \text{ Baht/yr}$$

จากผลการคำนวณพบว่า การติดตั้งเครื่อง Absorption Heat Pump สามารถช่วยลดการใช้ไอน้ำในระบบเดิมลงได้ประมาณ 40% และความร้อนที่ได้รับจากน้ำระบายความร้อนสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงในการทำน้ำร้อนลงได้โดยที่ระบบยังสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยเครื่อง Absorption Heat Pump สามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิ 89 °C จากน้ำอุณหภูมิ 40 °C

เงินลงทุน

- ราคา Absorption Heat Pump ขนาด 282 kWth	2,530,000	บาท
- ผลการประหยัด	3,377,835.40	บาทต่อปี
- ระยะเวลาในการคืนทุนเบื้องต้น	0.75	ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ปั๊มความร้อนแบบดูดซึม (Absorption Heat Pump) จะใช้แหล่งความร้อนที่เหลือทิ้งจากระบบเข้ามาช่วยเสริมในการผลิตน้ำร้อน ดังนั้นจึงเป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตลงได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. พบว่ายังไม่มีการนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการใดๆ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 6,444 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศในปี 2553 ⁽⁶⁾ และจากการประมาณการในกรณีนี้ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้ นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 2,221 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา

N/A

11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) www.ecsthai.co.th
- (2) www.nwt.co.th
- (3) www.eng.su.ac.th
- (4) www.boonyium.com
- (5) www.leonics.co.th
- (6) รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2553

ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก หัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ (Self Recuperative Burner)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾

หัวเผาเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ คือ อะไร

หัวเผาเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ คือ หัวเผาที่มีลักษณะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อแฝงรังสี โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้นมาติดกับหัวเผาเป็นชุดเดียวกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการอุ่นอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยการนำก๊าซไอเสียทิ้งมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็นที่จะใช้เผาไหม้ ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นภายในตัวหัวเผาที่ออกแบบให้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในตัวเอง เมื่ออากาศเย็นที่จะใช้ในการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นและประหยัดเชื้อเพลิง



รูปที่ 1.1: แสดงรูปโครงสร้างของหัวเผาเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ

การแลกเปลี่ยนความร้อนในหัวเผาเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ

หลักการสำคัญที่ทำให้หัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟประหยัดเชื้อเพลิงได้ นั่นคือการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศเย็นที่จะใช้เผาไหม้ ซึ่งก๊าซไอเสียจะไหลผ่านหัวเผาที่ติดตั้งอุปกรณ์ดึงก๊าซไอเสีย (Flue Gas Eductor) โดยเหนี่ยวนำให้ก๊าซไอเสียไหลผ่านหัวเผาในส่วนที่เป็นชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งภายในหัวเผา ก๊าซไอเสียจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเย็นที่ใช้ในการเผาไหม้ที่ไหลสวนทางผ่านช่องรอบนอกตัวหัวเผาหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดกับหัวเผา ดังแสดงในรูปที่ 1.2

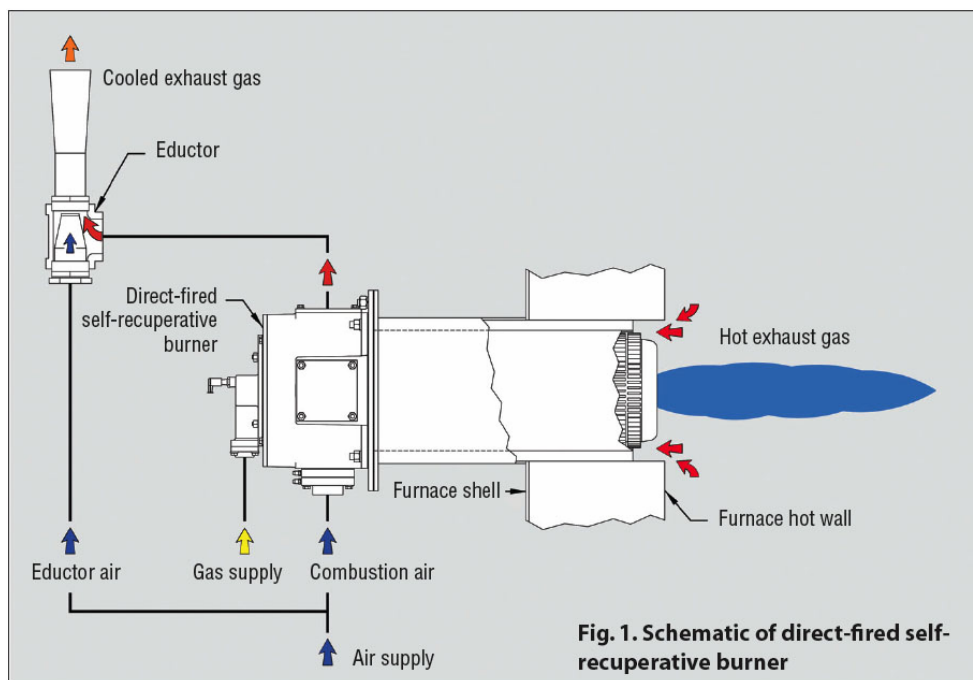


Fig. 1. Schematic of direct-fired self-recuperative burner

รูปที่ 1.2: แสดงหลักการทำงานของหัวเผาเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ⁽¹⁾

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

เตาอุตสาหกรรมทั่วไป หัวเผาที่ใช้เป็นแบบหัวเผาอากาศเย็น ซึ่งอุณหภูมิอากาศที่ป้อนเข้าห้องเผาใหม่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับบรรยากาศ (ประมาณ 30-35 °C) ซึ่งหากสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่ใช้เผาใหม่ได้จะทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้

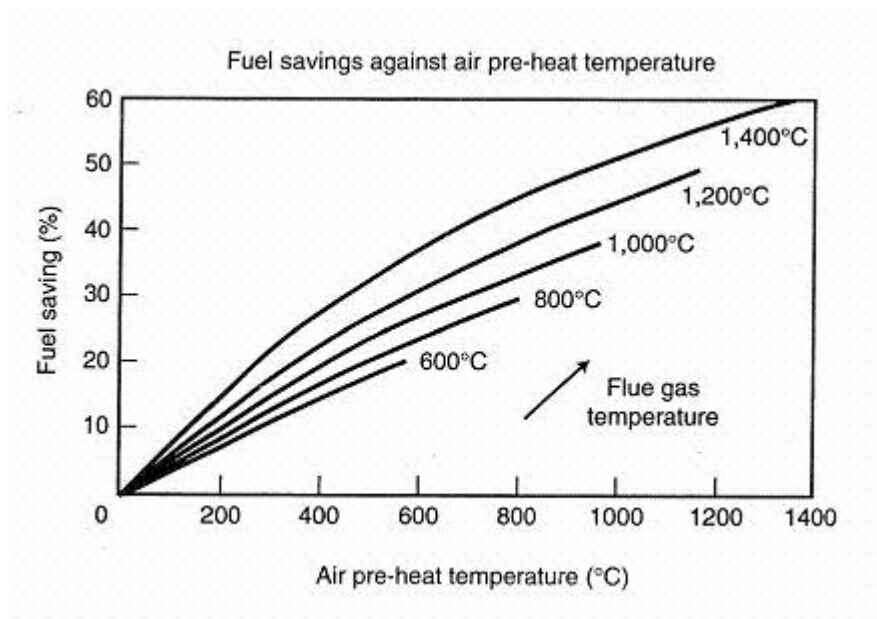
การติดตั้งหัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ สามารถติดตั้งเพื่อทดแทนหัวเผาอากาศเย็นได้ ซึ่งจะต้องมีการดัดแปลงเพื่อให้เข้ากับเตาเผา เหมาะสำหรับเตาเผาขนาดเล็กและใหญ่ที่มีอุณหภูมิใช้งานสูง (มากกว่า 750 °C) และต้องเป็นก๊าซไอเสียที่มีการปนเปื้อนต่ำและเชื้อเพลิงที่ใช้ควรจะมีกำมะถันในระดับต่ำเพื่อลดปัญหาเรื่องการบำรุงรักษาหัวเผา

⁽⁴⁾ หัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟมีประโยชน์อย่างมากในงานที่ต้องการอุณหภูมิสม่ำเสมอโดยใช้กับเตาหลอมที่มีปริมาตรขนาดเล็ก เช่น เตาเผาเครื่องปั้นดินเผา

⁽⁴⁾ หัวเผาแบบหัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟอาจนำมาใช้เสริมกับหัวเผาแบบเซรามิกชนิดรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Ceramic Burner) สำหรับการใช้งานขนาดใหญ่เพื่อจะทำให้การกระจายความร้อนสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

จากเอกสารและข้อมูลเผยแพร่⁽²⁾ พบว่าเตาอุตสาหกรรมทั่วไปที่มีการติดตั้งหัวเผาอากาศเย็นจะใช้อากาศอุณหภูมิต่ำเพื่อใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งโดยทั่วไปการเผาไหม้ของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะใช้เชื้อเพลิงมากกว่าการเผาไหม้อากาศที่มีอุณหภูมิสูง ดังแสดงในรูป 3.1



รูป 3.1: แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิง⁽²⁾

จากรูป 3.1 จะพบว่าเมื่อเราสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่จะใช้ในการเผาไหม้ได้ จะทำให้การสูญเสียพลังงานในการทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นนั้นลดลงได้ ระยะเวลาในการเผาไหม้ก็สามารถลดลงได้ ในกรณีของเตาเผาที่ทำงานแบบเป็นงวด (Batch) จะช่วยลดระยะเวลาการทำงานของเตาได้ ซึ่งจะสามารถเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย ในทำนองเดียวกันกรณีของเตาเผาที่ทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous) จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาจากรูป 3.1 หากเพิ่มอุณหภูมิอากาศจากสภาวะปกติให้สูง 600 °C (อุณหภูมิใช้งาน 1250 °C) สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ประมาณ 25-30%⁽⁵⁾

จากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งในต่างประเทศ⁽³⁾⁽⁵⁾ การให้ความร้อนในเตาอุตสาหกรรมโดยการติดตั้งหัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟสามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 20%-30% เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนในเตาเผาที่ใช้หัวเผาแบบอากาศเย็นทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูป 3.2: แสดงตัวอย่างของหัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟที่สามารถประหยัดได้ 30%⁽³⁾

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้อุ่นอากาศในการเผาไหม้โดยการติดตั้งหัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้เตาเผาที่มีอุณหภูมิใช้งานสูงกว่า 750 °C และใช้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันต่ำ เช่น ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น



รูปที่ 4.1: แสดงการติดตั้งหัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟกับเตาเผา⁽³⁾

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี⁽⁷⁾

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- โรงงานผลิตโลหะ เช่น การรีดเหล็กเส้น
- โรงงานผลิตเซรามิก
- โรงงานผลิตแก้ว

6. ราคาของเทคโนโลยี

ขึ้นกับขนาดของอุปกรณ์รวมทั้งค่าการติดตั้งที่จะต้องมีการปรับปรุงเตา

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลจากกรณีศึกษาในต่างประเทศ⁽⁴⁾ เทคโนโลยีการใช้หัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟสามารถให้ผลประหยัดซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณไม่เกิน 1 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การนำความร้อนจากก๊าซเสียทิ้งมาใช้ในการอุ่นอากาศเผาไหม้ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในเตาเผาดีขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงลดน้อยลง จึงถือว่าเป็นอีกแนวทางในการลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้

9. เอกสารอ้างอิง

- (1) Industrial Heating, The International Journal of Thermal Technology.
- (2) U.S. Department of Energy. Best Practice Program, Energy Efficiency and Renewable Energy.
- (3) Eclipse, Inc. Products Information Available URL: <http://eclipsenet.com>
- (4) Eclipse, Inc. Application Brief, AutoRecupe SER version 3, Available URL: <http://eclipsenet.com>
- (5) Flanagan, J.M., 1993. Process Heating in the Metals Industry, CADDET Analyses Series No.11, CADDET, Sittard, The Netherlands.
- (6) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. หัวเผาระบบรีคูเพอเรทีฟและหัวเผาแบบเซลฟ์-รีคูเพอเรทีฟ, คู่มือฝึกอบรมหลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) สามัญ, ตอนที่ 3 บทที่ 7 หัวข้อ 7.4.1.2 หน้า 7-17 – 7-18, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร, กรกฎาคม 2550
- (7) ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม

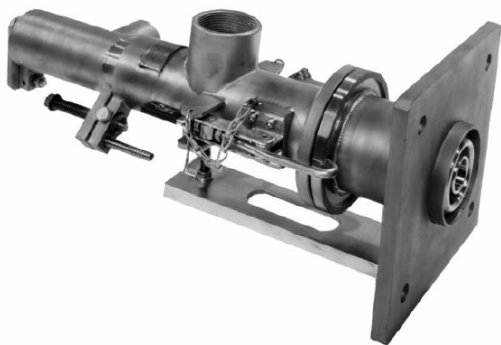
ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก การใช้หัวเผาแบบ Oxy-Fuel (Oxy-Fuel Fired Burner)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี

Oxy-Fuel Combustion คืออะไร

โดยปกติ การเผาไหม้ (Combustion) เกิดขึ้นได้ระหว่างการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิง (Fuel) และก๊าซออกซิเจน (Oxygen) ที่อยู่ในอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Combustion Air) ซึ่งปริมาณออกซิเจนในอากาศจะมีเพียง 21% โดยปริมาตรเท่านั้น โดยสัดส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen) ซึ่งมีถึงประมาณ 78% โดยปริมาตร ดังนั้น การสูญเสียความร้อนจากการเผาไหม้ (Sensible Heat Loss) โดยส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นกับก๊าซไนโตรเจน

การเผาไหม้แบบ Oxy-Fuel Combustion เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการลดความสูญเสียดังกล่าว โดยใช้หัวเผาแบบ Oxy-Fuel ซึ่งเป็นหัวเผาที่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ (Combustion) ได้อย่างเต็มที่ โดยสามารถลดปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้แบบทั่วไป (ลักษณะคล้ายกับหัวเผาชนิดอื่นๆ แต่สามารถให้เปลวไฟอุณหภูมิสูงได้) มีทั้งแบบที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันเตาเนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถให้อุณหภูมิสูงกว่าหัวเผาอื่นๆได้ หัวเผาชนิดนี้จึงมักนำไปใช้ในงานเตาหลอมแก้ว หลอมโลหะ เตาให้ความร้อนซ้ำกับโลหะ (Metal Reheating) และเตาให้ความร้อนเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับขั้น (Ladle Reheating)

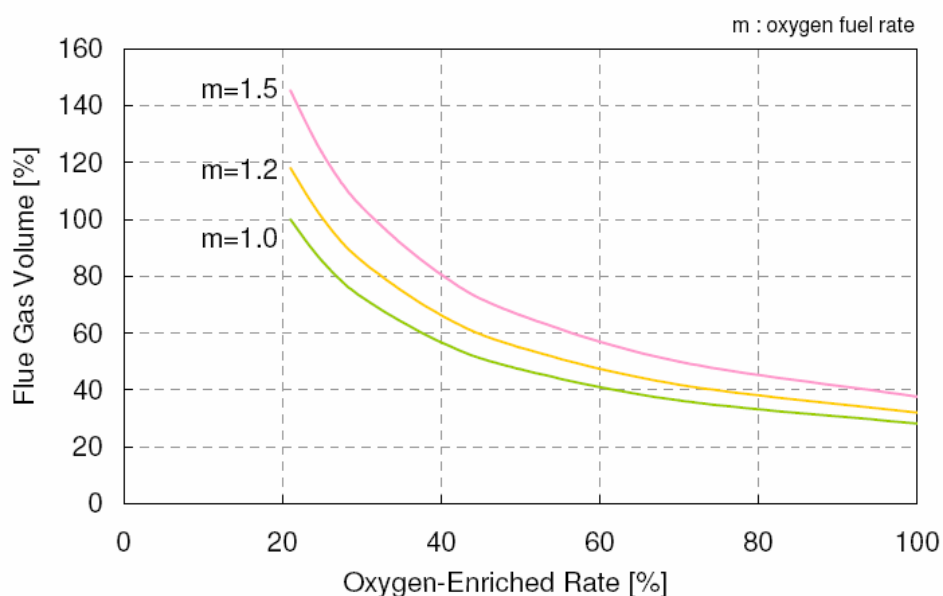


รูปที่ 1.1 Oxygen Fuel Burner

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

หัวเผาแบบ Oxy-Fuel สามารถใช้ทดแทนเทคโนโลยีหัวเผาแบบเดิม (Conventional Combustion) ที่ใช้อากาศ (Air) เป็น Primary Oxidant ในปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยมีจุดเด่น ดังต่อไปนี้

- ลดปริมาณความสูญเสียจากปริมาณก๊าซไอเสีย (Exhaust Gas) ที่ลดลงได้ถึง 75%



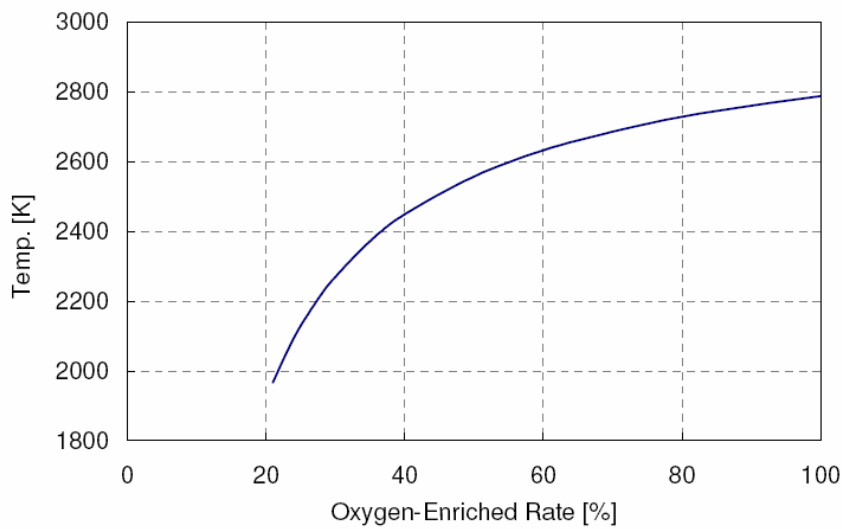
ที่มา : Tokyo Gas Co.,Ltd, High Efficiency Furnace with Oxy-Fuel Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery

รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณ Flue Gas เทียบกับปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้

จากกราฟข้างต้น จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เป็นอากาศเผาไหม้ (Oxygen-Enriched = 100%) ปริมาณก๊าซไอเสีย (Exhaust Gas) จะลดลงจากเดิมที่ประมาณ 100% เหลือเพียง 25-30% (เส้นกราฟ m=1.0) อันเนื่องมาจากปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่ไม่ได้ถูกใช้ในการเผาไหม้

- อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้นกว่าเทคโนโลยีเดิม จากโดยทั่วไปประมาณ 1950 องศาเซลเซียส เป็นประมาณ 2800 องศาเซลเซียส

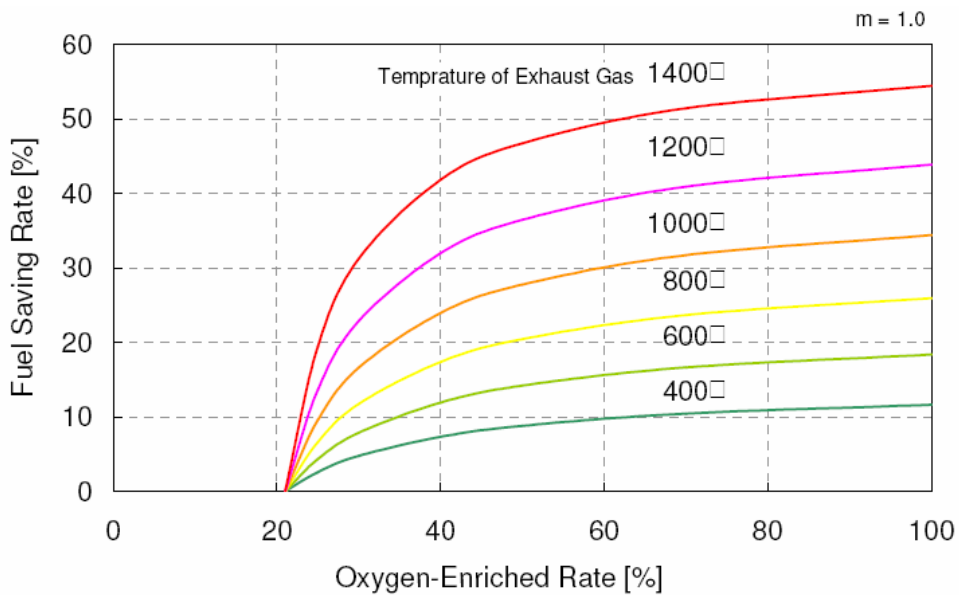
การใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เป็นอากาศเผาไหม้ (Oxygen-Enriched =100%) ส่งผลให้อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้น และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) สูงขึ้น



ที่มา : Tokyo Gas Co.,Ltd, High Efficiency Furnace with Oxy-Fuel Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery

รูปที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิเปลวไฟ เทียบกับปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้

➤ เพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน

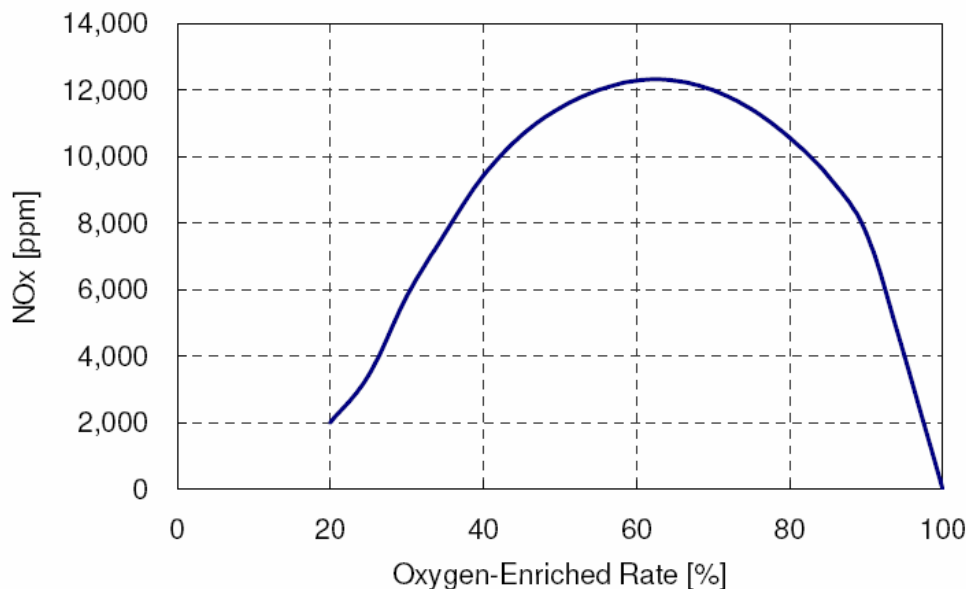


ที่มา : Tokyo Gas Co.,Ltd, High Efficiency Furnace with Oxy-Fuel Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery

รูปที่ 2.3 แสดงผลประหยัดเชื้อเพลิง เทียบกับปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้

หากพิจารณาช่วงอุณหภูมิก๊าซเสีย (Exhaust Gas Temperature) ในช่วง 800- 1400 °C ผลการประหยัดพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ลดลงจะอยู่ในช่วงประมาณ 25-50%

- ลดปริมาณก๊าซ NOx ซึ่งเป็นก๊าซที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย



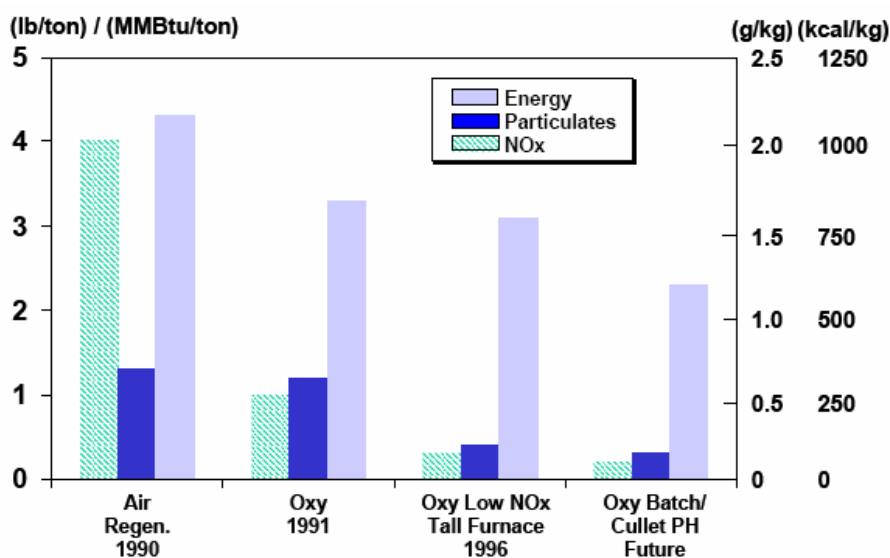
ที่มา : Tokyo Gas Co.,Ltd, High Efficiency Furnace with Oxy-Fuel Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery

รูปที่ 2.4 แสดงปริมาณการเกิดก๊าซ NOx เทียบกับปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้

ปริมาณก๊าซ NOx เกิดขึ้นภายหลังจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ โดยที่อุณหภูมิเปลวมีผลต่อการเกิดปริมาณก๊าซ NOx กล่าวคือที่อุณหภูมิเปลวสูงจะส่งผลให้มีปริมาณ NOx สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ที่ค่า Oxygen-Enriched มากกว่า 60% จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนในการเผาไหม้ลดลงซึ่งแนวโน้มก็คือจะลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ ในกรณีที่ Oxygen-Enriched = 100%

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

ผลการประหยัดพลังงานประมาณ 30-50% โดยจากรูปที่ 3.1 ด้านล่างนี้ แสดงถึงการใช้เทคโนโลยีหัวเผาแบบ Oxy-Fuel กับอุตสาหกรรมแก้ว โดยมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่า 800 Kcal/kg สำหรับ 60% Cullet ในเตาเผาขนาด 111 ตารางเมตร ซึ่งหากมีการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่จะทำให้ผลการใช้พลังงานอยู่ในระดับต่ำสุด คือ ที่ประมาณ 625 Kcal/kg สำหรับ 60% Cullet (Oxy Batch/Cullet PH)

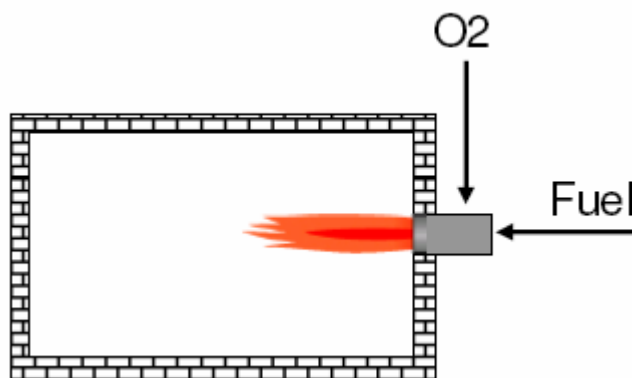


ที่มา : Praxair, Inc. , Advances in Oxy-Fuel Fired Glass Melting Technology

รูปที่ 3.1 แสดงผลประหยัดพลังงานจากการใช้ Oxy-Fuel Burner

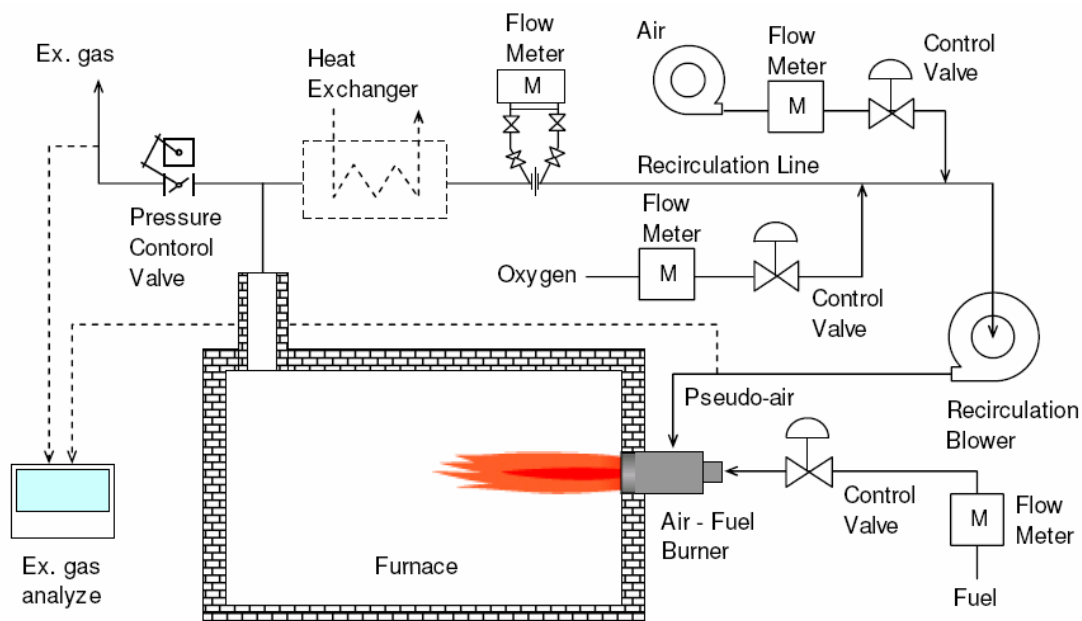
4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

ถึงแม้ว่าที่ผ่านมาได้มีการใช้ออกซิเจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และเพิ่มประสิทธิภาพในลักษณะที่เรียกว่า “Oxygen-Enriched Combustion” ก็ตาม (เพิ่มออกซิเจนในสัดส่วนประมาณ 30%) อย่างไรก็ตาม การใช้ Oxy-Fuel Burner 100% จะช่วยให้เกิดผลประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงการใช้ Oxy-Fuel Burner

นอกจากนี้ หลักการของการใช้เทคโนโลยี Oxy-Fuel สามารถประยุกต์ใช้กับ Conventional Furnace โดยใช้ระบบที่ออกแบบเรียกว่า “Forced Flue Gas Recirculation System” โดยที่ออกซิเจน และ Recirculated Flue Gas จะถูกผสมเข้าด้วยกันเพื่อให้มีปริมาณไนโตรเจนในอากาศต่ำสุด โดยเรียกว่า “Pseudo-air” ซึ่งประกอบด้วย CO₂, H₂O และ N₂ ในปริมาณเล็กน้อย ดังแสดงในไดอะแกรมรูปที่ 4.2



ที่มา : Tokyo Gas Co.,Ltd, High Efficiency Furnace with Oxy-Fuel Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery

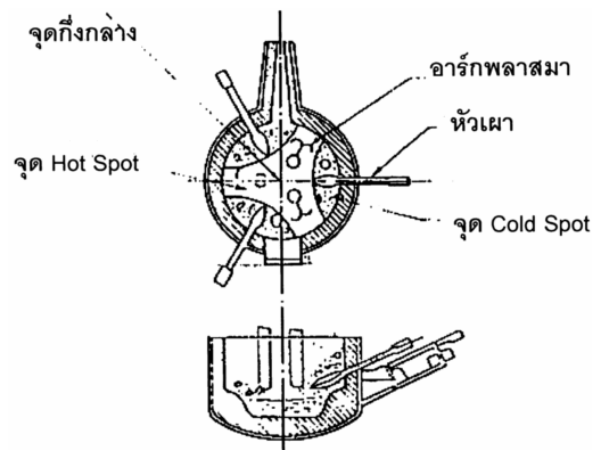
รูปที่ 4.2 แนวคิดของการประยุกต์ระบบ Oxy-Fuel Combustion Technology กับ Conventional Furnace

โดยหลักการของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Oxy-Fuel Combustion ข้างต้น จะเกิดประโยชน์ดังต่อไปนี้

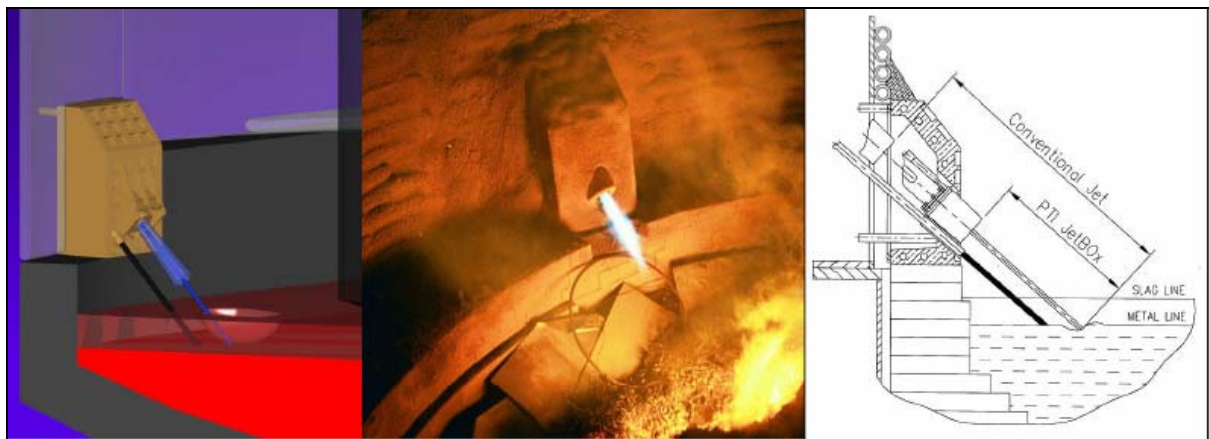
- ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือซื้อก๊าซออกซิเจนจำนวนมากในการเป็นเชื้อเพลิง
- ลดปัญหาอันเนื่องมาจากอุณหภูมิเปลวที่สูงขึ้นมาก ในขณะที่เตาเดิมไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับสภาวะดังกล่าว
- ลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนหัวเผาชุดเดิม เป็นแบบ Oxy-Fuel Burner

ตัวอย่างการใช้งานในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตเหล็ก

กรณีตัวอย่างการประยุกต์ใช้อื่นๆ ได้แก่ ในช่วงของการหลอมเหล็ก เศษเหล็กจะถูกหลอมในเตาหลอมอาร์คไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูง เศษเหล็กถูกหลอมอย่างรวดเร็วในช่วงการหลอม หัวเผาแบบ Oxy Fuel จะให้ความร้อนเพิ่มเติมเพื่อช่วยหลอมเศษเหล็กในบริเวณที่อาร์คไฟฟ้าหลอมไม่ถึง (Cold Spot)



รูปที่ 4.3 การใช้ Oxy-Fuel Burner เสริมในบริเวณ Cold Spot



รูปที่ 4.4 การใช้ Oxy-Fuel Burner สำหรับ EAF

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

กลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ได้แก่

- โรงงานอุตสาหกรรมแก้ว
- โรงงานอุตสาหกรรมเหล็กชั้นกลาง
- โรงงานอุตสาหกรรมเหล็กชั้นปลาย

6. ราคาของเทคโนโลยี

ประมาณ 1,500,000 บาทต่อชุด (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดอัตราการใช้เชื้อเพลิง MMBtu/hr)

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

ประมาณ 2-4 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีนี้ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการลดปริมาณ CO₂ และ NOx หลังการเผาไหม้

9. ความแพร่หลายและศักยภาพการขยายผลในประเทศไทย

จากการตรวจสอบกับผู้จำหน่ายและฐานข้อมูลโรงงานอาคารควบคุมของ พพ. พบว่ายังไม่มีผู้นำเทคโนโลยีหัวเผาแบบ Oxy-Fuel ไปประยุกต์ใช้แล้วกับสถานประกอบการใดๆ ในประเทศ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณากลุ่มเป้าหมายการใช้เทคโนโลยีนี้ ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพแล้วพบว่า เทคโนโลยีนี้สามารถขยายผลในสถานประกอบการที่มีการใช้พลังงานรวมกันประมาณ 1,904 ktoe ตามข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศไทยในปี 2553 ⁽⁵⁾ และจากการประมาณการในกรณีที่ 20% ของสถานประกอบการที่มีศักยภาพเหล่านี้ นำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้จะทำให้เกิดผลประหยัดพลังงานให้กับประเทศได้ปีละประมาณ 1,580 ล้านบาท

10. ตัวอย่างกรณีศึกษา ⁽³⁾

โรงงาน	:	บริษัท เกษมศักดิ์ เทรดดิ้ง จำกัด
ประเภทอุตสาหกรรม	:	อุตสาหกรรมผลิตเหล็กแท่ง (Billet) และเหล็กเส้น (Deformed Bar และ Rounded Bar)
การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี	:	ใช้ Oxy-fuel Burner สำหรับการอุ่นเบ้ารับน้ำเหล็ก (Ladle)
ผลประหยัดพลังงาน	:	การใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาลดลง 0.8 ลิตรต่อตันเหล็ก เนื่องจากระยะเวลาในการอุ่นลดลงประมาณ 50% คิดเป็นผลประหยัดพลังงานประมาณ 40%

11. แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) "Advances in Oxy-Fuel Fired Glass Melting Technology", PRAXAIR
- (2) "High Efficiency Furnace with Oxy-Fuel Combustion and Zero-Emission by CO₂ Recovery", Tokyo Gas Co.,Ltd.
- (3) "รายงานผลการศึกษาวิจัยการใช้ Oxy-fuel burner สำหรับอุ่นเบ้ารับน้ำเหล็ก (Ladle)", สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย-บริษัท บางกอกอินดัสเทรียลแก๊ส จำกัด-บริษัท เกษมศักดิ์เทรดดิ้ง จำกัด-คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- (4) "Eclipse-Oxygen fuel burner", Combustion (Thailand) Co.,Ltd.
- (5) รายงานพลังงานของประเทศไทย ปี 2553



T G B I
TREES – NC
Reference Guide
Version 1.1

Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability for New Construction and Major Renovation

เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย
สำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่

จัดทำโดย

สถาบันอาคารเขียวไทย

Thai Green Building Institute (TGBI)

ด้วยความร่วมมือระหว่าง



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์

คณะกรรมการมูลนิธิอาคารเขียวไทย

1. นายประสงค์ ธาราไชย	ประธาน
2. นายทวีจิตร จันทรสชา	รองประธาน
3. นายเกษรา ชีระโกเมน	กรรมการ
4. นายจักรพันธ์ ภาวงศ์รัตน์	กรรมการ
5. ดร.ชเล คุณาวงศ์	กรรมการ
6. นายบุญญวัฒน์ ทิพทัส	กรรมการ
7. นายวิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์	กรรมการ
8. ผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุต	กรรมการ
9. นายวิญญู วานิชศิริโรจน์	เหรัญญิก
10. นายนิพนธ์ ไชยธีรภิญโญ	เลขาธิการ

คณะกรรมการสถาบันอาคารเขียวไทย

1. นายนิพนธ์ ไชยธีรภิญโญ	ประธาน
2. นายจักรพันธ์ ภาวงศ์รัตน์	รองประธาน
3. นายเกษรา ชีระโกเมน	เหรัญญิกและประธานอนุกรรมการฝ่ายประเมินอาคาร
4. อาจารย์ ดร. จตุวัฒน์ วจิตรพันธ์	ประธานอนุกรรมการฝ่ายวิชาการ
5. นายประพุด พงษ์เลาพันธ์	ประธานอนุกรรมการฝ่ายกิจกรรมและอบรม
6. นางศิรินทร วงษ์เสาวศุภ	ประธานอนุกรรมการประชาสัมพันธ์
7. ผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุต	ประธานอนุกรรมการฝ่ายต่างประเทศ
8. ดร.พร วิรุฬห์รักษ์	ประธานอนุกรรมการสารสนเทศ
9. ดร.ภัทรนันท์ ทักขนนท์	กรรมการ
10. อาจารย์ เอกวัฒน์ โอภาสพงษ์กร	กรรมการ
11. นายกมล ตันพิพัฒน์	กรรมการ
12. นายพีรรัฐ ธีรวัฒน์พรกุล	กรรมการ
13. ดร.ณรงค์วิทย์ อารีมิตร	กรรมการ
14. ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์	กรรมการ
15. นายวิโรจน์ เทศน์อรรถภาคย์	กรรมการ
16. นายสมโภชน์ ศิริโชติ	กรรมการ
17. นายพัลลภ พรสุริยวัฒน์	กรรมการ
18. ดร.ปรีชา มณีสถิต	กรรมการ
19. นายสมศักดิ์ จิตมั่น	กรรมการ
20. นายวิญญู วานิชศิริโรจน์	เลขานุการ

ที่ปรึกษาสถาบันอาคารเขียวไทย

1. นายคมกฤษ ชูเกียรติมัน
2. ดร. จญาดา บุญยเกียรติ
3. รศ.ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล
4. ดร. ชานัน ติรัตนรัตน์
5. รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน
6. นายชัชวาลย์ คุณคำชู

คณะกรรมการจัดทำหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว

- | | |
|---|------------|
| 1. นายจักรพันธ์ ภาวังคะรัตน์ | ประธาน |
| 2. นายวิญญู วานิชศิริโรจน์ | รองประธาน |
| 3. นายกมล ต้นพิพัฒน์ | อนุกรรมการ |
| 4. อาจารย์.ดร.จตุวัฒน์ วจิตมพันธ์ | อนุกรรมการ |
| 5. นายประพุด พงษ์เลาหพันธ์ | อนุกรรมการ |
| 6. ดร.พร วิรุฬห์รักษ์ | อนุกรรมการ |
| 7. รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน | อนุกรรมการ |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย กฤษไมตรี | อนุกรรมการ |
| 9. นายรพีรัฐ ธีววัฒน์พรกุล | อนุกรรมการ |
| 10. นายวัลลภ เรืองด้วยธรรม | อนุกรรมการ |
| 11. นางศิรินทร วงษ์เสาวศุภ | อนุกรรมการ |
| 12. นายสมจินต์ ดิสวัสดิ์ | อนุกรรมการ |
| 13. นายอภิชัย กำแพงเศรษฐ | อนุกรรมการ |
| 14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐสุนทร | อนุกรรมการ |
| 15. นายอนวัช พงศ์สุวรรณ | เลขานุการ |
| 16. นางสาวสุพรรณีย์ ทองจูด | เลขานุการ |

คณะผู้จัดทำ จาก คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. อาจารย์ ดร. จตุวัฒน์ วจิตมพันธ์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ
3. อาจารย์ กรกมล ต้นตวินิช
4. อาจารย์ ดร. พิมลมาศ วรรณคนาพล
5. อาจารย์ อลิษา สหวัชรินทร์
6. คุณ ธรรมพ พูลสุวรรณ
7. อาจารย์ ดร. ธีรพงศ์ จันทร์เพ็ง

สารบัญ

หัวข้อ	รายละเอียด	หน้า	คะแนน (บังคับ)
	บทนำ	1	
BM	หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (Building Management)	6	3 (1)
BM P1	การเตรียมความพร้อมความเป็นอาคารเขียว	7	บังคับ
BM 1	การประชาสัมพันธ์ผู้สังคม	8	1
BM 2	คู่มือและการฝึกอบรมแนะนำการใช้งานและบำรุงรักษาอาคาร	9	1
BM 3	การติดตามประเมินผลขณะออกแบบ ก่อสร้างและเมื่ออาคารแล้วเสร็จ	10	1
SL	หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape)	11	16 (2)
SL P1	การหลีกเลี่ยงที่ตั้งที่ไม่เหมาะสมกับการสร้างอาคาร	12	บังคับ
SL P2	การลดผลกระทบต่อพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์ทางธรรมชาติ	13	บังคับ
SL 1	การพัฒนาโครงการบนพื้นที่ที่พัฒนาแล้ว	14	1
SL 2	การลดการใช้รถยนต์ส่วนตัว	15	4
SL 3	การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน		3
SL 3.1	มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของพื้นที่ฐานอาคาร	16	1
SL 3.2	มีต้นไม้ยืนต้น 1 ต้นต่อพื้นที่เปิดโล่ง 100 ตารางเมตร (ห้ามย้ายไม้ยืนต้นมาจากที่อื่น)	17	1
SL 3.3	ใช้พืชพรรณพื้นถิ่นที่เหมาะสม	18	1
SL 4	การขีมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม	19	4
SL 5	การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ		4
SL 5.1	มีการจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง	21	2
SL 5.2	มีพื้นที่ลาดแข็งที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่โครงการ	22	1
SL 5.3	มีต้นไม้ยืนต้นทางทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออก ที่บังแดดได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวอาคาร	23	1
WC	หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ (Water Conservation)	24	6
WC 1	การประหยัดน้ำและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ	25	6
EA	หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere)	26	20 (2)
EA P1	การประกันคุณภาพอาคาร มีแผนการตรวจสอบและปรับแต่งระบบโดยบุคคลที่สาม	27	บังคับ
EA P2	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ ได้ 4 คะแนนในข้อ EA 1	28	บังคับ
EA 1	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	29	16
EA 2	การใช้พลังงานทดแทน ผลิตพลังงานทดแทน ให้ได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5-1.5 ของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคาร	31	2

หัวข้อ	รายละเอียด	หน้า	คะแนน (บังคับ)
EA 3	การตรวจสอบและพิสูจน์ผลเพื่อยืนยันการประหยัดพลังงาน มีแผนการตรวจสอบและพิสูจน์ผลตามข้อกำหนด IPMVP	32	1
EA 4	สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ ไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22	33	1
MR	หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง (Materials and Resources)	34	13
MR 1	การใช้อาคารเดิม เก็บรักษาพื้นหรือหลังคาของอาคารเดิมไว้ร้อยละ 50-75 ของพื้นที่ผิว	37	2
MR 2	การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้าง นำขยะไปใช้หรือรีไซเคิล 50-75% ของปริมาตรหรือน้ำหนัก	38	2
MR 3	การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว นำวัสดุก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่เป็นมูลค่าร้อยละ 5-10	39	2
MR 4	การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล ใช้วัสดุรีไซเคิลเป็นมูลค่าร้อยละ 10-20	40	2
MR 5	การใช้วัสดุพื้นดินหรือในประเทศ การใช้วัสดุที่ ขุด ผลิต ประกอบ หรือวัสดุพื้นดินหรือในประเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุ ก่อสร้างทั้งหมด	41	2
MR 6	วัสดุที่ผลิตหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ		3
MR 6.1	ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามฉลากเขียวและฉลากคาร์บอนของไทยไม่น้อยกว่าร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด	42	2
MR 6.2	ใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้าง ทั้งหมด	43	1
IE	หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality)	44	17 (2)
IE P1	ปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร อัตราการระบายอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	45	บังคับ
IE P2	ความส่องสว่างภายในอาคาร ความส่องสว่างขั้นต่ำผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	46	บังคับ
IE 1	การลดผลกระทบมลภาวะ		5
IE 1.1	ช่องนำอากาศเข้าไม่อยู่ตำแหน่งที่มีความร้อนหรือมลพิษ	47	1
IE 1.2	ความดันเป็นลบ (Negative pressure) สำหรับห้องพิมพ์งาน ถ่ายเอกสาร เก็บสารเคมี และเก็บสารทำ ความสะอาด	48	1
IE 1.3	ควบคุมแหล่งมลพิษจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร	49	1
IE 1.4	พื้นที่สูบบุหรี่ห่างจากประตูหน้าต่างหรือช่องนำอากาศเข้าไม่น้อยกว่า 10 เมตร	50	1
IE 1.5	ประสิทธิภาพการกรองอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	51	1
IE 2	การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ก่อมลพิษ		4

หัวข้อ	รายละเอียด	หน้า	คะแนน (บังคับ)
IE 2.1	การใช้วัสดุประสาน วัสดุยาแนว และรองพื้น ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	52	1
IE 2.2	การใช้สี และวัสดุเคลือบผิว ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	53	1
IE 2.3	การใช้พรมที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	54	1
IE 2.4	การใช้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบขึ้นจากไม้ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	55	1
IE 3	การควบคุมแสงสว่างภายในอาคาร แยกกงจรแสงประดิษฐ์ทุก 250 ตารางเมตรหรือตามความต้องการ	56	1
IE 4	การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร ออกแบบให้ห้องที่มีการใช้งานประจำได้รับแสงธรรมชาติอย่างพอเพียง	57	4
IE 5	สภาวะน่าสบาย อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในส่วนที่มีการปรับอากาศเหมาะสมตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	58	3
EP	หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection)	59	5 (2)
EP P1	การลดมลพิษจากการก่อสร้าง มีแผนและดำเนินการป้องกันมลพิษและสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้าง	60	บังคับ
EP P2	การบริหารจัดการขยะ การเตรียมพื้นที่แยกขยะ	61	บังคับ
EP 1	ใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในระบบดับเพลิง ไม่ใช้สารฮาโลน (Halon) หรือ ซีเอฟซี (CFC) หรือ เฮซีเอฟซี (HCFC) ในระบบดับเพลิง	62	1
EP 2	ตำแหน่งเครื่องระบายความร้อน การวางตำแหน่งเครื่องระบายความร้อนห่างจากที่ดินข้างเคียง	63	1
EP 3	การใช้กระจกภายนอกอาคาร กระจกมีค่าสะท้อนแสงไม่เกินร้อยละ 15	64	1
EP 4	การควบคุมโรคที่เกี่ยวข้องกับอาคาร ปฏิบัติตามประกาศกรมอนามัยเรื่องข้อปฏิบัติการควบคุมเชื้อลิจิโอเนลลา (Legionella) ในหอระบายความร้อนของอาคารในประเทศไทย	65	1
EP 5	ติดตั้งมาตรฐานวัดไฟฟ้าที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย	66	1
GI	หมวดที่ 8 นวัตกรรม (Green Innovation)	67	5
GI 1-5	มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน	68	5
รวมคะแนน			85 (9)

บทนำ

เป็นที่ตระหนักดีว่า วิกฤตการณ์ทางพลังงานและสิ่งแวดล้อม นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้น แหล่งพลังงานทั้ง ถ่านหิน ก๊าซและน้ำมันที่มีอยู่จำกัดแต่ความต้องการที่จะผลิตพลังงานจากทรัพยากรเหล่านี้กลับเพิ่มสูงขึ้นอย่างไม่รู้จักจบ ส่งผลให้ราคาพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างเป็นประวัติการณ์ ในขณะที่การพัฒนาพลังงานทดแทนยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการทางพลังงานที่เพิ่มขึ้นได้ในเวลาอันใกล้ การใช้พลังงานยังตึงตังพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม การใช้ถ่านหิน และน้ำมัน ส่งผลให้เกิดก๊าซเรือนกระจกปริมาณมหาศาลจนกลายเป็นวิกฤตการณ์โลกร้อนซึ่งถือเป็นภัยคุกคามมนุษยชาติในปัจจุบัน การเข้าถึงแหล่งพลังงานต่างๆ จำต้องบุกกระทุงระบบนิเวศทั้งทางบกและทางทะเลอย่างต่อเนื่อง การขนส่งพลังงานอย่างน้ำมันทางทะเล หรือ การขุดเจาะ นับว่ามีความเสี่ยงต่อการรั่วไหลที่ทำลายระบบนิเวศเป็นวงกว้าง ดังนั้นวิกฤตการณ์พลังงานยังมีความเกี่ยวเนื่องและส่งผลต่อวิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อมไม่อาจแยกจากกันได้ อาคาร ถือได้ว่าเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาทางพลังงานและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากอาคารมีการบริโภคพลังงานอย่างมหาศาล ซึ่งเป็นไปเพื่อ การปรับอากาศ การระบายอากาศ แสงสว่าง และ อุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจกล่าวได้เป็นไปเพื่อความสบายที่ดีและประสิทธิภาพการทำงานของผู้ใช้อาคารนั่นเอง ประเด็นของคุณภาพชีวิตนี้เป็นประเด็นที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ สังคม ของมนุษย์ซึ่งไม่สามารถที่จะลดทอนความสำคัญลงได้ พลังงานจึงมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต่อถูกบริโภคอย่างเนื่อง ดังนั้น อาคารจึงต้องมีสมดุลทางการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารที่เหมาะสม นอกจากปัจจัยด้านพลังงานและคุณภาพชีวิตแล้ว อาคารยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ต้องการการแก้ไขเร่งด่วน ทั้งในเรื่อง การรื้อถอนระบบนิเวศเดิม ก่อปัญหาน้ำท่วม ปรากฏการณ์เกาะร้อน การใช้น้ำปริมาณมหาศาล การทำลายธรรมชาติจากการแสวงหาวัสดุก่อสร้าง มลภาวะและขยะจากการก่อสร้างและการใช้อาคาร มลภาวะจากน้ำเสียของอาคาร สารพิษและสารก่อมะเร็งในอาคาร เป็นต้น ดังนั้นการออกแบบอาคารต้องสามารถแก้ปัญหาทางสภาพแวดล้อมเหล่านี้ ด้วยรูปแบบสถาปัตยกรรม การบริหารจัดการ และ เทคโนโลยี ที่เหมาะสม ซึ่งนอกจากจะเป็นการแก้ปัญหาทางสภาพแวดล้อมดังกล่าวแล้ว ยังต้องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารควบคู่กัน

จากวิกฤตการณ์ทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงและซับซ้อนดังที่กล่าวมาแล้ว ทางสถาบันอาคารเขียวไทยจึงได้จัดทำเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทยหรือ TREES (Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability) ขึ้น ซึ่งทางสถาบันฯมุ่งหวังให้เกณฑ์นี้สามารถแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับอาคารได้อย่างครอบคลุม ทางสถาบันฯคาดหวังว่าหากในอนาคตอันใกล้อาคารต่างๆ หันมาใช้เกณฑ์ดังกล่าวในการออกแบบและการบริหารจัดการมากขึ้นย่อมส่งผลให้อาคารมีแนวโน้มในการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและก่อกมลภาวะลดลง ในขณะที่คุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ในท้ายที่สุดย่อมส่งผลที่ต่อประเทศทั้งในแง่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวม และ ปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากอาคารลดลง แต่ในทางกลับกัน คุณภาพชีวิตและประสิทธิภาพการทำงานของประชาชนเพิ่มขึ้น ซึ่งย่อมส่งผลต่อการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจที่ยั่งยืน

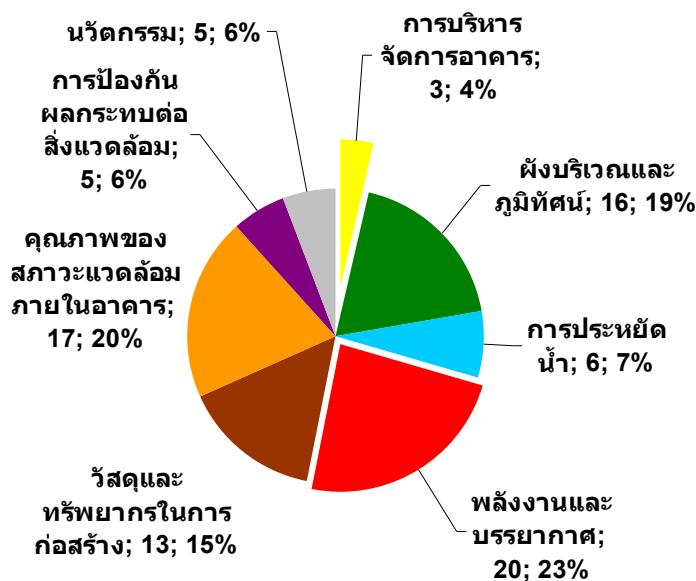
เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับ การก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่

เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมไทย (TREES) ถูกออกแบบให้เหมาะกับลักษณะของโครงการประเภทต่างๆ ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า สำหรับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานทางสิ่งแวดล้อมเป็นเกณฑ์ที่มุ่งเน้นสำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่ เป็นหลัก โดยอาคารที่เหมาะสมจะเข้าเกณฑ์นี้คืออาคารที่มีการออกแบบและสร้างใหม่ทั้งหมด หรือ เป็นโครงการที่มีการปรับปรุงอาคารเก่าในระดับที่มีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงครั้งใหญ่ เช่น การเปลี่ยนระบบเปลือกอาคารและงานระบบทั้งหมด คงไว้แต่โครงสร้าง การต่อเติมอาคารหรือการปรับปรุงอาคารบางส่วนอาจสามารถเข้าร่วมประเมินนี้ได้ หากแต่อาจไม่สามารถทำคะแนนได้ในบางหัวข้อคะแนนซึ่งอาจส่งผลต่อระดับรางวัลที่คาดว่าจะได้รับ

ลักษณะการประเมินด้วยเกณฑ์ TREES จะเป็นการประเมินด้วยการทำคะแนนในแต่ละหัวข้อคะแนนซึ่งจะมีลักษณะหัวข้อคะแนนอยู่ 2 จำพวก กลุ่มแรกคือคะแนนหัวข้อบังคับ หรือ Prerequisite ซึ่งผู้เข้าร่วมประเมินต้องผ่านการประเมินทุกหัวข้อคะแนน ซึ่งใน TREES-NC นี้จะมีหัวข้อบังคับ 9 หัวข้อ โดยหากไม่ผ่านเกณฑ์คะแนนข้อใดข้อหนึ่งในกลุ่มนี้จะถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ TREES นี้เลย กลุ่มคะแนนหัวข้อบังคับจะต่างกับอีกกลุ่มที่มีการวัดด้วยระดับคะแนน และมีคะแนนมากขึ้นตามแตกต่างกันไปตามลำดับความสำคัญ ในกลุ่มนี้จะมีคะแนนรวมถึง 85 คะแนน เมื่อผ่านคะแนนหัวข้อบังคับทั้ง 9 แล้ว การทำคะแนนได้มากขึ้นจะเป็นตัวตัดสินระดับรางวัลที่จะได้รับ ใน TREES-NC ได้แบ่งระดับรางวัลออกเป็น 4 ระดับ ตามช่วงคะแนน ได้แก่

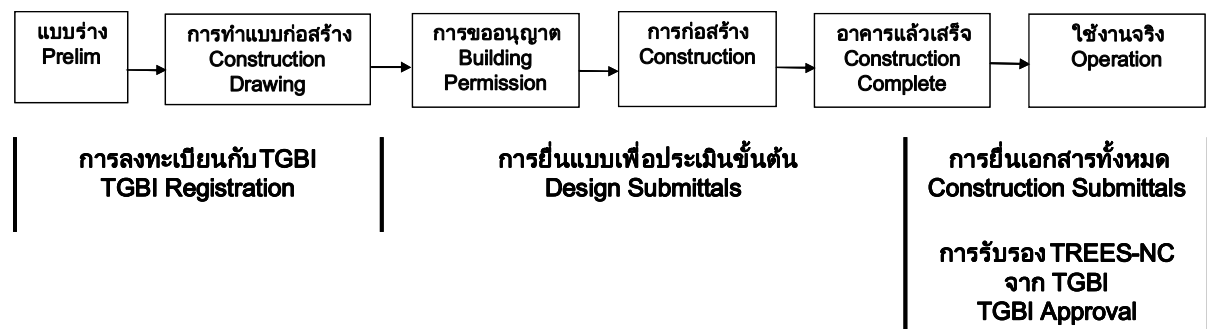
PLATINUM	61	คะแนน	ขึ้นไป
GOLD	46-60	คะแนน	
SILVER	38-45	คะแนน	
CERTIFIED	30-37	คะแนน	
ทุกระดับต้องผ่านคะแนนข้อบังคับ	9	ข้อ	

จากคะแนนเต็ม 85 คะแนน และ 9 คะแนนข้อบังคับ ของ TREES-NC สามารถแบ่งเป็นหมวดหลัก 8 หมวดหลัก ได้แก่ 1) การบริหารจัดการอาคาร 2) ผังบริเวณและภูมิทัศน์ 3) การประหยัดน้ำ 4) พลังงานและบรรยากาศ 5) วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง 6) คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร 7) การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และ 8) นวัตกรรม ซึ่งในแต่ละหมวดสามารถแบ่งเป็นสัดส่วนคะแนนได้ดังแผนภูมิด้านล่าง



กระบวนการเข้าร่วมประเมิน TREES-NC นี้มีขั้นตอน หลักๆ อยู่ 3 ช่วง ดังแผนภูมิที่แสดงไว้ด้านล่าง โดยเริ่มจากการลงทะเบียนกับทางสถาบัน เมื่อลงทะเบียนแล้วเสร็จ จะเข้าสู่ช่วงการเก็บข้อมูลเพื่อส่งเอกสารช่วงแรก หรือ เรียกว่า “การยื่นเอกสารช่วงการออกแบบ” ซึ่งกระทำได้เมื่อแบบก่อสร้างแล้วเสร็จ หลังจากนั้นเมื่ออาคารเริ่มมีการก่อสร้าง จะเข้าสู่ช่วงเก็บข้อมูลเพื่อยื่นเอกสารเมื่อการก่อสร้างแล้วเสร็จ หรือเรียกว่า “การยื่นเอกสารช่วงการก่อสร้าง” กระบวนการดังกล่าวจะมีลักษณะคู่ขนานไปกับกระบวนการออกแบบก่อสร้างอาคารทั่วไป และจะมีการยื่นเอกสารเป็น 2 ช่วงดังที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้หากผู้เข้าร่วมประเมินประสงค์จะยื่นเอกสารรอบเดียวเมื่ออาคารแล้วเสร็จก็สามารถทำได้ ทางสถาบันจะมอบรางวัลไม่ว่าระดับใดๆก็ตามเมื่ออาคารก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วเท่านั้น เพราะเมื่ออาคารแล้วเสร็จจึงจะมีข้อมูลเพียงพอในการผ่านเกณฑ์ TREES-NC นี้ ทั้งนี้จากการที่การผ่านเกณฑ์ TREES-NC สามารถกระทำทันทีได้เมื่ออาคารแล้วเสร็จ แสดงให้เห็นว่าเกณฑ์ TREES-NC นี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้นของความเป็นอาคารเขียวเท่านั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า เป็นอาคารที่มีการออกแบบก่อสร้างตามเกณฑ์อาคารเขียว การที่ยืนยันยืนยันความเป็นอาคารเขียวอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการประเมินในรูปแบบของการบริหารจัดการอาคารซึ่งจะมีการนำเสนอโดยทางสถาบันอาคารเขียวไทยในอนาคตอันใกล้

ขั้นตอนการออกแบบอาคารใหม่ New Building Design Procedures



ตารางด้านล่างนี้ได้สรุปช่วงเวลาการยื่นของหัวข้อคะแนนต่างๆ โดยแบ่งเป็นการยื่นช่วงออกแบบ 30 หัวข้อคะแนน และการยื่นช่วงก่อสร้าง 21 คะแนน ส่วนหมวดนวัตกรรมทางผู้ประเมินสามารถพิจารณาช่วงเวลาการยื่นตามความเหมาะสม อย่างไรก็ตาม หากผู้ประเมินประสงค์ที่จะยื่นเอกสารของทุกหัวข้อคะแนนรอบเดียวคือเมื่ออาคารแล้วเสร็จก็สามารถทำได้

หมวด	การยื่นเอกสารช่วงการออกแบบ	การยื่นเอกสารช่วงการก่อสร้าง
หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร		BM P1, BM1, BM2, BM3
หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์	SL P1, SL P2, SL1, SL2, SL3.1, SL3.2, SL3.3, SL4, SL5.1, SL5.2, SL5.3	
หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ	WC1	
หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ	EAP2, EA1, EA2, EA4	EAP1, EA3,
หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง		MR1, MR2, MR3, MR4, MR5, MR6.1, MR6.2
หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร	IE P1, IE P2 (ทางเลือก 2 และ 3), IE1.1, IE1.2, IE1.3, IE1.4, IE1.5, IE3, IE4, IE5	IE P2 (ทางเลือก 1), IE2.1, IE2.2, IE2.3, IE2.4
หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	EP P2, EP2, EP3, EP5	EP P1, EP1, EP4
หมวดที่ 8 นวัตกรรม		GI 1-5

เกณฑ์ขั้นต่ำในการเข้าร่วมการประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการปรับปรุงและอาคารใหม่

แม้ว่าเกณฑ์ TREES-NC จะเหมาะกับอาคารหลายประเภทที่มีการก่อสร้างขึ้นมาใหม่ทั้งหมดหรือมีการปรับปรุงใหม่ อย่างไรก็ตามความหลากหลายของโครงการในไทยอาจนำมาซึ่งคำถามว่าสามารถเข้าร่วมประเมินด้วยเกณฑ์นี้หรือไม่ ทางสถาบันอาคารเขียวไทยจึงได้กำหนดเกณฑ์เบื้องต้นของลักษณะของโครงการที่เข้าร่วมประเมินต้องมีคุณสมบัติหรือไม่ตรงกับลักษณะต้องห้ามตามที่ระบุไว้ ดังต่อไปนี้

1. ต้องเป็นอาคารที่ถูกต้องตามกฎหมาย ในกรณีที่มีการตรวจสอบพบว่าโครงการมีการละเมิดกฎหมายไม่ว่าทางใดทางหนึ่งทางสถาบันขอสงวนสิทธิในการเพิกถอนรางวัลแม้ว่ามีการตรวจสอบพบภายหลังก็ตาม
2. ต้องเป็นอาคารถาวรที่ไม่มีวัตถุประสงค์เพื่อการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ใหม่ ในเกณฑ์ TREES มีหลายข้อคะแนนที่เกี่ยวข้องกับที่ตั้งและภูมิทัศน์ของโครงการ ซึ่งหากอาคารมีการเคลื่อนย้ายย่อมทำให้คะแนนในหมวดดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งย่อมส่งผลให้ระดับรางวัลที่ได้รับมีความเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทั้งนี้โครงการดังกล่าวอาจได้รับรางวัลในระดับใดระดับหนึ่งจากสถาบันไปแล้วก็ตาม
3. มีพื้นที่ขอบเขตของโครงการที่มีความเหมาะสม โครงการต้องมีบริเวณขอบเขตที่ชัดเจนซึ่งจำเป็นต่อการดำเนินกิจกรรมต่างๆของโครงการ ในกรณีที่โครงการประเภทกลุ่มอาคาร อาทิเช่น นิคมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ที่ไม่มีขอบเขตชัดเจน ต้องมีการแบ่งพื้นที่ของโครงการที่จะเข้าประเมินให้เหมาะสม โดยมีลักษณะที่โครงการต่างๆ

สามารถแยกเข้าร่วมประเมิน TREES เป็นรายโครงการได้ การพยายามแบ่งพื้นที่โครงการที่เข้าข่ายการเอื้อประโยชน์ในการทำคะแนนโดยไม่ได้อ้างอิงกับการแบ่งพื้นที่เพื่อกิจกรรมต่างๆของโครงการนั้นไม่สามารถกระทำได้ เช่นเดียวกับ การเข้าร่วมประเมินอาคารเป็นกลุ่มพร้อมกันก็ไม่สามารถกระทำได้ในเกณฑ์การประเมินฉบับนี้ ผู้เข้าร่วมประเมินต้องแยกโครงการด้วยการแบ่งพื้นที่และเข้าประเมินเป็นรายโครงการ

โครงการที่มีลักษณะการบริหารจัดการเป็น 2 ส่วนขึ้นไป จะแยกเข้าประเมินได้ ต่อเมื่อ 1) สามารถแบ่งพื้นที่โครงการจากผังบริเวณได้อย่างชัดเจน (ไม่อนุญาตให้แบ่งตามกลุ่มชั้นของอาคารสูง เช่น ส่วนทาวเวอร์ และ โพลีเดียม) 2) งานระบบไม่ว่าจะเป็นน้ำ ไฟฟ้า และพลังงาน สามารถแยกการตรวจวัดออกจากกันได้อย่างชัดเจน

4. มีพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารไม่น้อยกว่า 100 ตารางเมตร หากอาคารมีขนาดเล็กมากจนเกินไปจะส่งผลต่อเจตนารมณ์พื้นฐานของเกณฑ์การประเมินนี้ ข้อกำหนดนี้ถูกเขียนขึ้น เพื่อให้ป้องกันอาคารประเภท สนามกีฬา และ โรงจอดรถ ที่มีพื้นที่ภายในอาคารน้อย ให้ไม่ได้เปรียบในการทำคะแนนในบางหัวข้อคะแนน
5. ต้องมีผู้ใช้อาคารประจำอย่างน้อย 1 คน เพื่อให้อาคารต้องถูกออกแบบระบบต่างๆที่คำนึงถึงผู้ใช้อาคารตามเจตนารมณ์ของเกณฑ์ แล้วเพื่อป้องกัน อาคารกลุ่มห้องเก็บของ โกดัง ไม่ให้สามารถหลีกเลี่ยงวิธีปฏิบัติต่างๆที่เป็นไปเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้ใช้อาคารและได้คะแนนไปอย่างไม่เป็นธรรม
6. ขนาดของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ดินโครงการ เพื่อหลีกเลี่ยงการทำคะแนนที่ไม่เป็นธรรมสำหรับการพัฒนาโครงการบนพื้นที่ดินขนาดใหญ่ ซึ่งมีการวางแผนเพื่อการทำคะแนนในหมวดที่ตั้งและภูมิทัศน์ที่ไม่ตรงไปตรงมา
7. เกณฑ์ TREES-NC นี้ไม่ได้ถูกออกแบบโดยตรงสำหรับบ้านพักอาศัย หรือ อาคารพักอาศัยที่มีขนาดน้อยกว่า 3 ชั้น เนื่องจากจะไม่สามารถทำคะแนนในบางหัวข้อได้ ทั้งนี้ หากมีผู้ประสงค์จะนำอาคารประเภทดังกล่าวเข้าร่วมประเมิน ต้องทำการศึกษาและประเมินเบื้องต้นถึงทางเลือกที่เหมาะสมทั้งในหมวดคะแนนข้อบังคับ และ หมวดหัวข้อคะแนนทั่วไปก่อนเข้าร่วมประเมิน

หมวดที่ 1 การบริหารจัดการอาคาร (Building Management)

การดำเนินการเข้าสู่การเป็นอาคารเขียวจะไม่สามารถสำเร็จได้หากปราศจากความร่วมมือของทุกฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นเจ้าของอาคาร คณะทำงาน สถาปนิก วิศวกร นักกฎหมาย วิศวกร ผู้รับเหมาก่อสร้าง หน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงความร่วมมือกับชุมชนโดยรอบด้วย การแสดงเจตนาสมัครใจและจุดยืนในการสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่สร้างมลพิษให้กับบริบทโดยรอบ นับเป็นวิธีการสื่อสารที่ดีกับสังคมเพื่อสร้างความเข้าใจให้กับทุกฝ่าย จะช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปด้วยความราบรื่น นอกจากนี้ การเป็นอาคารเขียวนั้นไม่ได้หมายความว่าเฉพาะในช่วงต้นของการดำเนินการเท่านั้น จึงต้องมีการกำหนดแนวทางการดำเนินการทั้งในส่วนของการทำงาน คือการสร้างสร้างความเข้าใจให้กับผู้ใช้อาคารเพื่อให้ใช้งานอาคารได้อย่างถูกต้อง การวางแผนการบริหารจัดการและบำรุงรักษาอาคารอย่างเหมาะสม และการตรวจสอบและประเมินผลตลอดช่วงอายุการใช้งานของอาคาร โดยการประเมินในหมวดจะประกอบไปด้วยรายละเอียดของหัวข้อดังนี้

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
BM P1	การเตรียมความพร้อมความเป็นอาคารเขียว	บังคับ
BM 1	การประชาสัมพันธ์สู่สังคม	1
BM 2	คู่มือและการฝึกอบรมแนะนำการใช้งานและบำรุงรักษาอาคาร	1
BM 3	การติดตามประเมินผลขณะออกแบบ ก่อสร้างและเมื่ออาคารแล้วเสร็จ	1

ผลที่ได้จากการดำเนินการจะสามารถรักษาสถานะความเป็นอาคารเขียวให้คงอยู่อย่างเนื่อง ซึ่งจะก่อให้เกิดผลดีทั้งต่อเจ้าของอาคารและผู้ใช้อาคาร ในประเด็นทางด้านเศรษฐกิจ และสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีในอาคาร

BM P1 การเตรียมความพร้อมความเป็นอาคารเขียว

(บังคับ)

วัตถุประสงค์

เพื่อให้กระบวนการออกแบบก่อสร้างอาคารเขียวมีความเป็นระบบและราบรื่น ช่วยให้คณะทำงานและผู้รับผิดชอบโครงการสามารถควบคุมการทำงานของโครงการให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

มีแผนการดำเนินงานและติดตามประเมินผลเพื่อให้การออกแบบก่อสร้าง วางแผน และบริหารจัดการเป็นไปตามหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียว สิ่งที่ต้องดำเนินการเป็นเพียงแผนไม่ใช่ผลการดำเนินงาน ซึ่งแผนการดำเนินงานจะต้องประกอบด้วย 1) รายชื่อคณะทำงานและหัวหน้าโครงการ (เจ้าของโครงการ สถาปนิกหรือวิศวกรออกแบบ สถาปนิกหรือวิศวกรควบคุมงาน สถาปนิกหรือวิศวกรผู้รับเหมาก่อสร้าง ผู้ตรวจสอบสภาพอาคาร ผู้บริหารอาคาร และ/หรือที่ปรึกษา ผู้เชี่ยวชาญด้าน TREES ที่ปรึกษาด้านการทดสอบและปรับแต่งระบบ (commissioning) เป็นต้น) 2) กิจกรรมต่างๆ โดยระบุผู้รับผิดชอบในแต่ละกิจกรรมที่ตรงกับหัวข้อคะแนนต่างๆ 3) รายละเอียดของกิจกรรมต่างๆ รวมถึงเทคนิคและวิธีการที่จะนำมาใช้โดยย่อ 4) ตารางเวลาของแต่ละกิจกรรมว่าจะดำเนินการในช่วงใดและนานเท่าไร

แนวทางการดำเนินการ

จัดตั้งคณะทำงานและจัดทำแผนการดำเนินงานที่สอดคล้องกับหลักเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวสำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่ โดยต้องดำเนินการตั้งแต่ช่วงต้นของการกำหนดแนวคิดของโครงการ และมีผู้บริหารสูงสุดหรือตัวแทนที่ได้รับมอบหมายเป็นหัวหน้าโครงการ

BM 1 การประชาสัมพันธ์สู่สังคม

(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

มีการกำหนดให้อาคารที่จะก่อสร้างเป็นอาคารเขียวทำการประชาสัมพันธ์สู่สังคมอย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

1. ติดป้ายประชาสัมพันธ์หน้าพื้นที่ก่อสร้าง โดยระบุถึงเจตนารมณ์ในการเข้าร่วมการประเมินความยั่งยืนทางพลังงาน และสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นทางการ ซึ่งต้องแสดงสัญลักษณ์และชื่อของสถาบันอย่างชัดเจน พร้อมทั้งระบุประเภทของเกณฑ์ที่ใช้ (ในกรณีนี้คือ การก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่ หรือ TREES-NC) และต้องทำป้าย 2 ภาษา ทั้งไทยและอังกฤษ
2. จัดทำข้อมูลนำเสนอเกี่ยวกับอาคาร (ช่วงออกแบบหรือเมื่ออาคารแล้วเสร็จ) ในหลักการและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเป็นอาคารเขียว เพื่อเผยแพร่เป็นวิทยาทานให้กับบุคคลทั่วไปและผู้สนใจ รูปแบบของข้อมูลอาคารที่จัดทำเพื่อการประชาสัมพันธ์ต้องประกอบด้วยการดำเนินการดังต่อไปนี้ อย่างน้อย 2 ประเภท
 - การพิมพ์แจกจ่ายแผ่นพับ จะต้องพิมพ์โดยใช้กระดาษรีไซเคิล หรือวัสดุยั่งยืนอื่น ๆ อย่างน้อย 500 แผ่น และต้องมีการแจกจ่ายในงานสัมมนาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ก่อสร้างอาคาร หรือใช้งานอาคาร
 - การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของเว็บไซต์ที่แสดงแนวคิดและรายละเอียดที่ครอบคลุมการออกแบบและก่อสร้างอาคารเขียว
 - การจัดโครงการประชาสัมพันธ์สัญจรนอกสถานที่อย่างน้อย 3 แห่ง
 - การจัดพื้นที่แสดงนิทรรศการถาวรในอาคาร
 - การติดป้ายประชาสัมพันธ์ตามจุดต่าง ๆ ภายในอาคารอย่างครอบคลุม เพื่อให้ความรู้กับผู้ใช้หรือเยี่ยมชมอาคาร
 - การจัดเยี่ยมชมอาคารโดยเชิญองค์กรภาครัฐหรือเอกชนอย่างน้อย 3 แห่ง (แห่งละไม่ต่ำกว่า 50 คน)
 - การเผยแพร่ความรู้เชิงวิชาการในรูปแบบการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการหรือการประชุมวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติอย่างน้อย 1 บทความ
 - วิธีการอื่นๆ ที่เป็นรูปธรรม สามารถพิสูจน์และแสดงผลเชิงปริมาณได้ โดยเสนอให้สถาบันอาคารเขียวไทยพิจารณา

แนวทางการดำเนินการ

วางแผนประชาสัมพันธ์ให้สังคมรับทราบ ผ่านสื่อต่างๆ ซึ่งเป็นที่ยอมรับ รวมทั้งจัดให้มีป้ายประชาสัมพันธ์หน้าโครงการขณะกำลังก่อสร้าง

BM 2 คู่มือและการฝึกอบรมแนะนำการใช้งานและบำรุงรักษาอาคาร**(1 คะแนน)****วัตถุประสงค์**

เพื่อให้มีเอกสารคู่มือการใช้งานและบำรุงรักษาอาคารที่เป็นลายลักษณ์อักษรและง่ายต่อการบริหารจัดการอาคารเขียวให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

มีคู่มือและให้การอบรมแนะนำการใช้งานและบำรุงรักษาระบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการเป็นอาคารที่ขอรับรองมาตรฐานอาคารเขียวสำหรับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของอาคาร โดยคู่มือดังกล่าวจะต้องครอบคลุมระบบต่างๆ ที่มีใช้งานภายในอาคาร อย่างน้อยดังนี้ (1) ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ (2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (3) ระบบสุขาภิบาล (4) ระบบทำน้ำร้อนภายในอาคาร (สำหรับอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล) (5) ระบบอำนวยความสะดวก (6) ระบบพลังงานหมุนเวียน (ถ้ามี) แต่สามารถเพิ่มเติมตามความเหมาะสมของแต่ละโครงการ

แนวทางการดำเนินการ

จัดทำคู่มือการใช้งานและดำเนินการจัดฝึกอบรมสำหรับระบบที่มีความสำคัญต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ให้กับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของอาคาร ควรพิจารณาหมวดคะแนนข้อนี้ในการดำเนินการร่วมกับ หัวข้อ EA P1: การประกันคุณภาพอาคาร โดยอาจนำเนื้อหาบางส่วนไปใช้ในข้อ BM 1: การประชาสัมพันธ์ผู้สังคม

BM 3 การติดตามประเมินผลขณะออกแบบ ก่อสร้างและเมื่ออาคารแล้วเสร็จ**(1 คะแนน)****วัตถุประสงค์**

เพื่อเสริมความแข็งแกร่งและเป็นระบบของการออกแบบและก่อสร้างอาคารเขียวเพิ่มเติมจากข้อ BM P1 และสร้างองค์ความรู้ในการออกแบบก่อสร้างอาคารเขียวในอนาคต ตลอดจนพัฒนาเกณฑ์การประเมินให้ดีและใช้งานได้เหมาะสมต่อไปในอนาคต

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

มีการขยายผลต่อจากข้อ BM P1: การเตรียมความพร้อมความเป็นอาคารเขียว โดยให้คณะทำงานอาคารเขียว นำแผนงานที่จัดทำไว้ใน BM P1 มาขยายผล โดยกำหนดให้มีข้อ 5) การประเมินกิจกรรมต่าง ๆ ถึงความสำเร็จและข้อจำกัดที่พบในช่วงออกแบบ ก่อสร้าง และเมื่ออาคารแล้วเสร็จ โดยระบุถึงสาเหตุและข้อเสนอแนะ เพื่อให้คณะทำงานอาคารเขียวสามารถติดตามการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดการเรียนรู้เกณฑ์การประเมินอาคารเขียวอย่างเป็นระบบ

แนวทางการดำเนินการ

ขยายขอบเขตการทำงานของคณะทำงานอาคารเขียวในการติดตามผลและประเมินผลกิจกรรมต่างๆ ตามหัวข้อกิจกรรมอย่างเป็นระบบ โดยมีการสรุปถึงความคืบหน้าในหัวข้อต่าง ๆ เป็นระยะ ๆ และมีการรวบรวมเอกสารจากการประชุมความคืบหน้าแต่ละครั้งของคณะทำงานอาคารเขียวในหัวข้อคะแนนที่ประสบความสำเร็จและล้มเหลว ทั้งนี้คณะทำงานควรสรุปถึงแนวทางที่ประสบความสำเร็จและล้มเหลว เพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเองและจัดทำฐานข้อมูลความรู้โดยสถาบันอาคารเขียวไทย ต่อไปในอนาคต

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape)

การเลือกพื้นที่ก่อสร้างและการพัฒนาพื้นที่ก่อสร้างที่เหมาะสมเป็นกระบวนการขั้นแรกที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการก่อสร้างอาคารใหม่ กระบวนการออกแบบและก่อสร้างที่ไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม อาจทำลายสภาพแวดล้อมของสภาพแวดล้อมซึ่งต้องใช้เวลายาวนานในการฟื้นฟูธรรมชาติ และส่งผลกระทบต่อเนื่องทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมทั้งต่อโครงการ ชุมชนและต่อเมืองโดยรวม

คะแนนในหมวดงานผังบริเวณและภูมิทัศน์ (Site and Landscape) เน้นการคำนึงถึง การหลีกเลี่ยง และการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการออกแบบวางผังอาคาร การออกแบบและก่อสร้างภูมิทัศน์และพื้นที่ภายนอกอาคาร การเลือกวัสดุและวัสดุพืชพันธุ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ โดยคำนึงถึงผลระยะยาวเพื่อความยั่งยืนของโครงการ

คะแนนในหมวดนี้ ประกอบด้วย 7 หัวข้อโดย มี 2 ข้อคะแนนบังคับ และ 5 ข้อคะแนน รวมทั้งสิ้น 16 คะแนน หัวข้อคะแนนบังคับที่ผู้รับผิดชอบต้องทำให้ได้ตามข้อบังคับ จึงจะสามารถทำคะแนนอื่นๆ ในหมวดคะแนนนี้ได้ ในหัวข้อบังคับนั้นมุ่งเน้นการปกป้องทรัพยากรธรรมชาติและคุณสมบัติของระบบนิเวศที่มีคุณค่าอาจถูกทำลาย จากการเลือกที่ตั้งโครงการโดยไม่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังก่อให้เกิดความเสี่ยงจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ เกิดความเสียหายทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน ส่วนคะแนน 16 คะแนนในหมวดนี้ ครอบคลุมการเลือกที่ตั้งอาคาร การลดผลกระทบจากการคมนาคม การเพิ่มพื้นที่สีเขียว และ พื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ การใช้พืชพรรณ การลดปัญหาน้ำท่วม และการลดปัญหาเกาะร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
SL P1	การหลีกเลี่ยงที่ตั้งที่ไม่เหมาะสมกับการสร้างอาคาร	บังคับ
SL P2	การลดผลกระทบต่อพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์ทางธรรมชาติ	บังคับ
SL 1	การพัฒนาโครงการบนพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้ว	1
SL 2	การลดการใช้รถยนต์ส่วนตัว	4
SL 3	การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน	
SL 3.1	มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ดินของโครงการ	1
SL 3.2	มีต้นไม้ยืนต้น 1 ต้นต่อพื้นที่เปิดโล่ง 100 ตารางเมตร (ห้ามย้ายไม้ยืนต้นมาจากที่อื่น)	1
SL 3.3	ใช้พืชพรรณพื้นถิ่นที่เหมาะสม	1
SL 4	การขีมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม	4
SL 5	การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ	
SL 5.1	มีการจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง	2
SL 5.2	มีพื้นที่ลาดแข็งที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่โครงการ	1
SL 5.3	มีต้นไม้ยืนต้นทางทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออก ที่บังแดดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ก่อความเสียหายกับตัวอาคาร	1

SL P1 การหลีกเลี่ยงที่ตั้งที่ไม่เหมาะกับการสร้างอาคาร

(บังคับ)

วัตถุประสงค์

เพื่อหลีกเลี่ยงการก่อสร้างโครงการบนที่ดินที่ไม่สมควรที่จะมีการพัฒนา และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากตำแหน่งของอาคารบนที่ดิน จึงควรสร้างอาคารหรือพัฒนาที่ดินบนพื้นที่ที่มีคุณค่าทางระบบนิเวศต่ำหรือตามที่กำหนดไว้ในกฎหมายผังเมือง

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ไม่ก่อสร้างอาคาร บนที่ดินที่คาดแจ้งในงานภูมิทัศน์ ถนน หรือที่จอดรถบนที่ดิน ที่มีลักษณะตามนี้

1. พื้นที่ที่เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์สงวน หรือสัตว์ที่ใกล้สูญพันธุ์หรือเขตป่าสงวนหรือเขตอนุรักษ์ หรือเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์ป่า ตามกฎหมายไทย รวมทั้งเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม พื้นที่แหล่งต้นน้ำลำธาร หรือมีระบบนิเวศน์ตามธรรมชาติแตกต่างจากที่อื่นๆ หรือเป็นพื้นที่อันมีคุณค่าควรแก่การอนุรักษ์
2. พื้นที่ที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาที่อยู่ภายในระยะ 15 เมตรจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยพื้นที่ดังกล่าวเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำที่มีการขยายพันธุ์
3. พื้นที่ที่เคยเป็นสวนป่าก่อนจะนำมาทำโครงการ ยกเว้นว่าจะได้นำพื้นที่ขนาดเท่าเดิมหรือมากกว่าเดิมมาแลกเปลี่ยนเพื่อปลูกสวนป่าใหม่ทดแทน
4. หลีกเลี่ยงการเลือกที่ตั้งโครงการในพื้นที่ที่มีคุณค่าทางระบบนิเวศสูง หรือขัดแย้งกับผังเมือง เช่น พื้นที่ลุ่มต้ำน้ำท่วมถึง พื้นที่ที่เป็นทางไหลผ่านของน้ำธรรมชาติ พื้นที่รับน้ำจากบริเวณรอบๆ พื้นที่แก้มลิง (Retention Area) พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) พื้นที่ที่มีความลาดชันเกินร้อยละ 30 เป็นต้น

แนวทางการดำเนินการ

ระหว่างการเลือกสถานที่ตั้งโครงการ พยายามเลือกที่ดินที่ไม่เมืองค้ประกอบที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือเป็นดินควบคุมโดยการตรวจสอบกฎหมาย และข้อกำหนดผังเมือง ก่อนที่จะตัดสินใจทำโครงการ อีกทั้งพยายามออกแบบอาคารให้มีพื้นที่พัฒนาที่คลุมดิน (Development Footprint) ให้น้อยที่สุดในบริเวณที่มีลักษณะตามที่กำหนดไว้ เพื่อลดผลกระทบจากการทำลายระบบนิเวศดั้งเดิม หรือทำลายแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ควรพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งอาคารและพื้นที่พัฒนาที่เหมาะสม โดยควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการทำคะแนนในข้อ SL3 การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน และ SL4 การขีมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม

SL P2 การลดผลกระทบต่อพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์ทางธรรมชาติ:

(บังคับ)

วัตถุประสงค์

ลดผลกระทบจากการพัฒนาในพื้นที่สีเขียว (Green Area) หรือพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์ต่อระบบนิเวศ และพลิกฟื้นพื้นที่สีเขียวในโครงการที่มีการพัฒนาไปแล้วให้มีคุณค่าทางระบบนิเวศตลอดจนเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารให้ดียิ่งขึ้น

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ทางเลือกที่ 1

ในกรณีที่เป็นพื้นที่ที่เคยพัฒนามาแล้ว (Previously Developed Area) หรือพื้นที่ที่คุณค่าทางระบบนิเวศต่ำ ต้องออกแบบให้มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ (Ecological Open Space) ให้มีขนาดอย่างน้อย 10% ของพื้นที่ฐานอาคาร (Building Footprint) โดยพื้นที่ว่างเชิงนิเวศต้องมีพื้นที่สีเขียวอย่างน้อยร้อยละ 25 ของพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ (นับรวมพื้นที่บ่อน้ำ ลักษณะธรรมชาติที่มีการจัดพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจโดยรอบ) และจะต้องไม่ใช่พื้นที่สำหรับรถยนต์หรือที่จอดรถยนต์ พื้นที่ลาดแข็ง (Hardscape) สามารถนับเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศได้ หากกิจกรรมบนพื้นที่ลาดแข็งเป็นไปเพื่อการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งาน อาทิเช่น ทางเดินเท้า ลานกิจกรรม เป็นต้น ในการทำคะแนนข้อนี้พื้นที่หลังคาไม่สามารถนับรวมเป็นพื้นที่ในการทำคะแนน

ทางเลือกที่ 2

ในกรณีที่เป็นพื้นที่ที่ยังไม่เคยพัฒนามาก่อน ควรสำรวจพื้นที่และบันทึกองค์ประกอบสภาพแวดล้อมที่มีคุณค่าทางระบบนิเวศและหลีกเลี่ยงการก่อสร้างในบริเวณนี้ และต้องจำกัดขอบเขตของการพัฒนาไม่ให้เกิน 15 เมตรจากขอบอาคาร (เพื่อไม่ให้มีการพัฒนาที่ถูกล้ำเข้าไปยังพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์เกินแนวเขตเส้นรอบรูปของอาคารมากเกินไป) สำหรับพื้นที่ที่ขีมน้ำได้ ขอบทางเดิน ถนน และที่จอดรถ ต้องจำกัดขอบเขตการพัฒนาไม่ให้เกิน 5 เมตร โดยห้ามรบกวนพื้นที่นอกเหนือจากขอบเขตการพัฒนา

แนวทางการดำเนินการ

สำหรับโครงการที่ก่อสร้างบนพื้นที่ ที่ผ่านการพัฒนามาแล้วหรือพื้นที่ที่คุณค่าทางระบบนิเวศต่ำ ควรมีการกำหนดพื้นที่สีเขียวในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยศึกษาและเลือกชนิดของพืชพรรณที่เหมาะสมในพื้นที่ดังกล่าว ควรพิจารณาถึงโอกาสในการทำคะแนนในหัวข้อ SL 3: การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืนด้วย

สำหรับโครงการที่สร้างบนพื้นที่สีเขียวเดิม ควรจำกัดขอบเขตของการก่อสร้างอาคารและพื้นที่พัฒนาต่างๆ ทำการสำรวจที่ดินเพื่อบ่งชี้องค์ประกอบทางสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่จำเป็น เพื่อนำมาซึ่งการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างเหมาะสม ควรออกแบบอาคารให้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศเดิมให้น้อยที่สุด หรือออกแบบอาคารให้มีพื้นที่คลุมดินน้อยที่สุด และ/หรือให้มีจำนวนชั้นมากขึ้น หลีกเลี่ยงการก่อสร้างลานจอดรถ ควรพิจารณาถึงโอกาสในการทำคะแนนในหัวข้อ SL 3: การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืนด้วย

SL 1 การพัฒนาโครงการบนพื้นที่ที่มีการพัฒนาแล้ว

(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

เลือกสถานที่ก่อสร้างโครงการที่พัฒนาแล้ว และอยู่ในเขตเมืองที่มีการพัฒนาแล้ว พร้อมด้วยระบบ*สาธารณสุข* เพื่อป้องกันการรุกรานเขตป่าไม้ รวมทั้งแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์และทรัพยากรธรรมชาติ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

เลือกที่ตั้งโครงการที่มี*สาธารณสุข*การดังต่อไปนี้ ให้อยู่ภายในรัศมี 500 เมตร วัดจากทางเข้าหลักของโครงการให้ครบ 10 ประเภท และ*สาธารณสุข*เหล่านี้ต้องสามารถเข้าถึงได้ภายในรัศมีที่กำหนด (ไม่ถูกกั้นด้วยคลองหรือรั้วเป็นต้น)

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. วัดหรือสถานที่ทางศาสนา | 10. พิพิธภัณฑ์ |
| 2. ร้านค้าประเภทต่างๆ | 11. โรงพยาบาลและสถานเฝ้าระวัง |
| 3. ไปรษณีย์ | 12. ซูเปอร์มาร์เกต |
| 4. สถานีตำรวจ | 13. ตลาด |
| 5. สถานีดับเพลิง | 14. ร้านเสริมสวย |
| 6. ร้านเสริมสวยและนวดแผนโบราณ | 15. ร้านกาแฟและ/หรือร้านขนม |
| 7. ร้านอาหาร | 16. สำนักงาน |
| 8. สวนสาธารณะ | 17. สถานที่ราชการต่างๆ |
| 9. สถานศึกษา | 18. อื่นๆ |

ร้านอาหารและร้านค้าให้นับซ้ำได้อย่างละ 2 ร้าน (ถือเป็น 2 ประเภท) เช่น หากมี ร้านอาหาร 2 ร้าน และ ร้านค้า 2 ร้าน จะนับเป็น 4 ประเภท ในกรณีศูนย์การค้า ต้องแสดงรายการ*สาธารณสุข*ที่ผ่านจำนวนประเภทที่กำหนดและอาคารศูนย์การค้าต้องอยู่ภายในรัศมี 500 เมตร สำหรับ*สาธารณสุข*นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ข้างต้นสามารถเสนอให้สถาบันอาคารเขียวไทยพิจารณาเป็นกรณีไป สถานที่ที่ไม่ส่งเสริมต่อจริยธรรมและสุขภาพอนามัยที่ดีของผู้ใช้อาคารไม่สามารถนำมานับประเภทเพื่อทำคะแนนได้ ร้านค้าแผงลอยให้พิจารณาเป็นกลุ่มและถือเป็นกลุ่มของตลาด (นับเพียง 1 ประเภท)

แนวทางการดำเนินการ

ที่ตั้งอาคารควรมีประเภทของ*สาธารณสุข*ที่หลากหลายเพียงพอและสามารถเข้าถึงได้สะดวก ควรพิจารณาที่ตั้งโครงการร่วมกับระบบขนส่งมวลชนที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำคะแนนในหัวข้อ SL2: การลดการใช้รถยนต์ส่วนตัว

SL 2 การลดการใช้รถยนต์ส่วนตัว

(4 คะแนน)

วัตถุประสงค์

เพื่อลดมลภาวะและผลกระทบจากการพัฒนาที่ดิน อันเนื่องมาจากการใช้รถยนต์และจักรยานยนต์ส่วนตัว

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

เลือกที่ตั้งโครงการและ/หรือ จัดที่จอดรถภายในโครงการที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ (ข้อละ 1 คะแนนแต่ไม่เกิน 4 คะแนน)

1. **ระบบขนส่งมวลชนแบบราง** เลือกที่ตั้งอาคารภายในระยะ 500 เมตร (วัดจากประตูทางเข้าอาคารหลัก) จากสถานีรถไฟ สถานีรถไฟฟ้า หรือสถานีรถไฟใต้ดิน อย่างน้อย 1 สถานี หรือ มีแผนบริการรถรับส่งไปยังสถานีโดยต้องมีบริการรับส่งได้ร้อยละ 25 ของผู้ใช้อาคารต่อวัน โดยรถรับส่งต้องเป็นรถประเภท *eco car CNG Hybrid E20+* ไฟฟ้า หรือรถประเภทอื่นๆ ที่ลดการใช้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ
2. **ระบบขนส่งมวลชนทางถนน** เลือกที่ตั้งอาคารภายในระยะ 500 เมตร จากป้ายรถประจำทางหรือสถานีบริการรถโดยสารประจำทางหรือรถโดยสารประเภทอื่นๆ ที่มีอย่างน้อย 2 สายบริการ ที่ผู้ใช้อาคารสามารถเข้าถึงได้โดยสะดวกหรือ มีแผนบริการรถรับส่งไปยังสถานีโดยต้องมีบริการรับส่งได้ร้อยละ 25 ของผู้ใช้อาคารต่อวัน โดยรถรับส่งต้องเป็นรถประเภท *Eco car CNG Hybrid E20+* ไฟฟ้า หรือรถประเภทอื่นๆ ที่ลดการใช้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ
3. **ระบบที่จอดรถจักรยาน** จัดที่จอดรถจักรยานเป็นจำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของผู้ใช้อาคารประจำและผู้ใช้อาคารชั่วคราวสูงสุดของวัน (เช่น แยก หรือ ลูกค้ำ เป็นต้น) และจัดให้มีห้องอาบน้ำไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของจำนวนพนักงานประจำไม่เกินกว่า 80 เมตร จากบริเวณทางเข้าอาคาร กรณีอาคารพักอาศัย ไม่ต้องมีห้องอาบน้ำแต่ให้เพิ่มพื้นที่จอดรถจักรยานเป็นไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ของผู้พักอาศัย
4. **ระบบที่จอดรถประสิทธิภาพสูง** กำหนดที่จอดรถของอาคารให้เป็นที่จอดรถ *Eco car CNG Hybrid E20+* ไฟฟ้า หรือรถประเภทอื่นๆ ที่ลดการใช้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ หรือที่จอดรถส่วนบุคคลที่ใช้ร่วมกัน (carpool) ในพื้นที่ที่ใกล้ทางเข้าอาคารที่สุด อย่างน้อยร้อยละ 5 ของจำนวนที่จอดรถทั้งหมดของอาคาร
5. **ระบบขนส่งมวลชนประเภทอื่นๆ** เช่น ทางน้ำ หรือ ระบบที่เป็นระบบขนส่งมวลชนที่ยั่งยืน

แนวทางการดำเนินการ

เลือกที่ตั้งโครงการที่อยู่ใกล้กับระบบขนส่งมวลชน สำรวจเส้นทางการเดินเท้าจากประตูทางเข้าโครงการไปยังสถานีหรือป้ายรถประจำทาง พิจารณาการวางตำแหน่งอาคารและทางเข้าอาคารที่เหมาะสมใกล้กับระบบขนส่งมวลชน รวมถึงออกแบบที่จอดรถให้มีพื้นที่เพียงพอสำหรับรถ *Eco car CNG Hybrid E20+* ไฟฟ้า หรือรถส่วนบุคคลที่ใช้ร่วมกัน ตลอดจนเตรียมพื้นที่จอดรถจักรยานและพื้นที่อาบน้ำให้เพียงพอและสะดวกต่อการใช้งาน

SL 3	การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน	(3 คะแนน)
------	-------------------------------------	-----------

SL 3.1 มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของพื้นที่ฐานอาคารหรือ 20% ของพื้นที่โครงการ (1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ออกแบบให้มีสัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งมากขึ้น อันจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการมีพื้นที่สีเขียว เพิ่มแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ ลดปัญหาน้ำท่วม ลดปัญหาปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island) และเพิ่มพื้นที่กิจกรรมสาธารณะภายนอกอาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ทางเลือกที่ 1

ออกแบบให้มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ (Ecological Open Space) ให้มีพื้นที่ ไม่น้อยกว่า 25% ของพื้นที่ฐานอาคาร (Building Footprint) ต้องออกแบบให้มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ โดยพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศต้องมีพื้นที่สีเขียวอย่างน้อยร้อยละ 40 ของพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ (นับรวมพื้นที่บ่อน้ำลักษณะธรรมชาติที่มีการจัดพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจโดยรอบ) และจะต้องไม่ใช่พื้นที่สำหรับรถยนต์หรือที่จอดรถยนต์ พื้นที่ลาดชันสามารถนับเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศได้ หากกิจกรรมบนพื้นที่ลาดชันเป็นไปเพื่อการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งาน อาทิเช่น ทางเดินเท้า ลานกิจกรรม เป็นต้น ในการทำคะแนนภายใต้ทางเลือกที่ 1 นี้ พื้นที่หลังคาไม่สามารถนับรวมเป็นพื้นที่ในการทำคะแนน

ทางเลือกที่ 2

ในกรณีเป็นโครงการที่มีการมุ่งทำคะแนนในข้อ SL 1: การพัฒนาโครงการบนพื้นที่ที่เคยมีการใช้งานมาแล้ว ออกแบบอาคารให้มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ 20% ของพื้นที่โครงการ ซึ่งสามารถนับพื้นที่หลังคาเป็นพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศได้ แต่ลักษณะของพื้นที่หลังคาต้องตรงตามลักษณะของพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศที่กำหนดไว้ในทางเลือกที่ 1

แนวทางการดำเนินการ

ควรทำการสำรวจที่ดินเพื่อบ่งชี้องค์ประกอบต่างๆที่จะนำมาซึ่งการวางแผนการใช้ที่ดินอย่างเหมาะสม ควรวางตำแหน่งตัวอาคารลงบนที่ดินอย่างเหมาะสมหรือออกแบบอาคารให้มีพื้นที่คลุมดินน้อยที่สุด หลีกเลี่ยงการแผ่อาคารจนเต็มพื้นที่ดิน หลีกเลี่ยงการมีที่จอดรถบนดินที่แผ่เต็มพื้นที่ดิน แต่ควรช้อนชั้นจอดรถหรือทำที่จอดรถใต้ดิน พิจารณาการจัดวางพื้นที่สีเขียวภายในพื้นที่เปิดโล่งให้ได้ประสิทธิภาพและมีสัดส่วนผ่านเกณฑ์คะแนน ในกรณีพื้นที่แออัด ควรพิจารณาการใช้พื้นที่หลังคาเป็นพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ และควรพิจารณาการทำคะแนนร่วมกับ SL5: การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนจากการพัฒนาโครงการ

SL 3	การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน	(3 คะแนน)
SL 3.2	มีต้นไม้ยืนต้น 1 ต้นต่อพื้นที่เปิดโล่ง 100 ตารางเมตร (ห้ามย้ายไม้ยืนต้นมาจากที่อื่น)	(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ปรับปรุงสภาพอากาศจุลภาค (*Microclimate*) ให้เหมาะสม เพื่อให้อาคารมีสภาพแวดล้อมที่ดี ประหยัดพลังงาน ลดปรากฏการณ์เกาะความร้อน (*Urban Heat Island*) และส่งเสริมการอยู่อาศัยที่เป็นมิตรระหว่างมนุษย์และสัตว์ตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

- มีพื้นที่ปลูกไม้ยืนต้นไม่น้อยกว่า 1 ต้น ต่อพื้นที่เปิดโล่ง 100 ตารางเมตร
- มีร่มเงาปกคลุมอย่างคงทนถาวรภายใน 5 ปีแรก
- รักษาต้นไม้เดิม และ/หรือ ปลูกไม้ยืนต้นเพิ่มเติม โดยต้นไม้ต้นนั้นต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงพุ่มเมื่อโตเต็มที่ไม่น้อยกว่า 4.5 เมตร หรือสูงเกินกว่า 6 เมตร และต้องไม่ใช่ต้นไม้ที่ย้ายโดยการขุดล้อมมาจากพื้นที่อื่นเพื่อนำมาปลูกในโครงการ ยกเว้นต้นไม้ที่มีการจำหน่ายอย่างถูกกฎหมายหรือที่เพาะขึ้นจากเรือนเพาะชำเท่านั้น

แนวทางการดำเนินการ

พยายามให้ร่มเงาพื้นที่ลาดชันภายนอกอาคารด้วยพืชพรรณธรรมชาติขนาดกลาง/ใหญ่ เพื่อก่อให้เกิดสภาพอากาศจุลภาคที่ดี เชื่อมต่อการประหยัดพลังงาน ควรพิจารณาพร้อมกับ SL5: การบรรเทาปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ ที่มีการใช้ไม้ยืนต้นในการบังเงาพื้นที่ลาดชันร่วมกับการใช้วัสดุปูพื้นลาดชันกลางแจ้งที่มีค่าการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์สูง เพื่อลดการดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์

SL 3	การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน	(3 คะแนน)
------	-------------------------------------	-----------

SL 3.3	ใช้พืชพรรณพื้นถิ่นที่เหมาะสม	(1 คะแนน)
--------	------------------------------	-----------

วัตถุประสงค์

พัฒนาระบบนิเวศที่เหมาะสมและส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่ดี เพื่อการประหยัดพลังงาน ลดการใช้น้ำในงานภูมิสถาปัตยกรรม ลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง และส่งเสริมการสร้างและพลิกฟื้นระบบนิเวศที่มีความสมบูรณ์

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

เลือกใช้พืชพรรณในงานภูมิสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศที่ทนแล้งและทนโรคทั้งโครงการ พืชพรรณที่เลือกใช้ต้องไม่เป็นสายพันธุ์รุกราน (*Invasive Alien Species*) หรือวัชพืช การเลือกชนิดของพืชต้องอ้างอิงชนิดของพืชตามที่ระบุไว้ในหัวข้อคะแนนนี้

แนวทางการดำเนินการ

ปรึกษาภูมิสถาปนิกในการเลือกใช้ชนิดของพืชพรรณพื้นถิ่น และวางแผนการทำคะแนนร่วมกับ SL3.1 มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ฐานอาคาร SL 3.2: มีต้นไม้ยืนต้น 1 ต้นต่อ พื้นที่เปิดโล่ง 100 ตารางเมตร (ห้ามย้ายไม้ยืนต้นมาจากที่อื่น) และ SL 5: การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ

SL 4 การซึมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม

(4 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดปัญหาน้ำท่วมที่เกิดจากการพัฒนาโครงการโดยการลดพื้นที่ผิวที่บดบังน้ำ (*Impervious Surface*) ของพื้นที่ผิวโครงการ เพิ่มพื้นที่ผิวซึมน้ำ หรือสร้างบ่อหน่วงน้ำเพื่อชะลอน้ำก่อนปล่อยออกสู่พื้นที่นอกโครงการ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ**ทางเลือกที่ 1**

คำนวณสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ย (*Area-Weighted Average Runoff Coefficient*) ของพื้นที่ผิวทั้งโครงการ (ไม่รวมพื้นที่บ่อหน่วงน้ำ) ค่าที่คำนวณได้เทียบเป็นคะแนนได้จาก ตาราง SL4 T 1

ตาราง SL4 T 1

สัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ย	คะแนน
มากกว่าหรือเท่ากับ 0.70	1
มากกว่าหรือเท่ากับ 0.60 แต่น้อยกว่า 0.70	2
มากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 แต่น้อยกว่า 0.60	3
น้อยกว่า 0.50	4

ทางเลือกที่ 2

เปรียบเทียบทั้งปริมาณ (*Volume*) และอัตราการไหลสูงสุด (*Peak Discharge Rate*) ของน้ำฝนไหลล้น (*Stormwater Runoff*) ที่ออกจากพื้นที่โครงการระหว่างก่อนและหลังการพัฒนาโครงการ ปริมาณและอัตราการไหลสูงสุดที่คงเดิมหรือลดลงหลังการพัฒนาโครงการเทียบเป็นคะแนนได้จาก ตาราง SL4 T 2

ทั้งนี้ ให้คำนวณปริมาณและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำฝนไหลล้นจากข้อมูลทางสถิติของพายุฝนที่มีคาบการเกิด 2 ปีและตกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (*Two-year, 24-hour Design Storm*) หากไม่มีข้อมูลของพื้นที่โครงการให้ใช้ข้อมูลของกรุงเทพฯ

ตาราง SL4 T 2

ผลต่างของปริมาณและอัตราการไหลสูงสุด ระหว่างก่อนและหลังพัฒนาโครงการ	คะแนน	
กรณี 1 เมื่อสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ยก่อนการพัฒนาโครงการ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5	คงเดิม 4	
กรณี 2 เมื่อสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดินเฉลี่ยก่อนการพัฒนาโครงการ มากกว่า 0.5	ลดลงร้อยละ 10	1
	ลดลงร้อยละ 15	2
	ลดลงร้อยละ 20	3
	ลดลงร้อยละ 25	4

แนวทางการดำเนินการ

ออกแบบโครงการให้มีพื้นที่ผิวที่น้ำซึมผ่านได้ เลือกใช้วัสดุปูพื้น เช่น บล็อกหญ้า (ที่มีพื้นที่หญ้าอย่างน้อยร้อยละ 50 ของพื้นผิว) แผ่นปูพื้นที่มีการเว้นร่องระหว่างแผ่น หรือวัสดุปูพื้นที่มีช่องหรือรูให้น้ำซึมผ่านลงสู่ดินได้ ผนวกกับการใช้บ่อหน่วงน้ำทั้งแบบธรรมชาติและแบบใช้อุปกรณ์ ควรพิจารณาการใช้พื้นที่เปิดโล่งที่มีศักยภาพในการรับน้ำและหน่วงน้ำที่สามารถใช้เป็นพื้นที่สีเขียวของโครงการ เพื่อการทำคะแนนร่วมกับ SL 3.1: มีพื้นที่เปิดโล่งเชิงนิเวศ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ดินของโครงการ

SL 5	การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ	(4 คะแนน)
------	--	-----------

SL 5.1	มีการจัดสวนบนหลังคาหรือสวนแนวตั้ง	(2 คะแนน)
--------	-----------------------------------	-----------

วัตถุประสงค์

ลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากหลังคาและเปลือกอาคาร (การเกิดอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่พัฒนาและพื้นที่ไม่ได้รับการพัฒนา) ที่จะส่งผลต่อสภาพอากาศจุลภาค และที่อาศัยของมนุษย์และสัตว์ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

สัดส่วนของพื้นที่หลังคาเขียวและสวนแนวตั้ง (มีความชัน $<60^\circ$ วัดจากแนวระนาบ (ตามนิยามของ ผนัง และ หลังคา ใน ASHRAE 90.1 2007) ที่ถูกปกคลุมด้วยพืช โดยใช้สมการ

$$GSA = GRA + GWA \times 0.5$$

โดย GSA = Green Surface Area, GRA= Green Roof Area (พื้นที่สวนหลังคา), GWA= Green Wall Area (พื้นที่สวนแนวตั้ง)

GSA/พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ไม่นับพื้นที่งานระบบและช่องแสงธรรมชาติ) >0.5 ได้ 1 คะแนน

GSA/พื้นที่หลังคาทั้งหมด (ไม่นับพื้นที่งานระบบและช่องแสงธรรมชาติ) >0.8 ได้ 2 คะแนน

แนวทางการดำเนินการ

ปลูกพืชพรรณบนหลังคาหรือผนังภายนอกอาคาร ซึ่งอาจทำเป็น ชุ่มไม้เลื้อย ไม้กระถางกิ่งถาวร และสวนแนวตั้ง เป็นต้น ทั้งนี้ ควรหลีกเลี่ยงการทำแปลงต้นไม้หรือปลูกหญ้าชนิดที่ต้องมีการบำรุงรักษาามากที่ทำให้เกิดการสิ้นเปลือง และอาจต้องใช้สารเคมีป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ควรพิจารณาการทำคะแนนร่วมกับ SL 3.1

SL 5	การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ	(4 คะแนน)
SL 5.2	มีพื้นที่ดาดแข็งที่รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่โครงการ	(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดผลกระทบจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากพื้นที่ดาดแข็ง (การเกิดอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่พัฒนาและพื้นที่ไม่ได้รับการพัฒนา) ที่จะส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศจุลภาค และที่อาศัยของมนุษย์และสัตว์ตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็งที่อยู่ภายนอกอาคารโดยใช้พืชพรรณหรือลดผลกระทบจากพื้นที่ดาดแข็งโดยเลือกการก่อสร้างและวัสดุที่เหมาะสม โดยประยุกต์ใช้วิธีการดังต่อไปนี้กับพื้นที่ดาดแข็งมากกว่าร้อยละ 50 ของโครงการ

การให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็งเพื่อลดรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ด้วยต้นไม้ใหญ่

การใช้วัสดุปูพื้นที่มีดัชนีการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์สูง มากกว่าร้อยละ 30

การใช้หลังคาคลุมที่มีดัชนีการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์สูง มากกว่าร้อยละ 30

ใช้พืชหรือเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลังคาคลุม

การใช้บล็อกหญ้า (พื้นที่ปลูกพืชร้อยละ 50 ของพื้นผิวบล็อกหญ้า)

แนวทางการดำเนินการ

ลดการมีพื้นที่ดาดแข็งภายนอกโครงการ หากมีควรมายามให้ร่มเงาพื้นผิวภายนอกด้วยพืชพรรณธรรมชาติ รวมทั้งใช้วัสดุปูพื้นดาดแข็งกลางแจ้งที่มีค่าการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์สูงเพื่อลดการดูดซับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ควรพิจารณาการใช้หลังคาคลุมทางเดินที่มีค่าการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์สูง และควรพิจารณาการทำคะแนนร่วมกับ SL3: การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน และ SL 4 การขีมน้ำและลดปัญหาน้ำท่วม

SL 5	การลดปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมืองจากการพัฒนาโครงการ	(4 คะแนน)
------	--	-----------

SL 5.3	มีต้นไม้ยืนต้นทางทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออก ที่บังแดดได้อย่างมีประสิทธิภาพ	(1 คะแนน)
--------	--	-----------

และไม่ก่อความเสียหายกับตัวอาคาร

วัตถุประสงค์

ลดผลกระทบจากความร้อนโดยเฉพาะจากรังสีดวงอาทิตย์ที่มีต่ออาคาร และลดอุณหภูมิผิวอาคารที่อาจเป็นสาเหตุปรากฏการณ์เกาะความร้อนในเมือง ตลอดจนลดความร้อนของภูมิอากาศจุลภาค

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

1. ปลูกต้นไม้ยืนต้นใน ทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันออก โดยมีการวางตำแหน่งให้รัศมีทรงพุ่มของต้น (อายุ 5 ปี) ให้สัมผัสกันหรือห่างกันไม่เกิน 1 เมตร เพื่อการบังแดดอย่างมีประสิทธิภาพ
2. รัศมีทรงพุ่มและรากต้องมีระยะห่างที่เหมาะสมและไม่รบกวน หรือก่อความเสียหายให้กับตัวอาคาร

แนวทางการดำเนินการ

พยายามให้ร่มเงาผนังและหน้าต่างภายนอกอาคารด้วยร่มเงาจากไม้ยืนต้น และคำนึงถึงการจัดภูมิสถาปัตยกรรมรอบอาคาร การจัดวางตำแหน่งต้นไม้ใหญ่ให้ได้ประโยชน์สูงสุด เพื่อลดการดูดซับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตัวอาคารและองค์ประกอบอื่นๆ ควรพิจารณาร่วมกับการทำคะแนนในข้อ SL3: การพัฒนาผังพื้นที่โครงการที่ยั่งยืน และ SL 5.2: มีพื้นที่ลาดแข็งที่รับรังสีดวงอาทิตย์ ไม่เกินร้อยละ 50 ของพื้นที่โครงการ

หมวดที่ 3 การประหยัดน้ำ (Water Conservation)

ประชากรในกรุงเทพมหานครใช้น้ำประปาเฉลี่ยประมาณ 320-340 ลิตรต่อคนต่อวัน ซึ่งการใช้โถสุขภัณฑ์แบบทั่วไปจะใช้น้ำประมาณ 13 ลิตรต่อ 1 ครั้ง ดังนั้น หากทุกคนใช้ชักโครกโดยเฉลี่ย 4 ครั้งต่อวัน จะใช้น้ำทั้งสิ้นถึงวันละ 52 ลิตรต่อคน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 30 ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดต่อคน จากการศึกษาที่จำนวนประชากรได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ทำให้มีความต้องการใช้น้ำดิบในการผลิตน้ำประปาเป็นจำนวนมากในขณะที่ปริมาณน้ำดิบมีจำกัด การประหยัดน้ำประปาและการใช้น้ำประปาอย่างมีประสิทธิภาพเป็นหนทางหนึ่งที่สามารถช่วยปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคตได้ การเลือกใช้สุขภัณฑ์และก๊อกน้ำประหยัดน้ำ หรือผลิตภัณฑ์ฉลากเขียวทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์แบบทั่วไปจะช่วยลดการใช้น้ำประปาได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การกักเก็บน้ำฝนเพื่อใช้ในบางส่วนของโครงการเพื่อทดแทนน้ำประปา ประกอบกับการติดตั้งมาตรวัดน้ำย่อย ซึ่งช่วยให้การบริหารจัดการน้ำในส่วนต่างๆ ของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยังมีส่วนช่วยในการประหยัดน้ำประปาและส่งเสริมการใช้น้ำประปาอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้การประหยัดน้ำและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพในอาคารที่กำลังดำเนินการเข้าสู่อาคารเขียว การประเมินในหมวดทรัพยากรน้ำจึงประกอบไปด้วยรายละเอียดของหัวข้อดังนี้

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
WC 1	การประหยัดน้ำและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ	6

ทั้งนี้ หัวข้อดังกล่าวมีการดำเนินการ 2 ทางเลือก ซึ่งหากเลือกดำเนินการตามทางเลือกใดแล้วต้องดำเนินการตามแนวทางของทางเลือกดังกล่าวจนจบ โดยทั้ง 2 ทางเลือกมีจุดมุ่งหมายเดียวกันที่จะลดการนำน้ำจากแหล่งธรรมชาติมาใช้ และลดปริมาณการผลิตน้ำประปา ตลอดจนลดภาระด้านลดค่าใช้จ่ายและพลังงานในการบำบัดน้ำเสียของทั้งภาครัฐและภาคเอกชน

WC 1	การประหยัดน้ำและการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ	(6 คะแนน)
------	---	-----------

ทางเลือกที่ 1: ใช้โถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ ใช้ก๊อกน้ำประหยัดน้ำ ติดมาตรวัดน้ำย่อย ติดตั้งถังเก็บน้ำฝนเพื่อใช้งาน

(6 คะแนน)

ทางเลือกที่ 2: มีความต้องการใช้น้ำลดลงร้อยละ 15 - 35 จากปริมาณการใช้น้ำตามกรณีอ้างอิง

(6 คะแนน)

วัตถุประสงค์

เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของอาคาร และ/หรือ มีการบริหารจัดการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และ/หรือ มีการใช้น้ำฝนซึ่งสะอาดและไม่มีค่าใช้จ่าย เพื่อลดภาระในการผลิตน้ำประปา (Portable Water) และภาระในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสีย

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ทางเลือกที่ 1

(เลือกข้อ 1 หรือ 2)

- | | |
|---|-------------|
| 1. ใช้โถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ มากกว่าร้อยละ 90 ของจำนวนที่ติดตั้งทั้งหมด | ได้ 1 คะแนน |
| 2. ใช้โถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ ร้อยละ 100 ของจำนวนที่ติดตั้งทั้งหมด | ได้ 2 คะแนน |

(เลือกข้อ 3 หรือ 4)

- | | |
|--|-------------|
| 3. ใช้ก๊อกน้ำประหยัดน้ำ หรือมีอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดน้ำอัตโนมัติ มากกว่าร้อยละ 90 | ได้ 1 คะแนน |
| 4. ใช้ก๊อกน้ำประหยัดน้ำ หรือมีอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดน้ำอัตโนมัติ ร้อยละ 100 | ได้ 2 คะแนน |

(เลือกข้อ 5 และ/หรือ 6)

- | | |
|--|-------------|
| 5. ติดมาตรวัดการใช้น้ำย่อยในจุดใดจุดหนึ่งของโครงการ | ได้ 1 คะแนน |
| 6. ติดตั้งถังเก็บน้ำฝนเพื่อใช้งาน ปริมาตรร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำฝนที่ตก 1 ปี | ได้ 1 คะแนน |

ทางเลือกที่ 2

- | | |
|--|-------------|
| 1. มีความต้องการใช้น้ำลดลงร้อยละ 15 จากปริมาณการใช้น้ำตามกรณีอ้างอิง | ได้ 2 คะแนน |
| 2. มีความต้องการใช้น้ำลดลงร้อยละ 25 จากปริมาณการใช้น้ำตามกรณีอ้างอิง | ได้ 4 คะแนน |
| 3. มีความต้องการใช้น้ำลดลงร้อยละ 35 จากปริมาณการใช้น้ำตามกรณีอ้างอิง | ได้ 6 คะแนน |

แนวทางการดำเนินการ

ลดปริมาณการใช้น้ำโดยการติดตั้งสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ และ/หรือ ก๊อกน้ำประหยัดน้ำหรือมีอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดน้ำอัตโนมัติ รวมถึงการใช้เทคโนโลยีอื่นๆ อาทิ เช่น สุขภัณฑ์ที่ไม่ใช้น้ำ ตลอดจนติดตั้งมาตรวัดน้ำย่อย เพื่อการบริหารจัดการการใช้น้ำ และตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำบริเวณพื้นที่หลักและบริเวณโดยรอบอาคาร นอกจากนี้อาจพิจารณาการกักเก็บน้ำฝนเพื่อใช้งานและลดความต้องการน้ำประปาของโครงการด้วย

หมวดที่ 4 พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere)

การใช้พลังงานของอาคารนับว่าเป็นสาเหตุสำคัญของมลภาวะและภาวะเรือนกระจกซึ่งถือเป็นวิกฤตการณ์ที่สำคัญในปัจจุบันนี้ โดยปกติแล้วพลังงานที่ถูกใช้ไปในอาคารจะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าซึ่งต้องมีการผลิตจากโรงงาน ซึ่งต้องใช้แหล่งพลังงานที่มีราคาแพง และมีมลภาวะ อีกทั้งการจ่ายพลังงานจากแหล่งผลิตมายังอาคารยังต้องสูญเสียพลังงานถึงกว่า 2 ใน 3 ไปกับระบบสายส่ง (ไปในรูปพลังงานความร้อน) ที่มักมีระยะทางไกลจากโครงการ นอกจากนี้ การผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานสะอาดเช่น แสงอาทิตย์ ลม หรือเขื่อน ถือว่ามีสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับความต้องการพลังงานของประเทศ ดังนั้น TREES-NC จึงให้น้ำหนักสูงสุดสำหรับหมวดพลังงานและบรรยากาศนี้ในการให้คะแนน โดยมีคะแนนรวมสูงสุดถึง 20 คะแนน และครอบคลุม 2 ข้อบังคับ ซึ่งครอบคลุม ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเป็นหลัก นอกจากนี้ยังส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนต่างภายในพื้นที่โครงการ ที่ทั้ง 2 ส่วน ต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพอาคาร และการตรวจสอบยืนยันการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นระบบ นอกจากนี้ หมวดพลังงานและบรรยากาศนี้ยังครอบคลุมถึงสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบปรับอากาศซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อบรรยากาศและภาวะเรือนกระจก หากไม่เลือกสารทำความเย็นที่เหมาะสม หัวข้อคะแนนในหมวดพลังงานและบรรยากาศประกอบด้วย

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
EA P1	การประกันคุณภาพอาคาร มีแผนการตรวจสอบและปรับแต่งระบบโดยบุคคลที่สาม	บังคับ
EA P2	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ ได้ 4 คะแนนในข้อ EA 1	บังคับ
EA 1	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	16
EA 2	การใช้พลังงานทดแทน ผลิตพลังงานทดแทน ให้ได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5-1.5 ของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคาร	2
EA 3	การตรวจสอบและพิสูจน์ผลเพื่อยืนยันการประหยัดพลังงาน มีแผนการตรวจสอบและพิสูจน์ผลตามข้อกำหนด IPMVP	1
EA 4	สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ ไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22	1

EA P1 การประกันคุณภาพอาคาร

(บังคับ)

มีแผนการทดสอบและปรับแต่งระบบโดยบุคคลที่สาม

วัตถุประสงค์

เพื่อยืนยันว่ามีการติดตั้งระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของอาคารอย่างถูกต้องตามแบบและข้อกำหนดประกอบแบบ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ต้องมีการดำเนินการหลัก ใน 6 เรื่องดังต่อไปนี้

1. แต่งตั้งบุคคลที่สามเป็น *ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบ (Commissioning Authorities)* ทำหน้าที่จัดการ ทบทวนและควบคุมการทดสอบและปรับแต่งระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้
 - 1.1. *ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบ* ต้องมีหลักฐานแสดงประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบและปรับแต่งระบบประกอบอาคารไม่น้อยกว่า 2 อาคาร
 - 1.2. *ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบ* ต้องมีการทำงานที่เป็นอิสระจากผู้ออกแบบและผู้ควบคุมงานก่อสร้าง
 - 1.3. *ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบ* ต้องรายงานผลการทดสอบและให้ข้อเสนอแนะโดยตรงกับเจ้าของโครงการ
2. เจ้าของโครงการต้องมีเอกสารเป็นลายลักษณ์อักษร แสดงความต้องการของเจ้าของโครงการ (*Owner's Project Requirements*) และผู้ออกแบบต้องจัดให้มีเอกสาร แสดงแนวคิดและเจตนา *กรณีในการออกแบบ (Basis of Design)* ทั้งนี้ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบต้องศึกษาเอกสารดังกล่าวให้เข้าใจอย่างชัดเจน โดยเจ้าของโครงการและผู้ออกแบบต้องปรับแก้ไขเอกสารทั้งสองให้มีข้อมูลสอดคล้องกันตลอดเวลา
3. จัดทำแผนการทดสอบและปรับแต่งระบบและดำเนินการตามแผนอย่างเป็นระบบ
4. รวบรวมความต้องการในการทดสอบและปรับแต่งระบบ และแสดงรายละเอียดต่างๆ ไว้ในเอกสารงานก่อสร้าง
5. รับรองการติดตั้งและสมรรถนะของระบบที่ทำการทดสอบและปรับแต่ง
6. จัดเตรียมรายงานผลการทดสอบและปรับแต่งระบบฉบับสมบูรณ์

การทดสอบและปรับแต่งระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารอย่างน้อยต้องครอบคลุมระบบดังต่อไปนี้

1. ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ
2. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
3. ระบบทำน้ำร้อนของอาคาร (โดยทั่วไปจะปรากฏในโครงการประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล)
4. ระบบผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทน (หากมี)

แนวทางการดำเนินการ

เจ้าของโครงการต้องจัดหา *ผู้ทดสอบและปรับแต่งระบบ* ที่มีประสบการณ์และความชำนาญในลักษณะงานดังต่อไปนี้

1. งานออกแบบ ติดตั้ง และใช้งานระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน
2. งานบริหารจัดการควบคุมการทดสอบและปรับแต่งระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

EA P2 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำ

(บังคับ)

ได้ 4 คะแนนในข้อ EA 1

วัตถุประสงค์

กำหนดมาตรฐานขั้นต่ำในการใช้พลังงานของอาคารเขียว

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ได้คะแนนอย่างน้อย 4 คะแนนในข้อ EA 1

แนวทางการดำเนินการ

ผู้ออกแบบอาคารต้องคำนึงถึงการออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงาน โดยมีการออกแบบและเลือกใช้ระบบเปลือกอาคาร ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ที่เหมาะสมกับภูมิอากาศและมีประสิทธิภาพสูงกว่ามาตรฐานทั่วไป เพื่อให้อาคารมีการใช้พลังงานรวมต่ำกว่าอาคารอ้างอิงตามข้อกำหนดการใช้พลังงานตามกฎหมายสำหรับอาคารสร้างใหม่ตามทางเลือกที่กำหนดไว้

EA 1 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

(16 คะแนน)

วัตถุประสงค์

พัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารให้สูงกว่าอาคารมาตรฐาน ASHRAE 90.1-2007 หรือ กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ภายใต้ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 หรือ การเทียบค่าจากการประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก (TEEAM) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดมาจากการใช้พลังงาน

สิ่งที่ต้องดำเนินการ**ทางเลือกที่ 1**

ใช้ Whole building simulation ตามรายละเอียดใน กฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 เป็นเกณฑ์ โดยเทียบคะแนนได้จาก ตาราง EA1 T 1

ทางเลือกที่ 2

ใช้ Proposed และ baseline energy simulation จาก ASHRAE 90.1-2007 Appendix G เป็นเกณฑ์ ซึ่งใช้ได้กับภูมิอากาศของประเทศไทย โดยเทียบคะแนนได้จาก ตาราง EA1 T 1

ทางเลือกที่ 3

ใช้การเทียบค่าจากอาคารที่ใช้แบบประเมินการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก (TEEAM) รุ่น 49 เป็นเกณฑ์ ซึ่งจะติดคะแนนเฉพาะหมวด 3-6 (เฉพาะคะแนนพลังงาน) โดยเทียบคะแนนได้จาก ตาราง EA1 T 1 ทั้งนี้ให้ส่งแบบประเมินที่ทำโดยคณะทำงาน พร้อมเอกสารหลักฐานต่างๆ เช่น แบบ หรือ รายการวัสดุอุปกรณ์ เพื่อยืนยัน

ตาราง EA1 T 1

คะแนน	กฎกระทรวง พ.ศ.2552 (ค่าพลังงาน)		ASHRAE 90.1-2007 Appendix G (ค่าใช้จ่ายพลังงาน)		คะแนนการประเมินอาคารเพื่อการ ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อ สภาพแวดล้อมหรืออาคารติดฉลาก (TEEAM)	
	อาคารปรับปรุง	อาคารใหม่	อาคารปรับปรุง	อาคารใหม่	อาคารปรับปรุง	อาคารใหม่
4	0-5	6-10	0-5	6-10	51-55	51-55
6	6-10	11-15	6-10	11-15	56-60	56-60
8	11-15	16-20	11-15	16-20	61-65	61-65
10	16-20	21-25	16-20	21-25	66-70	66-70
12	21-25	26-30	21-25	26-30	>=71	>=71
14	26-30	31-35	26-30	31-35		
16	31-35	36-40	31-35	36-40		

แนวทางการดำเนินการ

ผู้ออกแบบอาคารต้องคำนึงถึงการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพทางด้านพลังงานสูง โดยมีการออกแบบและเลือกใช้ระบบเปลือกอาคาร ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ที่เหมาะสมกับภูมิอากาศและมีประสิทธิภาพสูงกว่ามาตรฐานทั่วไป เพื่อให้อาคารมีการใช้พลังงานรวมต่ำกว่าอาคารอ้างอิง ตามข้อกำหนดการใช้พลังงานตามกฎหมายสำหรับอาคารสร้างใหม่ตามทางเลือกที่กำหนดไว้

EA 2 การใช้พลังงานทดแทน

(2 คะแนน)

ผลิตพลังงานทดแทน ให้ได้ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5-1.5 ของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคาร

วัตถุประสงค์

ให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานหมุนเวียน เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในโครงการ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ (เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องทำน้ำร้อน) พลังงานลม พลังงานชีวมวล (Biofuel-based Energy) เป็นต้น ให้ได้เป็นมูลค่าร้อยละ 0.5-1.5 ของค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคารต่อปี ที่อาจคำนวณได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จากข้อ EA 1

1. ผลิตพลังงานทดแทน ให้มีมูลค่าไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 ของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคาร ได้ 1 คะแนน
2. ผลิตพลังงานทดแทน ให้มีมูลค่าไม่น้อยกว่า ร้อยละ 1.5 ของปริมาณค่าใช้จ่ายพลังงานในอาคาร ได้ 2 คะแนน

ในกรณีใช้ทางเลือกที่ 3 ใน EA 1 ใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานต่อพื้นที่อาคารแต่ละประเภท ตาม ตาราง EA2 T 1 ที่ปรับค่าให้เป็นค่าใช้จ่ายทางพลังงาน โดยใช้ค่าเฉลี่ยค่าไฟที่ 3.5 บาทต่อหน่วย

ตาราง EA2 T 1

อาคาร	ดัชนีการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี
1. สำนักงาน	หน่วย kWh/ปี/m ²
1.1 อาคารขนาดใหญ่และเป็นอาคารสูง	215.80
1.2 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและไม่ใช่อาคารสูง	199.90
1.3 อาคารขนาดใหญ่พิเศษและเป็นอาคารสูง	218.50
2. ศูนย์การค้า	หน่วย kWh/ปี/m ²
2.1 ดิสคันทิสโตร์ (Discount Store)	336.40
2.2 ห้างสรรพสินค้า (Department Store)	240.60
2.3 ซุปเปอร์มาร์เก็ต (Shopping Plaza) หรือ พื้นที่ให้เช่า	204.20
2.4 ซุปเปอร์มาร์เก็ต (Supermarket)	418.40
3.โรงพยาบาล	ดัชนีการใช้พลังงานต่อปริมาณคนใช้ในต่อปี
	หน่วย MJ/Bed-Day (in Year)
3.1 โรงพยาบาลรัฐ	262.00
3.2 โรงพยาบาลเอกชน	625.00
4.อาคารประเภทอื่นๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้	240 kWh/ปี/m ²

แนวทางการดำเนินการ

อาคารควรมีการติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล เป็นต้น กับอาคาร หรือในบริเวณโครงการ ให้ได้ตามปริมาณที่กำหนด ซึ่งอาจสามารถขายกลับสู่ระบบสายส่งจำหน่ายของการไฟฟ้า

ฯ

EA 3 การตรวจสอบและพิสูจน์ผลเพื่อยืนยันการประหยัดพลังงาน**(1 คะแนน)**

มีแผนการตรวจสอบและพิสูจน์ผลตามข้อกำหนด IPMVP

วัตถุประสงค์

จัดให้มีแผนเพื่อตรวจสอบและพิสูจน์ผลการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อให้อาคารมีการประหยัดพลังงานจริงตามที่ได้คำนวณและจำลองสภาพไว้

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

1. จัดให้มีแผนการตรวจสอบและประเมินผลการใช้พลังงานที่สอดคล้องกับ International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP) Volume III. Concepts and Options for Determining Energy Saving in New Construction: Option D: Calibrated Simulation (Saving Estimation Method 2) หรือ Option B: Energy Conservation Measure Isolation.
2. แผนที่จะทำการตรวจสอบและประเมินผลในข้อ 1 ต้องดำเนินการภายใน 1 ปี หลังการเปิดใช้อาคารและมีการใช้งานที่เสถียรแล้ว

แนวทางการดำเนินการ

ต้องจัดให้มีแผนการตรวจสอบและประเมินผลการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริง พร้อมกับติดตั้งเครื่องวัดการใช้พลังงานอย่างเพียงพอที่จะใช้ในการตรวจสอบ ตามหลักการตรวจสอบและประเมินผลการใช้พลังงานที่สอดคล้องกับ IPMVP ซึ่งใน Option D ได้กำหนดวิธีการประเมินผลการใช้พลังงานจริงโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ควรเป็นแบบจำลองเดียวกับ EA 1) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการใช้พลังงานจริง ทำการปรับแต่งแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ให้ค่าพลังงานมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัดจริง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ไปใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือกในการประหยัดพลังงานของอาคาร ในกรณีอาคารเป็นอาคารเล็กหรือมีความซับซ้อนน้อย IPMVP: Option B กำหนดว่าสามารถเลือกการตรวจสอบเป็นระบบต่างๆ แล้วใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์หรือแบบจำลองอื่นๆ ของแต่ละระบบในการเปรียบเทียบ จากนั้นทำการปรับค่าในแบบจำลองให้สอดคล้องกับค่าพลังงานของระบบต่างๆ

EA 4 สารทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ไม่ทำลายชั้นบรรยากาศ

(1 คะแนน)

ไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22

วัตถุประสงค์

ลดการใช้สารทำความเย็นที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22 ในเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องที่ใช้สารทำความเย็นมากกว่า 0.3 กิโลกรัม ขึ้นไป เครื่องปรับอากาศที่ใช้สารทำความเย็นน้อยกว่า 0.3 กิโลกรัม ให้ถือเป็นข้อยกเว้น

ในกรณีที่อาคารใหม่มีการต่อเติมเข้ากับอาคารเก่า (ที่มีการประเมินอาคารเก่าร่วมด้วย) อาคารเก่าต้องเปลี่ยนสารทำความเย็นด้วย ให้เป็นแบบไม่ใช้สาร CFC และ HCFC-22 เว้นแต่มีการจัดทำแผนการลดปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็น

แนวทางการดำเนินการ

ระบบปรับอากาศในอาคารต้องไม่ใช้สารทำความเย็นประเภท CFC และ HCFC-22 ที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

หมวดที่ 5 วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง (Materials and Resources)

ขยะซึ่งเกิดจากภาคการก่อสร้างนั้นมีปริมาณมากทั้งจากกระบวนการใช้งานอาคารและกระบวนการก่อสร้างอาคาร อีกทั้งการก่อสร้างอาคารนั้นจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรเป็นปริมาณมหาศาล ซึ่งทั้งขยะและการใช้ทรัพยากรส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของมลภาวะและการทำลายธรรมชาติ ดังนั้น การนำอาคารเดิมที่มาใช้ใหม่ นำขยะมารีไซเคิล ใช้วัสดุในท้องถิ่น หรือวัสดุเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงเป็นวัตถุประสงค์หลักในหมวดวัสดุและทรัพยากรซึ่งถูกออกแบบให้หัวข้อคะแนนต่างๆ ตั้งแต่ MR1-6 คิดเป็นคะแนนรวม 16 คะแนน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
MR 1	การใช้อาคารเดิม เก็บรักษาพื้นหรือหลังคาของอาคารเดิมไว้ร้อยละ 50-75 ของพื้นที่ผิว	2
MR 2	การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้าง นำขยะไปใช้หรือรีไซเคิล ร้อยละ 50-75 ของปริมาตรหรือน้ำหนัก	2
MR 3	การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว เป็นมูลค่าร้อยละ 5-10	2
MR 4	การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิลเป็นมูลค่าร้อยละ 10-20	2
MR 5	การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ การใช้วัสดุที่ ขุด ผลิต ประกอบ พื้นถิ่นหรือในประเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด	2
MR 6	วัสดุที่ผลิตหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ	3
MR 6.1	ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามฉลากเขียวและฉลากคาร์บอนของไทยร้อยละ 10-20	2
MR 6.2	ใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด	1

หากพิจารณาในแต่ละหัวข้อในหมวดวัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้างนี้ก็จะได้แบ่งหมวดหมู่ได้เป็น 3 กลุ่มนี้ การลดปริมาณการใช้วัสดุใหม่ การลดปริมาณขยะจากการก่อสร้าง และการใช้วัสดุที่ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติต่ำ

การลดปริมาณการใช้วัสดุใหม่

การลดปริมาณการใช้วัสดุใหม่นั้นสามารถทำได้โดยทั้งการใช้ส่วนของอาคารเดิมให้มากที่สุด การใช้วัสดุรีไซเคิลซึ่งกระทบต่อธรรมชาติน้อยกว่าวัสดุใหม่ โดยหมวดคะแนนที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้

MR 1 การใช้อาคารเดิม เก็บรักษาพื้นหรือหลังคาของอาคารเดิมไว้ร้อยละ 50-75 ของพื้นที่ผิว

MR 3 การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว เป็นมูลค่าร้อยละ 5-10

MR 4 การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิลเป็นมูลค่าร้อยละ 10-20

การลดปริมาณขยะจากการก่อสร้าง

การลดปริมาณขยะจากการก่อสร้างนั้นเกิดจากการวางแผนที่ดีตั้งแต่ต้นการเลือกวัสดุต่างๆไปจนถึงการจัดการก่อสร้างที่ดี โดยหมวดคะแนนที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้

- MR 1 การใช้อาคารเดิม เก็บรักษาพื้นหรือหลังคาของอาคารเดิมไว้ร้อยละ 50-75 ของพื้นที่ผิว
- MR 2 การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้าง นำขยะไปใช้หรือรีไซเคิลร้อยละ 50-75ของปริมาตรหรือน้ำหนัก
- MR 3 การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว เป็นมูลค่าร้อยละ 5-10

การใช้วัสดุที่ส่งผลกระทบต่อธรรมชาติต่ำ

ผลกระทบต่อธรรมชาติจากวัสดุที่ใช้นั้นมีทั้ง ในเรื่องของการผลิต ซึ่งมีวัสดุที่ให้ผลกระทบต่อธรรมชาติต่ำ และการขนส่งวัสดุ ซึ่งระยะทางที่ไม่ไกลจากสถานที่ก่อสร้างมากก็นั้นก็จะใช้พลังงานธรรมชาติเพื่อการขนส่งวัสดุน้อยลง โดยหมวดคะแนนที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้

- MR 3 การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว เป็นมูลค่าร้อยละ 5-10
- MR 5 การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ การใช้วัสดุที่ ขุด ผลิต ประกอบ พื้นถิ่นหรือในประเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด
- MR 6.1 ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามฉลากเขียวและฉลากคาร์บอนของไทยร้อยละ 10-20
- MR 6.2 ใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด
- การทำคะแนนในหมวดวัสดุและทรัพยากรธรรมชาตินี้มีความซับซ้อนมากกว่าในหมวดอื่น เนื่องจากบางหัวข้อคะแนนมีเงื่อนไขในการทำคะแนนที่ซ้ำและข้ามหัวข้อกันได้ ในขณะที่มีบางกรณีที่ไม่สามารถทำคะแนนซ้ำได้ อาทิเช่น ในหมวด MR1 การเก็บส่วนประกอบของอาคารเดิม (หลังคา ผนังพื้น), MR2การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้างจะไม่สามารถนำไปคำนวณในหัวข้ออื่นได้ซึ่งต่างจากหมวดที่เป็นวัสดุใหม่ MR4, MR5, MR6.1, MR6.2 ซึ่งวัสดุสามารถทำคะแนนเพิ่มเติมในหมวดคะแนนที่เกี่ยวข้องกันได้ ตารางด้านล่างนี้ได้สรุปความสัมพันธ์แนวโน้มในการทำคะแนนข้ามหัวข้อคะแนนไว้ดังนี้

	MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MR6.1	MR6.2
MR1 การใช้อาคารเดิม							
MR2 การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้าง	×						
MR3 การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว	×	×					
MR4 การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล	×	×	×				
MR5 การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ	×	×	✓	✓			
MR6.1 ใช้วัสดุตามฉลากเขียวและฉลากคาร์บอนของไทย	×	×	×	✓	✓		
MR6.2 ใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	×	×	×	✓	✓	✓	
<p>✓ = สามารถ คำนวณซ้ำกันได้</p> <p>× = สามารถ คำนวณซ้ำกันได้</p>							

เนื่องจากการทำคะแนนในหมวดวัสดุและทรัพยากรนี้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งมีลักษณะของแนวทางการดำเนินงาน

และ การคำนวณ ร่วมกันดังนี้

1. แนวทางการดำเนินการ

การทำคะแนนในข้อ MR1-6 จะอ้างอิงสัดส่วนและราคาวัสดุตามหมวดของ CSI Master Format 2004 ตั้งแต่ Division 03-10 12 31 และ 32 เท่านั้น ไม่รวมค่าแรง และไม่รวมวัสดุค่าแรงในหมวดอื่นๆ เช่น เครื่องไฟฟ้าและเครื่องกล เป็นต้น

FACILITY CONSTRUCTION SUBGROUP

Division 03 Concrete	คอนกรีต
Division 04 Masonry	การก่ออิฐ
Division 05 Metals	โลหะ
Division 06 Wood, Plastics, and Composites	ไม้, พลาสติก และวัสดุประกอบ
Division 07 Thermal and Moisture Protection	การป้องกันความร้อนและความชื้น
Division 08 Openings (ยกเว้นในหมวด MR1)	ช่องเปิด
Division 09 Finishes	วัสดุปิดผิว
Division 10 Specialties	อุปกรณ์พิเศษ

*Division 12 Furnishings (สามารถนำมาคิดหรือไม่นำมาคิดได้ แต่ต้องมาคิดตลอดต่อเนื่องในทุกหมวด) เฟอร์นิเจอร์

SITE AND INFRASTRUCTURE SUBGROUP

Division 31 Earthwork	งานดิน
Division 32 Exterior Improvements	งานปรับปรุงภายนอก

2. การคำนวณ

การคำนวณนั้นสามารถนำรายการในหมวด Division 12 Furnishings จาก CSI Master Format มาคำนวณด้วยแต่ต้องนำมาคำนวณเหมือนกันต่อเนื่องในทุกหัวข้อ ในส่วนหมวด MR1 นั้น การคำนวณให้คำนวณจากพื้นที่โดยรวมของหลังคาและพื้นของอาคารเดิม ซึ่งจะต่างจากข้อ MR2 ซึ่งใช้ปริมาตรหรือน้ำหนักของขยะ ในขณะที่ MR3 MR4 MR5 MR6.1 MR6.2 ที่คำนวณมูลค่าตามน้ำหนักวัสดุ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

หัวข้อคะแนน	การทำคะแนน
MR1	พื้นที่ผิวของอาคารไม่นับรวมพื้นที่ช่องเปิด
MR2	ปริมาตรหรือน้ำหนักของขยะ ไม่รวมดิน พีช และวัสดุมีพิษ
MR3-6	มูลค่าของวัสดุ ตามสัดส่วนน้ำหนัก ตาม CSI Master Format 2004

MR 1 การใช้อาคารเดิม

(2 คะแนน)

เก็บรักษาส่วนประกอบของอาคารเดิมไว้ร้อยละ 50-75 ของพื้นที่ผิว

วัตถุประสงค์

ลดการใช้วัสดุ ทรัพยากร และ พลังงาน ที่ต้องใช้ในการก่อสร้างอาคารใหม่ และใช้ประโยชน์จากโครงสร้างอาคารเดิมที่มีอยู่แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

เก็บรักษาส่วนประกอบของอาคารเดิมให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 50 หากเก็บรักษาได้มากกว่าร้อยละ 50 จะได้ 1 คะแนนและหากเก็บได้มากกว่าร้อยละ 75 จะได้ 2 คะแนน การคิดเฉพาะส่วนพื้นที่ยังมีความสมบูรณ์และเก็บไว้ใช้งานได้อย่างถูกต้องสูงสุดลักษณะและไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน พื้นที่ส่วนที่เสียหายหรือมีสารพิษให้หักออกจากการคำนวณ วัสดุที่ไม่ใช่โครงสร้างถาวร เช่น ผ้าใบ หรือช่องแสงธรรมชาติ ให้หักออกจากการคำนวณ พื้นที่ในส่วนที่เสียหายและก่อกมลภาวะ หรือเป็นของเสียอันตราย ที่หักออกต้องไม่เกินร้อยละ 15 ของพื้นที่อาคารเดิม การทำคะแนนในข้อนี้สำหรับกรณีการปรับปรุงอาคารเดิม พื้นที่ของส่วนต่อเติมต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของพื้นที่อาคารเดิม

แนวทางการดำเนินการ

เลือกพื้นที่โครงการที่มีอาคารเดิมตั้งอยู่แล้ว สำนวจภาพโครงสร้าง พื้น และหลังคาของอาคาร ว่ายังอยู่ในสภาพดี ทำการออกแบบให้ใช้ประโยชน์และเก็บรักษาส่วนประกอบของอาคารเดิมให้ได้มากที่สุด ไม่ควรให้ส่วนต่อเติมมีขนาดใหญ่กว่า 2 เท่าของพื้นที่อาคารเดิม ในส่วนเปลือกอาคารเลือกกระบบเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อทำคะแนนในข้อ EA 1 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

MR 2 การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้าง

(2 คะแนน)

นำขยะไปใช้หรือรีไซเคิล ร้อยละ 50-75 ของปริมาตรหรือน้ำหนัก

วัตถุประสงค์

เพื่อลดขยะที่เกิดจากการก่อสร้างและลดการใช้วัสดุใหม่ ซึ่งเป็นการลดผลกระทบต่อสภาพการทิ้งขยะและกระบวนการสกัดวัสดุใหม่

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

หลีกเลี่ยงการนำขยะจากการก่อสร้างไปถมที่ ไปทิ้ง หรือไปเผาทำลาย ให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 50 โดยน้ำหนักหรือโดยปริมาตร ซึ่งต้องเลือกใช้อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นตลอดทั้งการคำนวณ หากสามารถหลีกเลี่ยงได้มากกว่าร้อยละ 50 จะได้ 1 คะแนน แต่หากหลีกเลี่ยงได้มากถึงร้อยละ 75 จะได้ 2 คะแนน ขยะที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง ควรถูกขายหรือบริจาคเพื่อนำไป ใช้ใหม่ หรือ รีไซเคิล โดยขยะจำพวกดิน หิน และพืช ไม่สามารถนำมานับทำคะแนนได้ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องจักรต่างๆ สามารถนับทำคะแนนในข้อนี้ได้ การเลือกใช้วัสดุใช้แล้วหรือวัสดุมีพิษและเป็นอันตรายต่างๆ ให้หักออกและไม่ได้นำมาคำนวณในข้อนี้

แนวทางการดำเนินการ

กำหนดเป้าหมายในการเปลี่ยนจากการทิ้งขยะและการเผาขยะ มาเป็นวิธีการจัดการกับเศษวัสดุที่มาจากการก่อสร้าง เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมาย โดยการคัดแยกและรวบรวมวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ระบุผู้รับเหมาในการจัดบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้างอย่างเป็นระบบ โดยสามารถทำได้หลายวิธีทั้ง นำกลับมาใช้ใหม่, บริจาคให้องค์กรไม่แสวงหาผลกำไร, หรือนำไปใช้กับอาคารอื่น

MR 3 การเลือกใช้วัสดุใช้แล้ว

(2 คะแนน)

นำวัสดุก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่เป็นมูลค่าร้อยละ 5-10

วัตถุประสงค์

ปรับเปลี่ยนกระบวนการจัดการวัสดุ และจัดการกับเศษวัสดุที่เกิดจากการก่อสร้าง การรื้อถอน จากเดิมที่นำไปทิ้งยังบ่อขยะและนำไปเผา เป็นการนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านกระบวนการผลิตอีกครั้ง ทั้งนี้วัสดุดังกล่าวต้องเป็นวัสดุที่ไม่เป็นพิษ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ใช้วัสดุก่อสร้างที่มาจากการนำกลับมาใช้ใหม่อย่างน้อยร้อยละ 5-10 ของมูลค่ารวมของวัสดุ การคำนวณราคาให้ใช้ราคาของวัสดุอุปกรณ์จริงหรือวัสดุที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันในการคำนวณโดยให้ใช้กรณีราคาที่สูงกว่า หากสามารถทำได้มากกว่าร้อยละ 5 จะได้ 1 คะแนน และหากสามารถทำได้มากกว่าร้อยละ 10 จะได้ 2 คะแนน และหากเพียงบางส่วนของวัสดุนั้นเป็นวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ ให้นำร้อยละของวัสดุนั้นโดยเทียบเป็นน้ำหนักรวมของวัสดุ แล้วใช้อัตราส่วนดังกล่าวแปลงเป็นมูลค่าวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อนำมาคำนวณมูลค่าการนำกลับมาใช้ใหม่รวม ส่วนประกอบทางด้านงานระบบไม่นับอยู่ในการคำนวณนี้ เช่น ส่วนประกอบเครื่องกล ไฟฟ้า ลิฟต์ และท่อประปา เป็นต้น ให้รวมเฉพาะวัสดุที่ติดตั้งเป็นการถาวรในโครงการ ไม่รวมเฟอร์นิเจอร์ และไม่รวมดินและ/หรือเศษวัสดุ ชิ้นส่วนต่างๆ ที่เกิดจากการขุดและการไถปรับหน้าดิน

วัสดุนำกลับมาใช้ใหม่จะไม่สามารถนำมาคำนวณปริมาณรีไซเคิลในข้อ MR4 แม้ว่าจะมีปริมาณรีไซเคิลอยู่ก็ตาม เพื่อให้ไม่ได้คะแนนข้อ MR5 การนำเศษวัสดุก่อสร้างหรือวัสดุใช้แล้วมาใช้ใหม่ภายในโครงการสามารถนับวัสดุดังกล่าวมาทำคะแนนในข้อ MR5 การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ ได้ โดยวัสดุกลุ่มนี้จะไม่ถูกนำไปคิดคะแนนในข้อ MR2 การบริหารจัดการขยะจากการก่อสร้าง

แนวทางการดำเนินการ

พยายามแสวงหาวัสดุใช้แล้วจากแหล่งต่างๆ หรือ ใช้เศษวัสดุก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้างหรืออาคารเดิมมาซ่อมแซมแล้วใช้งานในอาคารที่สร้างใหม่ การเลือกใช้วัสดุใช้แล้วที่มีราคาสูงจะได้เปรียบในการทำคะแนน ควรพิจารณาการทำคะแนนในข้อ MR5 การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ

MR 4 การเลือกใช้วัสดุรีไซเคิล

(2 คะแนน)

ใช้วัสดุรีไซเคิลเป็นมูลค่าร้อยละ 10-20

วัตถุประสงค์

เพื่อให้มีการนำวัสดุรีไซเคิลมาใช้ในโครงการ เป็นการลดการใช้วัสดุดิบใหม่และขยะ ซึ่งช่วยลดผลกระทบต่ออันเกิดจากกระบวนการสกัดวัสดุดิบใหม่นั้น

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ใช้วัสดุรีไซเคิลหรือมีส่วนประกอบที่มาจากการใช้รีไซเคิลให้ได้มากกว่าร้อยละ 10 ของมูลค่ารวมทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในโครงการ หากสามารถทำได้มากกว่าร้อยละ 10 จะได้ 1 คะแนน และหากสามารถทำได้มากกว่าร้อยละ 20 จะได้ 2 คะแนน ค่าปริมาณวัสดุรีไซเคิลของวัสดุใด ๆ ให้เทียบจากน้ำหนักของวัสดุรีไซเคิลกับน้ำหนักรวมของวัสดุนั้นแล้วใช้อัตราส่วนดังกล่าวแปลงเป็นมูลค่าวัสดุรีไซเคิลเพื่อนำมาคำนวณปริมาณรีไซเคิลรวม ส่วนประกอบทางงานระบบจะไม่นับอยู่ในการคำนวณนี้ เช่น ส่วนประกอบเครื่องกล ไฟฟ้า ลิฟต์ ท่อประปา เป็นต้น ให้รวมเฉพาะวัสดุที่ติดตั้งเป็นการถาวรในโครงการ การนับเฟอร์นิเจอร์สามารถทำได้ แต่ต้องรวมอย่างต่อเนื่องใน MR 3 - MR 6

เหล็กในงานก่อสร้างให้คิดปริมาณรีไซเคิลที่ร้อยละ 25 หากไม่มีข้อมูลวัสดุรีไซเคิล ซึ่งในความเป็นจริงเหล็กจะมีปริมาณรีไซเคิลสูงกว่าที่กำหนดไว้

ในเกณฑ์ TREES NC V1.0 นี้ จะไม่มีการแบ่งแยกวัสดุรีไซเคิลที่เป็น *พรีคอนซูเมอร์ (Pre-Consumer)* และ *โพสต์คอนซูเมอร์ (Post-Consumer)* เพื่อความเรียบง่ายในการคำนวณคะแนนและเพื่อให้ผู้ประกอบการมีระยะเวลาปรับตัวก่อนการแยกประเภทวัสดุรีไซเคิลใน TREES รุ่นต่อไป

แนวทางการดำเนินการ

ตั้งเป้าหมายสำหรับการนำวัสดุที่มีศักยภาพสูงสุดที่มีองค์ประกอบของวัสดุรีไซเคิล และหาผู้แทนจำหน่ายวัสดุประเภทนั้นๆ ที่จำหน่ายวัสดุดังกล่าว ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าวัสดุที่นำมาใช้มีองค์ประกอบของวัสดุก่อสร้างที่ผ่านการรีไซเคิลในปริมาณที่ระบุไว้จริง และให้พิจารณาถึงคุณลักษณะของวัสดุที่นำมาใช้ ในแง่ของสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์โดยเฉพาะราคาของวัสดุอุปกรณ์

MR 5 การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ

(2คะแนน)

การใช้วัสดุที่ ขุด ผลิต ประกอบ หรือวัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 10-20 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด

วัตถุประสงค์

เพิ่มความต้องการวัสดุก่อสร้างที่ผลิตในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการคมนาคมขนส่ง

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ใช้วัสดุก่อสร้างหรือสินค้าที่ ขุด ผลิต ประกอบ โดยจะได้ 1 คะแนนเมื่อมูลค่าวัสดุพื้นถิ่นมีมูลค่ามากกว่า ร้อยละ 10 และ 2 คะแนนเมื่อมูลค่ามากกว่าร้อยละ 20 ของมูลค่าวัสดุโครงการ โดยใช้เกณฑ์

1. แหล่งผลิต ขุด ประกอบไม่ไกลเกินกว่ารัศมี 500 กิโลเมตร จากที่ตั้งโครงการ หรือ
2. แหล่งผลิต ขุด ประกอบ ในประเทศไทย

หากเพียงบางส่วนของวัสดุนั้น ผลิตจากแหล่งผลิตที่อยู่ใกล้กับสถานที่ก่อสร้างตามข้อกำหนดข้างต้น ให้นับร้อยละของวัสดุนั้นโดยเทียบเป็นน้ำหนักแล้วเทียบกลับเป็นมูลค่าวัสดุพื้นถิ่นและในประเทศ ส่วนประกอบทางด้านการระบบไม่นับอยู่ในการคำนวณนี้ เช่น ส่วนประกอบเครื่องกล ไฟฟ้า ลิฟต์ และท่อประปา เป็นต้น ให้รวมเฉพาะวัสดุที่ติดตั้งเป็นการถาวรในโครงการ ไม่นับรวมเฟอร์นิเจอร์

แนวทางการดำเนินการ

กำหนดเป้าหมายโครงการในการใช้วัสดุในท้องถิ่น และหาผู้แทนจำหน่ายวัสดุประเภทนั้นๆ โดยให้พิจารณาถึงคุณลักษณะของวัสดุที่นำมาใช้ในแง่ของสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ และหรือราคาของวัสดุ ควรพิจารณาลักษณะร่วมกับหัวข้อ MR อื่น เพื่อการทำคะแนนเพิ่มเติมในข้อนั้นๆ อาทิเช่น การใช้วัสดุที่ได้รับฉลากเขียวหรือวัสดุใช้แล้ว

MR 6 วัสดุที่ผลิตหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ (3คะแนน)

MR 6.1 ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามฉลากเขียวและฉลากคาร์บอนของไทย (2 คะแนน)

วัตถุประสงค์

คำนึงถึงผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิต ตลอดจนคุณประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อมที่เมื่อมีการใช้ผลิตภัณฑ์นั้นภายในอาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้รับฉลากเขียวหรือฉลากคาร์บอน ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอย่างน้อยร้อยละ 10 ของมูลค่ารวมของวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมด (วัสดุที่ได้ทั้ง 2 ฉลากสามารถนับมูลค่าเป็น 2 เท่าได้) สวนประกอบทางด้านงานระบบ ไม่นับอยู่ในการคำนวณนี้ เช่น ส่วนประกอบเครื่องกล ไฟฟ้า ลิฟต์ และท่อประปา เป็นต้น ให้รวมเฉพาะวัสดุที่ติดตั้งเป็นการถาวรในโครงการนับรวมเฟอร์นิเจอร์ หากมูลค่าของวัสดุที่มีฉลากทั้ง 2 ฉลาก มากกว่าร้อยละ 10 จะได้ 1 คะแนน และหากมากกว่าร้อยละ 20 จะได้ 2 คะแนน

แนวทางการดำเนินการ

กำหนดเป้าหมายโครงการในการใช้วัสดุที่ได้รับฉลากเขียวหรือฉลากคาร์บอนของไทย ที่มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีสารพิษต่ำหรือไม่มีเลย โดยควรพิจารณาลักษณะร่วมกับหัวข้อ MR อื่นเพื่อการทำคะแนนเพิ่มเติมในข้ออื่นๆ เช่น วัสดุในประเทศ และ วัสดุใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

MR 6	วัสดุที่ผลิตหรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำ	(3คะแนน)
MR 6.2	ใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 ของมูลค่าวัสดุก่อสร้างทั้งหมด	(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ส่งเสริมให้ผู้ผลิตทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนให้มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีการเผยแพร่ข้อมูลดังกล่าวให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างมีทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

เลือกใช้ผลิตภัณฑ์และวัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามรูปแบบของวัสดุเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 2 (EcoProduct Type 2-Self Declaration Environmental Claims) ร้อยละ 30 ของมูลค่ารวมของวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมด ส่วนประกอบทางด้านงานระบบไม่นับอยู่ในการคำนวณนี้ เช่น ส่วนประกอบเครื่องกล ไฟฟ้า ลิฟต์ และท่อประปา เป็นต้น ให้รวมเฉพาะวัสดุที่ติดตั้งเป็นการถาวรในโครงการนับรวมเฟอร์นิเจอร์ วัสดุที่ผ่านเกณฑ์นี้สามารถนับเข้ากับวัสดุที่ได้รับฉลากเขียวในข้อ MR 6.1 ได้

แนวทางการดำเนินการ

กำหนดเป้าหมายโครงการในการใช้วัสดุที่มีการเผยแพร่ข้อมูลตามความต้องการของวัสดุเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 2 (EcoProduct Type 2-Self Declaration Environmental Claims) โดยรูปแบบของฉลากนั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละราย แต่มีอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของ International Organization for Standardization หลังจากนั้นทำการหาผู้แทนจำหน่ายวัสดุประเภทนั้นๆ โดยใช้ฐานข้อมูลที่ต่างๆ ในประเทศ เช่น ฐานข้อมูล Eco Market เป็นต้น ควรพิจารณาลักษณะร่วมกับหัวข้อ MR อื่นเพื่อการทำคะแนนเพิ่มเติมในข้ออื่นๆ โดยเฉพาะวัสดุที่ได้รับฉลากเขียว เป็นต้น

หมวดที่ 6 คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร

จากข้อมูลที่ได้มีผู้ทำการศึกษาพบว่า ผู้คนจะใช้ระยะเวลาส่วนใหญ่จะอยู่ภายในอาคารมากกว่าภายนอกอาคาร หากสภาพแวดล้อมภายในอาคารไม่ดีหรือไม่เหมาะสมก็ย่อมที่จะส่งผลเสียต่อผู้ใช้อาคาร โดยเฉพาะในเรื่องของสุขภาพและความเจ็บป่วย ซึ่งอาจทำให้ทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลมากขึ้น หรือเกิดการขาดงานบ่อยครั้งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของหน่วยงาน ดังนั้น การสร้างสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ดีจึงเป็นเรื่องที่ไม่อาจละเลยได้

เกณฑ์การประเมินในส่วนของสภาพแวดล้อมภายใน (Indoor Environment: IE) มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ดี ส่งเสริมคุณภาพชีวิต ทั้งทางด้าน สภาวะน่าสบาย และ แสงธรรมชาติและวิว ตลอดจน คุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดี ไม่มีการสะสมของสารพิษหรือสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ โดยการกำหนดแนวทางการออกแบบ และเลือกใช้ระบบอาคารที่เหมาะสม การเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพไม่มีการปล่อยสารเคมีที่เป็นอันตราย ฯลฯ โดยภาพรวมในการประเมินประกอบไปด้วยรายละเอียดของหัวข้อดังนี้

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
IE P1	ปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร - อัตราการระบายอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	บังคับ
IE P2	ความส่องสว่างภายในอาคาร - ความส่องสว่างขั้นต่ำผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	บังคับ
IE 1	การลดผลกระทบมลภาวะ	5
IE 1.1	ช่องนำอากาศเข้าไม่อยู่ตำแหน่งที่มีความร้อนหรือมลพิษ	1
IE 1.2	ความดันเป็นลบ (Negative pressure) สำหรับห้องพิมพ์งาน ถ่ายเอกสาร เก็บสารเคมี และห้องเก็บสารทำความสะอาด	1
IE 1.3	ควบคุมแหล่งมลพิษจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร	1
IE 1.4	พื้นที่สูบบุหรี่ห่างจากประตูหน้าต่างหรือช่องนำอากาศเข้าไม่น้อยกว่า 10 เมตร	1
IE 1.5	ประสิทธิภาพการกรองอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	1
IE2	การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ก่อมลพิษ	4
IE 2.1	การใช้วัสดุประสาน วัสดุยาแนว และรองพื้น ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 2.2	การใช้สี และวัสดุเคลือบผิว ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 2.3	การใช้พรมที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 2.4	การใช้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบขึ้นจากไม้ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	1
IE 3	การควบคุมแสงสว่างภายในอาคาร - แยกวงจรแสงประดิษฐ์ทุก 250 ตารางเมตรหรือตามความต้องการ	1
IE 4	การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร - ออกแบบให้ห้องที่มีการใช้งานประจำได้รับแสงธรรมชาติอย่างพอเพียง	4
IE 5	สภาวะน่าสบาย - อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในส่วนที่มีการปรับอากาศเหมาะสมตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ	3

IE P1 ปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร**(บังคับ)**

อัตราการระบายอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน

วัตถุประสงค์

เพื่อยืนยันถึงสุขอนามัยที่ดีของผู้ใช้อาคารทางด้านความเหมาะสมของการระบายอากาศ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ**ทางเลือกที่ 1**

อัตราการระบายอากาศในพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวง ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานการระบายอากาศ (Ventilation) เพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality: IAQ) ที่ยอมรับได้ วสท. (วสท. -3010)

ทางเลือกที่ 2

อัตราการระบายอากาศในพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1-2007

แนวทางการดำเนินการ

ออกแบบให้นำอากาศบริสุทธิ์เข้าสู่อาคารในปริมาณที่ผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำตามกฎหมายและมาตรฐาน วสท. หรือ ตามมาตรฐานสากล

IE P2 ความส่องสว่างภายในอาคาร

(บังคับ)

ความส่องสว่างขั้นต่ำผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน

วัตถุประสงค์เพื่อยืนยันถึงสุขอนามัยที่ดีของผู้ใช้อาคารทางด้านความเหมาะสมของ*ความส่องสว่าง (Illuminance)***สิ่งที่ต้องดำเนินการ**

ค่า*ความส่องสว่าง*จากแสงประดิษฐ์ (ไม่รวมแสงธรรมชาติ) ผ่านเกณฑ์ตามที่กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง รวมถึงผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่ระบุโดยสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

ทางเลือกที่ 1

ใช้ค่าจากการวัดจริงในระยะทุก ๆ 3 เมตร หรืออย่างน้อย 4 จุดในห้อง โดยต้องยืนยันว่ามีกำบังกันไม่ให้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารขณะทำการวัด การวัดต้องกระทำในแนวราบที่ระยะความสูงจากพื้นห้อง 0.75 เมตร และไม่ควรมีเฟอร์นิเจอร์ขณะทำการวัด อุปกรณ์ที่ใช้วัดแสง (lux meter) ต้องมีการยืนยันว่ามีความถูกต้องด้วยผลการสอบเทียบ (Calibration) หรือใบรับรองการเทียบวัดจากผู้ผลิต

ทางเลือกที่ 2

ใช้การจำลองสภาพด้วยคอมพิวเตอร์ การจำลองสภาพต้องสามารถใช้ข้อมูลการกระจายแสง (เช่น IES) ของดวงโคมจากผู้ผลิตหรือจากการทดลอง ใช้ค่าเฉลี่ยของ*ความส่องสว่างแนวราบ (Horizontal Illuminance)* ที่ระยะความสูง 0.75 เมตรเป็นตัวชี้วัด การจำลองสภาพต้องไม่มีการนำแสงธรรมชาติมาเกี่ยวข้อง (ไม่ควรมีเฟอร์นิเจอร์ขณะทำการจำลองสภาพ)

ทางเลือกที่ 3

การแสดงรายการคำนวณด้วยมือ อาทิ การใช้ Lumen method เพื่อยืนยันจำนวนและชนิดของหลอดไฟว่าได้ถูกกำหนดอย่างเหมาะสม

แนวทางการดำเนินการ

เลือกใช้ดวงโคมและ/หรือวิธีการให้แสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงและมีการกระจายแสงที่เหมาะสม เลือกตำแหน่งและความสูงของการติดตั้งที่เหมาะสมเพื่อการกระจายแสงที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

IE 1 การลดผลกระทบมลภาวะ

(5 คะแนน)

IE 1.1 ช่องนำอากาศเข้าไม่อยู่ตำแหน่งที่มีความร้อนหรือมลพิษ

(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

เพื่อหลีกเลี่ยงการนำมลภาวะเข้าสู่อาคารจากการวางตำแหน่งช่องนำอากาศเข้า (Air Intake) ไว้ในที่ไม่เหมาะสม

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ศึกษาพื้นที่และลักษณะโดยรอบของอาคาร ทำการออกแบบช่องนำอากาศเข้า โดยต้องอยู่ห่างจากตำแหน่งที่มีความร้อนหรือมลพิษ อาทิเช่น อาคารจอดรถ ที่ระบายควันจากครุฑ ที่ระบายอากาศจากอาคารอื่น ๆ ถนน ปล่องควันต่างๆ เป็นต้น โดยระยะจากช่องนำอากาศเข้าควรห่างจากตำแหน่งที่มีมลภาวะไม่น้อยกว่า 10 เมตร และสูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 3 เมตร

สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศสามารถที่จะผ่านเกณฑ์ข้อนี้ได้หากมีระบบระบายอากาศโดยวิธีกลในพื้นที่ปิดล้อม (Enclosed space) ที่เป็นไปตามข้อกำหนดนี้

แนวทางการดำเนินการ

ควรกำหนดตำแหน่งช่องนำอากาศเข้าในที่ที่เป็นพื้นที่สีเขียว หรือห่างจากตำแหน่งที่มีมลภาวะไม่น้อยกว่า 10 เมตร และสูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 3 เมตร ในกรณีอาคารหรือที่ตั้งอาคารมีความหนาแน่นสูง ควรพิจารณาช่องนำอากาศเข้าจากด้านบนของอาคารเพื่อหลีกเลี่ยงมลภาวะจากถนนหรืออาคารข้างเคียง

IE 1	การลดผลกระทบมลภาวะ	(5 คะแนน)
------	--------------------	-----------

IE 1.2 ความดันเป็นลบ (Negative pressure) สำหรับห้องพิมพ์งาน ถ่ายเอกสาร เก็บสารเคมีและห้องเก็บสารทำความเย็น
(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

เพื่อป้องกัน จัดการ และควบคุมมลภาวะที่อาจเกิดขึ้นภายในอาคารจากแหล่งกำเนิดโดยตรง

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ทางเลือกที่ 1

ในพื้นที่ที่มีมลภาวะหรือมีแก๊สพิษอันตรายหรือสารเคมีที่มีหรือใช้อยู่ (รวมทั้ง ห้องซักกรีด ห้องพิมพ์งานและห้องถ่ายเอกสาร) การระบายอากาศในแต่ละพื้นที่ ต้องมีการส่งผ่านลมโดยที่ไม่มีการเก็บกักหรือนำอากาศจากพื้นที่ดังกล่าวกลับมาหมุนเวียน อีกทั้งต้องมีประตูที่ปิดอัตโนมัติ และมีอัตราการระบายอากาศอย่างน้อย 2.5 ลิตรต่อวินาที ต่อ 1 ตารางเมตร (lps/sq.m) มีความดันน้อยกว่าพื้นที่โดยรอบโดยเฉลี่ยอย่างน้อย 5 ปาสกาล และอย่างน้อย 1 ปาสกาล เมื่อประตูห้องเปิด

ทางเลือกที่ 2

สำหรับอาคารที่ไม่มีห้องหรือพื้นที่ที่เข้าข่ายตามลักษณะดังกล่าวมา สามารถได้คะแนนในหัวข้อนี้ทันที

แนวทางการดำเนินการ

ออกแบบพื้นที่ที่มีมลภาวะสูงด้วยระบบการระบายอากาศอย่างเพียงพอ เพื่อลดผลกระทบจากสิ่งปนเปื้อนภายในอาคาร การดูดอากาศไปทิ้งต้องมีแรงดูดที่เพียงพอ เพื่อป้องกันมลภาวะกระจายตัวไปสู่ส่วนใช้งานอื่นๆ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว วิธีการที่ดีที่สุดคือการแยกพื้นที่เก็บสารเคมี สารพิษ กับพื้นที่ที่มีผู้ใช้งาน

IE 1	การลดผลกระทบมลภาวะ	(5 คะแนน)
------	--------------------	-----------

IE 1.3	ควบคุมแหล่งมลพิษจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร	(1 คะแนน)
--------	--	-----------

วัตถุประสงค์

ลดสารพิษ สารที่เป็นอันตราย และฝุ่นละอองต่างๆที่อาจเกิดจากผู้ใช้อาคารเอง โดยเฉพาะบริเวณทางเข้าอาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

การติดตั้งระบบการเก็บฝุ่นละอองบริเวณพื้นของทางเข้าอาคารหลัก โดยระบบที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือ การทำประตู 2 ชั้นร่วมกับการติดตั้งระบบตะแกรงถาวร ซึ่งมีช่องทำความสะอาดด้านล่างได้ หากใช้พรมต้องมีการยืนยันโดยใช้สัญญาการจ้างทำความสะอาดพรมจากบริษัททำความสะอาดสัปดาห์ละครั้ง โดยตัวสัญญาต้องกำหนดระยะเวลาในการทำความสะอาดไว้อย่างน้อย 1 ปี นับจากวันที่เปิดใช้อาคาร

แนวทางการดำเนินการ

พิจารณาการป้องกันมลภาวะและฝุ่นละอองบริเวณทางเข้าอาคาร ด้วยระบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับอาคารมากที่สุด การทำประตู 2 ชั้นร่วมกับระบบกักเก็บฝุ่นละอองนับเป็นระบบที่ดีและมีประสิทธิภาพ การใช้พรมควรเป็นทางเลือกรอง แต่หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ ควรมีการทำสัญญากับบริษัททำความสะอาดเพื่อยืนยันว่าจะมีการทำความสะอาดสัปดาห์ละครั้ง

IE 1	การลดผลกระทบมลภาวะ	(5 คะแนน)
------	--------------------	-----------

IE 1.4 พื้นที่สูบบุหรี่ห่างจากประตูหน้าต่างหรือช่องนำอากาศเข้าไม่น้อยกว่า 10 เมตร (1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผู้อยู่อาศัยในอาคาร พื้นที่ภายในตัวอาคารและระบบการระบายอากาศ (Ventilation System) จากการสูบบุหรี่

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

1. ห้ามสูบบุหรี่ภายในอาคารโดยเด็ดขาด
2. มีพื้นที่สำหรับสูบบุหรี่โดยเฉพาะโดยห่างจากประตูหลักต่าง ๆ หรือช่องนำอากาศเข้า ไม่น้อยกว่า 10 เมตร

แนวทางการดำเนินการ

กำหนดเขตสูบบุหรี่ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 9) พ.ศ. 2540 พ.ศ. 2540 และทำเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์แสดงเขตห้ามสูบบุหรี่

IE 1	การลดผลกระทบมลภาวะ	(5 คะแนน)
------	--------------------	-----------

IE 1.5	ประสิทธิภาพการกรองอากาศผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน	(1 คะแนน)
--------	--	-----------

วัตถุประสงค์

เพื่อลดปัญหาคุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีสาเหตุมาจากฝุ่นละอองตลอดจนมลภาวะต่าง ๆ และเป็นการปรับปรุงระบบปรับอากาศเพื่อส่งเสริมสุขอนามัยของผู้ใช้อาคาร โดยเฉพาะโรกระบบทางเดินหายใจ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

เครื่องส่งลมเย็น (AHU) ที่มีอัตราการส่งลมเย็นตั้งแต่ 1,000 ลิตรต่อวินาที ขึ้นไป ตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ วสท (วสท.-3003) ต้องมีแผ่นกรองอากาศที่มีค่าประสิทธิภาพต่ำสุด (MERV) อย่างน้อย MERV 7 (มาตรฐาน ASHRAE Standard 52.2) หรือ อย่างน้อยร้อยละ 25-30 (มาตรฐาน ASHRAE Standard 52.1 Dust Spot) หรือแผ่นกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานอื่นที่มีความน่าเชื่อถือเทียบเท่า ทั้งนี้ ควรติดตั้งในตำแหน่งของอากาศที่ดูดกลับ (Return Air) และอากาศภายนอก (Outdoor Air)

แนวทางการดำเนินการ

พิจารณาเลือกชนิดของระบบปรับอากาศที่สามารถติดตั้งแผ่นกรองอากาศในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยเฉพาะเครื่องส่งลมเย็นขนาด 1,000 ลิตรต่อวินาที ขึ้นไป

IE 2	การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ก่อมลพิษ	(4 คะแนน)
IE 2.1	การใช้วัสดุประสาน วัสดุยาแนว และรองพื้น ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนจากวัสดุประสาน (Adhesive) วัสดุยาแนว (Sealant) และรองพื้น ภายในอาคารที่มีกลิ่นแรง สร้างความรำคาญ และเป็นผลร้ายต่อสุขภาพ ตลอดจนความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ติดตั้งและผู้ใช้อาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

วัสดุประสาน วัสดุยาแนว และรองพื้นที่ใช้ภายในอาคาร ต้องอ้างอิงตามมาตรฐาน South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) Rule # 1168 โดยกำหนดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายตามรายการด้านล่างนี้ โดยมีผลบังคับใช้เมื่อ 1 กรกฎาคม 2005 ซึ่งมีการบัญญัติไว้เมื่อ 7 มกราคม 2005

แนวทางการดำเนินการ

ระบุวัสดุ Low-VOC ในแบบการก่อสร้าง ตรวจสอบให้แน่ใจว่าวัสดุประสาน วัสดุยาแนว และรองพื้นมีสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำกว่าที่กำหนดไว้ เสาะหาผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่ายที่จำหน่ายวัสดุ Low-VOC ดังกล่าว

IE 2	การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ก่อมลพิษ	(4 คะแนน)
IE 2.2	การใช้สี และวัสดุเคลือบผิว ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดปริมาณสิ่งปนเปื้อนจาก สี และวัสดุเคลือบผิวที่มีกลิ่นแรง ภายในอาคาร ซึ่งสร้างความรำคาญ และเป็นผลร้ายต่อสุขภาพอนามัย ตลอดจนความเป็นอยู่ที่ดีของผู้ติดตั้งและผู้ใช้อาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ และวัสดุเคลือบผิวจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

1. สีและวัสดุเคลือบผิวที่ใช้ภายในอาคาร จะต้องได้รับการรับรองฉลากเขียว หรือ
2. สีและวัสดุเคลือบผิวที่ใช้ภายในอาคาร จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานอ้างอิงดังต่อไปนี้

สี วัสดุเคลือบผิวและรองพื้นที่ใช้กับผนังและฝ้าเพดาน: ต้องมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เป็นพิษไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดใน Green Seal Standard GS-11, Paints, First Edition, May 20, 1993

- Flats : 50 g/L
- Non-Flats : 150 g/L

สีป้องกันการผุกร่อนและสีป้องกันสนิมที่ใช้ภายในอาคารกับรองพื้นที่เป็นโลหะเหล็ก: ต้องมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC content) ไม่เกิน 250 g/L ตามที่ระบุใน Green Seal Standard GC-03 Anti-Corrosive Paints, Second Edition, January 7, 1997

วารนิช (Varnish) ใส สำหรับไม้ เคลือบเงาพื้น ตกแต่งรอยเปื้อนและเชลแล็ก ที่ใช้กับวัสดุภายใน: ต้องมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย ไม่เกินที่ระบุใน South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) Rule 1113, Architectural Coatings, on January 1, 2007

แนวทางการดำเนินการ

ระบุวัสดุที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำ (Low-VOC) ในแบบการก่อสร้าง ตรวจสอบให้แน่ใจว่าสี และวัสดุเคลือบผิว มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำกว่าที่กำหนดไว้ เลือกผู้ผลิตและตัวแทนจำหน่ายที่จำหน่ายวัสดุที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำ

IE 2	การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ก่อมลพิษ	(4 คะแนน)
IE 2.3	การใช้พรมที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดปริมาณสารพิษจากพรมภายในอาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ทางเลือกที่ 1

ระบบพรมภายในอาคาร (*Indoor carpet systems*) ทั้งหมดต้องผ่านการทดสอบและรับรองจาก Carpet and Rug Institute's Green Label Plus program หรือ NFS / ANSI Standard 140 - 2007 Sustainable Carpet Assessment หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า โดยทางสถาบันจะพิจารณาเป็นกรณี ๆ ไป การติดตั้งพรมรองพรม ภายในตัวอาคารต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของ Rug Institute Green Label Plus program กาวที่ยึดพรมทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของข้อ IE 2.1

ทางเลือกที่ 2

หากไม่มีการใช้พรมในอาคาร สามารถทำคะแนนในหัวข้อนี้ได้ทันที

แนวทางการดำเนินการ

หลีกเลี่ยงการใช้พรม หากจำเป็นต้องใช้ควรพิจารณาพรมที่มีสารพิษต่ำเป็นหลัก โดยพรมดังกล่าวต้องผ่านการทดสอบจาก Carpet and Rug Institute's Green Label Plus program หรือมาตรฐานอื่นทั้งในและต่างประเทศ

IE 2	การเลือกใช้วัสดุที่ไม่ก่อมลพิษ	(4 คะแนน)
IE 2.4	การใช้ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบขึ้นจากไม้ที่มีสารพิษต่ำภายในอาคาร	(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ลดปริมาณสารพิษในผลิตภัณฑ์ที่ประกอบขึ้นจากไม้และวัสดุทดแทนจากพืชภายในอาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบขึ้นจากไม้และวัสดุทดแทนจากพืชอื่น ๆ ที่ใช้ภายในอาคาร ต้องไม่มีส่วนผสมของ ยูเรีย-ฟอร์มาดีไฮด์ (Urea-formaldehyde resins) ทั้งในเนื้อของวัสดุและวัสดุประสาน หรืออย่างน้อยต้องใช้วัสดุผสมระดับ E0 ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบขึ้นจากไม้และผลิตภัณฑ์จากพืชอื่นประกอบด้วย particleboard, medium density fiberboard (MDF), plywood, wheat board, strawboard, panel substrates และ door cores

ข้อกำหนดนี้ยกเว้น เฟอร์นิเจอร์ที่ซื้อมาทั้งชิ้น (เฟอร์นิเจอร์ที่ผู้รับเหมาสามารถเลือกวัสดุเพื่อมาประกอบขึ้นต้องเลือกไม้และวัสดุทดแทนตามข้อกำหนด) และยกเว้นผลิตภัณฑ์เก่าหรือวัสดุใช้แล้วที่นำมาใช้ใหม่ในโครงการ

แนวทางการดำเนินการ

ระบุผลิตภัณฑ์จากไม้และวัสดุทดแทนจากพืชที่ไม่มีการผสมของ Urea-formaldehyde resins หรือเป็น Urea-formaldehyde resins ที่ระดับ E0 ทั้งในเนื้อของวัสดุและวัสดุประสาน พิจารณาการใช้วัสดุทดแทนไม้ที่ทำจากเศษพืชที่เหลือทิ้งเพื่อทำคะแนนร่วมกับ MR 4: การใช้วัสดุรีไซเคิล และ MR 5: การใช้วัสดุพื้นถิ่นหรือในประเทศ

IE 3 การควบคุมแสงสว่างภายในอาคาร

(1 คะแนน)

แยกวงจรแสงประดิษฐ์ทุก 250 ตารางเมตรหรือตามความต้องการ

วัตถุประสงค์

เพื่อให้ผู้ใช้อาคารสามารถควบคุมระดับความส่องสว่างให้เหมาะสมแก่การใช้งานและมีสุขอนามัยที่ดีจากการใช้งาน

สิ่งที่ต้องดำเนินการ**ทางเลือก 1**

จัดเตรียมระบบควบคุมแสงสว่างให้แก่ผู้ใช้งานในอาคาร โดยมีวงจรควบคุมไม่เกิน 250 ตารางเมตร ต่อ 1 วงจร ในกรณีที่มีห้องมีขนาดเล็กกว่า 250 ตารางเมตร ต้องมีการแยกวงจรในแต่ละห้อง

ทางเลือก 2

ออกแบบระบบควบคุมแสงสว่างในพื้นที่ที่มีการใช้งานประจำ เช่น ห้องทำงานแบบเปิด (Open plan office) ให้ผู้ใช้แต่ละคนมีอิสระในการควบคุมระดับความส่องสว่างของตนเอง และออกแบบระบบแสงสว่างเป็นแบบการให้แสงเฉพาะบริเวณที่ใช้งาน (Task lighting) ให้ได้ 90% ของผู้ใช้งานประจำ

แนวทางการดำเนินการ

ออกแบบอาคารโดยจัดเตรียมระบบควบคุมแสงสว่างแยกตามพื้นที่ย่อยต่าง ๆ โดยอาจเตรียมเป็นแสงสว่างสำหรับพื้นที่ทั่วไป และแสงสว่างเฉพาะที่ เมื่อพิจารณาวงจรควบคุมต่อพื้นที่ภายในอาคาร ควรมีวงจรควบคุมไม่เกิน 250 ตารางเมตร ต่อ 1 วงจร หรือใช้ระบบควบคุมแสงสว่างตามความต้องการ (Task and Ambient) สำหรับพื้นที่ที่มีการใช้งานประจำ

IE 4 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร

(4 คะแนน)

ออกแบบให้ห้องที่มีการใช้งานประจำได้รับแสงธรรมชาติอย่างพอเพียง

วัตถุประสงค์

เพื่อให้อาคารมีการใช้แสงธรรมชาติอย่างเหมาะสม เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเพื่อเพิ่มคุณภาพของแสงสว่างภายในพื้นที่ที่มีการใช้งานประจำ (Regularly occupied spaces)

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ใช้การจำลองสภาพด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณสัดส่วนระหว่างพื้นที่ที่มีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor: DF) ในสภาพฟ้าหลัว (Overcast sky) มากกว่า 2% เทียบกับพื้นที่ที่มีการใช้งานประจำทั้งหมด (วัดที่แนวราบ ความสูง 75 ซม. จากพื้น) โดยคะแนนจะคำนวณจากค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติต่ำสุดในห้องที่มากกว่า 2% (เมื่อค่าต่ำสุดในห้องมากกว่า 2% ให้ถือว่าพื้นที่ของห้องทั้งห้องได้แสงธรรมชาติ) หรือเฉพาะพื้นที่ที่มีค่ามากกว่าค่าดังกล่าว เช่น กรณีห้องทำงานแบบเปิด (Open plan office) ในการคำนวณพื้นที่ให้เลือกพื้นที่ที่ขนาดใหญ่กว่า ซึ่งสามารถเทียบเป็นคะแนนได้ดัง Error! Reference source not found.

ตาราง IE 4 T 1

การเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่ใช้งานประจำที่ได้แสงธรรมชาติและคะแนนที่ได้

พื้นที่ที่มีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติมากกว่า 2%	คะแนน
45-55%	1
56-65%	2
66-75%	3
76-100%	4

การจำลองสภาพต้องสะท้อนสภาพความเป็นจริงทางกายภาพของอาคารไม่ว่าจะเป็น ค่าการส่องผ่านแสงสว่างของกระจก ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในอาคาร โดยเมื่อจำลองสภาพไม่จำเป็นต้องคิดว่ามีการปิดม่านภายในอาคาร หรือมีอาคารหรือองค์ประกอบภายนอกที่มาบังแสง แต่ต้องนำอุปกรณ์บังแดดถาวรที่ติดตั้งภายนอกมาคำนวณด้วย

พื้นที่ใช้งานประจำ หมายถึงพื้นที่ที่มีผู้ใช้อาคารอยู่ประจำ เช่น ห้องทำงาน โต๊ะทำงาน ห้องประชุม สำหรับอาคารสำนักงานหรืออาคารสาธารณะ ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่น สำหรับอาคารพักอาศัย

แนวทางการดำเนินการ

คำนึงถึงการให้แสงธรรมชาติในอาคาร โดยออกแบบให้ห้องหรือพื้นที่ที่มีการใช้งานประจำได้แสงธรรมชาติอย่างเหมาะสม ควรพิจารณาการออกแบบให้ห้องไม่ลึกเกินไป มีพื้นที่และจำนวนช่องแสงที่พอเพียงและอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม มีการผนวกวิธีการให้แสงสว่างธรรมชาติแบบต่าง ๆ เช่น หิ้งแสง (Light shelf) หรือท่อแสง (Light pipe) เพื่อให้แสงกระจายได้ลึกขึ้น อีกทั้งควรมีการใช้ช่องแสงจากหลังคาเข้ามาช่วยหากปริมาณแสงจากหน้าต่างไม่พอเพียง อย่างไรก็ตามควรพิจารณาหลีกเลี่ยงช่องแสงที่มีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งอาจส่งผลให้อาคารมีการใช้พลังงานสูงขึ้นและอาจเสียคะแนนในข้อ EA 1: ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

IE 5 สภาวะน่าสบาย (3 คะแนน)

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในส่วนที่มีการปรับอากาศเหมาะสมตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

วัตถุประสงค์

เพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีและประสิทธิภาพการทำงานของผู้ใช้อาคารทางด้านสภาวะน่าสบาย

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

1. ออกแบบอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศให้มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นไปตามมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ วสท. (วสท.-3003) หรือมาตรฐาน ASHRAE 55-2004
2. ออกแบบอาคารในส่วนที่ไม่ปรับอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE 55-2004 ให้ปฏิบัติตามหัวข้อ 5.3

การให้คะแนนจะทำตามสัดส่วนพื้นที่ที่ผ่านข้อกำหนดของทั้ง 2 ทางเลือกรวมกัน โดยนับเฉพาะ พื้นที่ใช้งานประจำ (Regularly Occupied Space) (ตามที่นิยามไว้ในข้อ IE 4) ที่ต้องผ่านมาตรฐานสภาวะน่าสบาย (ไม่รวมพื้นที่ที่ไม่มีคนใช้งานประจำ ทางเดิน ห้องเก็บของ เป็นต้น) สัดส่วนของพื้นที่ห้องที่ผ่านมาตรฐานสภาวะน่าสบายสามารถเทียบวัดคะแนนได้ดังตาราง IE 5 T1

ตาราง IE 5 T1

สัดส่วนพื้นที่ใช้งานประจำที่ผ่านมาตรฐานสภาวะน่าสบาย	คะแนน
มากกว่าร้อยละ 80	1
มากกว่าร้อยละ 90	2
ร้อยละ 100	3

แนวทางการดำเนินการ

พิจารณาออกแบบระบบปรับอากาศที่สามารถใช้งานได้เต็มที่ประสิทธิภาพในช่วงการใช้งานสูงสุด ควรคำนึงถึงปัจจัยสภาวะน่าสบายหลายด้านไม่เฉพาะแต่อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เช่นการแผ่รังสีความร้อนรวม ความเร็วลม กิจกรรรมเสื้อผ้าที่สวมใส่ อีกทั้งควรคำนึงถึงการออกแบบที่ไม่ก่อให้เกิดความรำคาญและไม่สบายต่อผู้ใช้งาน ทั้งจาก กระแสลมที่แรงเกินไป (Draft) ความแตกต่างของอุณหภูมิทางตั้ง (Stratification Discomfort) การแผ่รังสีที่ไม่สมดุล (Radiant Asymmetry) เป็นต้น

หมวดที่ 7 การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection)

มาตรการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการก่อสร้าง เป็นมาตรการสำคัญที่จำเป็นที่ผู้ออกแบบและผู้เกี่ยวข้องต้องคำนึงถึงตั้งแต่เริ่มกระบวนการการออกแบบและก่อสร้าง เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา และ สุขภาวะและสุขภาพของมนุษย์

คะแนนในหมวดการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection) เน้นไปที่การลดผลกระทบของโครงการก่อสร้างโดยรวมใน ระยะยาว ที่มีต่อทรัพยากรธรรมชาติในเชิงนิเวศน์ และสุขภาพ และสุขภาพของมนุษย์ด้วยกระบวนการออกแบบระบบก่อสร้าง การบริหารจัดการพื้นที่โครงการก่อสร้าง

คะแนนในหมวดนี้ ประกอบด้วย 7 หัวข้อโดยมี 2 ข้อคะแนนบังคับและ 5 ข้อคะแนน รวมทั้งสิ้น 8 คะแนน หัวข้อคะแนนบังคับที่ผู้รับผิดชอบต้องทำให้ได้ตามข้อบังคับ จึงจะสามารถทำคะแนนอื่นๆ ในหมวดคะแนนนี้ได้ ในหัวข้อบังคับนั้นมุ่งเน้นการป้องกันผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยา และทรัพยากรธรรมชาติ ด้วยการมีแผนการดำเนินการควบคุมมลพิษจากการก่อสร้างและการบริหารจัดการขยะ ส่วนคะแนน 8 คะแนนในหมวดนี้ เน้นไปที่การเลือกใช้ วัสดุอุปกรณ์ ระบบ ที่ไม่ส่งผลกระทบ หรือป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องเช่น การเลือกเคมีภัณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การป้องกันภาวะเดือดร้อนรำคาญจาก แสงและความร้อน การควบคุมโรคที่มาจากระบบอาคาร รวมถึงการส่งเสริมให้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อลดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
EP P1	การลดมลพิษจากการก่อสร้าง มีแผนและดำเนินการป้องกันมลพิษและสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้าง	บังคับ
EP P2	การบริหารจัดการขยะ การเตรียมพื้นที่แยกขยะ	บังคับ
EP 1	ใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในระบบดับเพลิง ไม่ใช้สารฮาโลน (Halon) หรือ ซีเอฟซี (CFC) หรือ เฮสซีเอฟซี (HCFC) ในระบบดับเพลิง	1
EP 2	ตำแหน่งเครื่องระบายความร้อน การวางตำแหน่งเครื่องระบายความร้อนห่างจากที่ดินข้างเคียง	4
EP 3	การใช้กระจกภายนอกอาคาร กระจกมีค่าสะท้อนแสงไม่เกินร้อยละ 15	1
EP 4	การควบคุมโรคที่เกี่ยวข้องกับอาคาร ปฏิบัติตามประกาศกรมอนามัยเรื่องข้อปฏิบัติการควบคุมเชื้อลิจิโอเนลลา (Legionella) ในหอระบายความร้อนของอาคารในประเทศไทย	1
EP 5	ติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย	1

EP P1 การลดมลพิษจากการก่อสร้าง

(บังคับ)

มีแผนดำเนินการป้องกันมลพิษและสิ่งรบกวนจากการก่อสร้าง

วัตถุประสงค์

เพื่อลดมลภาวะจากการก่อสร้างอาคาร โดยการควบคุมการกัดกร่อนของหน้าดินที่รวมถึงการชะล้างและตกตะกอน (Sedimentation) ลงในแหล่งน้ำที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ รวมทั้งการเกิดฝุ่นละอองในอากาศ

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

มีแผนดำเนินการป้องกันมลพิษและสิ่งรบกวนจากการก่อสร้าง (Construction Pollution Prevention plan) อันได้แก่

- การกัดกร่อนของพื้นที่ดิน เพื่อป้องกันการชะล้างและการตกตะกอน ลงในแหล่งน้ำ
- มลภาวะทางน้ำ เช่น การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ
- มลภาวะทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า ควัน

แนวทางการดำเนินการ

มีแผนดำเนินการป้องกันมลพิษและสิ่งรบกวนจากการก่อสร้าง โดยแผนดำเนินการดังกล่าวเพื่อ

- ป้องกันการกัดกร่อนของพื้นที่ดินจากการชะล้างการระบาย น้ำฝนไหลล้น (Stormwater Runoff) ของโครงการ หรือ กระแสลม รวมถึงการป้องกันการสูญเสียดินชั้นบนโดยการเก็บพักหน้าดินเพื่อนำมาใช้ใหม่
- ป้องกันการตกตะกอนของดินลงในทางระบายน้ำและแหล่งน้ำใกล้เคียง
- ป้องกันมลภาวะทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า ควัน เป็นต้น

EP P2 การบริหารจัดการขยะ

(บังคับ)

การเตรียมพื้นที่คัดแยกขยะหรือเศษวัสดุ

วัตถุประสงค์

เตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการขยะหรือเศษวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ที่จะส่งผลกระทบต่อสถานที่ถมทิ้ง (Landfills) เมื่อเปิดใช้งานอาคารแล้ว

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

มีแผนการดำเนินการบริหารจัดการขยะของอาคาร หรือโครงการ

1. ออกแบบอาคารหรือโครงการให้มีพื้นที่หรือห้องคัดแยกขยะและเก็บเศษวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยพื้นที่ดังกล่าวต้องมีความมิดชิดและเข้าถึงได้ง่าย
2. มีจุดทิ้งขยะที่ระบุไว้อย่างชัดเจนในแต่ละชั้นของอาคาร หรือส่วนของอาคาร โดยจุดทิ้งขยะดังกล่าวต้องมีถังคัดแยกขยะ ได้แก่ ขยะเปียก ขยะอันตราย และขยะแห่งที่มีการแยกเป็นประเภท เช่น กระดาษ โลหะ แก้ว และพลาสติก เป็นอย่างน้อย

แนวทางการดำเนินการ

กำหนดพื้นที่หรือห้องคัดแยกขยะและเก็บเศษวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ที่มีความชัดเจน เพื่ออำนวยความสะดวกการบริหารจัดการขยะในอนาคต

EP 1 ใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในระบบดับเพลิง

(1 คะแนน)

ไม่ใช้สารฮาโลน (Halon) หรือ ซีเอฟซี (CFC) หรือ เอชซีเอฟซี (HCFC) ในระบบดับเพลิง

วัตถุประสงค์

ลดการใช้สารเคมีที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ โดยไม่ใช้สารฮาโลน (Halon) หรือ ซีเอฟซี (CFC) หรือ เอชซีเอฟซี (HCFC) ในระบบดับเพลิง

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ไม่ใช้สารฮาโลน (Halon) หรือ ซีเอฟซี (CFC) หรือ เอชซีเอฟซี (HCFC) ในระบบดับเพลิง

แนวทางการดำเนินการ

ระบุถึงผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในการดับเพลิง โดยรวบรวมเอกสารยืนยันถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆ ว่าไม่มีสารต้องห้ามตามที่ระบุไว้

EP2 ตำแหน่งเครื่องระบายความร้อน

(1 คะแนน)

การวางตำแหน่งเครื่องระบายความร้อน (คอมเพรสเซอร์หรือหอฟุ้งเย็น) ห่างจากที่ดินข้างเคียง

วัตถุประสงค์

จัดวางเครื่องระบายความร้อนของระบบปรับอากาศ ในตำแหน่งที่ไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อสภาพแวดล้อมใกล้เคียงอาคาร (หากอาคารไม่ใช่เครื่องปรับอากาศไม่ต้องประเมินเกณฑ์นี้)

สิ่งที่ต้องดำเนินการ**ทางเลือกที่ 1**

ไม่วางคอมเพรสเซอร์และเครื่องระบายความร้อนชนิดต่างๆ ติดกับที่ดินข้างเคียงน้อยกว่าระยะ 4 เมตร ในกรณีเป็นอาคารสูงหรือใหญ่พิเศษต้องเว้นระยะหรือระบายความร้อนหรือเครื่องระบายความร้อน (คอมเพรสเซอร์) ห่างจากขอบที่ดินไม่น้อยกว่า 8 เมตร

ทางเลือกที่ 2

ระบบปรับอากาศไม่มีการระบายความร้อนหรือความชื้นสู่อากาศ

แนวทางการดำเนินการ

สำรวจสภาพรอบอาคาร กำหนดทิศทางการระบายความร้อนของเครื่องระบายความร้อนให้เหมาะสมไม่รบกวนสภาพแวดล้อมรอบอาคาร หรือพิจารณาระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนลงดินหรือทะเลสาบ (Geothermal or Lake Cooling)

EP 3 การใช้กระจกภายนอกอาคาร

(1 คะแนน)

ใช้กระจกภายนอกอาคารที่มีค่าสะท้อนแสงไม่เกินร้อยละ 15

วัตถุประสงค์

เพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อนแสงของอาคารสู่สภาพแวดล้อมที่เกิดจากกระจกภายนอกอาคาร

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

กระจกที่ใช้ภายนอกอาคาร (เปลือกอาคาร) ทุกชนิด ต้องมีการระบุค่าประสิทธิภาพของกระจกอันได้แก่ ค่าสะท้อนแสง (Visible Light Reflectance; Rvis) โดยต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 15 เมื่อวัดในมุมตั้งฉาก โดยค่าสะท้อนแสงดังกล่าวต้องได้รับการตรวจสอบจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

แนวทางการดำเนินการ

มีการกำหนดค่าสะท้อนแสงของกระจกที่ใช้ภายนอกอาคาร (เปลือกอาคาร) ทุกชนิด และควรพิจารณาเลือกใช้กระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่มีค่ามาตรฐานพลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด โดย ควรพิจารณาถึงผลกระทบในหัวข้อ EA 1: ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

EP 4 การควบคุมโรคที่เกี่ยวข้องกับอาคาร**(1 คะแนน)**

ปฏิบัติตามประกาศกรมอนามัยเรื่องข้อปฏิบัติการควบคุมเชื้อลี้จิโอเนลลา (*Legionella*) ในหอระบายความร้อนของอาคารในประเทศไทย

วัตถุประสงค์

เพื่อลดความเสี่ยงจากโรคลีเจียนแนร์ (*Legionnaires' disease*) ที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ใช้อาคารทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งผู้ที่สัญจรในบริเวณใกล้เคียง

สิ่งที่ต้องดำเนินการ**ทางเลือกที่ 1**

ออกแบบและก่อสร้างรวมทั้งจัดทำแผนการบำรุงรักษาหอระบายความร้อน ตามประกาศของกรมอนามัย เรื่องข้อปฏิบัติการควบคุมเชื้อลี้จิโอเนลลา (*Legionella*) ในหอระบายความร้อนของอาคารในประเทศไทย (เฉพาะระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งหอระบายความร้อน)

ทางเลือกที่ 2

ได้คะแนนในข้อ EP 2: ตำแหน่งเครื่องระบายความร้อนและไม่มีหอระบายความร้อนในโครงการ ตามทางเลือกที่ 2

แนวทางการดำเนินการ

ออกแบบ ก่อสร้างและบำรุงรักษาหอระบายความร้อนให้เป็นไปตามประกาศกรมอนามัย เรื่องข้อปฏิบัติการควบคุมเชื้อลี้จิโอเนลลาในหอระบายความร้อนของอาคารในประเทศไทย หรือหลีกเลี่ยงการออกแบบให้ระบบปรับอากาศไม่มีระบบหอระบายความร้อน

EP5 ติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย

(1 คะแนน)

วัตถุประสงค์

ติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย

สิ่งที่ต้องดำเนินการ**ทางเลือกที่ 1**

ติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าที่ใช้วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะ

ทางเลือกที่ 2

ติดตั้งระบบที่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีค่า บีโอดี₅ และ ทีเอสเอส น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ โดยต้องบำบัดให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำเสียในโครงการ

แนวทางการดำเนินการ

ติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าเพื่อใช้วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียแยกต่างหากจากระบบอื่นๆ ของอาคาร หรือติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถบำบัดน้ำเสียให้มีค่า บีโอดี₅ และ ทีเอสเอส น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

หมวดที่ 8 นวัตกรรม (Green Innovation)

แม้ว่า TREES จะมีเกณฑ์การประเมินประเด็นทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุม 7 ด้าน ประกอบด้วย การบริหารจัดการอาคาร ผังบริเวณและภูมิทัศน์ การประหยัดน้ำ พลังงานและบรรยากาศ วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง คุณภาพของสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร และการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แล้วก็ตาม แต่ในความเป็นจริงแล้วยังมีประเด็นที่สำคัญอีกมากมายไม่ได้ถูกระบุไว้ในเกณฑ์ TREES หมวด นวัตกรรม จึงเป็นหมวดที่เปิดโอกาสให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่เข้าร่วมประเมินได้นำเสนอ หัวข้อคะแนนที่เหมาะสมกับโครงการของตน เพื่อทำคะแนนในหมวดนี้ นอกจากนี้การทำคะแนนในหมวด GI ยังสามารถทำได้ด้วยการทำคะแนนพิเศษตามที่ระบุไว้ในแต่ละหัวข้อคะแนน โดยคะแนนพิเศษเหล่านี้จะทำได้เมื่อสามารถแสดงประสิทธิภาพตามหมวดคะแนนต่างๆ เกินกว่าที่ระบุไว้ระดับหนึ่ง การทำคะแนนในหมวด GI นี้ สามารถทำได้ 5 คะแนน ดังตารางด้านล่าง

หัวข้อ	รายละเอียด	คะแนน
GI 1	มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 2	มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 3	มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 4	มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1
GI 5	มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน (ระบุเพิ่มเติม.....)	1

GI 1-5 มีเทคนิควิธีที่ไม่ระบุไว้ในแบบประเมิน

(1-5 คะแนน)

วัตถุประสงค์

เพื่อกระตุ้นให้มีการออกแบบก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพเกินกว่าที่กำหนดไว้ และ กระตุ้นให้มีการเสนอแนวคิดเพื่อความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมในประเด็นที่มีความสร้างสรรค์และไม่ได้ระบุไว้ในเกณฑ์ฉบับนี้

สิ่งที่ต้องดำเนินการ

ดำเนินการตามทางเลือกดังต่อไปนี้

ทางเลือกที่ 1

ดำเนินการตามหัวข้อคะแนนพิเศษที่ได้ระบุไว้หัวข้อคะแนนต่างๆ ซึ่งเกินกว่าประสิทธิภาพที่ระบุไว้หนึ่งระดับ

ทางเลือกที่ 2

นำเสนอหัวข้อคะแนนใหม่ที่เป็นประเด็นทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่ไม่ได้ระบุไว้ในเกณฑ์ฉบับนี้

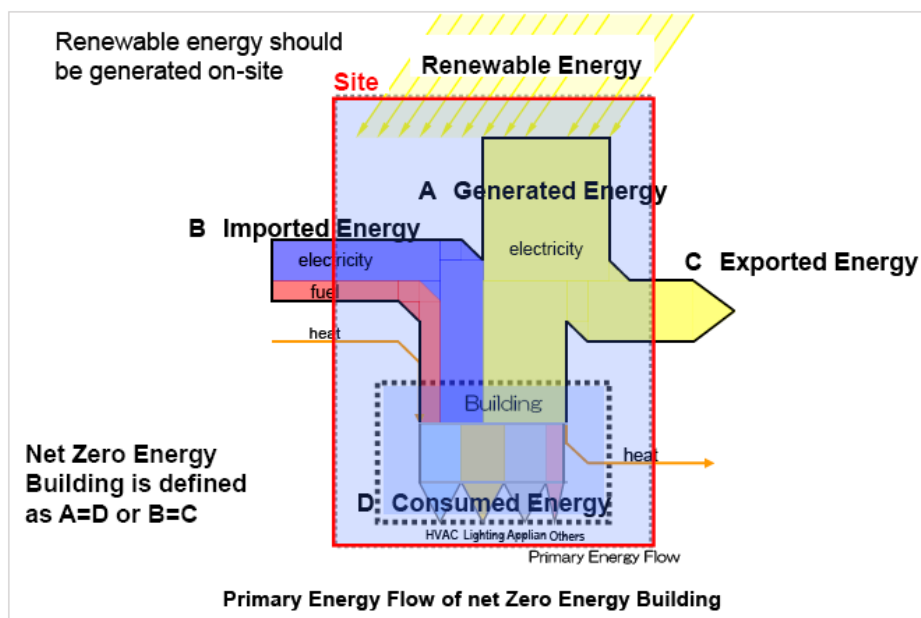
แนวทางการดำเนินการ

ศึกษาแนวโน้มการทำคะแนนพิเศษในหัวข้อต่างๆ และศึกษาประเด็นทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่เกณฑ์ที่ไม่ได้ระบุ เพื่อ นำเสนอต่อทางสถาบันอาคารเขียวในการทำคะแนน ในอนาคตหากเกณฑ์สำหรับโครงการประเภทอื่นๆ ประกาศใช้ ทางผู้เข้าร่วมประเมินสามารถนำเสนอ หัวข้อคะแนนจากเกณฑ์การประเมินอื่นๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในเกณฑ์นี้ มายื่นทำคะแนนในหมวดนวัตกรรมได้โดยตรง

ภาคผนวก ค. เทคโนโลยี Smart Building

แนวคิดของ Smart Building

อาคารธุรกิจในปัจจุบัน มีความจำเป็นที่จะต้องปรับตัวเพื่อให้สามารถแข่งขันในเชิงธุรกิจที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น อาคารที่มีการพัฒนาภาพลักษณ์และการบริหารจัดการ โดยนำเอาเทคโนโลยีอาคารสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมๆกับการผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทน เพื่อให้อาคารมีการใช้พลังงานในระดับต่ำ หรือ สุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) นั้น กำลังเป็นกระแสที่ทั่วโลกพยายามที่จะมุ่งไปสู่การเป็น Smart Building แทบทั้งสิ้น (รูปที่ 1)



Copyright © 2014 Nikken Sekkei Research Institute.

รูปที่ 1 : Zero Energy Building

ดังนั้น Smart Building จึงเป็นคำตอบให้กับเจ้าของอาคาร และผู้ปฏิบัติงานในอาคารในการนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน การใช้งานและบำรุงรักษาอาคาร ตลอดจนการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนอายุของอาคารเนื่องจาก Smart Building ใช้แนวทางในการพิจารณาในทุกขั้นตอนของการก่อสร้างและใช้งานอาคาร ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2)

1. Passive Design
2. Active Design
3. Energy Management

Passive Design :

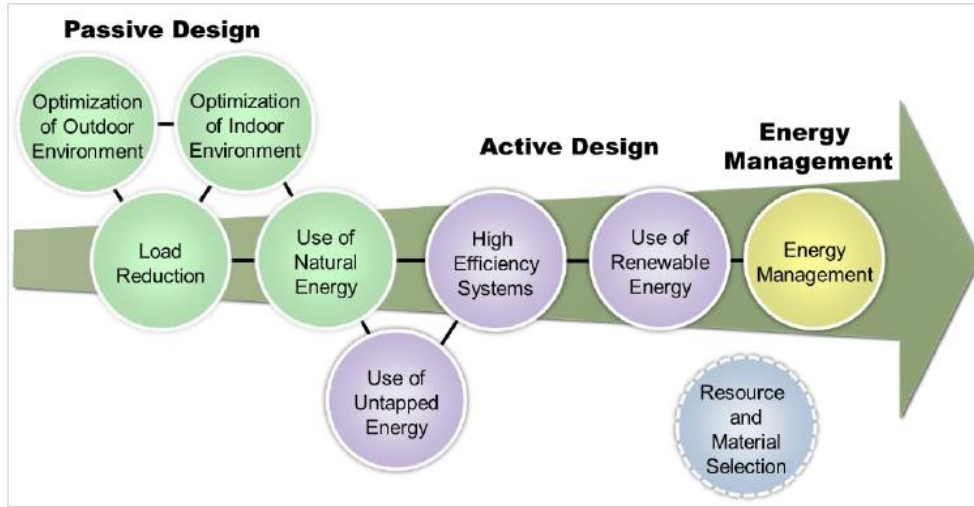
เป็นการนำเอาหลักการออกแบบโดยใช้ปัจจัยธรรมชาติ เช่น การใช้สภาพแวดล้อมเพื่อลดภาระทำความเย็นภายนอกและภายในอาคาร การใช้แสงธรรมชาติ (daylight) เป็นต้น

Active Design :

เป็นการนำเอาหลักการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และระบบผลิตพลังงานมาใช้ภายในอาคาร

Energy Management :

การบริหารจัดการพลังงานตลอดวัฏจักรของอาคารในด้านอุปสงค์และอุปทาน (Supply & Demand)



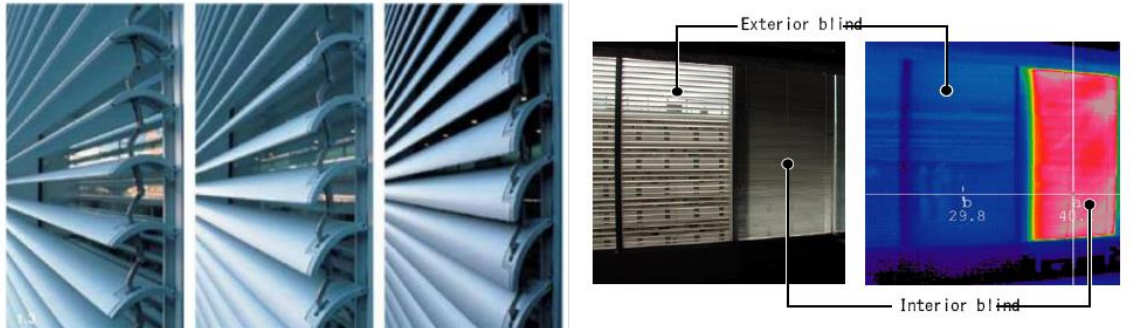
Copyright © 2014 Nikken Sekkei Research Institute.

รูปที่ 2 : แนวคิดของการพัฒนาอาคาร Smart Building

ดังนั้น จากแนวคิดข้างต้น สามารถแสดงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ Smart Building ได้ดังต่อไปนี้

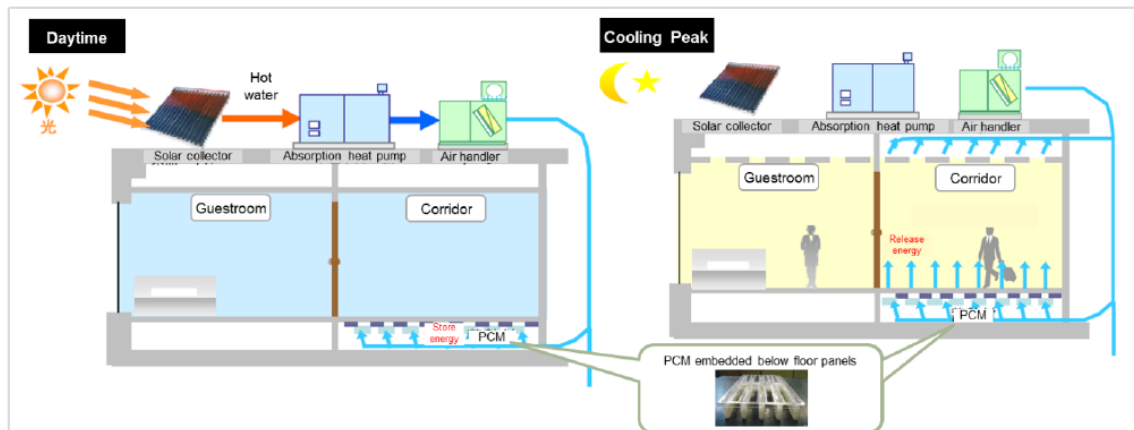
Exterior Blind :

การใช้ม่านบังแสงอัตโนมัติภายนอกตัวอาคารเพื่อลดการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนผ่านกรอบอาคาร



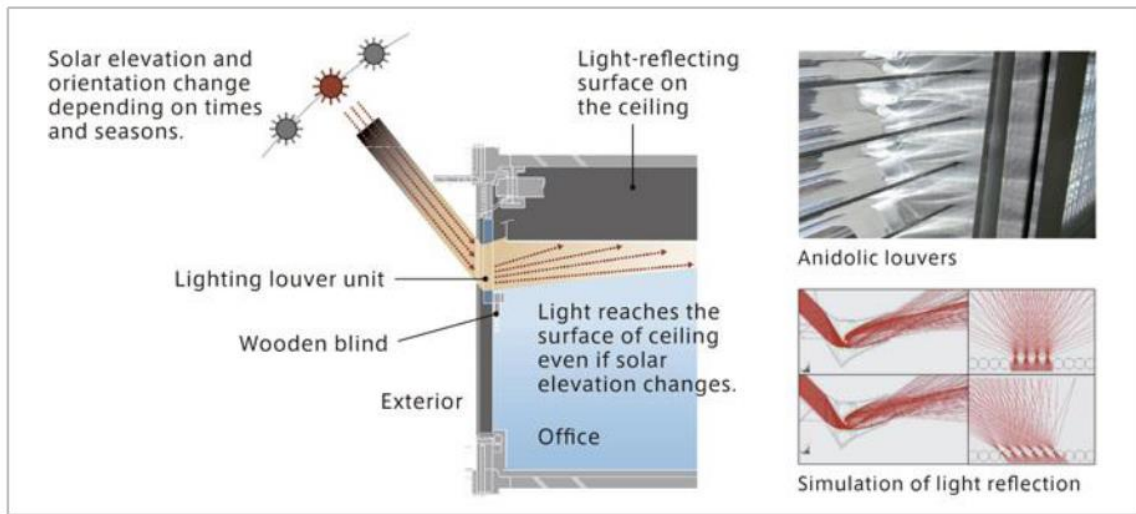
Latent Heat Storage :

การใช้วัสดุฉนวนที่เปลี่ยนสถานะได้ : PCM (Phase Change Material) เพื่อกักเก็บและถ่ายเทความร้อนให้กับพื้นที่บริเวณปรับอากาศระหว่างช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน



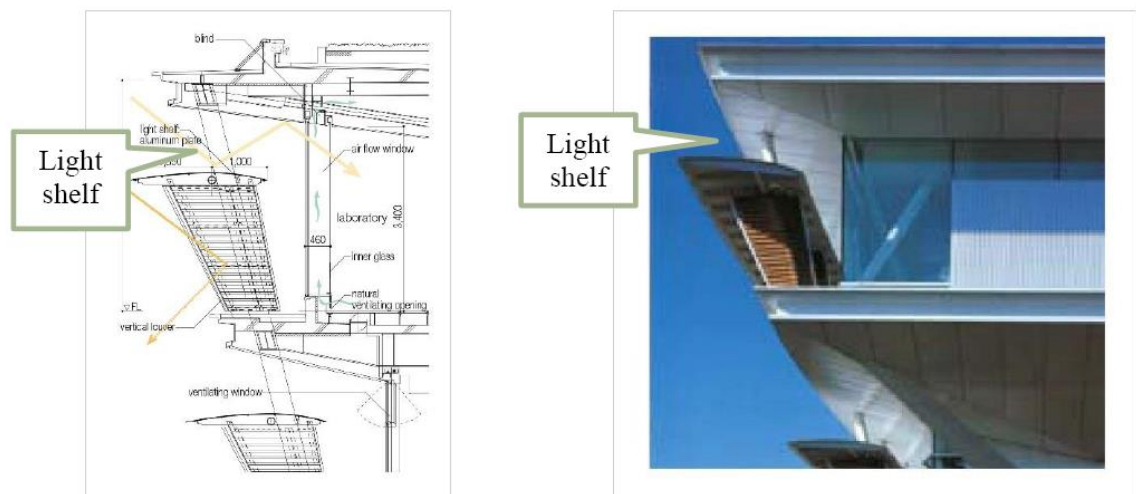
Passive Daylighting :

การใช้วัสดุสะท้อนแสงบริเวณหน้าต่างและบริเวณฝ้าเพดานเพื่อเพิ่มผลการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



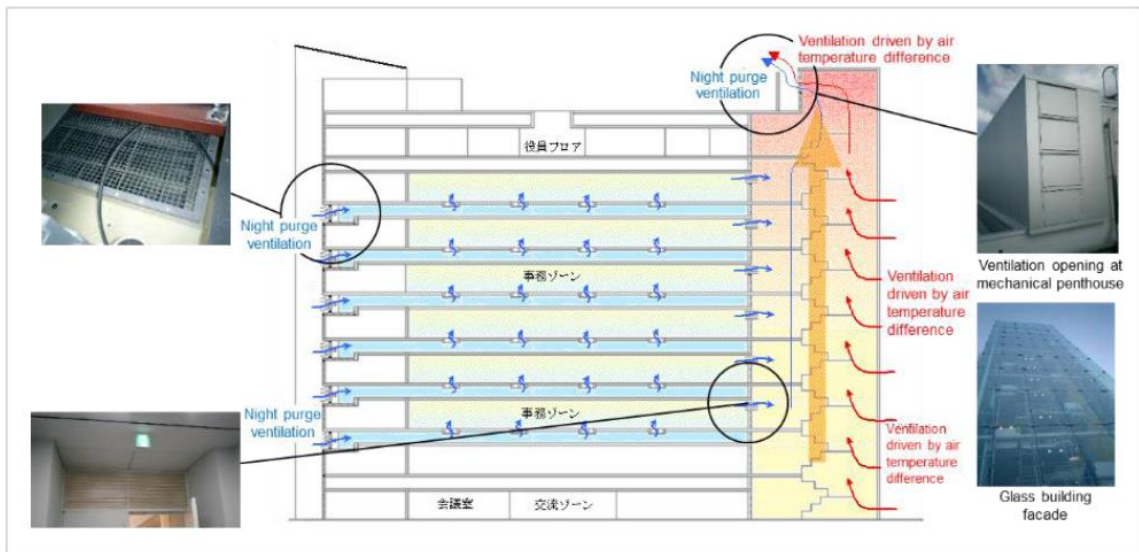
Light Shelf :

การใช้หิ้งสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในบริเวณอาคาร



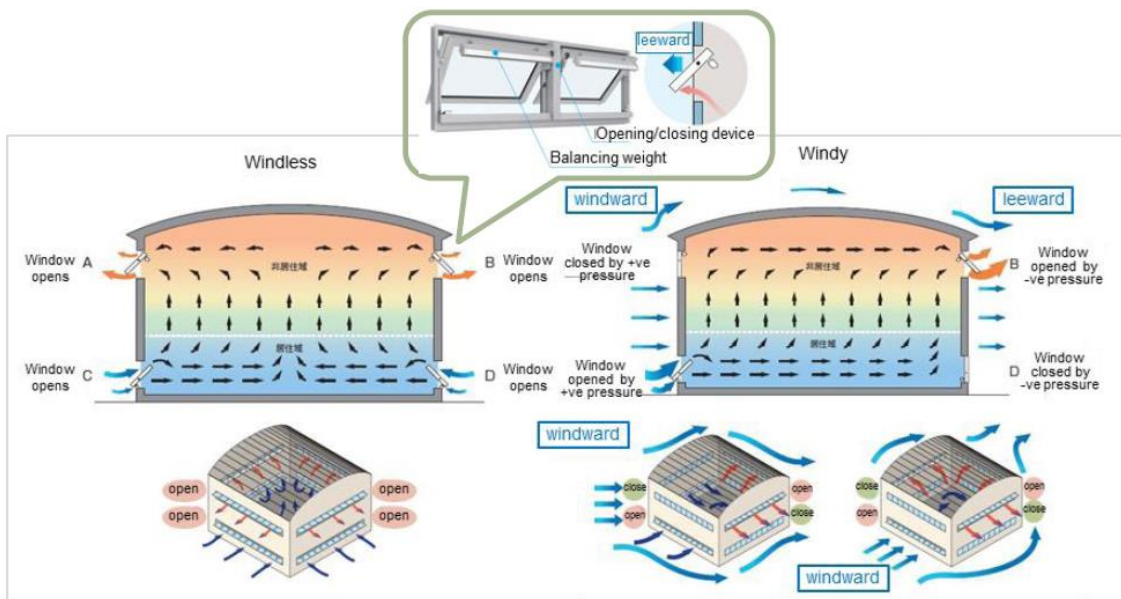
Stack Effect Ventilation :

การใช้ปรากฏการณ์ระบายอากาศทางธรรมชาติของท่อความร้อนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิด้านล่างและด้านบนของท่อ



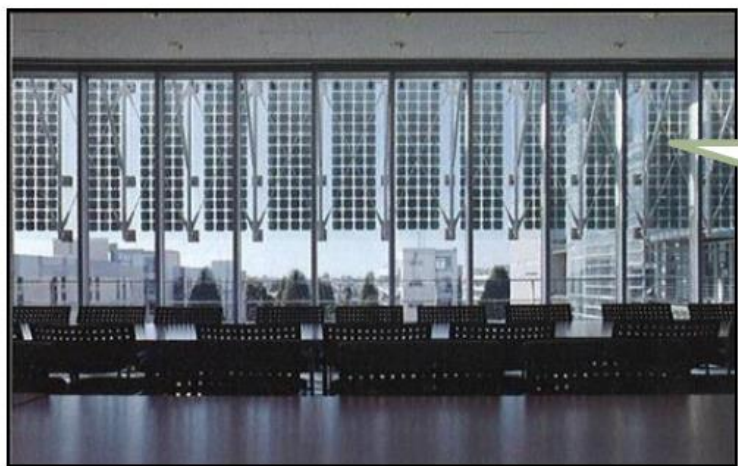
Swindow :

การใช้ปรากฏการณ์อื่นอันเนื่องมาจากแรงลมที่มีผลต่อการทำงานของหน้าต่างระบายอากาศ



Building Integrated Panel :

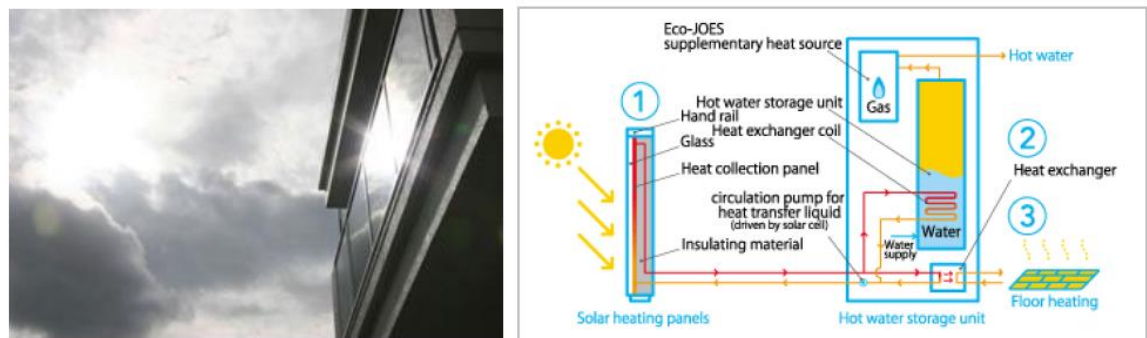
การผลิตไฟฟ้าจากส่วนประกอบอาคารที่ใช้ผนังแบบ Solar PV



PV panels acting as solar shades

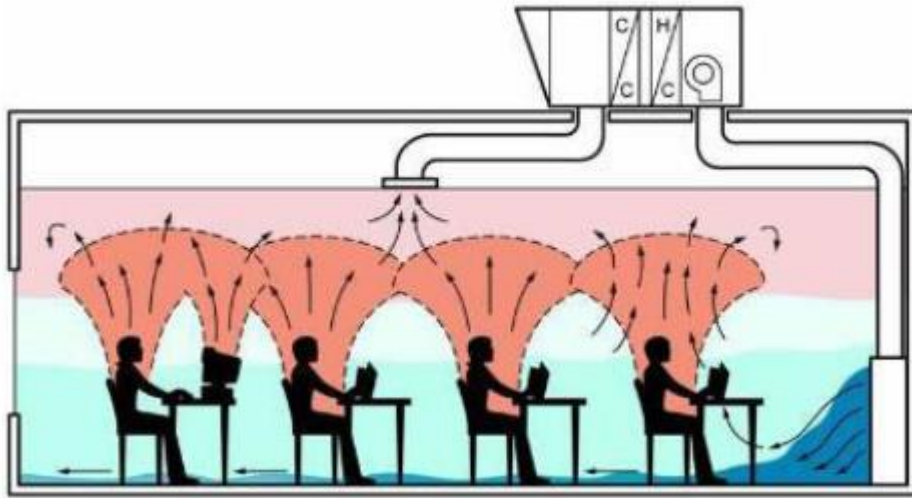
Solar Water Heating :

การผลิตน้ำร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบสะสมความร้อน (Solar Collector) บริเวณระเบียงนอกห้อง



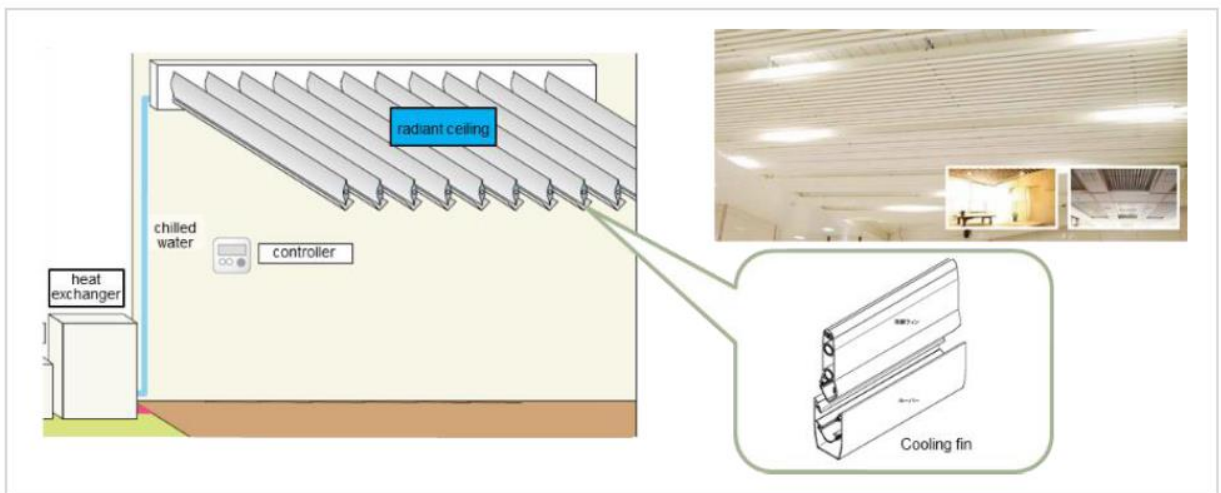
Displacement Cooling :

การทำความเย็นเฉพาะจุด (Spot Cooling) เพื่อลดภาระการทำความเย็นแบบเดิม

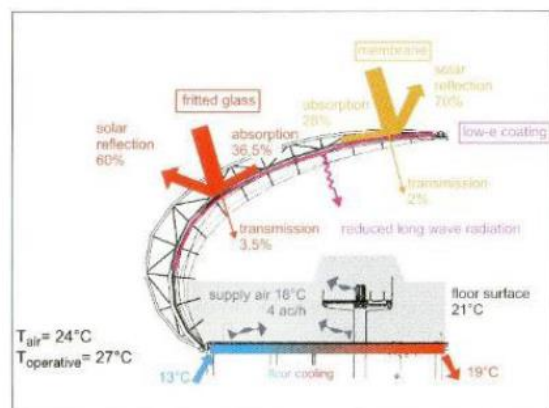


Radiant Cooling :

การทำความเย็นโดยอาศัยปรากฏการณ์แผ่รังสีความร้อน

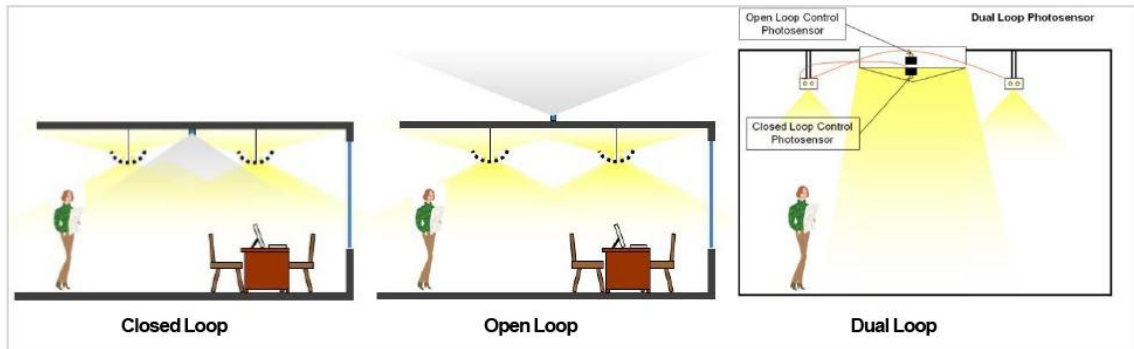


ตัวอย่างการใช้ Floor Radiant Cooling และ Displacement Ventilation ที่อาคารผู้โดยสารสนามบินสุวรรณภูมิในประเทศไทย ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



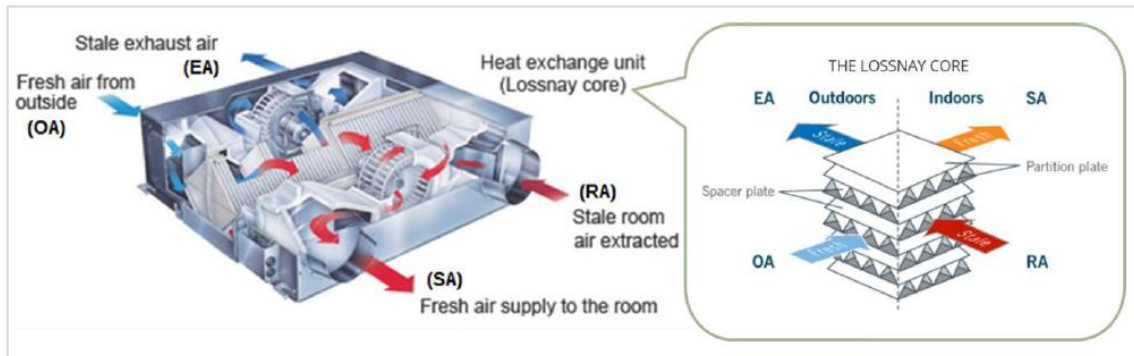
Daylighting with Dual-loop Controlled :

การควบคุมแสงธรรมชาติโดยใช้ระบบควบคุมแบบ Dual-looped เพื่อพิจารณาเงื่อนไขการควบคุมที่มีประสิทธิภาพโดยทำการพิจารณาความสว่างภายในและภายนอกของบริเวณที่ควบคุม



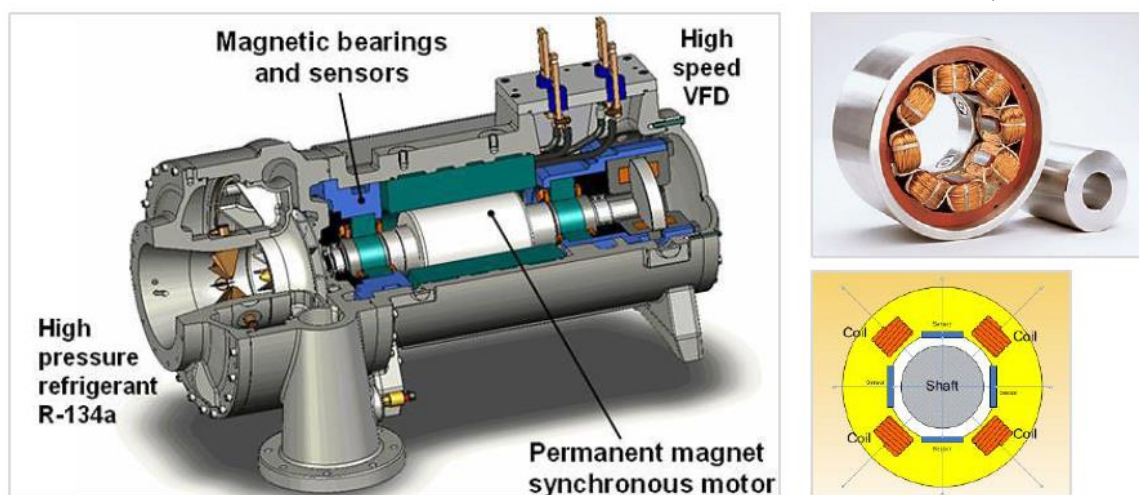
Energy Recovery Unit (ERV) :

การควบคุมอากาศภายนอกด้านอุณหภูมิและความชื้นโดยการลดผลกระทบจากภาระการทำความเย็นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างลมเย็นระบายทิ้งกับลมร้อนที่นำเข้าสู่อาคาร



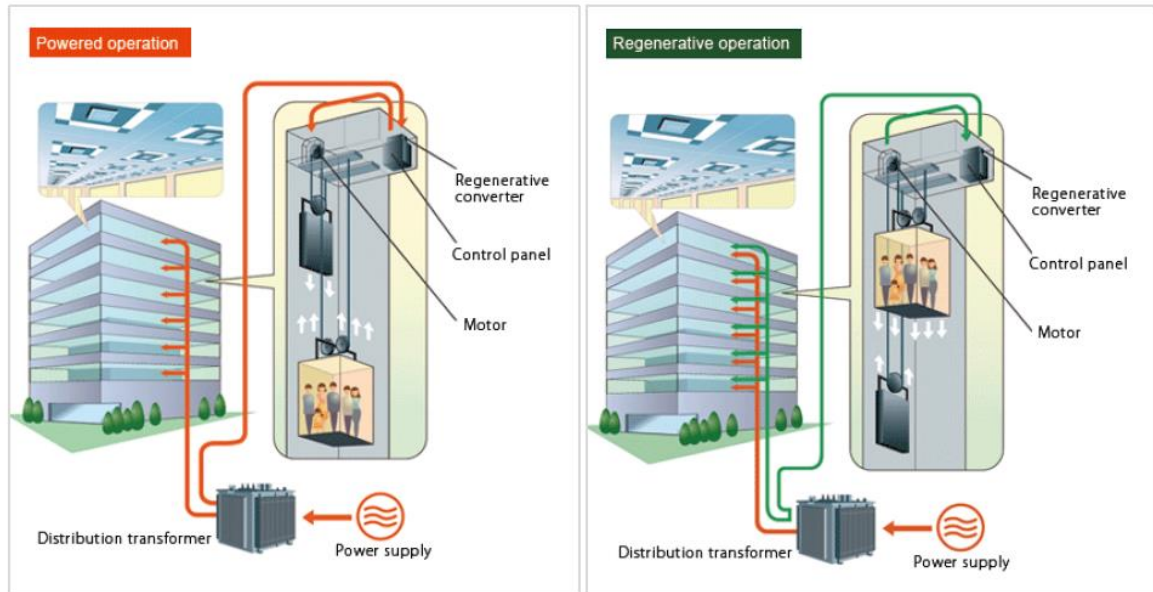
VSD Chiller :

การใช้เครื่องทำน้ำเย็นชนิดปรับความเร็วรอบได้ เพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงการทำความเย็นที่ภาระต่ำๆ (Part Load)



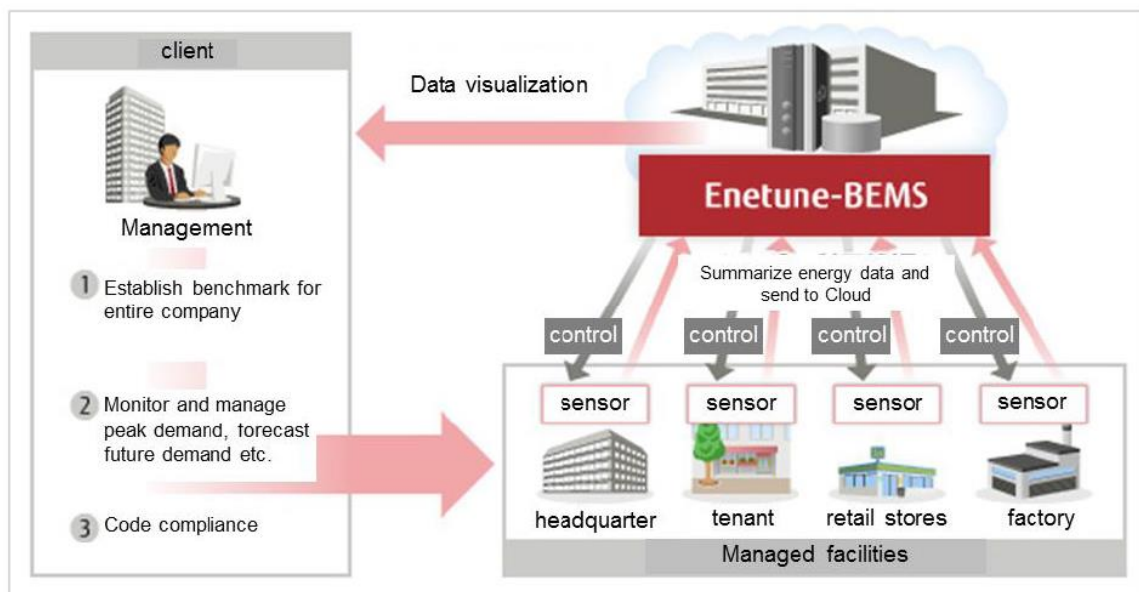
Regenerative Drive Lift :

การใช้ลิฟต์ชนิดผลิตพลังงานในบางช่วงเวลา

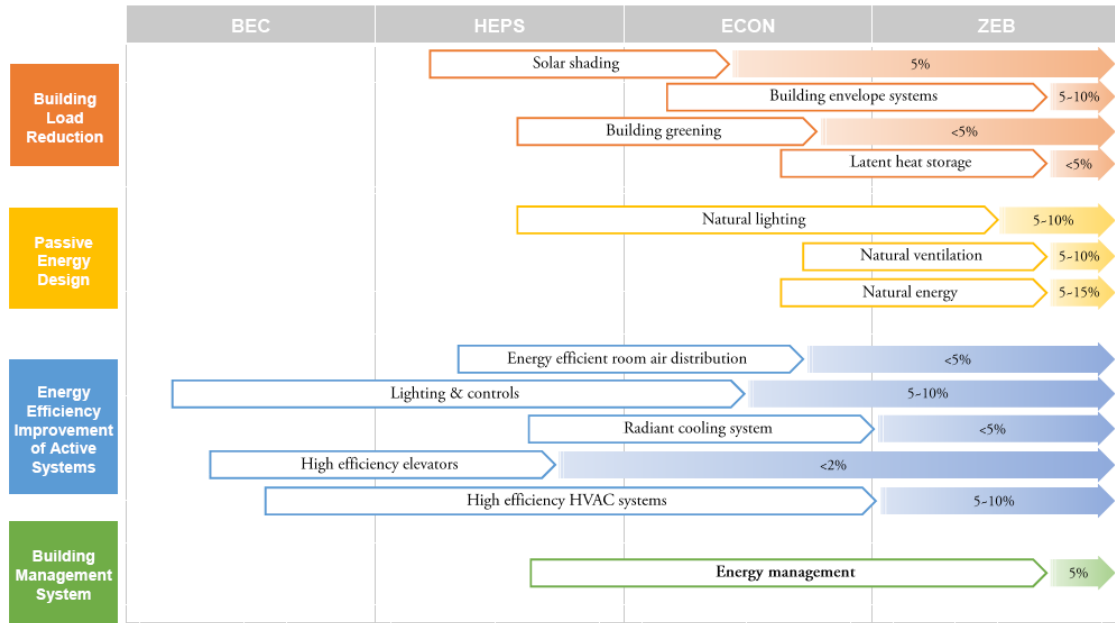


Cloud Based – Building Energy Management System :

การใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานที่มีการแลกเปลี่ยน/ควบคุมและสำรองข้อมูลที่เป็นแบบอัตโนมัติระหว่างอาคารในเครือข่ายหลายอาคารเข้าด้วยกัน โดยเหมาะสำหรับอาคารที่มีการบริหารงานและตัดสินใจโดยทีมผู้บริหารระดับสูงชุดเดียวกัน



โดยสรุปแล้ว เทคโนโลยี Smart Building สามารถช่วยให้อาคารมีการใช้พลังงานเพื่อเข้าสู่อาคารที่เป็น ZEB ได้เป็นอย่างดี ภายใต้โปรแกรมแสดงศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานในแนวคิดต่างๆต่อไปนี้



ที่มาอ้างอิง : Nikken Sekkei Research Institute, Japan

ภาคผนวก ง.

กรณีศึกษาการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดพลังงาน มาตรการทางด้านความร้อนและความเย็น

มาตรการปรับปรุงการใช้พลังงานโดยการปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Chiller)

บริษัท A ดำเนินธุรกิจด้านโรงแรม ทำการติดตั้งการเปลี่ยนมาใช้เครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงแบบระบายความร้อนด้วยน้ำขนาดเครื่องละ 280 ตันความเย็น การทำงานของเครื่องผลิตน้ำเย็นจะทำงานครั้งละ 1 เครื่องสลับกัน โดยทำงานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี แทนการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 3 เครื่อง ขนาด 145.6 ตัน ทำงานครั้งละ 2 เครื่อง นอกจากนั้นยังทำการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบระบบอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น เครื่องสูบน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น หอผึ่งน้ำ เป็นต้น รวมถึงระบบ Heat Pump เพื่อใช้ในการผลิตน้ำร้อนแทนระบบ Heat Recovery

แนวทางการตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดการใช้พลังงาน จะเป็นการตรวจวัดแยกระบบผลิตน้ำเย็นและระบบผลิตน้ำร้อน (Heat Pump) การตรวจวัดในส่วนของระบบผลิตน้ำเย็นประกอบไปด้วยเครื่องทำน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำเย็นหลัก เครื่องสูบน้ำเย็นรอง เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น และหอผึ่งน้ำ ส่วนระบบผลิตน้ำร้อน ประกอบไปด้วย Heat Pump และเครื่องสูบน้ำไหลเวียน

วิธีการตรวจวัด

วิธีการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงานจะเป็นไปตามรายงานข้อตกลงวิธีการตรวจวัดและพิสูจน์การใช้พลังงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

เครื่อง/อุปกรณ์	มาตรการ	วิธีการ M&V*	สรุปแผน M&V
เครื่องผลิตน้ำเย็น	เปลี่ยนเครื่องผลิตน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำประสิทธิภาพสูง รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ระบบอื่นๆ เช่นเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น หอผึ่งน้ำ เป็นต้น	ทางเลือก B	ตรวจวัดพลังไฟฟ้าและภาระทำความเย็นที่ใช้ก่อนและหลังการปรับปรุงที่สภาวะต่างๆ โดยเป็นการวัดรวมทั้งระบบ

หมายเหตุ : * ทางเลือกในการทำ M&V อ้างอิงจาก International Performance Measurement and Verification Protocol , Volume 1, 2007

โดยแนวทางในการตรวจวัดแบบ **Option B** โดยทำการตรวจวัดพลังไฟฟ้าและภาระทำความเย็นของระบบผลิตน้ำเย็น ข้อมูลที่จะตรวจวัดได้แก่ พลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น และตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำเย็นโดยตรงเท่านั้น รวมถึงการตรวจวัดพลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ประกอบระบบ เช่น เครื่องสูบน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น หอผึ่งน้ำ เป็นต้น ข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ทุก 15 นาที ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะใช้ในการจัดสร้างแบบจำลองความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น เพื่อใช้ในการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้ตลอดปีที่จะประเมิน โดยใช้ภาระทำความเย็นเดียวกันกับการประเมินการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง ในส่วนของการใช้พลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนจะใช้รูปแบบเดียวกันกับระบบผลิตน้ำเย็น

การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง

การประเมินปริมาณการใช้พลังงานของระบบ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ

- การประเมินภาระทำความเย็น
- การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น
- การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบ Heat Pump
- การประเมินพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน
- การประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง

1) การประเมินภาระทำความเย็น

ภาระทำความเย็นที่ใช้ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง จะเป็นภาระทำความเย็นเดียวกันกับการประเมินการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง ดังระบุไว้ในข้อตกลงฯ ซึ่งภาระทำความเย็นต่อวันดังกล่าวสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Ton} \times \text{hr/day} = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy \quad (1.1)$$

โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

- x = อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวัน (F)
 y = จำนวนห้องพักรายวัน (ห้องต่อวัน)
 a₁,... a₄ = ค่าคงที่ ดังแสดงในตาราง 1.1

ตารางที่ 1.1 ค่าคงที่สำหรับสมการ 1.1

a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
147460.8648	-1777.1073	-879.3995	10.8639

เมื่อนำค่าต่างๆ ของปีฐานแทนลงในสมการที่ 1.1 จะได้ภาระทำความเย็นรายวันของปีฐานแสดงดังรูปที่ 1.1

2) การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น

การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็นจะทำอยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (kWh/day) เช่นเดียวกับภาระทำความเย็นของระบบผลิตน้ำเย็น เนื่องจากข้อมูลจำนวนห้องพักเป็นข้อมูลรายวัน โดยนำค่าพลังไฟฟ้าคูณกับช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัด แล้วนำมารวมกันจนครบ 1 วัน ตามสมการ (1.2) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 1.2

$$\text{kWh/day} = \sum_{t=1}^{24} \text{kW}_t \frac{\Delta t}{60} \quad (1.2)$$

จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าต่อวันจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาระทำความเย็นต่อวัน อุณหภูมิน้ำเย็นและอุณหภูมิอากาศ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่อวันกับตัวแปรที่มีผล ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลและการใช้สมการถดถอย (Regression) พบว่า พลังงานไฟฟ้าต่อวันสามารถจำลองได้ด้วยสมการ

$$\text{kWh/day} = b_1 + b_2x + b_3y + b_4yz \quad (1.3)$$

โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

- x = ภาระทำความเย็นต่อวัน (ton-hr/day)
 y = อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ยรายวัน (F)
 z = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเฉลี่ยรายวัน (F)
 b₁,... b₅ = ค่าคงที่ ดังแสดงในตาราง 1.3

ตารางที่ 1.2 พลังงานไฟฟ้าต่อวัน

วันที่	ภาระทำความเย็น (ton-hr/day)	อุณหภูมิน้ำเย็นเฉลี่ย (F)	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น เฉลี่ย (F)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/day)
14/9/2011	3,507.4	51.5	82.4	3,918.2
15/9/2011	3,552.8	51.6	83.0	4,148.4
16/9/2011	3,491.9	51.8	83.0	4,098.7
17/9/2011	3,437.3	52.1	82.5	3,993.0
18/9/2011	3,386.8	51.9	82.8	4,007.2
19/9/2011	3,381.4	51.9	82.3	3,977.2
20/9/2011	3,092.8	52.0	81.4	3,834.0
ค่าเฉลี่ย	3,407.2	51.8	82.5	3,996.7

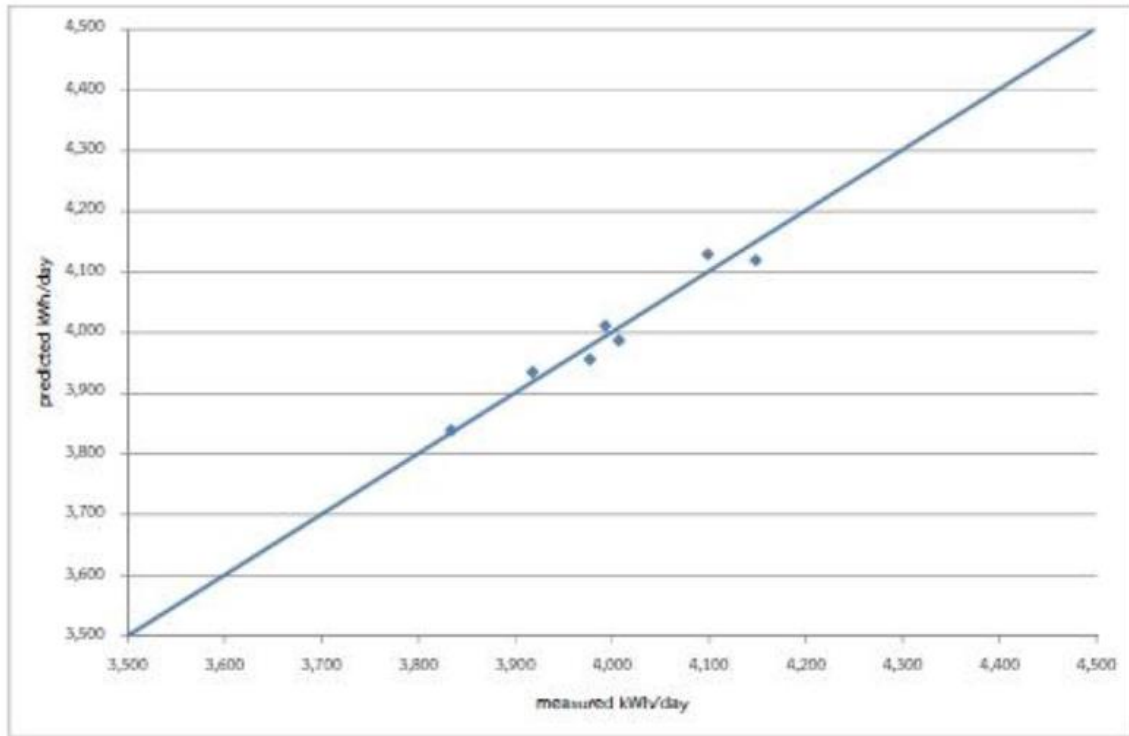
โปรแกรม SPSS 16.0 ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าคงที่ b_1, \dots, b_5 ค่าคงที่ของสมการแสดงไว้ในตารางที่ 1.3 มีค่า $R_2 = 0.951$ ซึ่งสูงกว่าขั้นต่ำที่ระบุไว้ในข้อตกลง ($R_2 > 0.75$) จึงสามารถนำมาใช้ในการประเมินพลังงานไฟฟ้าต่อวันของระบบได้ ดังรูปที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

ตารางที่ 1.3 ค่าคงที่สำหรับสมการ 1.3

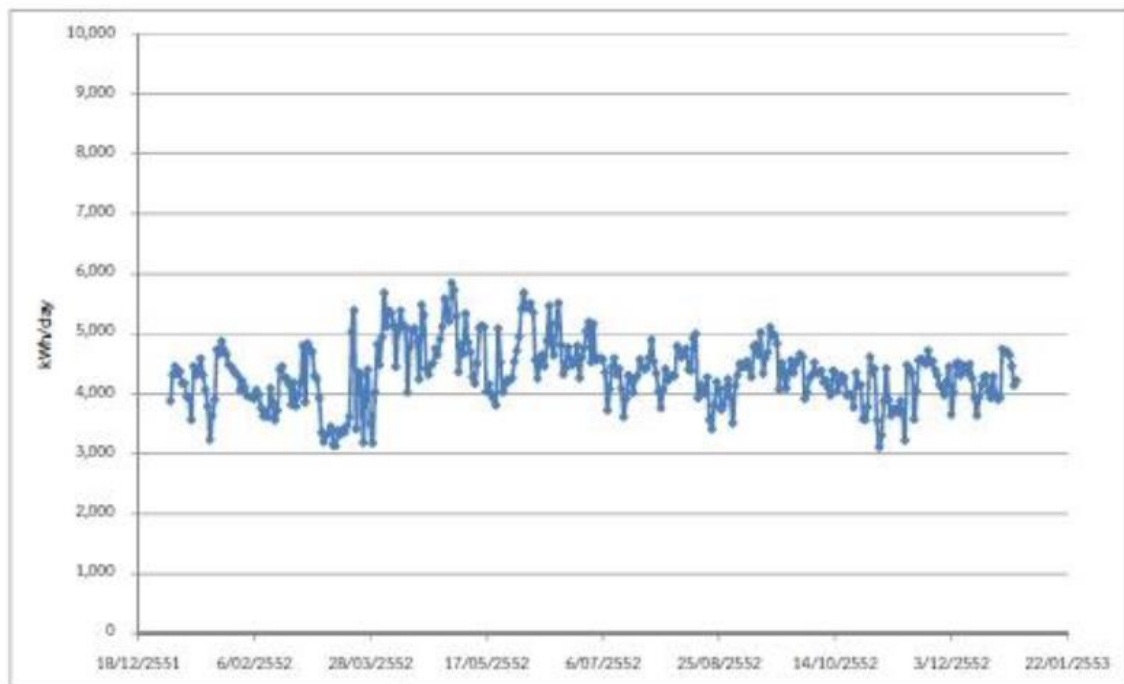
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
-4824925.6693	0.4645	92886.9441	58480.7992	-1125.2811

ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้ารายวันตลอดทั้งปีหลังการปรับปรุงตามสมการ 1.3 จะคิดที่สภาวะการทำความเย็นเดียวกันกับการประเมินก่อนการปรับปรุง กล่าวคือ มีภาระทำความเย็นต่อวันและอุณหภูมิน้ำเย็นเดียวกันกับการปรับปรุง ส่วนอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจะได้จากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเฉลี่ยรายวันแต่ละค่าที่ตรวจวัดได้ แตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 10% ดังแสดงในตาราง 1.2 ซึ่งจะถือว่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นมีค่าคงที่ตลอดทั้งปี ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยภายนอก และมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ตามระบุข้อตกลง

เมื่อนำค่าต่างๆ แทนลงในสมการ (1.3) จะได้พลังงานไฟฟ้ารายวัน เช่น วันที่ 10 มกราคม 2552 มีภาระทำความเย็นต่อวัน 2,019.2 ton-hr/day อุณหภูมิน้ำเย็นที่ 59.5F และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ 82.5F จะได้พลังงานไฟฟ้าต่อวันเท่ากับ 3,562.7 kWh/day รูปที่ 1.2 แสดงพลังงานไฟฟ้ารายวันของปีฐานสำหรับประเมินปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง



รูปที่ 1.1 ผลการสร้างแบบจำลองด้วยสมการ (1.3) และค่าคงที่ตามตารางที่ 1.3



รูปที่ 1.2 พลังงานไฟฟ้ารายวันของปีฐาน

3) การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อน (Heat Pump)

การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำร้อนจะทำอยู่ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (kWh/day) เช่นเดียวกับกับระบบผลิตน้ำเย็น เนื่องจากข้อมูลจำนวนห้องพักเป็นข้อมูลรายวัน โดยนำค่าพลังไฟฟ้าคูณกับช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดแล้วนำมารวมกันจนครบ 1 วัน ตามสมการ (1.4) ซึ่งสามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 1.4

$$\text{kWh/day} = \sum_{t=1}^{24} \text{kW}_t \frac{\Delta t}{60} \quad (1.4)$$

ตารางที่ 1.4 พลังงานไฟฟ้าต่อวันของระบบ Heat Pump

วันที่	พลังงานไฟฟ้า (kWh/day)	อุณหภูมิน้ำร้อนขา เข้าเฉลี่ย (C)	อุณหภูมิน้ำร้อนขา ออกเฉลี่ย (C)	จำนวนห้องพัก (ห้อง/วัน)
14/9/2011	584.7	58.2	63.3	169
15/9/2011	538.8	58.4	63.8	165
16/9/2011	590.6	58.5	63.7	168
17/9/2011	590.7	58.5	63.8	174
18/9/2011	583.6	58.4	63.8	167
19/9/2011	630.7	58.4	63.6	170
20/9/2011	616.7	58.4	63.6	160
ค่าเฉลี่ย	590.8	58.4	63.6	168
ค่าเฉลี่ย -10%	531.7	64.2	70.0	151
ค่าเฉลี่ย +10%	649.9	64.2	70.0	184

จากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าต่อวันของระบบ จะเห็นได้ว่าพลังงานต่อวันที่ระบบใช้มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน อย่างไรก็ตาม ค่าแต่ละค่าที่วัดได้แตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกิน 10% ซึ่งตามข้อตกลงฯ จะถือว่าพลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าคงที่เท่ากับ ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ หรือเท่ากับ 590.8 kWh/day การประเมินปริมาณการใช้พลังงานของระบบ Heat Pump จะได้จากผลคูณของค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันกับวันทำงานดังสมการที่ 1.5

$$\begin{aligned} \text{kWh}_{\text{hp}} &= \text{kW}_{\text{avg}} \times \text{hour/year} & (1.5) \\ &= 590.8 \text{ kWh/day} \times 365 \text{ day/yr} \\ &= 215,647 \text{ kWh/year} \end{aligned}$$

4) การประเมินพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน

เครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียนถูกใช้ในระบบ Heat Pump สำหรับไหลเวียนน้ำร้อนภายในถึงเก็บกับเครื่องผลิตน้ำร้อน ซึ่งจะทำให้การไหลเวียนตลอดเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี เครื่องสูบน้ำร้อนเป็นชนิดความเร็วรอบคงที่ และมีภาระการทำงานที่ ดังนั้น ปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำร้อนจะคำนวณจากพลังไฟฟ้าเฉลี่ยคูณกับชั่วโมงการทำงาน ดังสมการที่ 1.6

$$\begin{aligned} \text{kWh}_{\text{hw}} &= \text{kW}_{\text{avg}} \times \text{hour/year} & (1.6) \\ &= 1.77 \times 24 \text{ hr/day} \times 365 \text{ day/yr} \\ &= 15,488 \text{ kWh/year} \end{aligned}$$

5) การประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุง

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง จะเท่ากับผลรวมของปริมาณการใช้พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น ระบบผลิตน้ำร้อนและพลังงานในเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน ดังสมการ

$$kWh_{\text{retrofit}} = kWh_{\text{chiller}} + kWh_{\text{hp}} + kWh_{\text{hw}} \quad (1.7)$$

โดย kWh_{hp} และ kWh_{hw} จะได้จากสมการ 1.5 และ 1.6 ตามลำดับ ส่วนปริมาณ kWh_{chiller} จะได้จากผลรวมของสมการ 1.3 ในแต่ละวัน ซึ่งสามารถแสดงเป็นรายเดือนได้ดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 ปริมาณการใช้พลังงานของมาตรการ

เดือน	จำนวนห้องพัก (ห้อง/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/month)
Jan 09	4,214	131,498
Feb 09	3,496	112,253
Mar 09	3,950	119,834
Apr 09	5,577	148,138
May 09	5,577	148,138
Jun 09	5,621	146,476
Jul 09	5,224	134,750
Aug 09	4,674	130,669
Sep 09	5,584	136,489
Oct 09	4,809	128,768
Nov 09	3,859	121,473
Dec 09	4,943	131,589
รวม พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น (kWh/year)		1,585,680
พลังงานในระบบ Heat Pump (kWh/year)		215,647
พลังงานในเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน (kWh/year)		15,488
รวมปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (kWh/year)		1,816,815

ดังนั้น ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังการปรับปรุงของมาตรการ มีค่าเท่ากับ 1,816,815 kWh/yr

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

1) คุณสมบัติของเครื่องจักร/อุปกรณ์

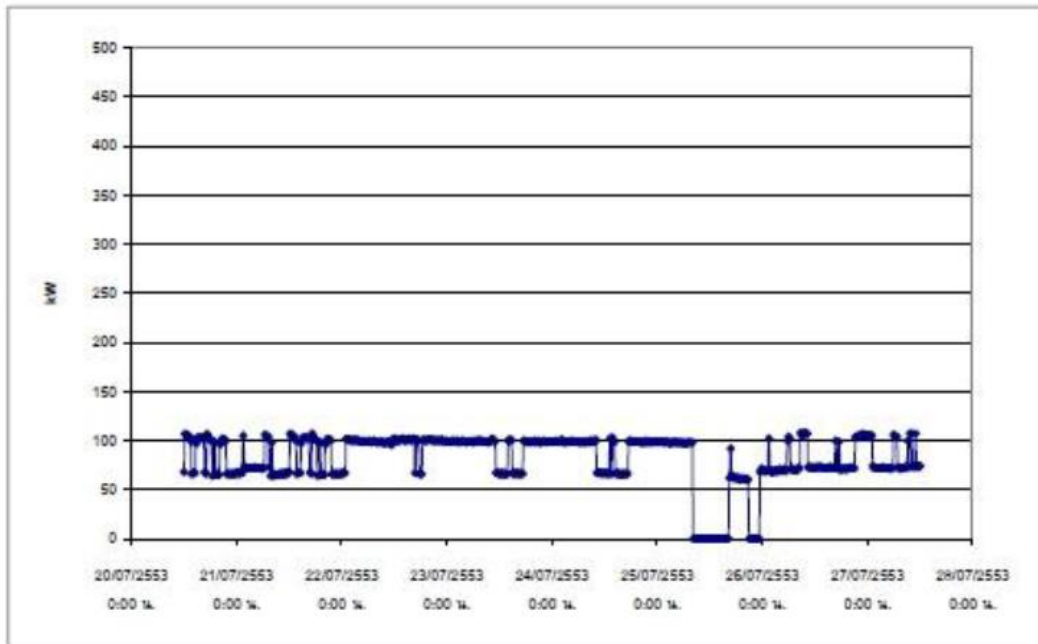
เครื่องจักร	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เครื่องผลิตน้ำเย็น	- แบบ Screw ระบายความร้อนด้วยอากาศจำนวน 3 เครื่อง 145.6 ตัน ทำงานครั้งละ 2 เครื่อง	- แบบ Screw ระบายความร้อนด้วยน้ำจำนวน 2 เครื่อง 280 ตัน ทำงานครั้งละ 1 เครื่อง
เครื่องสูบน้ำเย็น	- primary loop จำนวน 3 เครื่อง - secondary loop จำนวน 10 เครื่อง	- primary loop จำนวน 2 เครื่อง - secondary loop จำนวน 10 เครื่อง
เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น	- ไม่มี	- ขนาด 11 kW จำนวน 2 เครื่อง
หอผึ่งน้ำ	- ไม่มี	- ขนาด 700 ตัน จำนวน 1 เครื่อง
ระบบผลิตน้ำร้อน	- Heat Recovery จากระบบผลิตน้ำเย็น	- Heat Pump 3 เครื่องขนาด 40 kW

2) สภาวะควบคุม

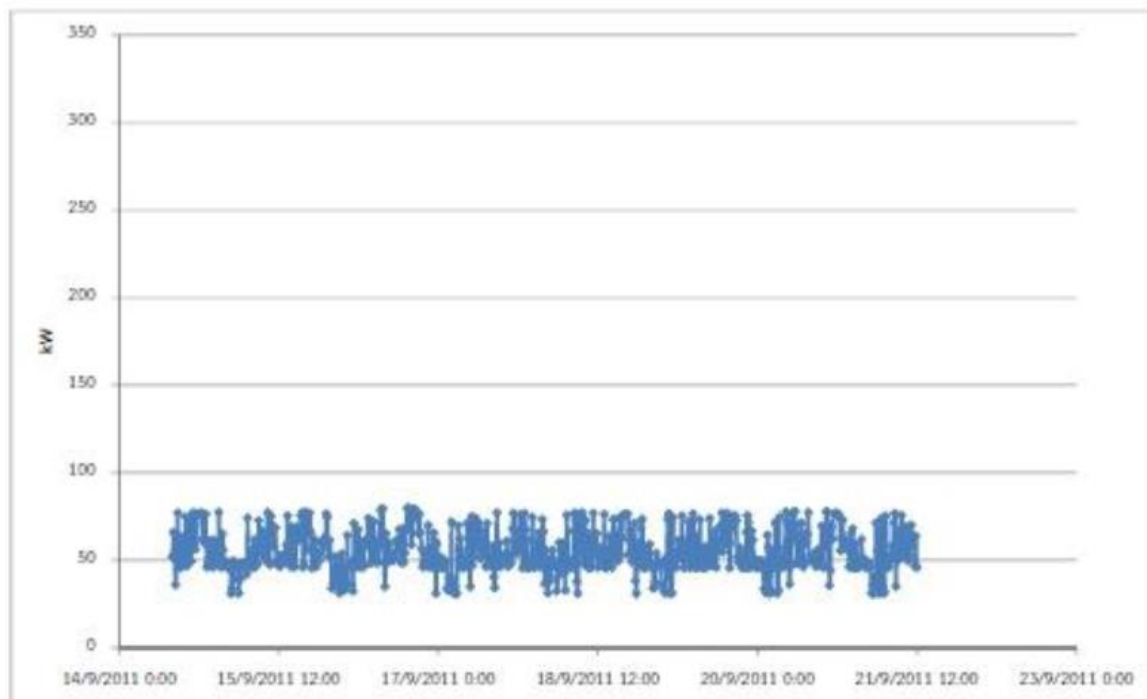
ลำดับ	สภาวะที่ต้องควบคุม	ค่าที่ควบคุม/ค่าที่กำหนดไว้
1	ภาระทำความเย็น	ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาจากข้อมูลตรวจวัดก่อนการปรับปรุง
2	อุณหภูมิน้ำเย็น (set point)	ตั้งค่าการทำงานที่ 45 F
3	อุณหภูมิและความชื้นอากาศภายนอก	อ้างอิงฐานข้อมูล TMY

3) ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น (ตู้ AMCC 01)

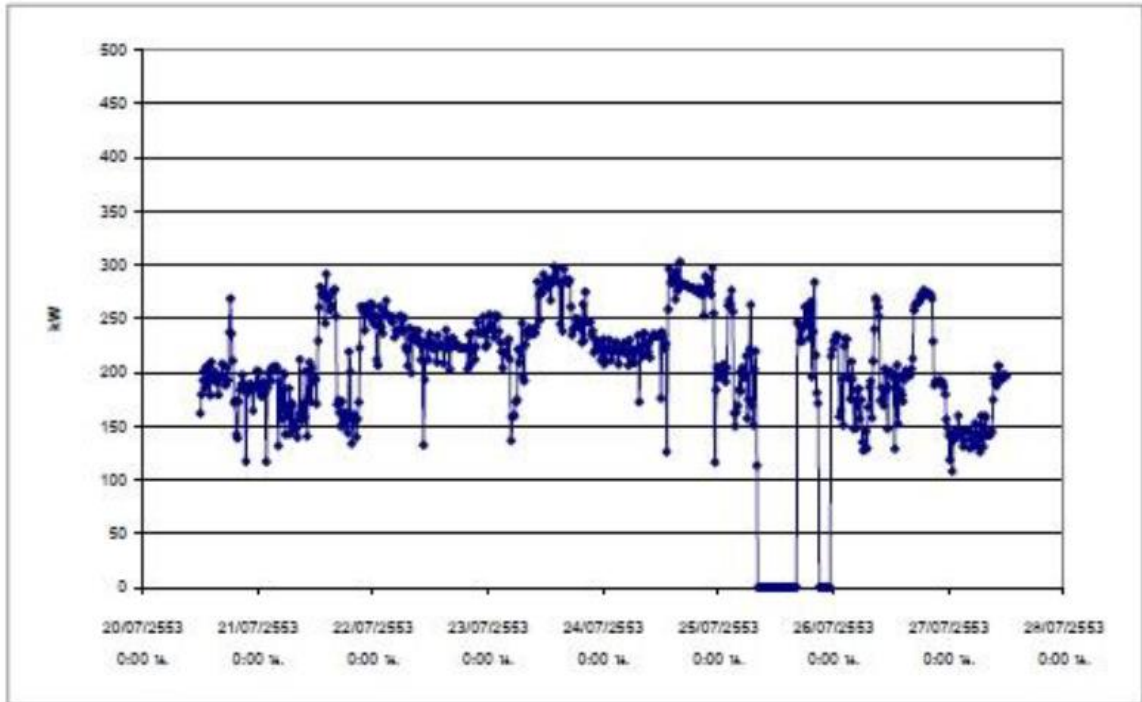
ก่อนปรับปรุง :



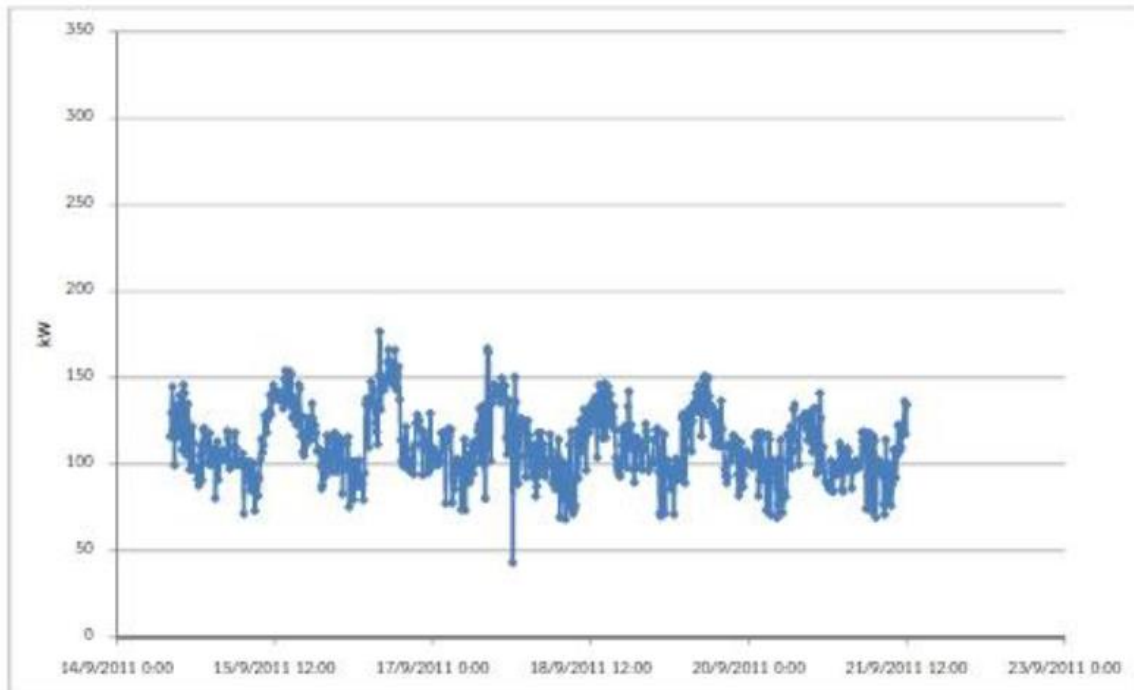
หลังปรับปรุง :



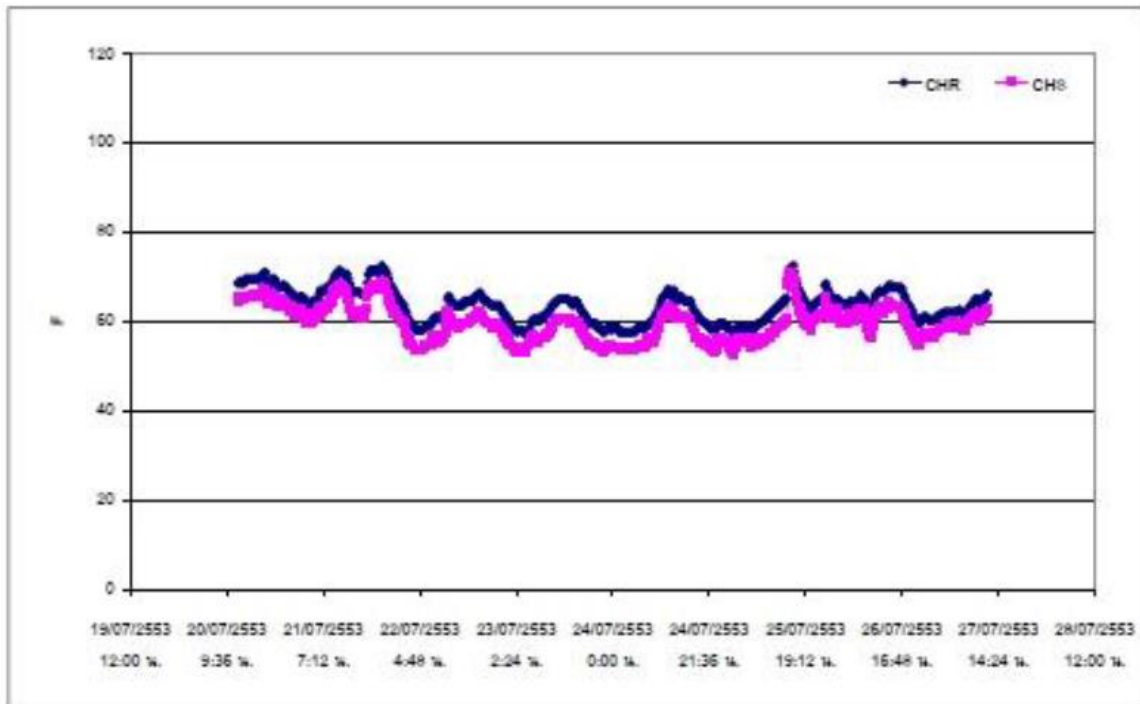
4) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบผลิตน้ำเย็น (ตู้ AMCC 02)
ก่อนปรับปรุง :



หลังปรับปรุง :



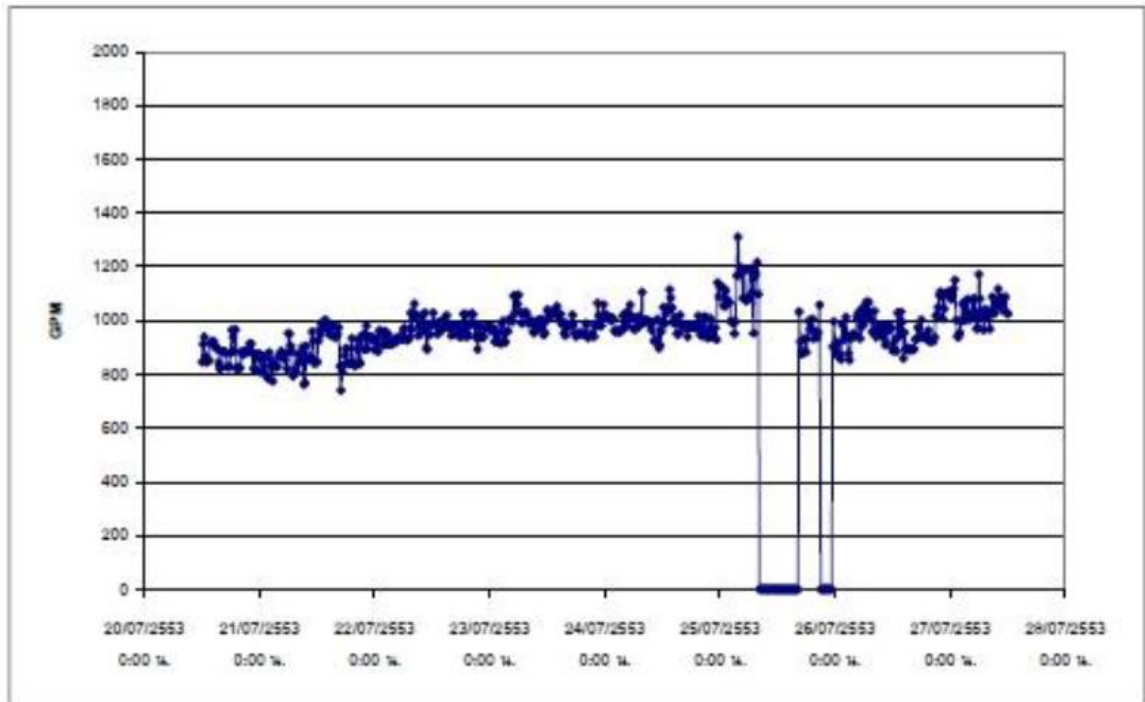
5) อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกจากระบบผลิตน้ำเย็น
ก่อนปรับปรุง :



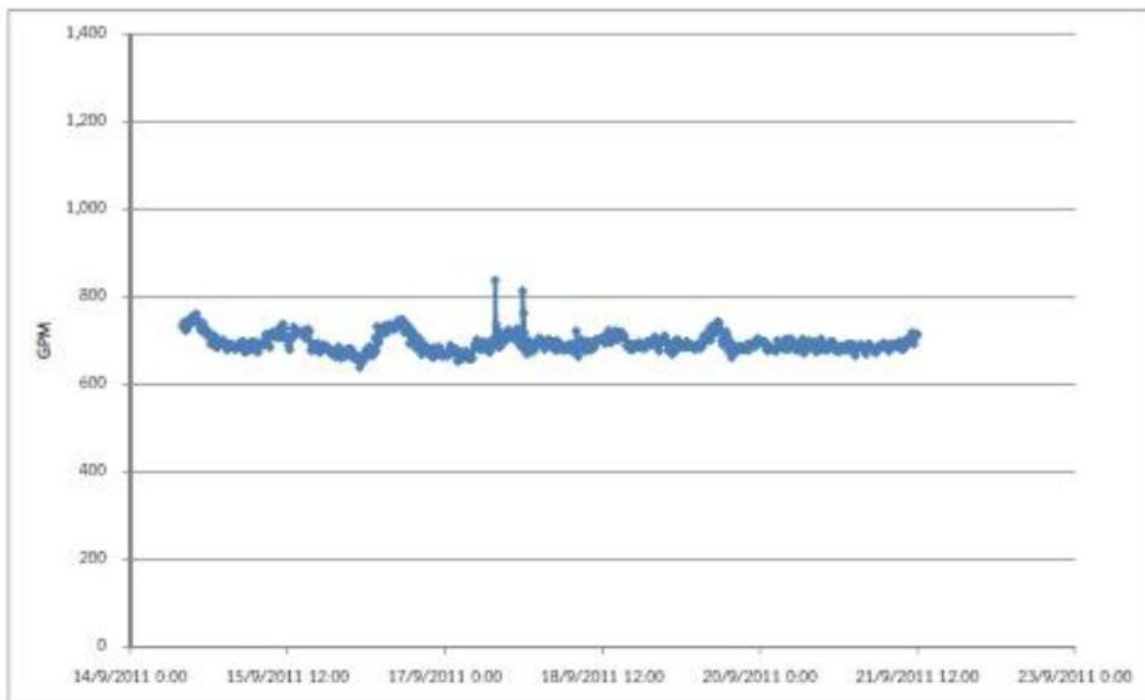
หลังปรับปรุง :



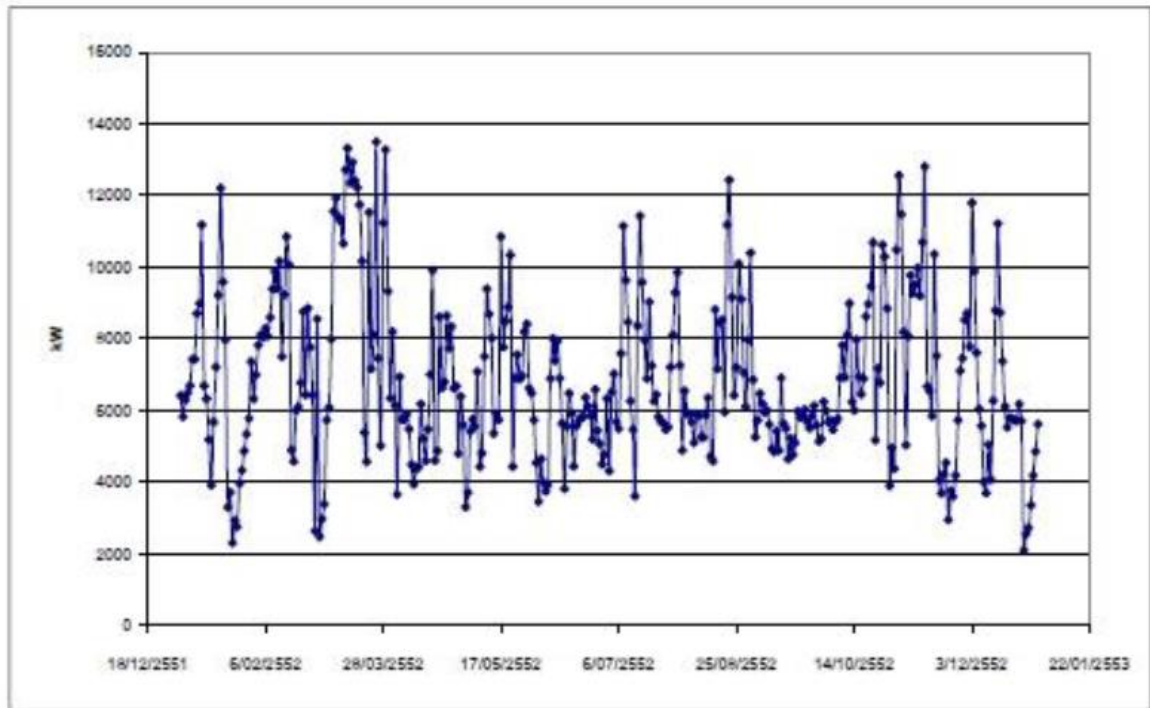
6) อัตราการไหลของน้ำเย็น
ก่อนปรับปรุง :



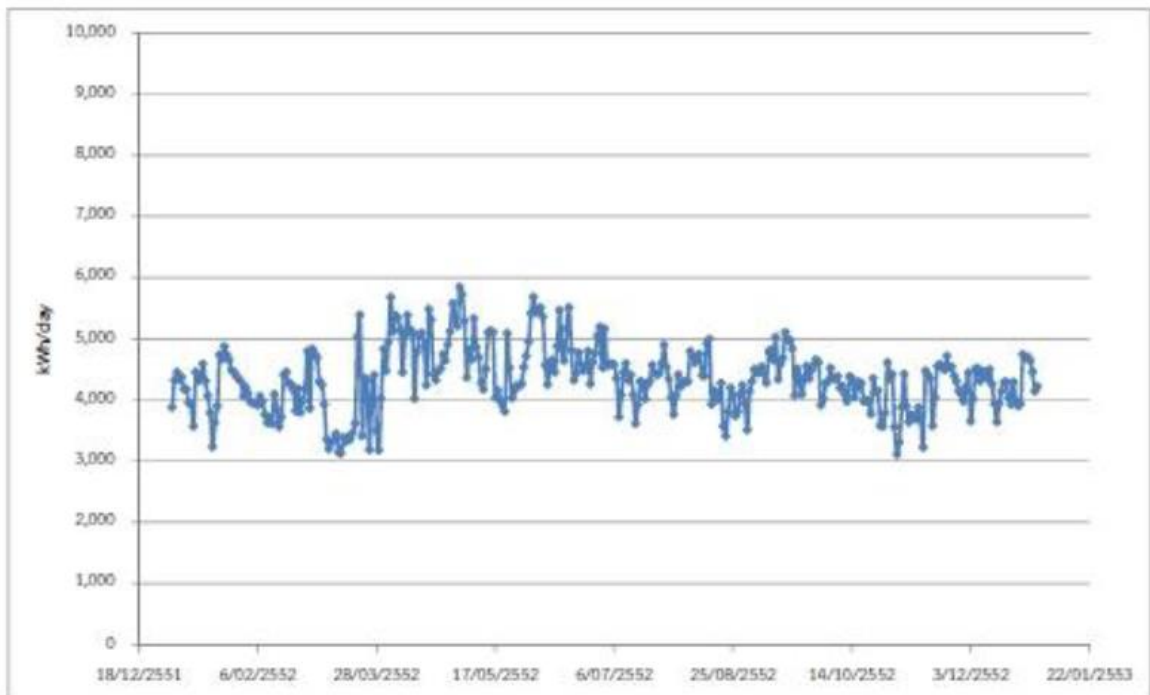
หลังปรับปรุง :



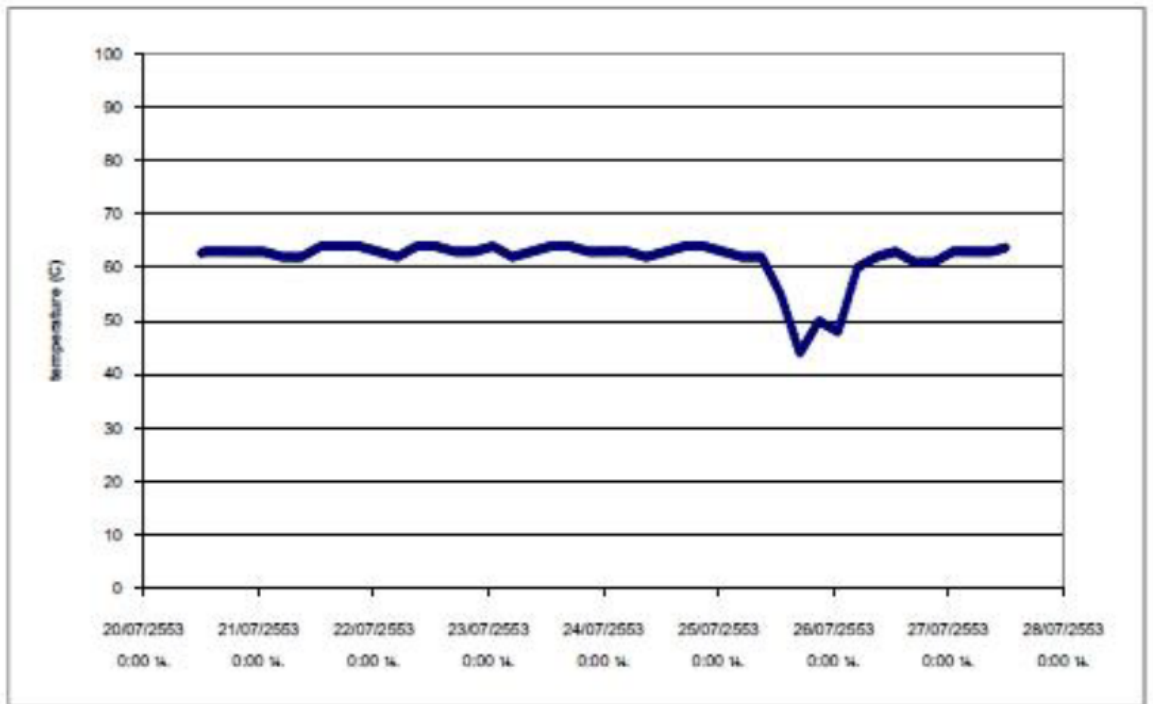
7) พลังงานไฟฟ้ารายวันของปีฐาน
ก่อนปรับปรุง :



หลังปรับปรุง :



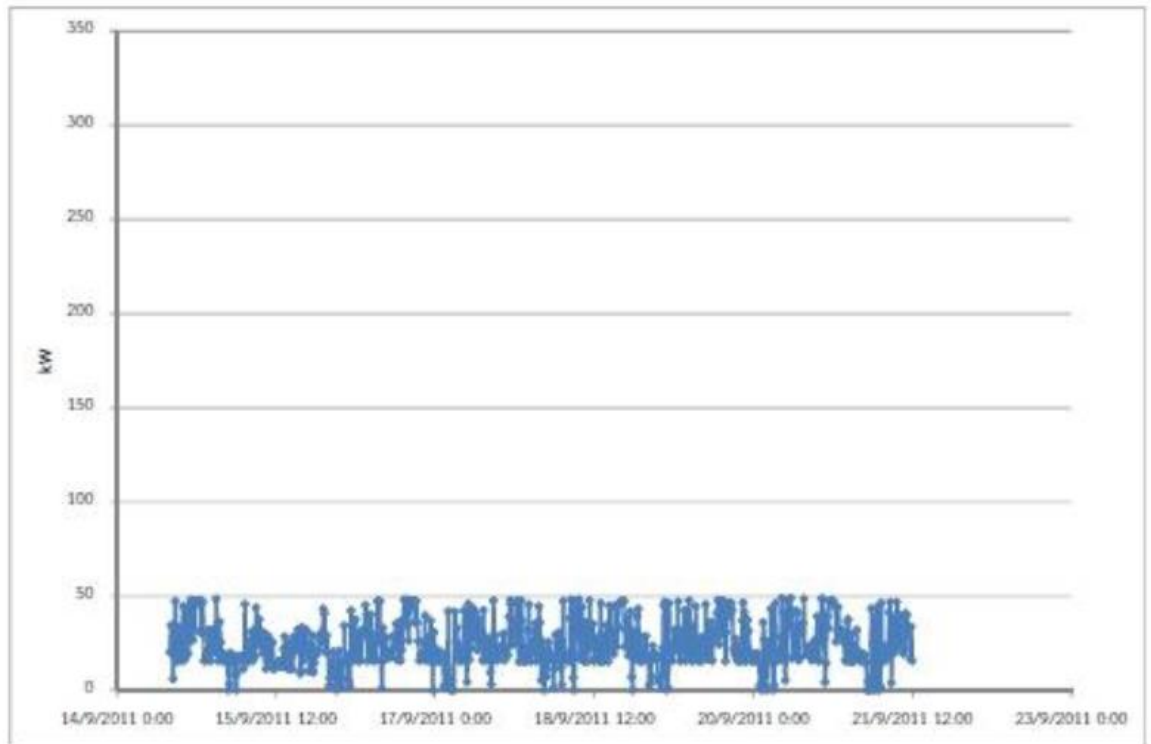
8) อุณหภูมิน้ำร้อน
ก่อนปรับปรุง :



หลังปรับปรุง :



9) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบ Heat Pump (หลังปรับปรุง)



10) ปริมาณการใช้พลังงาน

เดือน	จำนวนห้องพัก (ห้อง/เดือน)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/month)	
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
Jan 09	4,214	196,180	131,498
Feb 09	3,496	216,611	112,253
Mar 09	3,950	286,267	119,834
Apr 09	5,577	184,197	148,138
May 09	5,577	210,816	143,744
Jun 09	5,621	166,148	146,476
Jul 09	5,224	223,421	134,750
Aug 09	4,674	221,167	130,669
Sep 09	5,584	168,757	136,489
Oct 09	4,809	219,734	128,768
Nov 09	3,859	223,858	121,473
Dec 09	4,943	188,604	131,589
รวม พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น (kWh/year)		2,505,762	1,585,680
พลังงานในระบบ Heat Pump (kWh/year)		-	215,647
พลังงานในเครื่องสูบน้ำร้อนหมุนเวียน (kWh/year)		14,874	15,488
รวมปริมาณการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง (kWh/year)		2,520,636	1,816,815

ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้จริง

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ สามารถสรุปผลการประหยัดพลังงานได้ 703,821 kWh/yr

อุปกรณ์/เครื่องจักร	พลังงานไฟฟ้า (kWh/yr)		ผลประหยัด
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
ระบบผลิตน้ำเย็น	2,505,762	1,585,680	920,082
ระบบ Heat Pump	-	215,647	-215,647
เครื่องสูบน้ำร้อน หมุนเวียน	14,874	15,488	-614
รวมปริมาณพลังงาน	2,520,636	1,816,815	703,821

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- (1) กรณีศึกษามาตรการปรับปรุงการใช้พลังงานโดยการปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงโดยสมาคมบริษัทจัดการพลังงานไทย (www.thaiesco.org)