

หมวดที่ 2 : ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning)

ชุดการจัดแสดงที่ 40

ระบบการส่งจ่ายลมเย็นของระบบปรับอากาศ (Ventilation)

1. หลักการของเทคโนโลยี

ในระบบปรับอากาศ ส่วนสำคัญในการทำให้การควบคุมอุณหภูมิของระบบปรับอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพได้แก่ระบบการหมุนเวียนของอากาศ หากระบบหมุนเวียนอากาศที่ออกแบบและติดตั้งไม่ถูกต้อง อาจทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานหรือคุณภาพของอากาศไม่เป็นไปตามความต้องการ โดยทั่วไประบบการหมุนเวียนของอากาศที่ใช้งานมีอยู่ 2 ระบบคือ

- ระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสำหรับระบบปรับอากาศแบบไม่มีท่อส่งลม ระบบนี้โดยส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนหรือตู้ตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ โดยอากาศภายในพื้นที่จะถูกพัดลมดูดหมุนเวียนมายังแผงคอยล์เย็นแล้วส่งกลับไปยังห้องปรับอากาศอีกครั้ง ส่วนการระบายอากาศเพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศภายในจะใช้พัดลมดูดระบายอากาศออกไปทิ้งยังนอกห้อง และมีการเติมอากาศใหม่โดยอาศัยการแทรกซึมของอากาศตามจุดต่างๆ เช่นขอบประตู หน้าต่าง หรือการเปิด-ปิดประตู
- ระบบหมุนเวียนอากาศภายในห้องสำหรับระบบปรับอากาศแบบมีท่อส่งลม ระบบนี้โดยส่วนใหญ่จะใช้กับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องส่งลมเย็นและระบบท่อส่งลมเย็น โดยอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศจะถูกพัดลมดูดหมุนเวียนมายังแผงคอยล์เย็นของเครื่องส่งลมเย็นผ่านทางท่อลม ในขณะที่เดียวกันอากาศหมุนเวียนจะมีการเติมอากาศใหม่จากภายนอกผสมเข้าไปบางส่วนเพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศ แล้วส่งกลับไปยังห้องปรับอากาศ

ระบบการส่งจ่ายลมเย็น (Air Handling System)

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่สำหรับอาคารภาคธุรกิจซึ่งใช้ระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็นนั้น จะมีเครื่องส่งลมเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งผ่านความเย็นจากน้ำเย็นให้กับอากาศ น้ำเย็นที่ได้

จากเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกจ่ายไปตามท่อน้ำเย็น (Chilled Water Supply) ไปยังระบบส่งจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit) หรือ AHU ที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับพื้นที่ปรับอากาศ เครื่องส่งลมเย็นจะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิอากาศเติมจากภายนอก (Fresh Air) และอุณหภูมิอากาศที่หมุนเวียนไหลกลับ (Return Air) ให้อยู่ในสถานะที่ควบคุมโดยอากาศจะถูกดูดด้วยพัดลม (Blower) ผ่านแผงคอยล์น้ำเย็น (Cooling Coil) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในเครื่องส่งลมเย็น โดยมีวาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็นตามความต้องการของภาระการทำความเย็น อากาศเย็นที่ไหลผ่านแผงคอยล์เย็นจะไหลไปตามระบบท่อส่งลมเย็น (Air Duct System) ไปยังพื้นที่ปรับอากาศ

ส่วนประกอบของเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)

- แผงคอยล์ทำความเย็น (Cooling Coil)
- วาล์วปรับปริมาณลม (Damper)
- แผ่นกรองอากาศ (Air Filter)
- พัดลมส่งลมเย็น (Blower)
- มอเตอร์และสายพานขับพัดลม (Motor and V-belt Drive)
- วาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็น (Motorized or Modulated Control Valve)
- วาล์วปรับสมดุลน้ำ (Balancing Valve)
- วาล์วควบคุมการปิด-เปิด (Gate or Butterfly Valve)
- ตัวกรอง (Strainer)
- เกจวัดความดันน้ำ (Pressure Gauge)
- เกจวัดความดันลม (Manometer)
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- อุปกรณ์ควบคุม (Control Unit)
- ฉนวน (Insulation)

นอกจากนี้เครื่องส่งลมเย็นแล้ว ในส่วนของระบบหมุนเวียนอากาศยังประกอบไปด้วย

- ท่อส่งลมเย็น (Duct)
- ข้อต่ออ่อน (Flexible Duct)
- หน้ากากอากาศภายนอก (Fresh Air Grille, FAG)
- หน้ากากลมเย็น (Supply Air Grille, SAG) เพื่อช่วยในการกระจายลมเย็น
- หน้ากากลมกลับ (Return Air Grille, RAG)
- พัดลมระบายอากาศ (Exhaust Fan)
- ฉนวน (Insulation)

ระบบท่อลม (Air Distribution System) และการระบายอากาศ (Ventilation)

ระบบปรับอากาศที่เป็นระบบท่อส่งลมจะถูกออกแบบระบบท่อลมทั้งลมจ่าย และลมกลับจากเครื่องส่งลมเย็นไปยังจุดที่มีการใช้งาน โดยท่อลมที่ใส่จะทำจากสังกะสีที่มีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ดังนั้นการกระจายลมเย็นที่ดีจึงต้องอาศัยระบบท่อลมในการช่วยกระจายลมให้ทั่วถึง ซึ่งโดยทั่วไปความเร็วลมที่ผ่านตัวคนที่เหมาะสมควรจะอยู่ที่ประมาณ 0.25 เมตรต่อวินาที

เนื่องจากการส่งลมผ่านท่อลม จะต้องใช้ความดันลมที่สูงกว่าการเป่าลมเย็นโดยตรง ผู้ออกแบบระบบปรับอากาศจะตรวจสอบเรื่องความดันลมที่พอเหมาะ รวมทั้งเรื่องความดังของเสียงพัดลมว่าจะต้องไม่ดังเป็นที่รบกวนด้วย ความยาวของท่อลมที่เหมาะสมไม่ควรเกินประมาณ 40-50 เมตร ความเร็วของลมในท่อลมประธานมักจะสูงถึง 7.5-10 เมตร/วินาที ดังนั้นโดยทั่วไปผู้ออกแบบระบบท่อลมจะเดินท่อแยก (Branch) ขยายท่อเพื่อลดความเร็วลมลงเหลือไม่เกิน 4 เมตร/วินาทีจนถึงหัวจ่ายลมเย็น ซึ่งจะจ่ายลมที่มีความเร็วประมาณ 4-5 เมตร/วินาที

การควบคุมคุณภาพอากาศ

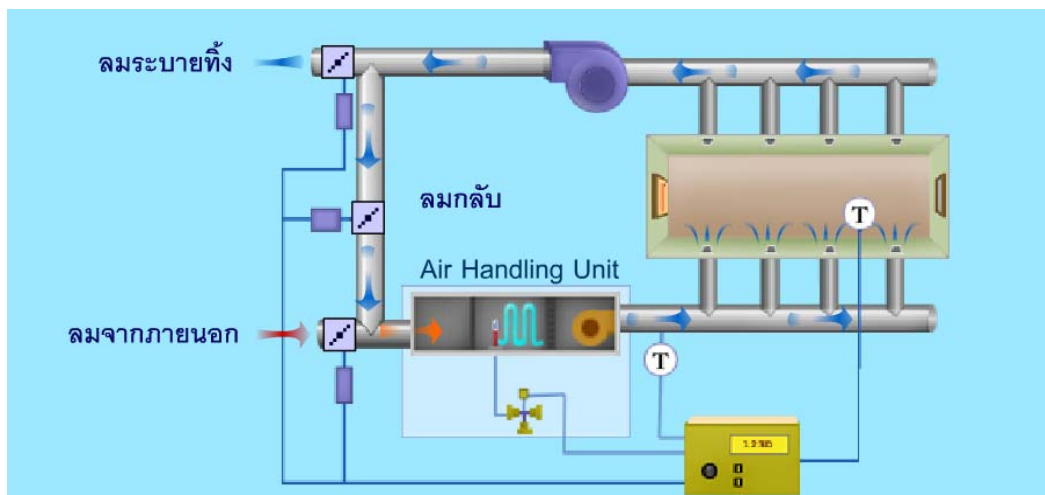
ปริมาณลมที่หมุนเวียนในระบบปรับอากาศโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 12-15 เท่าของปริมาตรห้อง/ชั่วโมงและปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่เข้ามาผสมจะอยู่ในช่วง 10-15% ของปริมาณลมหมุนเวียนนี้ ขึ้นกับลักษณะ การใช้งาน เช่นความหนาแน่นของคน และหากเป็นร้านอาหาร หรือห้องประชุมก็จะมากขึ้น นอกจากการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาที่ว่่านี้แล้ว ยังมีการระบายอากาศเสียทิ้ง (Exhaust Air) จากห้องน้ำ, ห้องครัว, ห้องที่มีการสูบบุหรี่, Pantry, ห้องเก็บของเพื่อป้องกันกลิ่นรบกวนปริมาณอากาศเสียจะน้อยกว่าปริมาณอากาศบริสุทธิ์อยู่บ้าง ทั้งนี้เพราะโดยทั่วไปห้องปรับอากาศจะพยายามรักษาความดันให้ภายในห้องสูงกว่านอกห้อง เป็นการป้องกันไม่ให้ฝุ่นและความชื้นเข้าไปได้โดยง่าย

ในการควบคุมคุณภาพอากาศในอาคาร (Indoor Air Quality) นอกจากการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาผสมดังกล่าวแล้ว ยังมีการกรองอากาศโดยใช้แผงกรองอากาศ (Air Filter) ซึ่งตามเครื่องปรับอากาศทั่วไป ไม่ว่าจะเป็นเครื่องแบบหน้าต่าง แบบแยกส่วน ก็มีทั้งนั้น ในระบบปรับอากาศแผงกรองอากาศนี้จะอยู่ที่ แผงคอยล์เย็น (FCU) หรือ เครื่องส่งลมเย็น (AHU) หรือ ในระบบท่อลมกลับ เพื่อทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองในอากาศเมื่อฝุ่นมาจับที่แผงกรองอากาศแล้ว ก็จะต้องเปลี่ยนหรือถอดออกมาล้าง แล้วแต่จะใช้แผงกรองอากาศชนิดไหน

ระบบการควบคุมปริมาณการจ่ายลมเย็น

ระบบการควบคุมปริมาณการจ่ายลมเย็นของระบบปรับอากาศที่ใช้งานกันส่วนใหญ่จะมีอยู่ 2 ระบบคือ

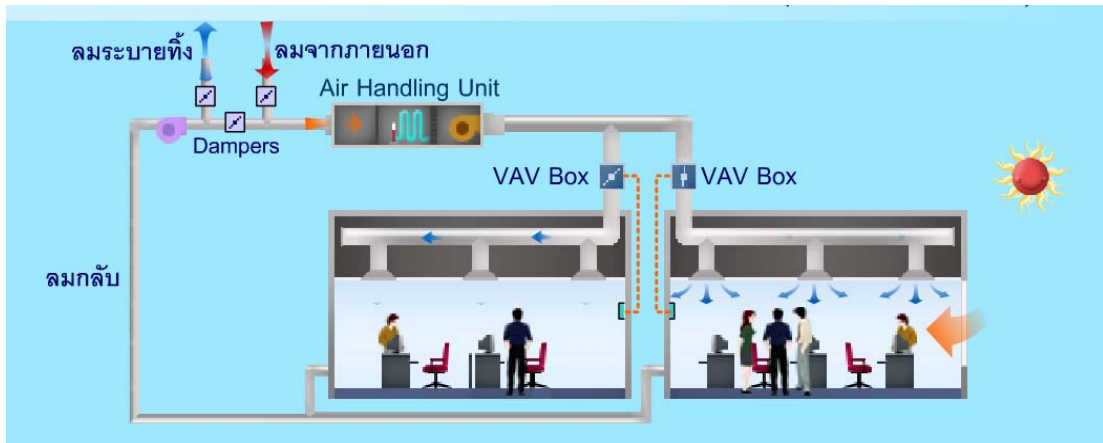
- ระบบปรับอากาศชนิดปริมาตรอากาศคงที่ (Constant Air Volume System, CAV) โดยปริมาณลมเย็นที่ส่งออกจากชุดส่งลมเย็น (Air Handling Unit) เข้าสู่บริเวณปรับอากาศโซนต่าง ๆ มีปริมาณลมเย็นจ่ายคงที่ ไม่แปรเปลี่ยนตามภาระความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณปรับอากาศนั้น ๆ เพียงแต่จะปรับเปลี่ยนอุณหภูมิลมเย็นส่งออกเพื่อคงสภาวะอุณหภูมิห้องให้เหมาะสมที่ต้องการ ทั้งนี้โดยอาศัยเทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิภายในบริเวณปรับอากาศ



รูปที่ 1 ระบบปริมาณลมจ่ายคงที่ (Constant Air Volume)

- ระบบปรับอากาศชนิดปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume System, VAV) โดยปริมาณลมเย็นที่ส่งออกจากชุดส่งลมเย็นเข้าสู่บริเวณปรับอากาศโซนต่าง ๆ สามารถแปรเปลี่ยนได้ตามภาระความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณปรับอากาศโซนนั้น ๆ ส่วนอุณหภูมิภายในบริเวณปรับอากาศแต่ละโซนควบคุมให้คงที่ เมื่อภาระการทำความร้อนสูงขึ้น อุณหภูมิของห้องจะสูงขึ้นกว่าค่าที่ตั้งไว้ที่เทอร์โมสแตท เทอร์โมสแตทจะส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมกล่องปรับปริมาณลม (VAV Box) ให้เปิดวาล์วปรับปริมาณลม (Damper) เพื่อปรับปริมาณลมให้มากขึ้น เป็นผลทำให้ความดันสถิตยในท่อลมลดต่ำกว่าค่าที่กำหนด อุปกรณ์ควบคุมจะส่งสัญญาณไปสั่งให้ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive, VSD) เพื่อทำการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลมให้สูงขึ้นจนค่าความดันสถิตยกลับมาที่ค่าเดิม ในทางตรงกันข้ามหากภาระการทำความร้อนลดลงกล่องปรับปริมาณลม (VAV Box)

ให้ปิดวาล์วปรับปริมาณลม (Damper) เพื่อปรับปริมาณลมให้น้อยลง เป็นผลทำให้ความดันสถิตยในท่อลมเพิ่มสูงกว่าค่าที่กำหนด อุปกรณ์ควบคุมจะส่งสัญญาณไปสั่งให้ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive, VSD) ทำการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลมให้ลดลงจนค่าความดันสถิตยก็กลับมาที่ค่าเดิม



รูปที่ 2 ระบบปริมาณลมจ่ายแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume)

การเลือกใช้ระบบปริมาณลมจ่ายแปรเปลี่ยน (VAV) ในอาคารที่มีการปรับอากาศ

อาคารที่เหมาะสมที่จะใช้ระบบ VAV ควรจะมีลักษณะและการใช้งานดังนี้

- ควรเป็นอาคารที่มีการกระทำการทำความเย็นเปลี่ยนแปลงเกือบตลอดเวลา เช่นเป็นอาคารที่มีผนังกระจกโดยรอบ มีคนเข้า-ออกมาก มีการใช้เปิด-ปิดไฟบ่อย หรือมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความร้อนในบางเวลาเป็นต้น ตัวอย่างของอาคารเหล่านี้ได้แก่ อาคารสำนักงาน อาคารห้องสมุด หรือโรงพยาบาล เป็นต้น
- ควรเป็นอาคารที่มีการควบคุมอุณหภูมิของโซนต่างๆ พร้อมกันทีเดียวหลายๆ โซน เพราะเครื่องส่งลมเย็นชุดหนึ่งๆ จะมีกล่องควบคุมปริมาณลมหลายๆ กล่อง และแต่ละกล่องจะควบคุมการทำงานด้วยเทอร์โมสแตทชุดหนึ่ง ถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิโซนไหนแยกจากกันก็ติดตั้งกล่องควบคุมปริมาณลมสำหรับโซนนั้นๆ
- ควรเป็นอาคารที่ออกแบบให้มีท่อลมกลับไปยังเครื่องส่งลมเย็นร่วมกัน การออกแบบท่อลมกลับหลายๆทางของระบบ VAV นั้นอาจทำให้ความดันของลมในระบบสูงหรือต่ำเกินไปได้ อาคารที่เหมาะสมต่อการใช้ท่อลมกลับร่วมได้แก่อาคารสำนักงาน และโรงเรียน ส่วนอาคารที่ไม่เหมาะที่จะใช้ได้แก่ โรงพยาบาล ห้องทดลอง ห้องครัว เป็นต้น เพราะอาจมีปัญหาเรื่องการติดเชื้อหรือกลิ่นลามไปที่ต่างๆ

2. การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี

เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)

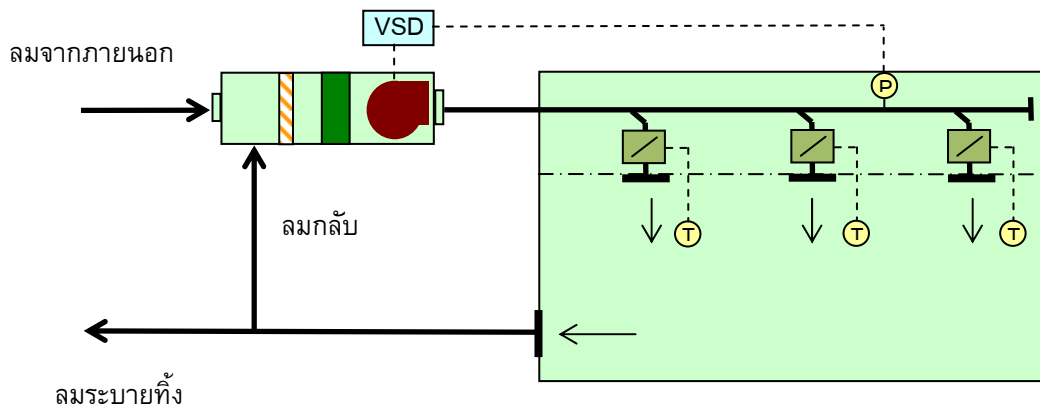
เนื่องจากระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องส่งลมเย็นมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาการติดตั้งห้องเครื่องส่งลมเย็นมีดังนี้

- ห้อง AHU มีพื้นที่ประมาณ 4-5% ของพื้นที่ปรับอากาศ
- ทุกๆพื้นที่ปรับอากาศ 400 ตารางเมตร ควรมีห้อง AHU 1 ห้อง
- ห้อง AHU ควรมีผนังที่ทอลมผ่านเข้า/ออกได้อย่างน้อย 2 ด้าน และผนังทั้ง 2 ด้านนี้ควรอยู่ติดกับพื้นที่ที่ปรับอากาศ
- สัดส่วนความกว้างต่อความยาวห้อง AHU ไม่เกิน 1:2
- สำหรับอาคารหลายชั้น ห้อง AHU ควรอยู่ตรงกันทุกชั้น

การติดตั้งระบบการส่งจ่ายอากาศเย็นชนิดปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยน

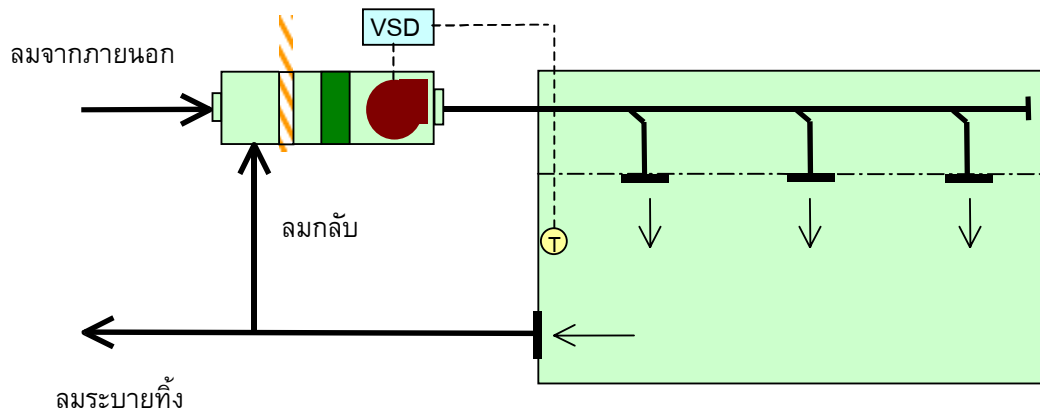
ระบบการส่งจ่ายอากาศเย็นชนิดปริมาตรอากาศคงที่นั้นมีข้อเสียคือถ้าปริมาณความต้องการความเป็นลดลงจะไม่สามารถควบคุมความชื้นภายในห้องได้ตามต้องการ ความชื้นจะสูงขึ้นและควบคุมให้อยู่ในช่วงความสบายหรือ Comfort Zone ทำได้ช้า และเมื่อมีภาระความร้อนจากแสงอาทิตย์จะทำให้โซนที่ติดหน้าต่างมีอุณหภูมิสูงกว่าโซนอื่นๆ ส่วนข้อได้เปรียบของระบบการส่งจ่ายอากาศเย็นชนิดปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยน คือแทนที่จะปรับอุณหภูมิลมจ่ายเพื่อให้ได้ตามความต้องการแต่จะใช้วิธีปรับปริมาณลมจ่ายโดยอุณหภูมิคงที่ ซึ่งหากความต้องการปริมาณลมเย็นลดลงพัดลมที่เครื่องส่งลมเย็นสามารถลดรอบลงได้ทำให้ประหยัดพลังงาน หรือในกรณีที่มีภาระความร้อนจากภายนอก ระบบการส่งจ่ายอากาศเย็นชนิดปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยนจะรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ในทุกบริเวณที่ปรับอากาศ

สำหรับการจัดระบบการส่งจ่ายอากาศเย็นชนิดปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยน ท่อส่งลมเย็นประธานเดินออกจากชุดส่งลมเย็นจากนั้นลมเย็นจากท่อส่งลมเย็นประธานจะจ่ายเข้าท่อแยกย่อย เพื่อส่งลมเย็นเข้าสู่บริเวณปรับอากาศโซนต่าง ๆ ตามพื้นที่ใช้สอยโดยผ่านกล่องปรับปริมาณลม (VAV Box) ภายในตัว VAV Box จะมีวาล์วปรับปริมาณลมหรือแดมเปอร์ ซึ่งสามารถปรับตัวเองได้ในลักษณะที่ปริมาณลมเย็นที่จ่ายเข้าสู่บริเวณปรับอากาศ แต่ละโซนสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามภาระความร้อนที่เกิดขึ้นรวมในแต่ละโซนนั้น ๆ เทอร์โมสแตทของห้องที่ติดตั้งในแต่ละโซนจะควบคุมแดมเปอร์ใน VAV boxes ของแต่ละโซนตัวมันเอง เพื่อคงอุณหภูมิห้องที่ตั้งไว้ให้ได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3 ระบบการส่งจ่ายอากาศเย็นชนิดปริมาณอากาศแปรเปลี่ยนที่มี VAV Box

กรณีที่เครื่องส่งลมเย็น จ่ายลมเย็นไปยังห้องปรับอากาศที่มีภาระการทำความร้อนสม่ำเสมอเท่าๆกันทุกพื้นที่ เช่น พื้นที่ที่ไม่มีผนังติดกับภายนอกและไม่มีกระจก จะมีแต่ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากภายในอาคารเป็นหลัก กรณีนี้อาจไม่จำเป็นต้องมีกล่องปรับปริมาณลม (VAV Box) โดยสามารถนำสัญญาณอุณหภูมิไปควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้โดยตรงเลย



รูปที่ 4 ระบบการส่งจ่ายอากาศเย็นชนิดปริมาณอากาศแปรเปลี่ยนที่ไม่จำเป็นต้องมี VAV Box

ระบบส่งจ่ายลมเย็นที่มีประสิทธิภาพ

ระบบส่งจ่ายลมเย็นที่มีประสิทธิภาพจะประกอบไปด้วยปัจจัยการออกแบบ ติดตั้งและเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงดังนี้

- ระบบท่อจ่ายลม
การติดตั้งระบบท่อมทั้งลมจ่ายและลมกลับควรที่จะติดตั้งท่อที่ค่อนข้างตรง ลดจำนวนท่อโค้งให้มากที่สุด และท่อตรงไม่ควรยาวมากเกินไป เพื่อลดแรงดันตกคร่อมในระบบปรับอากาศ
- หัวจ่ายลม
ติดตั้งหัวจ่ายลมที่มีความดันตกคร่อมน้อยและมีการกระจายลมที่ดี
- ระบบปรับปริมาตรการไหลของลม (VAV)
ติดตั้งระบบปรับปริมาณลมอัตโนมัติ ซึ่งจะควบคุมปริมาณลมให้สัมพันธ์กับภาระความเย็นที่ต้องการในแต่ละพื้นที่
- โถงสูง
ใช้ประโยชน์จากโถงสูงเพื่อระบายอากาศร้อนออกจากอาคารโดยการลอยตัวตามธรรมชาติ
- พัดลมประสิทธิภาพสูง
เลือกใช้มอเตอร์และพัดลมประสิทธิภาพสูง
- ระบบปรับปริมาณอากาศจากภายนอก
ใช้ระบบตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อควบคุมปริมาณอากาศที่เข้ามาใหม่ให้เหมาะสมกับจำนวนคนภายในอาคาร
- ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน
ใช้ความเย็นของอากาศที่ระบายทิ้งมาทำความเย็นให้กับอากาศใหม่ที่นำมาเข้าสู่ระบบปรับอากาศ

การแบ่งพื้นที่ปรับอากาศ (Air Conditioning Zoning)

การออกแบบพื้นที่ปรับอากาศที่ดีควรพิจารณาจัดกลุ่มพื้นที่ตามสภาพกิจกรรมและการใช้งานเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพดังนี้

- พื้นที่ส่วนแพสซีฟ เป็นบริเวณสำหรับกิจกรรมทั่วไปซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิปรับอากาศปกติได้ประมาณ 1-2 °C โดยเพิ่มความเร็วลมเพื่อชดเชยให้รู้สึกเย็นสบายได้แก่ โถงทางเดิน และส่วนพักผ่อน
- พื้นที่ส่วนกึ่งแพสซีฟ เป็นบริเวณที่มีกิจกรรมซึ่งต้องการควบคุมสภาวะการปรับอากาศให้อยู่ในระดับปกติเช่น พื้นที่ในสำนักงาน

- พื้นที่ส่วนควบคุม เป็นบริเวณที่เป็นกิจกรรมซึ่งต้องการสภาวะการปรับอากาศคงที่ เหมาะสมตลอดเวลาได้แก่ ห้องประชุม และห้องฝึกอบรม

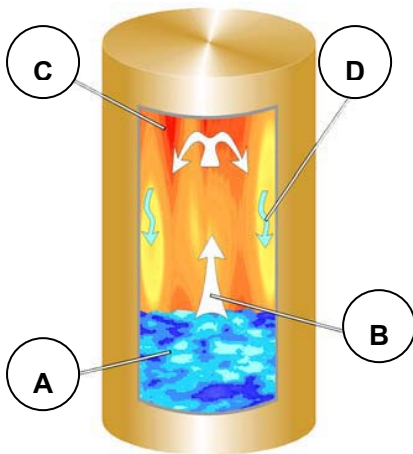
การควบคุมความชื้นด้วยระบบฮีทไปป์ (Heat Pipe)

ระบบปรับอากาศที่ต้องมีการควบคุมความชื้นสำหรับอาคารบางประเภทเช่นห้องผ่าตัดในโรงพยาบาล มักจะต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์ที่ออกแบบ ซึ่งหากเป็นอาคารปรับอากาศโดยทั่วไปอาจไม่จำเป็นต้องควบคุมความชื้นเนื่องจากไม่มีผลต่อการใช้งานมากนัก สำหรับระบบการควบคุมความชื้นในระบบปรับอากาศจะมีความแตกต่างไปจากระบบปรับอากาศทั่วไปคือจะต้องมีการติดตั้งชุดรีฮีท (Reheat) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิหลังจากที่ลมเย็นผ่านแผงคอยล์เย็นในเครื่องส่งลมเย็น หากไม่มีการเพิ่มอุณหภูมิของลมเย็นในส่วนนี้จะทำให้อุณหภูมิที่จ่ายไปยังพื้นที่ปรับอากาศจะเย็นเกินไปถึงแม้ความชื้นจะควบคุมได้ การเพิ่มอุณหภูมิลมเย็นหลังผ่านแผงคอยล์เย็นเปรียบเสมือนการเพิ่มภาระให้กับระบบปรับอากาศซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ระบบฮีทเตอร์ไฟฟ้าหรือระบบไอน้ำทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากระบบฮีทเตอร์มักจะใช้พลังงานค่อนข้างมากดังนั้นการลดอุณหภูมิของลมเย็นก่อนเข้าแผงคอยล์เย็นจะเป็นการช่วยประหยัดภาระการปรับอากาศและการรีฮีท

ในปัจจุบันได้มีระบบการควบคุมความชื้นด้วยระบบฮีทไปป์ (Heat Pipe) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนประเภทหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แม้ในสภาพอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

หลักการทำงานของฮีทไปป์

ฮีทไปป์ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือส่งถ่ายความร้อนได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอก ส่วนประกอบของฮีทไปป์จะเป็นท่อโลหะที่ปิดหัวท้ายภายในเป็นสสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) ฟรีออน 22 หรือ 134a การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นอีกด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่น แล้วกลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) ดังแสดงในรูปที่ 5



- A ความร้อนถูกดูดจากด้านระเหย (Evaporation Section)
- B สารทำความเย็นระเหยเป็นไอ
- C สารทำความเย็นถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมด้านควบแน่น (Condensation Section)
- D สารทำความเย็นควบแน่นไหลกลับไปยังด้านระเหย

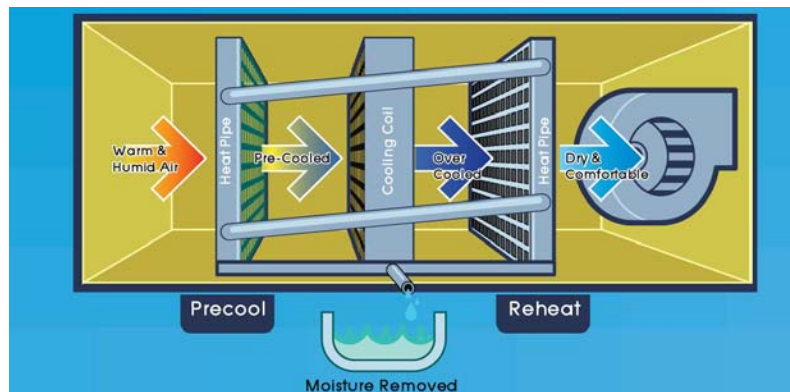
รูปที่ 5 โครงสร้างภายในฮีทไปป์

ข้อดีและประโยชน์ของฮีทไปป์ (Heat Pipe)

- เป็นระบบที่ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวทำให้ไม่มีการสึกหรอ
- ในกรณีที่ควบคุมความชื้นจะช่วยประหยัดพลังงานโดยลดภาระการปรับอากาศ และระบบเพิ่มความร้อนโดยใช้ไฟฟ้า (Electric Reheat) ลงได้
- ไม่ต้องคอยดูแลรักษา เพียงทำความสะอาดตามปกติ
- ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
- มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

การประยุกต์ฮีทไปป์ (Heat Pipe) ในระบบปรับอากาศ

ฮีทไปป์จะถูกนำไปใช้ประกอบกับแผงคอยล์เย็นในเครื่องปรับอากาศ โดยให้แผง ชุดหนึ่งอยู่หน้าคอยล์ และอีกชุดอยู่หลังแผงคอยล์เย็น ชุดที่อยู่หน้าคอยล์จะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอยล์เย็นให้ลดลง (Pre-cool) และชุดที่อยู่หลังคอยล์เย็นจะเพิ่มอุณหภูมิอากาศหลังคอยล์ให้สูงกลับขึ้นมาเท่ากับที่ลดลงไป (Reheat) โดยที่ชุด Pre-cool รับความเย็นมาจากชุด Reheat และชุด Reheat รับความร้อนมาจากชุด Pre-cool



รูปที่ 6 ระบบฮีทไปป์สำหรับเครื่องส่งลมเย็น

➤ ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

- การติดตั้งระบบที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน
 - การออกแบบระบบส่งลมเย็นที่มีประสิทธิภาพจะทำให้ประหยัดพลังงานลงได้ โดยพื้นที่ปรับอากาศที่มีความต้องการปริมาณลมเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ด้วยวิธีการติดตั้งระบบ VAV ซึ่งจะทำให้ภาระการปรับอากาศลดลงเมื่อความต้องการความเย็นลดลง
 - ติดตั้งอุปกรณ์ปรับรอบการทำงานของมอเตอร์ของพัดลมในเครื่องส่งลมเย็น เมื่อความต้องการปริมาณลมเย็นลดลง จะทำให้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ซึ่งถูกควบคุมด้วยชุดควบคุมลรอบของพัดลมที่ส่งลมเย็นจากห้องของเครื่องส่งลมเย็นทำให้การใช้พลังงานของเครื่องส่งลมเย็นลดลงตามไปด้วย ซึ่งกำลังที่ใช้ของพัดลมจะเป็นไปตามกฎของพัดลม
 - ติดตั้งฮีทไปป์สำหรับบริเวณที่ต้องการควบคุมความชื้นและคุณภาพอากาศจะทำให้ประหยัดพลังงานได้ เพราะจะช่วยลดภาระในส่วนของการปรับอากาศและภาระการเพิ่มอุณหภูมิ
- การใช้งาน ตรวจสอบและควบคุมอย่างมีประสิทธิภาพ
 - ตั้งเทอร์โมสแตทให้ควบคุมภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
 - ปิดม่านกันการแผ่รังสีของแสงแดดที่จะผ่านกระจกเข้าไปในอาคาร เช่น ที่ด้านทิศตะวันออกในช่วงเวลาเช้าและทิศตะวันตกในช่วงเวลาบ่าย
 - ปิดไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ต่าง ๆ เมื่อใช้งาน เพื่อลดภาระความร้อนให้น้อยลง
 - ลดปริมาณการเติมอากาศจากภายนอกเพื่อลดภาระการปรับอากาศ

- ทำความสะอาดแผงกรองอากาศ (Filter) โดยปกติความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศไม่ควรเกิน 1.2 นิ้วน้ำ หากความดันตกคร่อมสูงกว่านี้แสดงว่าแผงกรองอากาศอุดตัน ภายหลังทำความสะอาดแล้วความดันตกคร่อมไม่ควรเกิน 0.5 นิ้วน้ำ
- ทำความสะอาดแผงคอยล์ทำความเย็น (Cooling Coil)
- อัดจารบีตลับลูกปืนของมอเตอร์และพัดลม
- ตรวจสอบสภาพฉนวนว่ามี การฉีกขาดหรือหลุดร่อน
- ตรวจสอบการรั่วของท่อส่งลมเย็น
- ทดสอบการทำงานและปรับสมดุลของระบบปรับอากาศทุก ๆ ปี เพื่อให้ระบบปรับอากาศทำงานอย่างมีประสิทธิภาพอยู่ตลอดเวลา
- ตรวจสอบการทำงานของวาล์วระบายอากาศ เพื่อให้สามารถไล่อากาศภายในระบบท่อน้ำได้ดี
- ตรวจสอบและซ่อมแซมท่อลมที่ชำรุด เพื่อแก้ไขไม่ให้มีลมรั่ว
- ตรวจสอบสภาพของฉนวนหุ้มเครื่องทำน้ำเย็น เครื่องส่งลมเย็น ท่อลมและท่อน้ำ หากมีการชำรุดหรือเสื่อมสภาพให้รีบแก้ไข เพื่อให้ความร้อนจากภายนอกเข้าไปในระบบน้อยลง

➤ กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

ผู้ออกแบบ ผู้รับเหมา สถาบันการศึกษา และประชาชนทั่วไป

➤ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในทางตรงกันข้าม อาศัยหลักของการป้องกันความร้อนและเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมาช่วยให้การออกแบบทำให้ลดการใช้พลังงาน

3. ตัวอย่างข้อมูลด้านเทคนิคของเทคโนโลยี

ตัวอย่างรายละเอียดด้านเทคนิคของอุปกรณ์ปรับปริมาณลม (VAV)

1	Inlet size (in.)	6	8	10	12	14	16
	Maximum flow (cfm)	343	568	940	1,210	1,667	2,162
	Inlet area (sq ft)	0.20	0.35	0.55	0.79	1.07	1.40
	Velocity in (fpm)	1,747	1,627	1,723	1,541	1,560	1,548
	Inlet velocity pressure (in. wg)	0.190	0.165	0.185	0.148	0.152	0.149
2	Outlet width (in.)	12	12	14	16	20	24
	Outlet height (in.)	8	10	12.5	15	17.5	18
	Outlet area (sq ft)	0.53	0.69	1.04	1.46	2.18	2.72
	Outlet velocity (fpm)	641	826	905	830	766	796
3	Outlet-velocity pressure (in. wg)	0.026	0.043	0.051	0.043	0.037	0.040
	Velocity-pressure drop (in. wg)	0.16	0.12	0.13	0.11	0.12	0.11
4	Static-pressure drop (in. wg)	0.24	0.28	0.27	0.30	0.29	0.29
	Total-pressure drop (in. wg)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
5	Radiated Noise Criteria	28	25	27	27	27	24
	Minimum controllable velocity-pressure signal (in. wg)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	Amplification factor	2.80	2.24	1.96	2.03	1.97	1.94
	Minimum velocity (fpm)	151	169	181	178	180	182
	Minimum controllable flow (cfm)	30	59	99	140	193	254
	Best turndown (percent)	9	10	10	12	12	12
	Worst turndown (percent)	30	17	17	15	16	15
	Average turndown (percent)	15					

- 1 = รายละเอียดท่อลมด้านเข้า (Inlet) ซึ่งประกอบไปด้วย อัตราการไหล, ขนาดพื้นที่ท่อลม, ความเร็ว, ความดันลมขาเข้า
- 2 = รายละเอียดท่อลมด้านออก (Outlet) ซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดพื้นที่ท่อลม, ความเร็ว, ความดันขาออก
- 3 = ความดันสูญเสีย
- 4 = ระดับความดังของเสียง (Noise Level)
- 5 = ระบบควบคุมอัตราการไหล

4. กรณีศึกษา

กรณีศึกษาที่ 1

การใช้ระบบปรับอากาศแบบปริมาณลมแปรเปลี่ยนเพื่อปรับปริมาณลมเย็นให้เหมาะสมกับโหลดความเย็น (VAV) และระบบปรับความเร็วรอบที่พัดลม AHU

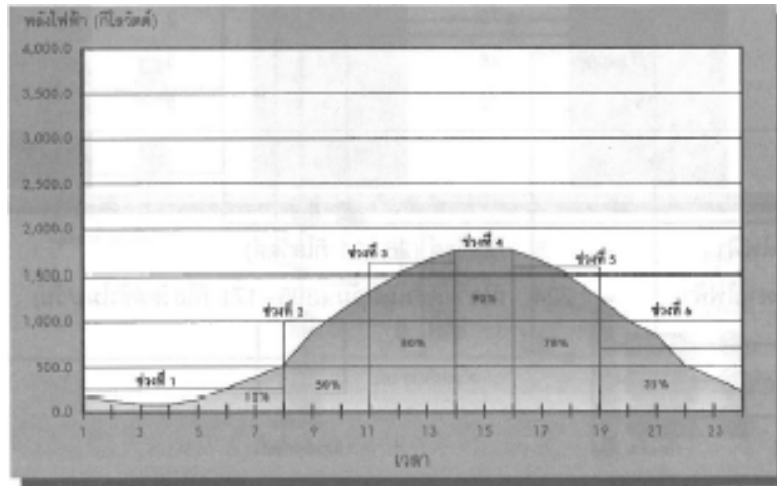
สภาพเดิม

ระบบปรับอากาศเดิมของอาคารถูกจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรคงที่ (Constant Air Volume, CAV) จากเครื่องส่งลมเย็นมายังโซนต่างๆ เนื่องจากภาระของระบบปรับอากาศบริเวณที่เป็นบริเวณกรอบอาคาร (Perimeter Zone) และบริเวณที่เป็นพื้นที่ภายใน (Core Zone) ก่อนข้างได้รับผลกระทบแตกต่างกันมาก เนื่องจากบริเวณกรอบอาคาร (Perimeter Zone) จะเป็นบริเวณที่มีส่วนของ Curtain wall เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเครื่องส่งลมเย็น (AHU) เดิมจะได้รับผลกระทบอันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่แตกต่างของ 2 โซนดังกล่าว นั่นคือ ถ้าบริเวณริมกระจกอุณหภูมิพอเหมาะ แต่ในขณะเดียวกันอุณหภูมิจากบริเวณภายในถัดมาจะหนาวเย็นเกินไป

สำหรับการประหยัดพลังงานในระบบจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรคงที่ (Constant Air Volume, CAV) เทียบกับระบบจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume, VAV) อาจประหยัดหรือไม่ประหยัดขึ้นอยู่กับโหลดและการพื้นที่ แต่ที่สำคัญคือการควบคุมอุณหภูมิในที่ต่างๆจะดีขึ้น

ดังนั้นกรณีศึกษานี้จะเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรแปรเปลี่ยน (Variable Air Volume, VAV) ที่ควบคุมปริมาณลมด้วย Guide Vane และตัวปรับความเร็วรอบ (VSD) เพื่อให้เห็นการประหยัดพลังงานที่ชัดเจนดังนี้

จากภาระการทำความเย็นในแต่ละชั่วโมงในหนึ่งวันดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์ของ Guide Vane ที่ทำงานได้แสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 7 ภาระทำความเย็นของอาคารแห่งหนึ่งเป็นระบบ VAV
ใช้ Guide Vane ในการควบคุมปริมาณลม

ระบบ VAV (Guide Vane) เครื่องส่งลมเย็น 1 เครื่อง มอเตอร์ขนาด 30 กิโลวัตต์ ทำงาน 24 ชั่วโมง/วัน

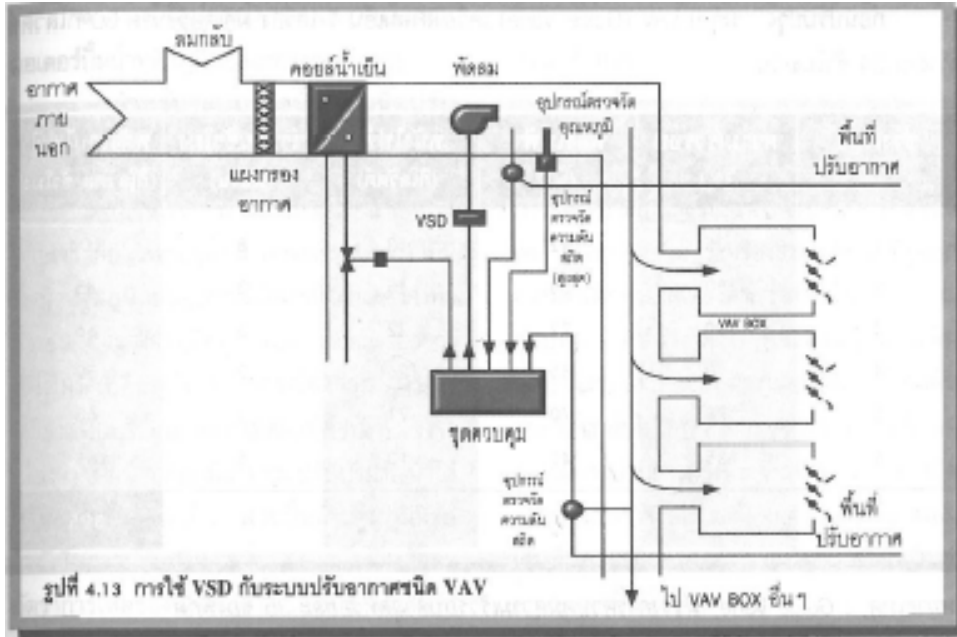
ช่วงเวลา	ความเร็วรอบ (%)	พลังไฟฟ้า (%)	พลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	จำนวน ชั่วโมง (ต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ ชั่วโมง)
1	35	42	13	8	104
2	50	50	15	3	45
3	80	72	22	3	66
4	90	85	<u>26</u>	2	52
5	78	70	21	3	63
6	35	42	13	5	65
					395

หมายเหตุ : Guide Vane มีช่วงการควบคุมความเร็วรอบต่ำสุดที่ร้อยละ 35 ของพิกัด

ตารางที่ 1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้และเปอร์เซ็นต์ของ Guide Vane

ข้อเสนอแนะปรับปรุง

หากเปลี่ยนระบบควบคุมปริมาณลมจาก Guide Vane มาเป็นระบบปรับความเร็วรอบ (VSD) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้านลดลงดังแสดงไว้ในตารางที่ 2



รูปที่ 8 การใช้ VSD กับระบบปรับอากาศชนิด VAV

ระบบ VAV (VSD)

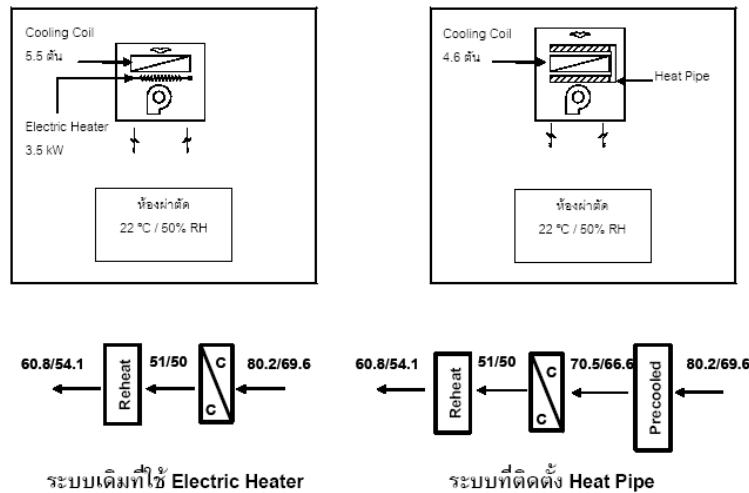
ช่วงเวลา	ความเร็วรอบ (%)	พลังไฟฟ้า (%)	พลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)	จำนวน ชั่วโมง (ต่อวัน)	พลังงาน ไฟฟ้า (กิโลวัตต์/ ชั่วโมง)
1	12	5	1.5	8	12
2	50	18	5	3	15
3	80	50	15	3	45
4	90	70	<u>21</u>	2	42
5	78	48	14	3	42
6	35	10	3	5	15
					171

ตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้และเปอร์เซ็นต์ของ VSD

ประหยัดพลังไฟฟ้า = 5 กิโลวัตต์ (26-21กิโลวัตต์)
 ประหยัดพลังงานไฟฟ้า = 224 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน (395-171 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน)

กรณีศึกษาที่ 2

จากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งในต่างประเทศและกรณีศึกษาในประเทศไทย การลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถลดการใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นของอากาศที่เติมเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ได้ประมาณ 30%-50% เมื่อเทียบกับระบบลดความชื้นเดิมที่ทำให้อากาศเย็นลงกว่าปกติ (Overcool) และใช้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในภายหลัง (Reheat) ทั้งนี้ศักยภาพการประหยัดพลังงานสามารถแสดงให้เห็นได้ดังกรณีตัวอย่างการติดตั้งระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์กับระบบปรับอากาศของโรงพยาบาล เพื่อต้องการควบคุมสภาวะอากาศในพื้นที่ห้องผ่าตัดให้อยู่ที่ 22 °C 50% RH โดยระบบลดความชื้นด้วยฮีทไปป์สามารถให้ผลประหยัดเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้การทำความเย็นและการใช้ขดลวดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 3.5 kW ดังนี้



	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

REHEAT	ขนาดทำความเย็น(Btu/h)	66,511 (5.5 Ton)	54,704 (4.6 Ton)
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้(kW)	6.6	5.5
	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. กรณีศึกษา

หมวดที่ 2: ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning)

: ระบบการส่งจ่ายลมเย็นของระบบปรับอากาศ (Ventilation)

กรณีศึกษา เรื่องการใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์กับเครื่องสูบน้ำ

ข้อมูลบริษัท ศูนย์การค้าฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต

สถานที่ตั้ง 161 หมู่ 2 ถ.พหลโยธิน(วิภาวดี-รังสิต) ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

รูปแบบธุรกิจ ศูนย์การค้า

ชื่อผู้ติดต่อ คุณบุญฤทธิ์ รักเกตุกิจ ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายอาคารและสถานที่

เทคโนโลยีที่ติดตั้ง อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ

เงินลงทุน 405, 805 บาท (สำหรับมอเตอร์ขนาด 112.5 กิโลวัตต์ 1 ชุด)

ผลการประหยัดพลังงาน

พลังงานที่ประหยัดได้ 63, 646 kWh/ปี

คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ 129,201 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน 3.14 ปี

ความเป็นมา อาคารศูนย์การค้าฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมดประมาณ 52% ของการใช้พลังงานทั้งหมดภายในศูนย์ ระบบปรับอากาศเป็นระบบรวมศูนย์โดยทำน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นและส่งน้ำเย็นไปยังส่วนต่างๆภายในอาคารด้วยเครื่องสูบน้ำเย็นในระบบ PRIMARY/SECONDARY PUMP ซึ่งประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำเย็น SECONDARY ขนาดพิกัด 75 กิโลวัตต์จำนวน 4 เครื่อง และ 112.5 กิโลวัตต์ จำนวน 4 เครื่อง ดังนั้น ทางอาคารจึงได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เข้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อปรับอัตราการไหลของน้ำเย็นให้เหมาะสมกับภาระ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำเย็นได้ประมาณ 12%



การดำเนินการ อาคารได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เข้ากับเครื่องสูบน้ำเย็น SECONDARY ของระบบปรับอากาศ จำนวน 6 ชุด (ขนาดพิกัด 75 กิโลวัตต์ 3 ชุด และ 112.5 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุด)



รูป VSD สำหรับเครื่องสูบน้ำที่ได้ติดตั้งแล้วเสร็จ

การประเมินผล ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเย็นขนาด 112.5 กิโลวัตต์ จำนวน 1 เครื่อง ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์แสดงได้ดังนี้

- กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใช้งานก่อนติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
= 103 กิโลวัตต์
- กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใช้งานหลังติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ
= 89.24 กิโลวัตต์

บทสรุปและข้อจำกัดในการดำเนินการ การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์กับเครื่องสูบน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ เมื่อลดรอบการทำงานลงจะทำให้ความดันของระบบลดลงด้วย ดังนั้นจะต้องคำนึงถึงความดันที่ระบบต้องการต้องการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาอัตราการไหลต่ำเกินไป ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศที่อยู่ห่างจากเครื่องสูบน้ำเย็นมากๆ ไม่มีน้ำเย็นไปถึงได้ ถึงแม้ว่าอัตราการไหลรวมยังคงเกินความต้องการของระบบอยู่ก็ตามซึ่งส่งผลให้ผลรวมการประหยัดพลังงานลดต่ำลง นอกจากนี้การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบกับเครื่องสูบน้ำที่มีภาระโหลดสูงสุดหรือใกล้เคียงกับค่าพิกัดตลอดเวลาแล้วจะไม่ทำให้เกิดผลประหยัดได้

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- [1] คู่มือการจัดการพลังงานแบบครบวงจร; วัชระ มั่งวิฑิตกุล
- [2] ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก “โครงการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจ”; กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
- [3] Heat Pipe Technology; <http://www.heatpipe.com/>
- [4] รายละเอียดทางเทคนิคของ VAV ; <http://www.taylor-engineering.com/downloads/articles/HPAC%20article%20on%20Specifying%20VAV%20Boxes.pdf>