การระบายอากาศในสถานประกอบการพาณิชย์

(Ventilation in the Commercial Environment)

แปลและเรียบเรียงโดย
ดร. เชิดพันธ์ วิทูราภรณ์
และ ณัฐวุฒิ วลัยกนก
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

ห้างสรรพสินค้าใน Mall of Louisiana ที่ชื่อ "JC Penney" ตั้งอยู่ใน Baton Rouge เป็นห้างสรรพสินค้า 2 ชั้น ที่มีเนื้อที่ประมาณ 125,000 ft^2 (11,613 m^2) ตัวอาคารตั้งอยู่ในเขตที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ดังนั้นจึงต้องมีการทำความเย็นเกือบตลอดทั้งปี ในกรณีนี้ภาระการทำความเย็นส่วนมากจะมาจากผู้ใช้บริการ พนักงานในห้างตลอดจนอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในห้างสรรพสินค้าซึ่งภาระการทำความเย็นดังกล่าวค่อนข้างจะคงที่ ดังนั้นโหมดที่ใช้ในการทำความเย็นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงการพิจารณาใช้ตัวอีโคโนไมเซอร์ (Economizer) มาช่วยเพื่อการประหยัดพลังงานในที่นี้จะไม่ได้ผล ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่มีอากาศอุ่นและมีความชื้นสูงตลอดทั้งปี ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้กลุ่มวิศวกรของ JC Penney ต้องพบกับความท้าทายของงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกลในการค้นหาวิธีการทำความเย็นภายในห้างสรรพสินค้าให้คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง ในขณะเดียวกับที่จะต้องปฏิบัติตามข้อบัญญัติทางกฎหมายและขีดจำกัดทางด้านเศรษฐศาสตร์

รูปแบบภาระและการออกแบบ (Load / Design Profile)

การดำรงรักษาไว้ซึ่งระดับที่จำเป็นสำหรับความสุขสบายต่อพนักงาน นายจ้าง และลูกค้า ทำให้ ห้าง JC Penney ได้มีการพัฒนาเกณฑ์ในการพิจารณาระดับอุณหภูมิและความชื้นภายในห้าง วิศวกรไฟฟ้าและเครื่องกลของห้างได้ศึกษาถึงการประมาณภาระทางไฟฟ้าของพื้นที่ต่าง ๆ ในห้าง โดยตัวประกอบหลักที่ใช้ในการหาภาระทางความร้อน ความเย็นและปริมาณของอากาศที่ต้องการสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ในห้าง ได้แก่ ภาระทางไฟฟ้าในรูปของ Watt/ft^2 ซึ่งรวมถึงภาระทางความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงต่อคน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของของจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการภายในห้าง สภาวะการตกแต่งภายใน , สภาวะอากาศในท้องถิ่น และความต้องการปริมาณอากาศภายนอก

ตามข้อกำหนดของ ANSI/ASHRAE Standard 62-1989 ที่ว่าด้วย ข้อตกลงสำหรับการระบายอากาศสำหรับคุณภาพอากาศที่ยอมรับได้ภายในห้อง (Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality) ปริมาณอากาศ

ภายนอกที่นำเข้ามาจะมีขนาดมากพอสมควร กล่าวคือคิดเป็น 34% ของปริมาณอากาศทั้งหมดที่ใช้ในพื้นที่การขายของห้างสรรพสินค้า ขนาดการทำความเย็นเพื่อใช้ปรับสภาพอากาศภายนอกที่มีปริมาณขนาดนี้ในฤดูร้อน ณ อุณหภูมิสูงสุดและที่ภาระสูงสุดจะมีค่าประมาณ 100 ตัน ความเย็น (352 kW) หรือคิดเป็น 35% ของขนาดทำความเย็นทั้งหมดที่ต้องใช้ในการปรับอากาศ ณ บริเวณพื้นที่การขายที่ภาระความเย็นสูงสุด ดังนั้น วิธีการประหยัดหรือการลดขนาดการทำความเย็นใด ๆ ที่เกิดขึ้นโดยเน้นไปที่การจัดการกับปริมาณอากาศภายนอกย่อมจะมีผลลัพธ์ในแง่ดีต่อค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง

วิธีใหม่ในการจัดการกับการระบายอากาศ (A New Approach to Ventilation)

เนื่องจากมาตรฐาน 62-1989 ได้ถูกนำมาใช้ในมาตรฐานอาคารหลายฉบับ ดังนั้น สำหรับห้างสรรพสินค้า JC Penney ปริมาณอากาศภายนอกได้ถูกสมมติให้มีบทบาทอย่างมากต่อระบบปรับอากาศ และภาระต่าง ๆ ของห้างสรรพสินค้า ในบรรดาผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้มาตรฐาน 62-1989 ห้างสรรพสินค้า JC Penney ได้มีข้อสังเกตถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณของอากาศภายนอกที่ต้องจ่ายให้กับระบบ โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 15% ของปริมาณอากาศทั้งหมด เมื่อเทียบกับปริมาณอากาศภายนอกที่จ่ายให้กับห้างสรรพสินค้าซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 40% การเพิ่มขึ้นของปริมาณอากาศภายนอกที่ไม่ถูกปรับสภาพมาก่อนจะเพิ่มภาระให้กับระบบปรับอากาศ ซึ่งจะเห็นได้ชัดในสภาพอากาศที่ร้อนชื้น ขนาดของเครื่องปรับอากาศจะต้องใหญ่ขึ้น ส่งผลให้เงินลงทุนตลอดจนค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเพิ่มมากขึ้น

มาตรฐานที่มุ่งเน้นให้ใช้อากาศภายนอกมาช่วยเรื่องคุณภาพอากาศภายในจะส่งผลให้เครื่องปรับอากาศต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยในเวลาเดียวกัน ซึ่งถือว่าไม่ส่งผลดีต่อค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง ในความพยายามเพื่อที่จะลดการเพิ่มขนาดการทำความเย็น ทำให้วิศวกรเครื่องกลของ JC Penney ตัดสินใจใช้วิธีการอื่นที่มีประสิทธิภาพดีกว่าในการปรับสภาพอากาศภายนอก

ในการเปรียบเทียบวิธีทางเลือกหลาย ๆ วิธีโดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมสำหรับงานการก่อสร้างใหม่ JC Penney ได้พัฒนาระบบที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแปรเปลี่ยนปริมาณอากาศชนิดติดตั้งบนหลังคา (VAV Rooftop Unit) เป็นตัวหลักในการปรับอากาศ ณ บริเวณพื้นที่การขาย ระบบดังกล่าวจะประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศแบบ VAV Rooftop จำนวน 4 ตัว ซึ่งมีตัวขับแบบแปรเปลี่ยนความถี่ได้กล่องจ่ายลมแบบแปรเปลี่ยนปริมาณลมเพื่อจ่ายลมเข้าพื้นที่การขาย และเครื่องปรับอากาศชนิดใช้น้ำยาแบบปริมาณลมคงที่ติดตั้งบนหลังคา (Constant-volume DX rooftop unit) ซึ่งจะใช้ในบริเวณสำนักงาน, ห้องเก็บสินค้าและห้องโถง นอกจากนี้ยังได้ติดตั้งระบบการจัดการพลังงานของอาคารด้วย

นอกจากระบบหลักที่เป็นแบบ VAV แล้ว ยังมีการศึกษาระบบอื่นที่มีประสิทธิภาพด้วย เช่น self-contained, evaporative condensing DX rooftop unit ระบบนี้จะมีความคล้ายคลึงกับระบบ VAV rooftop โดยตัวระบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้อยู่ใน self contained

DX rooftop unit แบบ VAV อย่างไรก็ตาม ระบบนี้จะเป็นการระบายความด้วยน้ำ ซึ่งจะมี evaporative cooling tower ติดตั้งอยู่ที่ส่วนท้ายสุดของระบบ โดย cooling tower นี้เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องด้วย (Self-Contained) ดังนั้นจึงไม่ต้องอาศัยโครงสร้างแยกต่างหาก ประสิทธิภาพของระบบนี้จะอยู่ที่ประมาณ 0.70 kw/ton เมื่อเทียบกับ 1.05 kW/ton ในระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (air cooled DX rooftop)

ในการจำลองรูปแบบอื่น ๆ เพื่อศึกษา ได้มีการใช้อุปกรณ์ส่งผ่านความร้อน ที่เรียกว่า enthalpy heat wheel ติดตั้งเข้าไปในระบบ DX evaporative condensing unit อุปกรณ์นี้จะช่วยในการปรับสภาพของอากาศภายนอกก่อนที่จะเข้ามาสู่ระบบโดยการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศภายนอกกับลมกลับหรืออากาศเสียที่ปล่อยออกไป การใช้ heat wheel ในการปรับสภาพอากาศจะเริ่มต้นด้วยปริมาณอากาศภายนอกที่น้อยที่สุดตามมาตรฐาน 62-1989 ซึ่งจะถูกดึงเข้ามาสู่ heat wheel โดยอาศัยพัดลม

ตัว heat wheel ที่อากาศภายนอกไหลผ่านนั้นก็คือตัวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับอากาศ(Air-to-Air Heat Exchanger) นั่นเอง โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตัว Wheel จะประกอบด้วยโครงตาข่ายดูดซับความร้อนและความชื้น (heat-absorbing, moisture-absorbing matrix) ที่ล้อมรอบด้วยโครงอลูมิเนียมและโครงเหล็ก โดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับให้ wheel หมุน ส่งผลให้เกิดการดูดซับความชื้นและความร้อนจากอากาศภายนอกที่ร้อนในฤดูร้อน และถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศที่เย็นกว่าและแห้งกว่าจากภายในห้างซึ่งถูกระบายทิ้งออกไป

หลังจากที่อากาศภายนอกถูกทำให้เย็นและมีความชื้นลดลงในระดับหนึ่งจากการถ่ายเทความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง อากาศภายนอกนี้จะถูกนำไปผสมกับลมกลับที่มาจากห้างสรรพสินค้า และถูกส่งต่อไปที่คอล์ยเย็นและผ่านไปยังระบบท่อลมเข้าสู่ห้างสรรพสินค้า ณ จุดนี้ ลมกลับที่ถูกปล่อยผ่าน wheel จะเข้ามารับการถ่ายเทความร้อนและความชื้นและนำไปปล่อยทิ้งผ่านพัดลมระบายอากาศ

ในระหว่างกระบวนการนี้ อากาศเสียที่ปล่อยทิ้งไปและปริมาณอากาศภายนอกจะไม่มีการผสมกันรวมทั้งระบบดังกล่าวจะถูกทำให้ย้อนกลับเมื่อใช้ในฤดูหนาว ซึ่งสามารถที่จะช่วยประหยัดพลังงานได้

ผลประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการใช้ wheel มีมากกว่าการประหยัดพลังงานจากการถ่ายเทความร้อน ระบบยังได้ประโยชน์จากการลดขนาดความต้องการการทำความเย็นและความร้อน ในการนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้งานภายใต้เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมเดียวกัน ผลกระทบต่อการทำความร้อนจะมีน้อยมากในขณะที่ผลกระทบต่อการทำความเย็นจะมีความสำคัญสูง ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ต้องใช้ในการปรับสภาพอากาศภายนอกในช่วงเดือนที่ร้อนสุดจะมีขนาดประมาณ 35% ของขนาดทำความเย็นของเครื่อง การใช้ heat wheel จะส่งผลให้ขนาดทำความเย็นของเครื่องลดลงประมาณ 50 ตัน คิดเป็น 50 % ของขนาดการทำความเย็นที่ต้องใช้ในการปรับสภาพอากาศภายนอก หรือคิดเป็น 18% ของขนาดทำความเย็นทั้งหมด

การลดขนาดของหน่วยทำความเย็นยังส่งผลต่อปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการให้ไหลผ่านที่ heat wheel ด้วย อย่างไรก็ตาม ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการทั้งหมดจะไม่สามารถผ่านเข้าสู่ heat wheel ได้เพราะปริมาณอากาศที่ปล่อยทิ้งไปและปริมาณอากาศภายนอกจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกันสำหรับการทำงานของ heat wheel อย่างมีประสิทธิภาพตลอดจนขนาดของตัว

heat wheel เองเมื่อเทียบกับขนาดของโครงเครื่อง นอกจากนี้ อากาศเสียที่ถูกปล่อยทิ้งไปโดยพัดลมระบายอากาศของอาคารและความต้องการให้มีความดันเป็นลบสำหรับห้องโถงจะเป็นตัวลดปริมาณอากาศเสียที่จะส่งผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ การออกแบบตัวอาคารส่งผลให้เราไม่สามารถจะจัดวางเส้นทางเดินของอากาศเสียให้ไหลไปรวมกับอากาศที่จะปล่อยทิ้งไปบางส่วนของลมกลับได้ แต่อย่างไรก็ตาม การประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นโดยการใช้ wheel ก็ยังมีปริมาณที่สูง

ประสิทธิภาพของพลังงาน (Energy Efficiency)

ในขณะที่อุปกรณ์ในระบบปรับอากาศมีความสำคัญต่อราคาค่าก่อสร้างของโครงการ และการลดขนาดของอุปกรณ์จะทำให้ประหยัดเงินลงทุนไปได้ การประหยัดที่แท้จริงของโครงการจะอยู่ที่ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานปกติแล้ว ค่าก่อสร้างจะเป็นตัวกำหนดปริมาณพื้นที่ในระหว่างการออกแบบ แต่การวิเคราะห์พลังงานจะเป็นตัวประกอบที่สำคัญในการดูว่าระบบนั้นไปได้หรือไม่ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การใช้ heat wheel จะช่วยลดผลกระทบของอากาศภายนอกในการทำความเย็นของระบบในฤดูร้อนและการทำความร้อนของระบบในฤดูหนาว หากมองในแง่การใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว จะพบว่าระบบ evaporative condensing ที่มีการใช้ heat wheel จะช่วยให้ประหยัดได้ประมาณ 7% ของการใช้พลังงานทั้งหมดรายปี และ ประมาณ 17% ของการใช้พลังงานที่ความต้องการสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ VAV rooftop

การประหยัด (Savings)

ในขณะที่ ระบบปรับอากาศหลักของ JC Penny ประกอบด้วย VAV rooftop units ที่มีตัวขับแบบแปรเปลี่ยนค่าความถี่ได้ ระบบอื่นอาจจะถูกนำมาใช้หากสามารถบรรลุตามกฎเกณฑ์คัดเลือกที่ตั้งไว้ ซึ่งได้แก่ การมีค่าผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return , IRR) เท่ากับ 11% ในกรณีของห้างสรรพสินค้า JC Penny ที่ Baton Rouge ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์อัตราค่าสาธารณูปโภคและการประมาณค่าสาธารณูปโภคเฉลี่ยตลอดทั้งปี ตลอดจนค่าบำรุงรักษาได้ชี้ให้เห็นว่า ระบบ DX evaporative condensing ที่มีการใช้ heat wheel ร่วมด้วย จะให้ค่า IRR มากกว่า 11% การเพิ่ม heat wheel เข้าไป ไม่ได้ทำให้เงินลงทุนสูงมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะทำให้หน่วยทำความเย็นมีขนาดยาวขึ้นและต้องเพิ่มพัดลมเข้าไป

ค่าลงทุนที่เพิ่มขึ้นจะถูกหักลบโดยการประหยัดที่เกิดจากการทำความเย็นซึ่งจะมีผลกระทบกับขนาดของคอมเพรสเซอร์และ cooling tower การเพิ่มค่าลงทุนสำหรับตัว heat wheel จะไม่มีผลกระทบที่สำคัญใด ๆ ต่อค่า IRR เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสาธารณูปโภคที่ประหยัดได้

แหล่งที่มา Ashrae Journal, October 1999