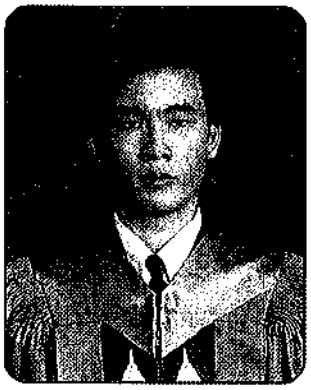
มาตรการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับอาคารพาณิชย์ (Energy Saving Measures for Commercial Buildings)



จตุพล ปัทม์วิชัยพร
วศ.บ. (เครื่องกล), วศ.ม. (เครื่องกล)
ผู้เชี่ยวชาญด้านการอนุรักษ์พลังงาน

บทนำ (Introduction)

พลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้สำหรับการทำงานของระบบภายในอาคาร ดังเช่น ระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบลิฟต์ โดยที่พลังงานยังเป็นหัวใจสำคัญของความปลอดภัยและความสบายของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร ระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศ (Air-conditioning and Mechanical Ventilation or ACMV) มีการใช้พลังงานมากกว่าครึ่งหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารพาณิชย์ ส่วนระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการใช้พลังงานประมาณ 20% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

พบว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ในอาคารพาณิชย์ถูกใช้โดยระบบ ACMV นัยสำคัญของการประหยัดพลังงานสามารถได้รับจากการออกแบบและการทำงานของระบบอย่างเหมาะสม (optimizing design and operation of system) และจะเป็นสิ่งที่ถูกอธิบายอย่างละเอียดในบทความนี้

กรอบอาคาร (Building Envelope)

ภาระการทำความเย็นสำหรับพื้นที่ภายในอาคาร ประกอบขึ้นจากภาระความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง (Sensible and latent loads) ที่เป็นผลลัพธ์จากความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อน (conduction) การแทรกซึม (infiltration) การระบายอากาศ (ventilation) การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ (solar radiation) และความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นภายใน (internal heat generation) โดยทั้งหมดสามารถถูกทำให้ลดลงได้โดยการลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างอาคารและสิ่งแวดล้อมภายนอก และโดยการควบคุมความร้อนจากแสงอาทิตย์และที่ถูกสร้างขึ้นภายในอาคาร

ภาระการทำความเย็นของอาคารสามารถถูกทำให้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญได้ โดยการทำให้มั่นใจว่าทิศทางการวางของตัวอาคารมีพื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกและตะวันตกน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม โดยปกติทิศทางการวางตัวของอาคารและรูปทรงของอาคารถูกบังคับโดยพื้นที่ที่มีอยู่สำหรับการก่อสร้าง และเพราะฉะนั้น จึงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากเหตุนี้ ผู้ออกแบบอาคารควรมุ่งหมายให้ได้รับการลดลงของภาระการทำความเย็นของอาคารโดยความหมายอื่น ดังเช่น โดยการเลือกวัสดุสร้างกรอบอาคาร พบว่า การเปลี่ยนวัสดุของกรอบอาคารเป็นไปไม่ได้ภายหลังการก่อสร้างอาคารแล้วเสร็จ (ยกเว้นในระหว่างการปรับปรุงใหญ่ของกรอบอาคาร) คุณลักษณะทางความร้อนของวัสดุส่วนประกอบของกรอบอาคาร ควรได้รับความเอาใจใส่พิจารณาในขณะที่อยู่ในขั้นตอนของการออกแบบอาคาร

ผนังและหลังคา (Wall and Roof)

การนำความร้อนผ่านผนังและหลังคา ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานเชิงความร้อน (Thermal resistance) ของวัสดุผนังและหลังคา และการเคลื่อนที่ของความร้อนสามารถลดลงได้โดยการเพิ่มค่าความต้านทานเชิงความร้อน เช่นเดียวกันวัสดุผิวเรียบและมีพื้นผิวสีสว่างจะสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าผิวขรุขระและสีเข้ม คุณสมบัติเช่นนี้ ควรเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณา เมื่อมีการเลือกใช้งานวัสดุสำหรับทำผนังและหลังคา

หน้าต่าง (Windows)

กระจกทำให้เกิดการนำมาซึ่งการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นที่ปรับอากาศกับบริเวณภายนอกอาคาร (หนึ่งตารางฟุตของกระจกสามารถส่งผ่านความร้อนได้มากเท่ากับสิบถึงสิบสองตารางฟุตของผนัง) พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์มีอิทธิพลมากที่สุดกับภาระการทำความเย็นโดยมากกว่าการนำความร้อนและการแผ่รังสีของคลื่นยาว (Long-wave radiation) ในสภาพอากาศร้อน มาตรการอนุรักษ์พลังงานส่วนใหญ่สำหรับกระจก คือ การมุ่งไปที่การลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ ส่วนที่เหมือนกันที่ถูกใช้กับมาตรการสำหรับการลดการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้เหลือน้อยที่สุด คือ การลดพื้นที่ผิวของหน้าต่าง การใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิการบังแดด (shading coefficient) ต่ำ และการใช้อุปกรณ์การบังแดดที่หลากหลาย

จากการวิจัย [1] ที่แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนหน้าต่างต่อผนัง (Windows to Wall Ratio: WWR) ขึ้น 10% ผลลัพธ์ที่ได้คือ การเพิ่มขึ้นของพลังงานการทำความเย็น 1.5% และการใช้พลังงานทั้งหมด 0.8% ตามลำดับ สำหรับอาคารทั่วไปในประเทศไทย ทำนองเดียวกันการเพิ่มสัมประสิทธิการบังแดดขึ้น 10% ผลลัพธ์ที่ได้คือ การเพิ่มขึ้นของการทำความเย็น 2.3% และการใช้พลังงานทั้งหมด 1.2% ตามลำดับ

อุปกรณ์บังแดดภายนอก (Exterior shading device) เช่น ส่วนที่ยื่นต่อออกมา (overhang) ส่วนที่ยื่นต่อออกมาบังในแนวระดับและแนวดิ่ง สามารถถูกนำมาใช้ขวางกั้นการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้โดยตรง ก่อนที่มันจะมาถึงกระจก อุปกรณ์บังแดดดังที่กล่าวมานี้สามารถลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ถึง 80%

อุปกรณ์บังแดดภายใน (Interior shading device) เช่น ม่านและแผงกั้นทึบ สามารถถูกนำมาใช้ได้ แต่ให้ประสิทธิภาพน้อยในการลดความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยกว่าอุปกรณ์บังแดดภายนอก (external shading device) พบว่า การแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์จะเข้ามาสู่บริเวณปรับอากาศก่อน และจากนั้นจึงจะถูกสะท้อนกลับไปผ่านกระจกก่อนที่จะถูกดูดกลืน (absorb) โดยบริเวณปรับอากาศ

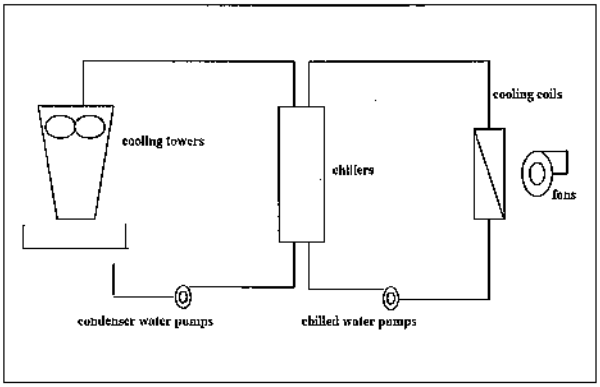
ต่อไปข้างหน้า การใช้สีอ่อนหรือฟิล์มสะท้อนแสงและกระจกควบคุมปริมาณแสงอาทิตย์ สามารถถูกนำมาใช้ในการลดปริมาณของการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่ถูกส่งผ่านเข้ามา แต่กฎระเบียบข้อบังคับสำหรับข้อจำกัดของการสะท้อนแสงสูงสุดของกรอบอาคารเป็นสิ่งที่จะต้องถูกพิจาณาก่อน

การแทรกซึม (Infiltration)

รอยต่อโครงสร้างอาคารและช่องอากาศ เป็นทางส่วนใหญ่ที่อากาศจำนวนน้อยรั่วไหลและแทรกซึมผ่านเข้าสู่โครงสร้างภายในของอาคาร สำหรับอาคารที่มีการเข้าออกของผู้อยู่อาศัยภายในอาคารอย่างต่อเนื่องและมากผ่านประตูทางเข้า การแทรกซึมสามารถถูกลดลงได้โดยการติดตั้งประตูหมุนหรือม่านอากาศ (Air curtain)

การออกแบบและการทำงานของระบบอย่างเหมาะสม (Optimizing System Design and Operations)

อาคารพาณิชย์ส่วนมากใช้ระบบทำความเย็นแบบรวมศูนย์ (Central cooling system) ที่ประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็น (chiller) เครื่องสูบน้ำ (pump) หอผึ่งน้ำ (cooling tower) และหน่วยเครื่องส่งลมเย็น (air-handling unit) ดังที่แสดงในรูปที่ 1 ในระบบนี้น้ำเย็นถูกผลิตขึ้นในเครื่องระเหย (evaporator) ของเครื่องทำน้ำเย็น 1 ตัวหรือมากกว่า 1 ตัว และถูกสูบไปยังหน่วยปลายทาง เช่น AHUs และ FCUs



รูปที่ 1 แผนภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

สำหรับทำความเย็นที่พื้นที่ปรับอากาศ ความร้อนจากเครื่องควบแน่น (condenser) สามารถถูกคายออกไปสู่อากาศแวดล้อมโดยตรง (เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ) หรือถูกคายออกไปสู่น้ำหล่อเย็น (เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ) ซึ่งไหลเวียนผ่านหอผึ่งน้ำ

ระบบทำน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ใช้พลังงานราว 50% ถึง 60% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในอาคารพาณิชย์ เพราะฉะนั้นมันจึงแสดงถึงศักยภาพของการประหยัดพลังงานที่มากที่สุด แม้ว่าเครื่องทำน้ำเย็นเป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุดของระบบนี้ มันจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้ระบบทำน้ำเย็นแบบรวมศูนย์ทำงานอย่างเหมาะสมที่ประสิทธิภาพดี โดยการพิจารณาเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็นเพียงอย่างเดียว เพราะฉะนั้นมันจำเป็นที่เราจะต้องพิจารณาในภาพรวมของระบบทั้งหมด (รวมด้วยเครื่องสูบน้ำและหอผึ่งน้ำ) ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบ (system efficiency) สามารถถูกทำให้เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การลดการใช้พลังงาน

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

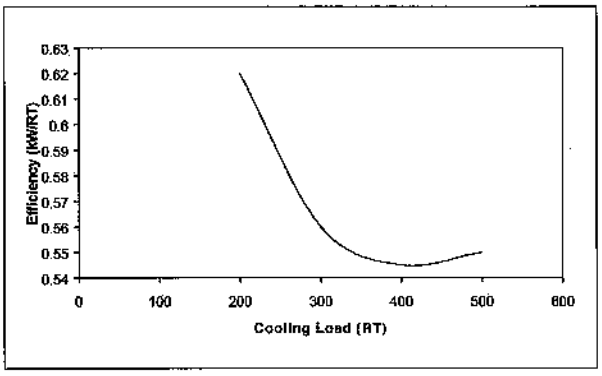
ประสิทธิภาพและราคา (Efficiency vs. Cost)

ปกติเครื่องทำน้ำเย็นคือส่วนที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดในอาคารพาณิชย์ เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น เป็นสิ่งที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร จากงานวิจัย [1] ที่แสดงให้เห็นว่า 10% ที่เพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นนำไปสู่การลดลงถึง 3-4% ของการใช้พลังงานทั้งหมดของอาคาร และการลดลงถึง 7-8% ของพลังงานที่ในการทำความเย็น

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นรุ่นใหม่มีการปรับปรุงมากกว่าเมื่อ 10 ปีที่ผ่านมา และทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพสูงถึง 0.55-0.50 kW/RT (เฉพาะรุ่น) ซึ่งสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบัน ถึงแม้ว่าเครื่องทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีราคาที่สูงมากด้วย แต่พบว่าค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะมีค่าสูงกว่าราคาของเครื่องทำน้ำเย็นประมาณ 10 ถึง 15 เท่า ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนี้จะได้รับคืนภายในระยะเวลา 2 ถึง 3 ปี จากผลการศึกษา [2] แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาคืนทุนสำหรับเงินลงทุนที่เพิ่มมากขึ้นที่จ่ายไปเพื่อประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่สูงขึ้น (0.50 kW/RT แทนที่ 0.65 kW/RT) อยู่ที่ประมาณ 3 ถึง 4 ปี สำหรับการติดตั้งใช้งานในอาคารประเภทโรงแรม

ขนาดและโครงสร้าง (Sizing and configuration)

ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะขึ้นอยู่กับภาระในการทำงานของเครื่องและลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง ภาระของเครื่องทำน้ำเย็นกับประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังที่เราได้เห็นจากรูปภาพ ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นจะสูง



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นและภาระการทำความเย็น

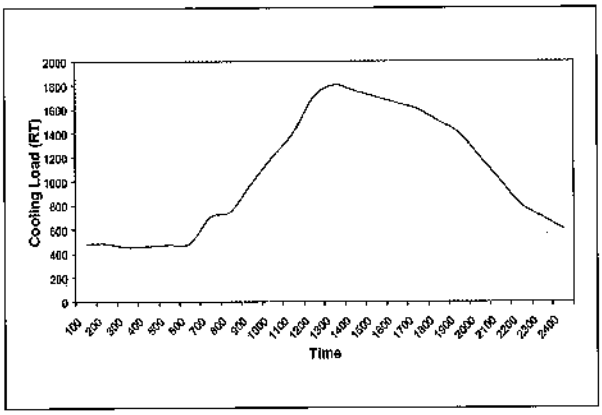
เมื่อเครื่องทำน้ำเย็นทำงานในช่วง 60% ถึง 100% ของภาระพิกัด (full load capacity) ส่วนประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจะอยู่ในการทำงานที่ 80% ของภาระพิกัด (เครื่องทำน้ำเย็นบางเครื่องทำงานที่ดีสุดที่ภาระ 100%)

โดยปกติเครื่องทำน้ำเย็นจะมีขนาดที่ใหญ่เกินไปสำหรับการติดตั้งใช้งานในอาคารใหม่ เนื่องจากการที่ไม่มีเครื่องมือสำหรับการหาค่าของภาระความร้อนได้อย่างแม่นยำ ทำให้มีการใช้ค่าตัวประกอบความปลอดภัย

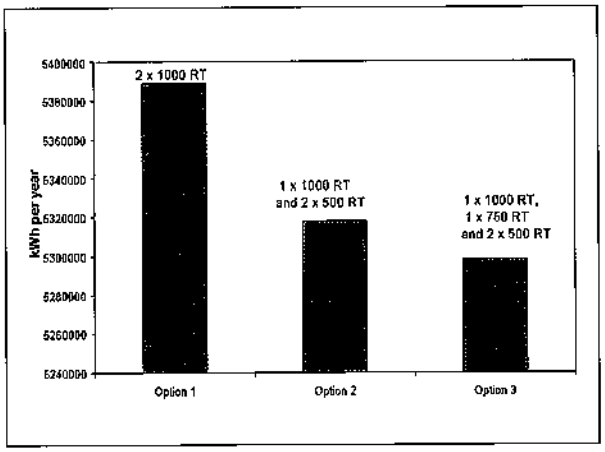
(Factor of safety) ที่สูงในการออกแบบขนาดที่ใหญ่เกินไปนี้ยังเกิดขึ้นซ้ำอีกเมื่อมีการปรับปรุงระบบ พบว่าการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นบ่อยครั้งเป็นการเปลี่ยนแบบใช้เครื่องใหม่ที่มีขนาดเท่าเดิม ปกติขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นจะเท่ากับภาระสูงสุดของอาคาร โดยปราศจากการพิจารณาที่รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของภาระ (load profile) พบว่าภาระความเย็นของอาคารเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา สิ่งนี้เป็นผลลัพธ์ที่ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีการทำงานที่ภาระบางส่วน (part load) เป็นช่วงเวลานานในหนึ่งวัน มากกว่าการทำงานที่ภาระสูงสุด จึงเป็นการสูญเสียพลังงานอย่างมาก

เพราะฉะนั้น ขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับอาคารใหม่ ควรที่จะถูกกำหนดขึ้นจากการใช้เครื่องมือที่สามารถประมาณค่าภาระความเย็นของอาคารได้อย่างแม่นยำมาก ส่วนการตรวจวัดลักษณะรูปแบบของภาระความเย็น (Cooling load profile) ควรจะถูกนำมาใช้เมื่อมีการยกเครื่องระบบทั้งหมดของอาคารที่มีอยู่แล้ว เครื่องทำน้ำเย็นควรจะมีขนาดที่เหมาะสมกับภาระความเย็นสูงสุดและลักษณะรูปแบบของภาระความเย็น ถ้าเครื่องทำน้ำเย็นสามารถเลือกให้มีขนาดที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบของภาระความเย็น การทำงานร่วมกันของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะรูปแบบของภาระความเย็นของอาคารในระหว่างวัน สิ่งนี้จะทำให้มั่นใจได้ว่าเครื่องทำน้ำเย็นสามารถทำงานอยู่ภายในช่วงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ตลอดเวลา

ค่าพลังงานรายปีของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น 3 เครื่องที่ขนาดทำความเย็นรวมกันสอดคล้องกับลักษณะรูปแบบภาระความเย็นของอาคาร (รูปที่ 3) แสดงในรูปที่ 4 จากรูปที่ 4 แสดงว่ามีการใช้พลังงานสูงสำหรับการเลือกใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ จำนวน 2 เครื่องที่มีภาระพิกัดรวม 1,000 ตันความเย็น (RT) ซึ่งสามารถรองรับภาระความเย็นสูงสุดได้ แต่เวลาส่วนมากทำงานที่ภาระบางส่วน (part load) ที่ประสิทธิภาพต่ำ การใช้พลังงานสำหรับทางเลือกอื่นอีกสองทางเลือก โดยการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดที่แตกต่างกันและเล็กกว่าทำงานร่วมกัน เนื่องจากมีความเหมาะสมมากกว่าของขนาดพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีอยู่กับภาระความเย็นของอาคาร



รูปที่ 3 รูปแบบลักษณะของภาระความเย็นของอาคาร



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายปีด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้งสามรูปแบบวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอมาตรฐาน

การรวมเข้าด้วยกันของโรงเครื่องทำน้ำเย็น (Consolidation of chiller plant)

อาคารที่มีการใช้งานเครื่องทำความเย็นแบบขยายตัวโดยตรง (Direct Expansion: DX) เช่น เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (air split type unit) เครื่องปรับอากาศแบบชุด (air package unit) หรือเครื่องทำน้ำเย็นขนาดเล็ก ที่ใช้งานกับพื้นที่เฉพาะบางพื้นที่ของอาคาร ควรที่ถูกจะรวบรวมเข้าด้วยกันกับโรงเครื่องทำน้ำเย็นส่วนกลาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในทำนองเดียวกัน อาคารหลังเดียวหรืออาคารที่มีหลายหลัง ซึ่งอาจมีโรงเครื่องทำน้ำเย็นมากกว่าหนึ่งโรง การรวบรวมเข้าด้วยกันของโรงเครื่องทำน้ำเย็นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและช่วยลดความต้องการอุปกรณ์สำรอง (เงินลงทุนเริ่มต้นต่ำ)

การรวมเข้าด้วยกันของโรงเครื่องทำน้ำเย็นยังทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน เนื่องจากจำนวนของอุปกรณ์ที่มีการใช้งานน้อยลง ทำให้ความต้องการของการซ่อมบำรุงรักษา รวมทั้งอะไหล่มาตรฐานน้อยลงด้วย

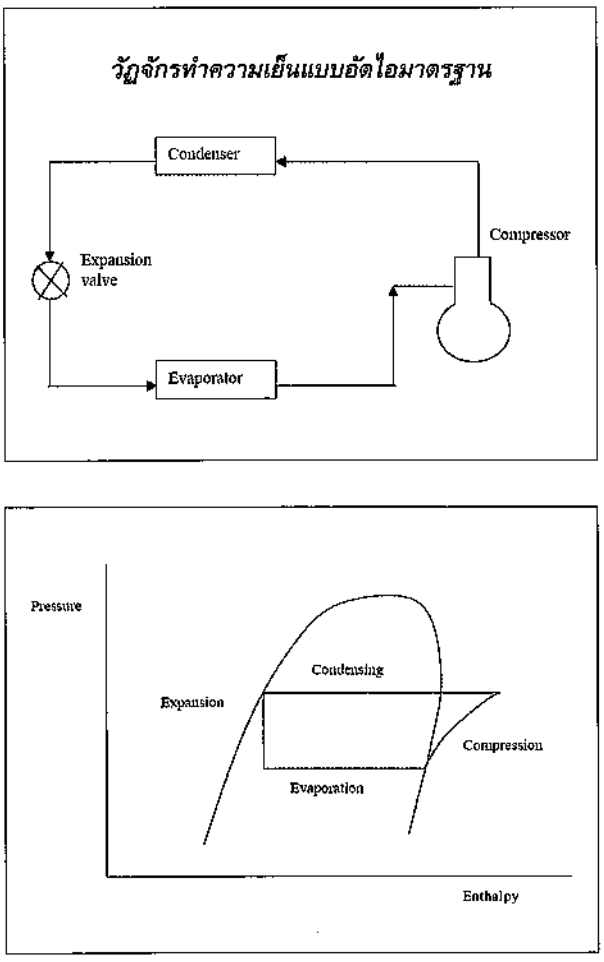
การจัดลำดับการเดินเครื่องทำน้ำเย็น (Sequencing)

วัตถุประสงค์ของการจัดลำดับการเดินเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อต้องการให้การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่เกิดจากการทำงานร่วมกันมีประสิทธิภาพดีที่สุดตามภาระโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของอาคาร โปรแกรมจัดลำดับการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะเริ่มทำงานโดยเพิ่มเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อภาระความเย็นของอาคารสูงเกินกว่าพิกัดภาระของเครื่องทำน้ำเย็นที่กำลังทำงานอยู่ รวมทั้งหยุดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อเครื่องทำน้ำเย็นที่กำลังทำงานอยู่สามารถรองรับภาระความเย็นที่เกิดขึ้นของอาคาร

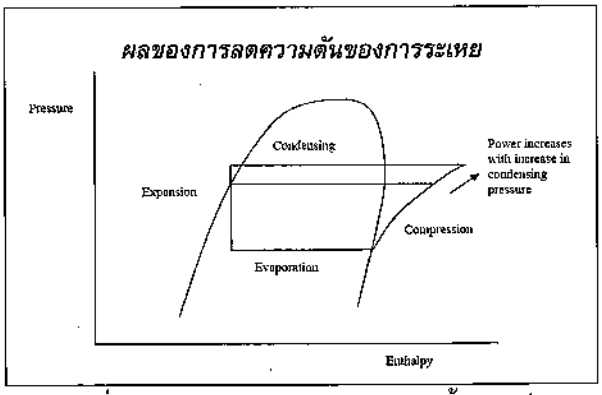
ถ้าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นถูกทำให้เหมาะสมโดยพิจารณาเฉพาะค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นเท่านั้น จุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพิ่มหรือลดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น อาจจะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องทำน้ำเย็นไม่ได้ทำงานที่ภาระเต็มพิกัด เนื่องจาก ประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นโดยปกติจะเกิดขึ้นเมื่อทำงานที่ภาระบางส่วน (part-load) (รูปที่ 2) อย่างไรก็ตาม การทำงานที่เหมาะสมควรที่จะดำเนินไปบนการพิจารณาที่การใช้พลังงานทั้งหมดของระบบ (เครื่องทำน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำ) ดังนั้น สำหรับระบบปรับอากาศที่เครื่องทำน้ำเย็นมีการทำงานร่วมกับเครื่องสูบน้ำ การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นควรจะทำงานจนเต็มภาระพิกัดก่อนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเสริม อย่างไรก็ตาม สำหรับระบบที่ไม่ได้มีการทำงานร่วมกับเครื่องสูบน้ำโดยตรง (เครื่องสูบน้ำปฐมภูมิความเร็วผันแปร, เครื่องสูบน้ำปฐมภูมิหลายตัวบนท่อร่วม) สภาวะของภาระที่ดีที่สุดสำหรับนำไปสู่การทำงานและหยุดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นอาจจะไม่เกิดขึ้นที่ภาระเต็มพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น ในกรณีนี้จุดที่สลับการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ดีที่สุดจะขึ้นอยู่กับการรวมกันของเครื่องทำน้ำเย็นและกำลังในการสูบ พบว่า ลักษณะของกำลังที่ใช้ในการสูบจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทำงานอยู่ อย่างไรก็ตาม เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนของขั้นตอนการจัดลำดับการทำงาน มันเป็นไปได้ในการประมาณจุดสลับเปลี่ยนที่ดีที่สุด มาจากข้อมูลภาระบางส่วนของเครื่องทำน้ำเย็น

ปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น (Reset of Chilled Water and Condenser Water Temperature)

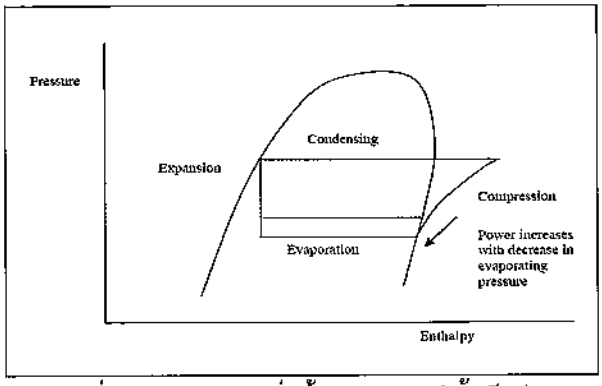
ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำเย็นจ่ายเพิ่มขึ้นและ/หรือ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลดลง พบว่าคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นมีการทำงานที่ค่าความดันแตกต่างน้อยลง (รูปที่ 5) โดยทั่วไปสามารถประมาณได้ว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นให้เพิ่มขึ้นได้ 1% ถึง 2% โดยการเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็น หรือการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลง 1 ^{o}F โดยขึ้นอยู่กับภาระของอาคาร (รูปที่ 6 และ 7)



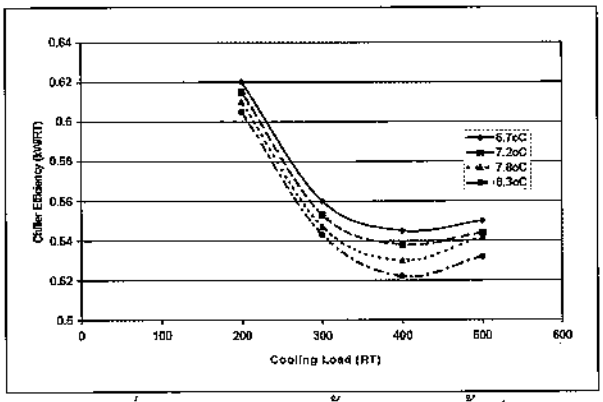
รูปที่ 5 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอและแผนภาพ P-h ผลของการเพิ่มความดันของการควบแน่น



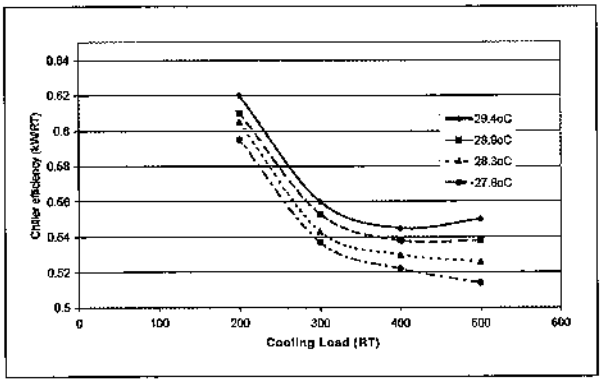
รูปที่ 5a ผลของการลดลงของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ผลของการลดความดันของการระเหย



รูปที่ 5b ผลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย

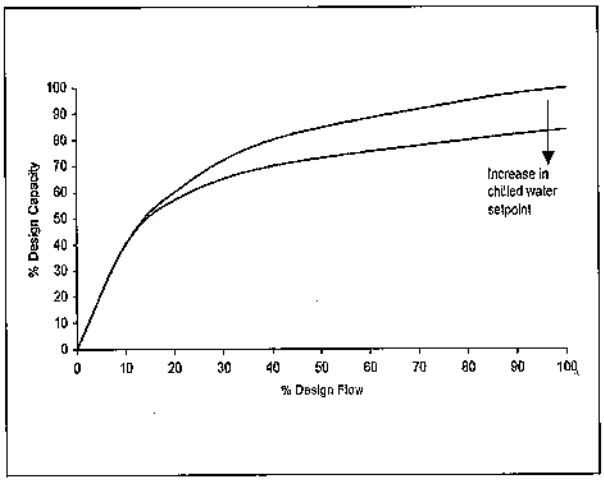


รูปที่ 6 ผลของการปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำเย็นจ่ายกับประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 7 ผลของการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจ่ายกับประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น

อุณหภูมิน้ำเย็นสามารถปรับให้สูงขึ้นได้โดยขึ้นอยู่กับภาระความเย็นหรืออุณหภูมิอากาศภายนอก อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิของน้ำเย็นจ่ายมีค่าสูงขึ้น ปริมาณไหลของน้ำเย็นจะต้องเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับภาระความเย็นเดิม เนื่องจากลักษณะการทำงานของคอยล์เย็น (Cooling coil) ดังที่แสดงในรูปที่ 8 เพราะฉะนั้น เมื่อการทำงานอย่างเหมาะสมของการประหยัดจากการปรับค่าอุณหภูมิน้ำเย็นควรจะต้องพิจารณาทั้งกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นและของเครื่องสูบน้ำ

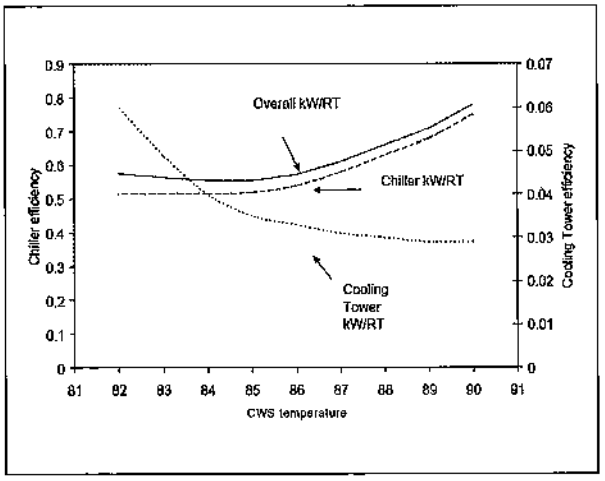


รูปที่ 8 คุณลักษณะสมบัติโดยทั่วไปของคอยล์ทำความเย็น

ความร้อนแฝงที่ถูกถ่ายเทให้กับคอยล์เย็น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย เพราะฉะนั้น การเพิ่มค่าอุณหภูมิของน้ำเย็นจ่ายจะนำไปสู่การเกิดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ที่สูงขึ้นในบริเวณพื้นที่ปรับอากาศ

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่จ่ายให้กับเครื่องทำน้ำเย็นลดลง ขึ้นกับการลดลงของอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Web bulb temperature) หรือการเพิ่มขึ้นของพิกัดของหอผึ่งน้ำ จากการบันทึกข้อมูลสภาพอากาศที่ได้รับผ่านมาในประเทศพบว่า [3] อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าค่าออกแบบของอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ 26.7°C สำหรับช่วงเวลาส่วนใหญ่ของปี (มกราคมถึงมีนาคม และกันยายนถึงธันวาคม) เพราะฉะนั้น การปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้ต่ำในช่วงเวลาดังกล่าวจะส่งผลให้เครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพ

ที่สูงขึ้น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสามารถทำให้ลดลงได้เช่นกันโดยการเพิ่มพิกัดการทำความเย็นของหอผึ่งน้ำ (cooling tower capacity) แต่มันจะนำไปสู่การใช้กำลังที่เพิ่มขึ้น ดังที่แสดงในรูปที่ 9 เมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นป้อนสู่เครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานของพัดลมหอผึ่งน้ำจะลดลง ขณะที่การใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นจะเพิ่มขึ้น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ป้อนสู่เครื่องทำน้ำเย็นควรถูกกำหนดให้มีค่าที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การใช้พลังงานทั้งหมดของทั้งเครื่องทำน้ำเย็นและหอผึ่งน้ำ โดยข้อมูลที่ได้รับสำหรับค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (chiller kW) และกำลังไฟฟ้าของหอผึ่งน้ำ (cooling tower kW) ที่ค่าของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นป้อนสู่เครื่องทำน้ำเย็นที่แตกต่างกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลของการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นจ่ายกับประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นและหอผึ่งน้ำ

การทำความสะอาดท่อ (Cleaning of Tubes)

เครื่องระเหยและท่อคอนเดนเซอร์ (Condenser tube) ของเครื่องทำน้ำเย็น เป็นส่วนที่มีพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน ระหว่างสารทำความเย็นและน้ำเย็น/น้ำหล่อเย็น เมื่อพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนเกิดสิ่งสกปรกเนื่องจากคราบตะกรันและสนิม ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ต้องใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงขึ้นในการถ่ายเทความร้อน ทำให้อุณหภูมิของการควบแน่นเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นต่ำลง

ท่อคอนเดนเซอร์จะเกิดความสกปรกขึ้นตามแนวยาวของท่อ พบว่าน้ำไหลเวียนถูกเปิดออกสู่อากาศภายนอก (ที่หอผึ่งน้ำ) เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ การวิจัยแสดงให้เห็นว่า 0.6 มิลลิเมตรของตะกรันจะเพิ่มการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดไอ (compressor) ถึง 20%

ระบบทำความสะอาดท่อแบบอัตโนมัติ (Automatic tube cleaning system) ที่ประกอบด้วยลูกบอลหรือแปรง ซึ่งทำความสะอาดท่อคอนเดนเซอร์ตามช่วงเวลาในระหว่างการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ถูกติดตั้งควรถูกนำมาพิจารณาสำหรับการรักษาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น

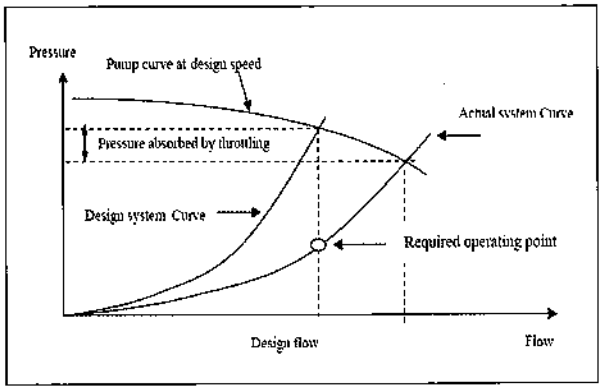
เครื่องสูบน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (Chilled Water and Condenser Water Pump)

ขนาดของเครื่องสูบ (Pump sizing)

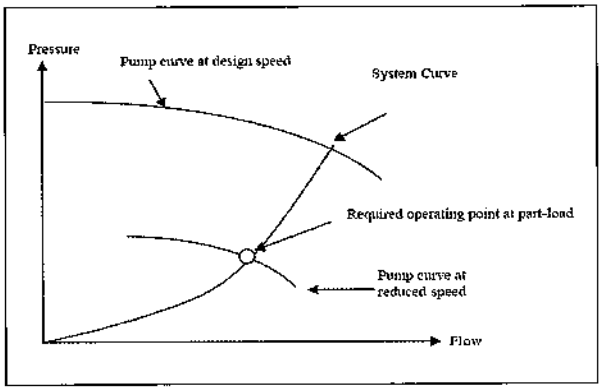
เครื่องสูบน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น ต้องมีขนาดที่สามารถสนองต่อการไหลค่าออกแบบที่ต้องการ พร้อมทั้งสามารถเอาชนะความต้านทานต่างๆ ในระบบ พบว่าความต้านทานบางส่วนของระบบเป็นปกติที่เราไม่ทราบ ความต้านทานสามารถประมาณค่าได้จากข้อมูลที่มีอยู่ เนื่องจากความไม่แน่นอนของค่าที่ประมาณได้ ตัวประกอบความปลอดภัยเป็นส่วนที่ถูกเพิ่มเข้ามาในการออกแบบ สิ่งนี้บ่อยครั้งมากที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ในขนาดของเครื่องสูบที่ใหญ่เกินไป ซึ่งจะนำไปสู่การสูบน้ำมากเกินไป หรือการใช้การหรี่วาล์ว (Throttling valve) เพื่อลดปริมาณการไหลให้เข้าสู่ค่าที่ถูกออกแบบ

พบว่า กำลังของการสูบมีความสัมพันธ์กับกำลังสามของการไหลที่ 10% ของการไหลที่สูงขึ้นจะเป็นผลทำให้มีการใช้พลังงานในการสูบเพิ่มขึ้นถึง 30% สำหรับกรณีของน้ำเย็น การสูบน้ำที่มากเกินไป (over-pumping) ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเย็นจ่าย เป็นผลทำให้เกิดการกำจัดความชื้นได้ต่ำลงที่หน่วยปลายทาง

ในกรณีดังกล่าว อัตราการไหลออกแบบสามารถได้รับโดยการเจียรลดขนาดของใบพัด หรือการลดความเร็วรอบของเครื่องสูบ (การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ) อย่างไรก็ตาม การลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดสามารถทำให้เกิดผลในการลดลงของประสิทธิภาพของ



รูปที่ 10 การใช้การหรี่วาล์วเพื่อนำไปสู่ค่าปริมาณการไหลออกแบบ



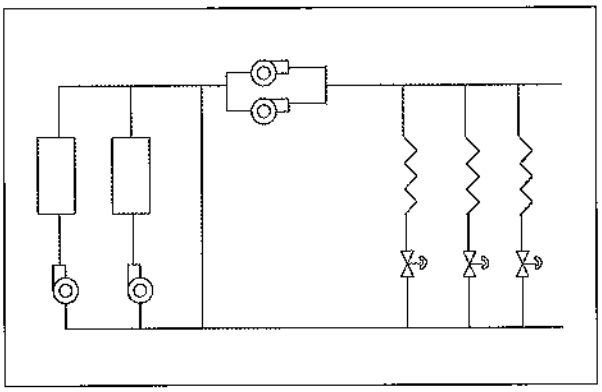
รูปที่ 11 การลดปริมาณการไหลของน้ำเย็นโดยการใช้ VSD

เครื่องสูบน้ำอย่างมาก ถ้าเปรียบเทียบกับการใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drive: VSD) สำหรับการลดความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำ

การไหลแบบผันแปร (Variable Flow)

เครื่องสูบแบบการไหลคงตัว (Constant speed pump) ที่มีขนาดที่เหมาะสมกับภาระออกแบบของเครื่องทำน้ำเย็น อาจจะมีขนาดใหญ่เกินไปที่ภาระบางส่วน ในระบบการไหลน้ำเย็นแบบผันแปรที่หน่วยปลายทางมีการใช้วาล์วควบคุมแบบสองทาง (modulating 2-ways valve) การลดลงของภาระความเย็นเป็นเหตุให้มีการปรับลดวาล์วให้ปิดลง ผลลัพธ์ที่ได้คือ การลดการไหลของน้ำเย็น ในระบบที่มีการใช้เครื่องสูบแบบการไหลคงตัว เหตุที่เกิดขึ้นนี้จุดทำงานของเครื่องสูบจะเคลื่อนไปตามเส้นสมรรถนะของเครื่องสูบ (pump performance curve) โดยการเพิ่มความดันของระบบ (รูปที่ 11) อย่างไรก็ตาม ถ้าเครื่องสูบน้ำมีการติดตั้งตัวอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSDs) ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำสามารถถูกปรับลดลง เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 11 เพื่อนำไปสู่การลดการใช้พลังงานของเครื่องสูบ (จากความสัมพันธ์กำลังสาม)

พบว่า เครื่องทำน้ำเย็นโดยปกติต้องการการไหลคงตัวของน้ำเย็นผ่านท่อเครื่องระเหย (Evaporator tube) มันเป็นไปได้ที่มีชุดของเครื่องสูบน้ำเย็นแบบปฐมภูมิแบบความเร็วรอบคงตัว ที่มีขนาดเพื่อสูบน้ำเย็นผ่านวงจรน้ำเย็นปฐมภูมิ และเครื่องสูบน้ำแบบทุติยภูมิที่สามารถผันแปรการไหลของน้ำเย็นในวงจรน้ำเย็นทุติยภูมิ ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 12 ระบบเครื่องสูบน้ำแบบปฐมภูมิ-ทุติยภูมิ

ของภาระความเย็นของอาคาร [4] ดังที่แสดงในรูปที่ 12 ในระบบนี้ ความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำสามารถผันแปรได้ตามความแตกต่างของความดัน (differential pressure) ในวงจรน้ำเย็นทุติยภูมิ (secondary circuit) แต่ระบบควบคุมควรทำให้มั่นใจว่า การไหลของน้ำเย็นทุติยภูมิต้องไม่มากเกินกว่าการไหลของน้ำเย็นปฐมภูมิ เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำเย็นกลับ และเข้ามาผสมกับน้ำเย็นจ่าย

การปรับปรุงเมื่อไม่นานมานี้ในส่วนของการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น มีการทำให้มันเป็นไปได้สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นในการทำงานร่วมกับการผันแปรของการไหลของน้ำเย็นผ่านท่อเครื่องระเหย [5] พบว่า การประหยัดพลังงานในการสูบขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังเช่น รูปแบบของภาระความเย็น, ความดันเฮดของอาคาร และลักษณะโครงสร้างของอาคาร การเลือกใช้งาน VSDs ควรติดตั้งกับเครื่องสูบน้ำปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ (เพื่อให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด)

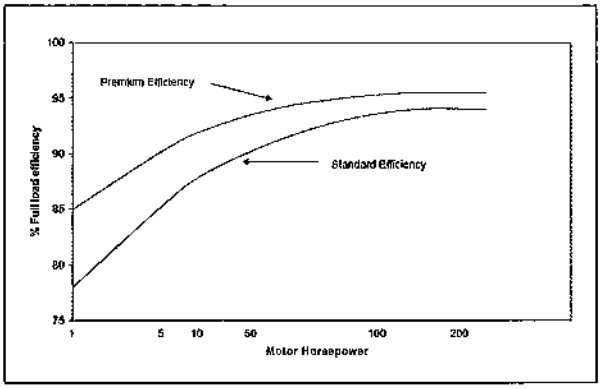
ขึ้นกับการติดตั้งจริง อย่างไรก็ตาม มันควรเป็นสิ่งที่พึงสังเกตว่า ถ้าการลดความเร็วรอบของเครื่องสูบไม่ควรลดลงมากกว่า 60% เพื่อให้มั่นใจว่ามีการหล่อลื่นเพียงพอของ pump seal รวมถึงการระบายความร้อนของมอเตอร์

การประหยัดพลังงานในวันข้างหน้าจากการสูบน้ำเย็น สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของความดันแตกต่าง Set-point ที่นำมาใช้ควบคุมการทำงานของ VSDs ให้มีความเร็วรอบเหมาะสมกับความต้องการในระบบ เช่น BAS (Building Automation System) หรือ EMS (Energy Management System) สามารถนำมาใช้ในการตรวจติดตามตำแหน่งของวาล์วควบคุม (control valve) ที่หน่วยปลายทาง และลดค่าความดันแตกต่าง set-point เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีวาล์วตัวไหนมีความต้องการน้ำเย็น วิธีการควบคุมจะเป็นทำนองเดียวกันสำหรับการใช้ระบบ VAV (Variable Air Volume) ซึ่งจะอธิบายในภายหลัง

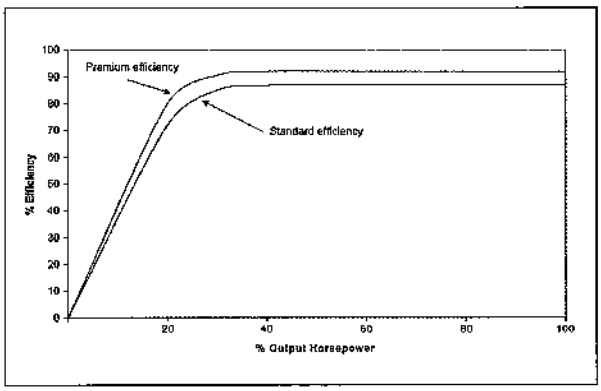
สำหรับน้ำหล่อเย็น การผันแปรความเร็วรอบในการสูบ โดยปกติไม่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน พบว่า การไหลของน้ำหล่อเย็นที่มากภายใต้เงื่อนไขภาระบางส่วน โดยปกติจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถชดเชยกับพลังงานการสูบที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นมีขนาดใหญ่เกินไป แล้วอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบสามารถถูกใช้เพื่อทำให้ได้ค่าการไหลออกแบบ ส่วนที่ควรหลีกเลี่ยงคือการใช้งาน Balancing valve สำหรับการควบคุมการไหลของน้ำหล่อเย็น

การใช้งานเครื่องสูบน้ำและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Pumps & Motors)

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพสูงในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และควรพิจารณาสำหรับการใช้งานแทนมอเตอร์ธรรมดาในการติดตั้งใหม่หรือการติดตั้งใช้งานแทนที่มอเตอร์ธรรมดาที่ใช้งานอยู่เดิม โดยขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการคืนทุน การเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ภาระเต็มพิกัด ระหว่างมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงกับมอเตอร์ธรรมดา แสดงอยู่ในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความแตกต่างของประสิทธิภาพระหว่างมอเตอร์มาตรฐานกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของมอเตอร์กับภาระ

การพิจารณาเพิ่มเติมในกรณีมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไป และทำงานที่ภาระต่ำกว่า 60% ของภาระเต็มพิกัดควรจะพิจารณาเปลี่ยนใหม่ พบว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จะตกลงอย่างมาก เมื่อทำงานที่ภาระต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของภาระเต็มพิกัด

มีความคล้ายคลึงกันสำหรับเครื่องสูบน้ำ โดยเครื่องสูบน้ำประสิทธิภาพสูงถูกพิจารณาเมื่อต้องการเปลี่ยนใช้งานแทนเครื่องสูบน้ำเดิม หรือสำหรับการติดตั้งใช้งานใหม่ พบว่าค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสามารถได้รับกลับคืนมาภายใน 2 ถึง 3 ปี จากการลดการใช้พลังงานของเครื่องสูบ และการลดความร้อนที่เพิ่มเข้ามาให้น้ำในกรณีของน้ำเย็น สำหรับการติดตั้งกับเครื่องทำน้ำเย็นขนาดเล็ก เครื่องสูบที่มีประสิทธิภาพสูงอาจจะไม่มีขนาดที่ต้องการใช้งาน แต่สำหรับการติดตั้ง เช่น เครื่องสูบน้ำร่วมขนาดใหญ่จ่ายน้ำเย็นให้มากกว่าเครื่องทำน้ำเย็นหนึ่งเครื่องควรจะถูกพิจารณา แต่การปรับเปลี่ยนการควบคุมเพื่อการทำงานร่วมกันของเครื่องทำน้ำเย็นกับเครื่องสูบอาจจะเป็นสิ่งจำเป็นตามมา

หอผึ่งน้ำ (Cooling Towers)

หอผึ่งน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับระบายความร้อนจากเครื่องควบแน่นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water cooled chiller) ในหอผึ่งน้ำประกอบด้วย การทำความเย็นแบบสัมผัสของอากาศ (sensible cooling) การทำความเย็นแบบแฝงโดยการระเหยน้ำไปบางส่วน (latent cooling) ด้วยเหตุนี้ทำให้หอผึ่งน้ำสามารถลดอุณหภูมิของน้ำลงได้ประมาณ $5^{\circ}C$ ของอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอก

ขนาดของหอผึ่งน้ำ เป็นการตัดสินใจโดยพิจารณาระหว่างการลงทุนเริ่มต้นของหอผึ่งน้ำ ค่าใช้จ่ายในการทำงานของหอผึ่งน้ำ และค่าใช้จ่ายในการทำงานของพัดลมหอผึ่งน้ำ ถ้าชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการทำงานของพัดลมจะเพิ่มสูงขึ้น เราสามารถทำให้การใช้พลังงานสำหรับพัดลมของหอผึ่งน้ำลดลงได้โดยการเพิ่มขนาดพื้นที่การระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ เพื่อให้สามารถเพิ่มการระบายความร้อน และสามารถลดขนาดกำลังของพัดลม kW ลงได้

เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจ่ายมีค่าเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานของพัดลมหอผึ่งน้ำลดลง ส่วนการใช้พลังงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจ่ายควรจะมีให้มีความเหมาะสม (Optimize) เพื่อให้การใช้พลังงานรวมของทั้งเครื่องทำน้ำเย็นและหอผึ่งน้ำมีความเหมาะสมเช่นกัน

ถ้าพัดลมหอผึ่งน้ำมีการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ การใช้พลังงานที่ต่ำที่สุดจะเป็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น เมื่อหอผึ่งน้ำที่มีอยู่ ทั้งหมดมีการทำงาน พบว่า การไหลของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเกือบจะเป็นแบบเชิงเส้นกับความเร็วรอบของพัดลม ส่วนการใช้พลังงานของพัดลมมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นกำลังสามของความเร็วรอบ เพราะฉะนั้น สำหรับที่ภาระเดียวกัน (การไหลของอากาศ) การทำงานของหอผึ่งน้ำจำนวนมากที่ขนานกัน จะสามารถทำให้ลดความเร็วรอบของพัดลมลง เพื่อนำไปสู่การใช้พลังงานของพัดลมที่ลดลง ผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มในการทำงานหอผึ่งน้ำทุกตัว คือ การใช้พลังงานในการสูบน้ำน้อยลง เนื่องจากการสูญเสียความดันตกคร่อมหัวฉีดจ่ายพ่นน้ำของหอผึ่งน้ำที่ลดลง

การติดตั้งเกือบทั้งหมดมีจำนวนหอผึ่งน้ำเกินหนึ่งตัว หรือมากกว่าหนึ่งตัว เพื่อเป็นตัวสำรอง (Stand-by) สำหรับใช้งานทดแทนหอผึ่งน้ำหลักที่ต้องซ่อมแซมและตรวจสภาพ เพราะฉะนั้น ถ้าหอผึ่งน้ำสำรองมีการทำงานขนานไปกับหอผึ่งน้ำหลัก และถ้าหอผึ่งน้ำทั้งหมดมีการติดอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ หอผึ่งน้ำทั้งหมดสามารถทำงานที่ความเร็วรอบต่ำแต่ระบายความร้อนออกไปได้ในจำนวนเท่าเดิม การใช้พลังงานของพัดลมสามารถทำให้น้อยที่สุดจากหลักการของความสัมพันธ์กำลังสามระหว่างการไหลและกำลังงาน ตัวอย่าง การติดตั้งที่มีการเปิดใช้งานหอผึ่งน้ำ 2 ตัว และหอผึ่งน้ำ สำรอง 1 ตัว ถ้าให้หอผึ่งน้ำทั้งสามตัวทำงานที่ 2/3 ของภาระพิกัดการระบายความร้อน (การใช้พลังงานของพัดลมหอผึ่งน้ำทั้งหมด คือ $3X(2/3)^3 = 0.89$) ผลประหยัดที่เกิดขึ้นต่อไปจะมาจากการทำงานที่ภาระบางส่วน

วิธีการของการควบคุมพัดลมหอผึ่งน้ำ เป็นสิ่งที่ดีกว่าวิธีการแบบเดิมที่ใช้การพักรอบการทำงานของพัดลม ด้วยสวิตช์เปิด/ปิด ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น วิธีการนี้ไม่เฉพาะผลลัพธ์ที่ทำให้ค่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีการแกว่งค่าสูงเท่านั้น แต่ยังทำให้เกิดการซึมของหยดน้ำบนมอเตอร์ขับ การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบสำหรับควบคุมความเร็วรอบของพัดลม ให้ผลลัพธ์อีกทางหนึ่งในการควบคุมอุณหภูมิที่ดีกว่า ลดการซึมของละอองน้ำในมอเตอร์ขับ เนื่องจากความเร็วรอบที่ลดลง และลดการสูญเสียละอองน้ำไปกับกระแสอากาศ เนื่องจากความเร็วของอากาศที่ลดลง

ประโยชน์ที่ได้รับต่อไปจากการใช้งานหอผึ่งน้ำสำรอง คือ การเพิ่มอายุของแผ่นกระจายน้ำ เนื่องจากเป็นการป้องกันจากการตากแห้งของแผ่นกระจายน้ำจากอากาศภายนอก เมื่อไม่มีการใช้งานหอผึ่งน้ำ

หน่วยเครื่องส่งลมเย็นและระบบการกระจายลมเย็น (Air Handling Units & Air Distribution Systems)

โดยทั่วไปในอาคารที่มีการปรับอากาศแบบรวมศูนย์ อากาศถูกปรับสภาวะอากาศภายในหน่วย

เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit: AHU) เพื่อกำจัดความชื้นและลดอุณหภูมิ ภายหลังจากที่อากาศถูกปรับสภาวะ มันมีการเคลื่อนที่และส่งกระจายไปยังส่วนต่างๆ ของอาคารที่ต้องการปรับอากาศ ในระบบเช่นนี้ พลังงานที่ถูกใช้สำหรับการส่งอากาศผ่านระบบกระจายอากาศ สามารถทำให้ลดลงน้อยที่สุดได้โดยการลดอัตราการไหลของอากาศและลดความต้านทานของระบบ

ความเร็วหน้าคอยล์ต่ำ (Low face velocity coil)

โดยทั่วไป AHUs ถูกออกแบบสำหรับความเร็วหน้าคอยล์ (coil face velocity) ที่ 400 ถึง 500 fpm อย่างไรก็ตาม การลดความเร็วหน้าคอยล์จะช่วยเพิ่มการกำจัดความชื้นโดยคอยล์ และลดความดันตกคร่อมคอยล์และแผ่นกรองอากาศ ผลลัพธ์ที่ได้คือ การใช้พลังงานของพัดลมที่ลดลง จากที่กล่าวมาความเร็วหน้าคอยล์ต่ำ AHUs จะมีราคาสูง แต่ควรจะให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานที่ดีกว่า และอย่างไรก็ตามควรพิจารณาในส่วนนี้ด้วยเช่นกัน

แยกการปรับอากาศของอากาศภายนอกและอากาศย้อนกลับ (Separate treatment of outdoor air and return air)

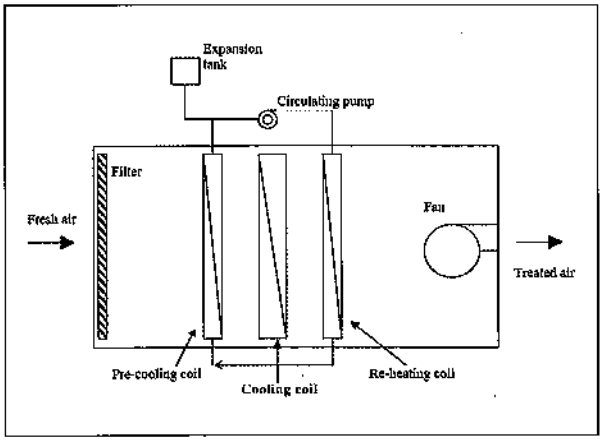
ในระบบปรับอากาศแบบดั้งเดิม อากาศภายนอก (Outdoor air) ที่นำเข้ามาในการระบายอากาศถูกผสมกับอากาศย้อนกลับ (return air) ก่อนที่จะผ่านคอยล์เย็น อากาศภายนอก (ซึ่งมีปริมาณเป็นจำนวนร้อยละเพียงเล็กน้อยของอากาศจ่ายทั้งหมด) มีพลังงานภายในสูง ซึ่งถูกลดลงโดยการผสมกันกับอากาศย้อนกลับปริมาณมากที่มีพลังงานภายในต่ำ และความชื้นต่ำ

นวัตกรรมใหม่สามารถเข้ามาแทนที่ระบบเดิมโดยการใช้คอยล์อิสระ 2 ตัว ในการปรับอากาศภายนอก (OA) และอากาศย้อนกลับ (RA) ก่อนผสมกัน ในระบบเช่นนี้ คอยล์สำหรับปรับอากาศภายนอก ถูกออกแบบสำหรับการกำจัดความชื้นออกจากอากาศ เพื่อการลดความชื้น พบว่า ปริมาณของอากาศสำหรับการลดความชื้นมีจำนวนน้อยและพลังงานภายในสูง ความเร็วหน้าคอยล์ต่ำสามารถถูกใช้เพื่อการกำจัดความชื้นสูงที่ค่าใช้จ่ายพลังงานลดลง คอยล์อากาศย้อนกลับมีขนาดสำหรับการทำการลดอุณหภูมิเป็นหลัก และสองกระแสอากาศถูกนำมาผสมกัน เพื่อได้อากาศส่ง (SA) ในสภาวะที่ต้องการ ระบบนี้สามารถปรับปรุงได้ต่อไปโดยการใช้วิธีการ High Driving Potential [6] โดยการให้น้ำเย็นไหลผ่านคอยล์อากาศภายนอกก่อนแล้วจึงไหลผ่านคอยล์อากาศย้อนกลับ ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็น ΔT และลดพลังงานในการสูบน้ำเย็น

Runaround coils

สำหรับพื้นที่ที่ต้องการควบคุมความชื้นเป็นพิเศษ โดยปกติขดท่อทำความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (Electric duct heater) ถูกใช้เพื่อให้ความร้อนซ้ำ (reheat) กับอากาศส่ง สิ่งนี้ไม่เฉพาะการสูญเสียพลังงาน แต่ยังเป็นการเพิ่มภาระความเย็นให้กับเครื่องทำน้ำเย็น และเพราะฉะนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ยอมให้ใช้โดยทั่วไปในประเทศไทย

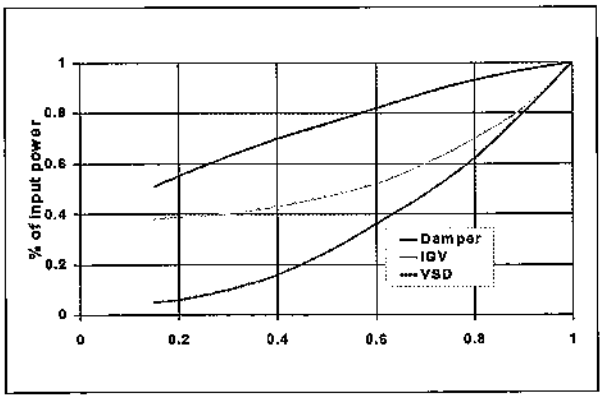
การให้ความร้อนซ้ำ สำหรับการควบคุมความชื้นสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้ (Runaround coils) ที่มีคอยล์พิเศษ 2 ตัวประกบกัน คอยล์ทำความเย็นหลักใน AHU (รูปที่ 15) น้ำจะถูกไหลเวียนผ่านคอยล์ 2 ชุด โดยใช้เครื่องสูบน้ำตัวเล็ก ซึ่งไม่ยอมให้มีการถ่ายเทความร้อนจากอากาศที่เข้ามาให้กับอากาศที่ออกไป จากการวิจัยแสดงว่า [7] การ runaround coils สามารถทำให้ประหยัดพลังงานอย่างยั่งยืน (ประมาณ 20% ของการทำความเย็นของคอยล์จากพลังงานการทำความเย็นทั้งหมด) สำหรับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น



รูปที่ 15 การจัดชุดของ runaround coils

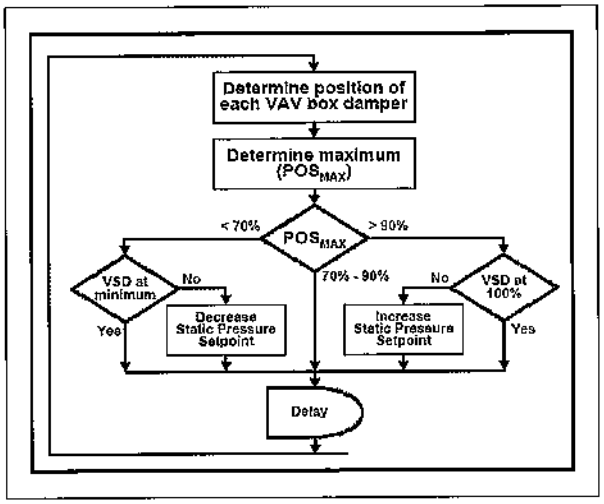
ระบบผันแปรปริมาณอากาศ (Variable air volume systems)

ในระบบปริมาณอากาศคงที่ (Constant Air Volume: CAV) พัดลมของ AHU มีขนาดสำหรับส่งปริมาณอากาศสูงสุดที่ต้องการ และปริมาณการทำความเย็นของ AHU ถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศส่ง ระบบเช่นนี้ ไม่เฉพาะพลังงานที่สูญเสียโดยการจ่ายอากาศที่ปริมาณคงที่ของอากาศที่ไม่ขึ้นกับภาระ แต่เช่นเดียวกันจะนำไปสู่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่สูงที่ภาระต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งดังกล่าว ระบบผันแปรปริมาณอากาศ (Variable Air Volume: VAV) ด้วยตัวหน่วงการจ่าย (discharge dampers), Inlet guide vane หรืออุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drive: VSD) ถูกนำมาใช้สำหรับการปรับปริมาณอากาศให้สัมพันธ์กับภาระ จากที่กล่าวมา discharge dampers และ inlet guide vane เป็นสิ่งที่สามารถลดปริมาณอากาศจ่าย แต่การประหยัดพลังงานที่ได้รับมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ ซึ่งสามารถทำงานตามทฤษฎี "กำลังสาม" ที่มีความสัมพันธ์กับกำลังของพัดลม ดังที่แสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 การประหยัดพลังงาน จากการควบคุมปริมาตรผันแปรในระบบ VAV

เพราะฉะนั้น ระบบผันแปรปริมาณอากาศ โดยการใช้ VSDs ร่วมกับตัวตรวจจับค่าความดันสถิต (static pressure sensor) เพื่อลดความเร็วของพัดลมที่ภาระบางส่วน [8] ทำให้ได้รับการประหยัดพลังงานอย่างมาก นอกจากนี้การประหยัดพลังงานที่มากกว่า 20% สามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการตั้งค่าใหม่ของค่าความดันสถิต (static pressure set-point) สำหรับระบบ VAV ในระบบดังกล่าว ค่าความดันสถิตจะเปลี่ยนแปลงเพื่อลดการไหลของอากาศขึ้นกับภาระ ส่วนการป้องกันกล่อง VAV ใดๆ จะเกิดการขาดของอากาศ [9] อุปกรณ์ควบคุมจะสั่งให้ความเร็วรอบของพัดลม AHU ทำงานที่ค่าต่ำที่สุด กรณีที่มั่นใจว่าไม่มีกล่อง VAV เปิดมากกว่า 90% สิ่งนี้ไม่เฉพาะลดการใช้พลังงานเท่านั้น แต่สามารถช่วยลดระดับความดังของเสียงด้วยเช่นกัน แผนภาพการทำงานโดยทั่วไปของการตั้งค่าความดันสถิต แสดงในรูปที่ 17

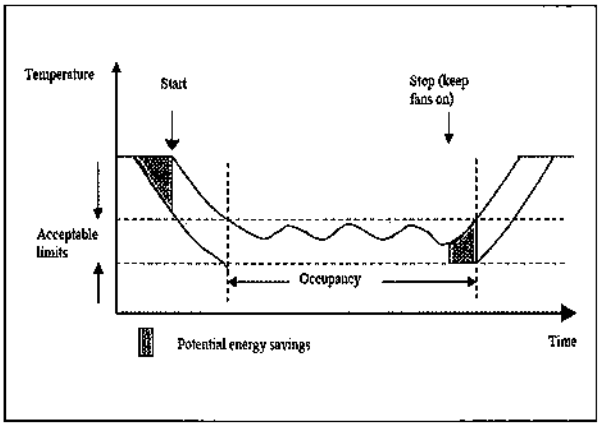


รูปที่ 17 โปรแกรมการปรับตั้งค่าความดันสถิต สำหรับการประหยัดพลังงานจากระบบ VAV

การเปิดและปิดอย่างเหมาะสม (Optimal Start / Stop)

การเปิดและปิดอย่างเหมาะสม โดยการโปรแกรมการสั่งงานจาก BAS ส่วนใหญ่สามารถสร้างสรรค์รูปแบบที่สอดคล้องกับระยะของเวลานานเท่าใดที่อาคารหรือพื้นที่จะเย็นตัวลง เป็นความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิอากาศภายนอก การตัดสินใจนี้สามารถนำมาใช้ในการเปิด AHU ที่ช้าที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อได้รับสภาวะอากาศที่ต้องการ ก่อนการเข้าอยู่อาศัย (รูปที่ 18) ในทำนองเดียวกัน พัดลมของ AHU ยังสามารถรักษาการทำงานสำหรับช่วงเวลาที่แน่นอน (ถูกกำหนด) หลังจากการหยุดการทำงานของโรงเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อจ่ายความเย็นที่ยังเหลือค้างอยู่

เช่นเดียวกัน AHU สามารถเริ่มทำงานและหยุดการทำงานตามตารางเวลาของจำนวนผู้เข้าอาศัย เพื่อป้องกันการทำงานที่ไม่จำเป็นระหว่างช่วงวันเวลาที่ไม่มีผู้อยู่อาศัย



รูปที่ 18 การเปิด-ปิดหน่วยเครื่องส่งลมเย็นอย่างเหมาะสม

การตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ (Space temperature reset)

การตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิอากาศภายนอก ตัวอย่าง ช่วงเวลาที่มีฝนตก อุณหภูมิอากาศภายนอกจะต่ำกว่าปกติ ผู้อยู่อาศัยในบริเวณปรับอากาศจะมีความรู้สึกหนาว ถ้ายังคงตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศตามปกติ

เพราะฉะนั้น การตั้งค่าใหม่ของอุณหภูมิปรับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศตามอุณหภูมิอากาศภายนอก จะไม่เฉพาะช่วยให้ลดการใช้พลังงานลง แต่เช่นเดียวกัน จะช่วยให้เพิ่มสภาวะความสบายแก่ผู้อยู่อาศัยด้วย อย่างไรก็ตาม มันควรจะจำไว้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ต้องการในพื้นที่ปรับอากาศ จะนำไปสู่การลดความชื้นที่ต่ำลง และเป็นพิเศษกับระบบ CAV

การควบคุมการระบายอากาศและการเติมอากาศ (Fresh air / ventilation system)

อากาศภายนอกที่ต้องการสำหรับการระบายอากาศ และให้มั่นใจว่าภายในอาคารมีความดันที่เพียงพอที่จะป้องกันการแทรกซึมจากอากาศภายนอก เพื่อทำให้ภายในอาคาร มีคุณภาพอากาศภายใน (Indoor Air Quality: IAQ) ที่ดีอยู่เสมอ ข้อกำหนดของ ASHRAE ตามมาตรฐานที่ 62-89 ควรถูกนำมาใช้เป็นแนวทางสำหรับการหาปริมาณของการระบายอากาศที่ต้องการต่อจำนวนผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร

อย่างไรก็ตาม การอยู่อาศัยภายในอาคารโดยปกติมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันในรอบวัน และเนื่องจากเหตุนี้ มันไม่จำเป็นที่จะต้องเติมอากาศสดชื่น (Fresh air) ที่ปริมาณที่สอดคล้องกับความต้องการสูงสุดตลอดทั้งวัน เพราะฉะนั้น ตารางเวลาของการอยู่อาศัยภายในอาคาร สามารถมาใช้ในการกำหนดโปรแกรมควบคุม AHU ในการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศสดชื่นที่ป้อนเข้าให้กับอาคาร ซึ่งจะนำไปสู่การลดการใช้พลังงาน (การทำความเย็นลดลง) โดยที่ยังเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE และรักษาให้คุณภาพอากาศภายในอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

มันควรสังเกตว่า การใช้งานร่วมกับการใช้เครื่องตรวจจับค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 sensor) เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถมั่นใจได้ว่า อัตราการระบายอากาศจำเพาะต่อคน สามารถระบายอากาศได้ตามต้องการ และเพราะฉะนั้น มันอาจไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE อย่างไรก็ตาม ระบบเช่นนี้ สามารถถูกนำมาใช้ในการเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้สูงกว่าอัตราจำเพาะของมาตรฐาน เมื่อความต้องการของผู้อยู่อาศัยสูงกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด

สรุป (Conclusion)

การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของอาคารพาณิชย์ สามารถทำได้โดยการลดภาระความเย็น, การออกแบบและเลือกขนาดของอุปกรณ์อย่างเหมาะสม และการให้ระบบทำงานอย่างเหมาะสมที่สุด โดยทั่วไปการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารพาณิชย์สามารถลดลงได้ตั้งแต่ 20% ถึง 50%

เพื่อให้บรรลุถึงการประหยัดพลังงานดังกล่าว สิ่งแรกที่จะต้องดำเนินการ คือ การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคาร (Energy audit) เพื่อกำหนดพื้นที่ที่มีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน (Area of potential saving) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ระยะเวลาคืนทุนของการดำเนินมาตรการ มีการเปลี่ยนแปลงไปสำหรับแต่ละอาคาร แต่โดยทั่วไปจะอยู่ที่ระยะเวลาไม่เกิน 5 ปี.

เอกสารอ้างอิง (References)

1. S.K. Chou and W.L. Chang, "Effects of Multi-Parameter Changes on Energy Use of Large Buildings", International Journal of Energy Research, Vol. 17, 885-903, 1993.
2. K.Y. Yow, "The Economic & Environmental advantages of High Efficiency", Trane Seminar on Environment Challenge-It is one Atmosphere, May 22, 1998.
3. Meteorological Service, Hourly Web Bulb Temperature for 1991.
4. L. Tillack and J.B. Rishel, "Proper Control of HVAC Variable Speed Pumps", ASHRAE Journal, November 1998, 41-47.
5. D.M. Eppelheimer, "Variable Flow-The Quest for System Pumps", ASHRAE Transactions, 96 (12), 673-678.
6. R.E. Luxton and V.M. Petrovic, "Building Classes and Their Influence on Cooling Load".
7. G.J. Berbari, "Fresh Air Treatment in Hot and Humid Climates", ASHRAE Journal, October 1998, 64-70.
8. Mashuri Warren and Leslie K. Norford, "Integrating VAV Zone Requirements with Supply Fan Operation", ASHRAE Journal, April 1993, 43-6.
9. R. Moult and J. Tran, "Getting an additional 20% energy saving from VAV systems", ASHRAE Conference-Built Environment Trends and Challenges, June 1995.