นวัตกรรมระบบการไหลเวียนอากาศเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและคงคุณภาพอากาศภายในอาคารตามมาตรฐาน
Enhanced Energy Performance while Maintaining Acceptable Indoor Air Quality through Innovative Ventilation System

ดร. จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์
Jatuwat Varodompun, Ph.D. LEED AP

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University
E-mail: vjatuwat@umich.edu

บทคัดย่อ

อากาศภายนอกนับเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมคุณภาพอากาศภายในอาคาร แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นต้นเหตุสำคัญของการใช้พลังงานในอาคารเช่นกัน การนำเอาอากาศภายนอกเข้าสู่ระบบปรับอากาศนั้น จำต้องมีการผ่านกระบวนการทำความเย็นหรือความร้อนเพิ่มเติมก่อนที่จะจ่ายให้กับผู้ใช้อาคาร กระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้พลังงานปริมาณมากซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศภายนอกที่นำเข้าสู่ระบบ อย่างไรก็ตาม อากาศภายนอกยังมีความจำเป็นต่อสุขอนามัยและคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้ใช้อาคาร จึงไม่สามารถที่จะลดปริมาณลงได้ ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการปรับอากาศได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างหลากหลายเพื่อลดความขัดแย้งระหว่างพลังงานและคุณภาพอากาศดังกล่าว หนึ่งในการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพคือการเลือกระบบการกระจายอากาศที่เหมาะสม ระบบการกระจายอากาศที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือระบบการไหลเวียนอากาศแบบผสม ซึ่งไม่ได้ส่งเสริมคุณภาพอากาศอย่างเต็มที่ เนื่องจากอาศัยเพียงการเจือจางด้วยอากาศภายนอกเท่านั้น แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาระบบการไหลเวียนอากาศแบบยิงสู่พื้นขึ้น ระบบดังกล่าวแตกต่างกับระบบผสมตรงที่อาศัยทั้งการเจือจางควบคู่กับการลอยตัวของอากาศร้อน มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปอย่าง ASHRAE 62 อนุญาตให้ลดปริมาณอากาศภายนอกที่จะนำเข้ามาในระบบได้หากมีการใช้ระบบการไหลเวียนอากาศที่ดีกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่มีอาศัยหลักการลอยตัวของอากาศร้อน ในการวิจัยครั้งนี้ ได้มีการเปรียบเทียบและศึกษาประสิทธิภาพของระบบการไหลเวียนอากาศแบบผสมและแบบยิงสู่พื้นในพื้นที่ใช้งานต่างประเภทและภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยค้นพบว่า การใช้ระบบยิงสู่พื้นจะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากยิ่งขึ้นหากมีการนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีผู้ใช้อาคารหนาแน่น และในภูมิอากาศที่ร้อนหรือหนาวเกินไปจนไม่เอื้อต่อสภาวะน่าสบาย ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า หากอาคารมีการใช้ระบบการกระจายอากาศที่มีประสิทธิภาพจะสามารถลดการใช้พลังงาน ในขณะยังคงรักษาคุณภาพอากาศภายในอาคารให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

Abstract

Being utilized for maintaining acceptable Indoor Air Quality (IAQ), outdoor air is, at the same time, the major cause of building energy demand. Induced outdoor air through HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) system usually requires energy for cooling/heating processes before supplying to occupants. Such processes consume a lot of energy depending on the flow rate of outdoor air. However, outdoor air is mandatory and must be adequately maintained to promote occupants' health and well-being. Given the current HVAC technology, there are many strategies that could solve the energy and IAQ dilemmas. One of the promising solutions is by selecting proper air distribution system or ventilation strategies. Commonly used in most buildings, traditional mixing jet system offers no additional IAQ benefits besides pollutants dilution from induced outdoor air. Unlike mixing system, a newly developed system called impinging jet ventilation offers better IAQ through both dilution and stratification. Well recognized standard such as ASHRAE 62 allows outdoor air reduction if implementing an effective air distribution, particularly system which relies on stratification principle. In this study, the performance of both mixing and impinging systems was compared under different climatic locations and building types. Impinging system could effectively reduce energy demand if implementing on densely occupied space and harsh weather conditions which might be too hot or too cool for thermal comfort. Based on this finding, building with proper air distribution system could mitigate negative energy impact from outdoor air, while acceptable IAQ is sustained.

คำสำคัญ (Keywords)

การกระจายอากาศ (Air Distribution)
การไหลเวียนอากาศ (Ventilation)
คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)
ระบบยิงสู่พื้น (Impinging Jet System)
ระบบปรับอากาศ (HVAC)

1. ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ตามมาตรฐานสากล อาทิ ASHRAE 62 (American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers) ได้กำหนดให้อาคารต้องนำเอาอากาศภายนอกเข้ามาเพื่อลดมลภาวะในอาคาร โดยจะต้องมีปริมาณที่พอเพียงตามจำนวนของผู้ใช้อาคารและประเภทของอาคาร (ASHRAE, 2004) มาตรฐานดังกล่าว ถูกกำหนดขึ้นเกิดจากการคำนวณปริมาณ CO_2 ซึ่งเป็นผลพวงจากการหายใจของผู้ใช้อาคาร โดยปริมาณอากาศภายนอกที่นำเข้าสู่ระบบจะต้องเพียงพอที่จะเจือจางปริมาณ CO_2 ให้มีความเข้มข้นต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ (ความเข้มข้นสูงกว่าอากาศภายนอกไม่เกิน 700 ppmv) ดังนั้นการนำอากาศภายนอกที่มีปริมาณ CO_2 ต่ำ (ประมาณ 350 ppmv) เข้ามาในระบบปรับอากาศจึงเป็นสิ่งที่พึงกระทำในทุกอาคารเพื่อรักษาคุณภาพอากาศให้สามารถเป็นที่ยอมรับได้ในอาคารนั้น ๆ

แม้ว่าอากาศภายนอกจะมีความเข้มข้นน้อยกว่าอากาศภายในอาคาร แต่อุณหภูมิและความชื้นมักจะสูงหรือต่ำเกินช่วงที่เหมาะสม สำหรับการนำเข้ามาในระบบปรับอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอากาศในช่วงอุณหภูมิ 12-18°C จะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการนำเข้าสู่ระบบปรับอากาศ เนื่องจากระบบปรับอากาศไม่จำเป็นต้องทำความร้อนหรือความเย็นให้กับอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิในช่วงดังกล่าว อีกทั้งยังได้ความเย็นที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย (Free Cooling) มาช่วยลดความร้อนหรือภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Internal Load) ที่มาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิอากาศในภูมิภาคต่าง ๆ มักจะอยู่นอกช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมนี้ จึงส่งผลให้ระบบปรับอากาศจำต้องมีการปรับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยใช้พลังงานในการทำความเย็นและความร้อนเพื่อปรับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกให้อยู่ใช่วงที่เหมาะสม

กระบวนการใช้พลังงานดังกล่าว ถือเป็นภาระของเจ้าของอาคารที่ต้องแบกรับค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเพิ่มเติม ซึ่งในบางครั้งเจ้าของอาคารที่ต้องการหลีกเลี่ยงภาระค่าใช้จ่ายนี้ จะมีการลดหรือตัดปริมาณอากาศภายนอกจนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ผลที่ตามมาก็คือโรคที่มีสาเหตุมาจากอาคาร หรือ sick building syndrome ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชีวิตและประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานที่อาศัยในอาคารนั้น ๆ โดยในปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้นเทคโนโลยีทางด้านการปรับอากาศเพื่อลดการใช้พลังงานอันเนื่องมาจากอากาศภายนอกอย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็น 1) Demand Control Ventilation หรือการใช้ 2) Energy Recovery และ 3) เทคโนโลยีการกระจายอากาศ (Air Distribution) ที่เหมาะสม

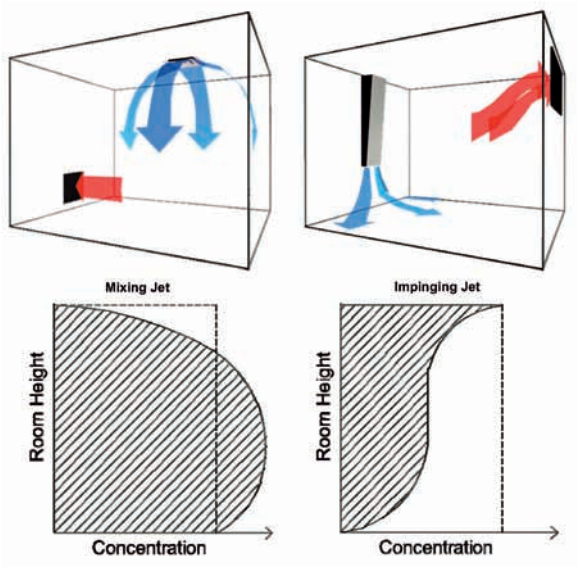
ในงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งเน้นในการศึกษาการลดการใช้พลังงานด้วยระบบกระจายอากาศเป็นหลัก ยิ่งไปกว่านั้น บทความชิ้นนี้ได้มีการสรุปประเภทของเทคโนโลยีการกระจายอากาศประเภทต่าง ๆ การคำนวณประสิทธิภาพของการกระจายอากาศ ตลอดจนการทดสอบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของการกระจายอากาศต่างประเภท ภายใต้สภาวะภูมิอากาศและการใช้งานที่แตกต่างกัน

2. เทคโนโลยีการกระจายอากาศประเภทต่าง ๆ

ในปัจจุบันระบบการกระจายอากาศแบ่งเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย 1) ระบบการไหลเวียนอากาศแบบผสม (Mixing Jet Ventilation) 2) ระบบดูดอากาศทิ้งเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation) 3) ระบบลูกสูบ (Piston Ventilation) 4) ระบบการไหลเวียนอากาศแบบแทนที่ (Displacement Ventilation) 5) ระบบไหลเวียนอากาศแบบยิงสู่พื้น (Impinging Jet Ventilation) (Awbi, 2003) โดยระบบการไหลเวียนอากาศเหล่านี้เหมาะกับการใช้งานต่างประเภทกัน อาทิ ในงานอุตสาหกรรมที่ทราบตำแหน่งของมลภาวะที่แน่นอน ระบบการดูดอากาศทิ้งเฉพาะที่จะมีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นต้น ในการวิจัยชิ้นนี้ระบบการไหลเวียนอากาศเพียง 2 ประเภท ได้แก่ ระบบผสมและระบบยิงสู่พื้นเท่านั้น ที่ถูกหยิบยกมาศึกษาและวิเคราะห์

ระบบการไหลเวียนอากาศแบบผสม อาศัยการเจือจางของอากาศภายนอกกับมลภาวะที่เกิดขึ้นภายในอากาศ กล่าวคือเมื่ออากาศที่มีความเข้มข้นของมลภาวะต่ำ (CO_2 ของอากาศภายนอก) เข้ามาเจือจางกับอากาศที่มีความเข้มข้นของมลภาวะสูงกว่า ย่อมทำให้อากาศมีความเข้มข้นของมลภาวะภายในอากาศลดลง รูปแบบของการกระจายอากาศแบบผสมสามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามอาคารต่าง ๆ ตำแหน่งของหัวจ่าย

มักมีแผงกระจายอากาศ (Diffuser) เพื่อเปลี่ยนทิศทางความเร็วลมที่สูงไม่ให้ปะทะกับผู้ใช้อาคาร ความเร็วลมที่สูงของหัวจ่ายนี้ทำให้ระดับความเข้มข้นของมลภาวะมีความใกล้เคียงกันทั่วทั้งห้อง ยกเว้นบริเวณใกล้กับตัวหัวจ่าย (ในระดับฝ้าเพดาน) ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของระบบการไหลเวียนอากาศแบบผสม (ซ้าย) และแบบยิงสู่พื้น (ขวา)

ข้อเสียที่สำคัญของระบบการไหลเวียนอากาศแบบผสมคือการละเลยต่อการใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์การลอยตัวของอากาศร้อน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศภายในห้องมีความเร็วลมต่ำ จึงทำให้อากาศมีการแยกชั้นของอุณหภูมิ มลภาวะบางชนิดจึงสามารถลอยตัวตามการลอยตัวของอากาศร้อนขึ้นไปสะสมใกล้กับบริเวณฝ้าเพดาน อากาศที่เหลือทิ้งไว้ด้านล่างหรือบริเวณที่ ASHRAE 62 นิยามว่าเป็นอากาศในโซนการหายใจ (Breathing Zone) จึงมีความสะอาดเพิ่มขึ้น ระบบการกระจายอากาศที่ใช้ประโยชน์จากหลักการดังกล่าวคือระบบการไหลเวียนอากาศแบบยิงสู่พื้น ซึ่งจ่ายอากาศจากหัวจ่ายสูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร และใช้ช่องนำอากาศกลับ (Return) ในระดับฝ้าเพดาน ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 การวางตำแหน่งของช่องลมดังกล่าวมีส่วนทำให้อากาศภายในห้องมีการเคลื่อนที่น้อยและไม่ถูกรบกวน การลอยตัวของอากาศร้อนจึงสามารถเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้นของมลภาวะตามความสูงของห้อง ได้เปรียบเทียบแนวโน้มของระดับความเข้มข้นของมลภาวะที่ต่ำกว่าในบริเวณ Breathing Zone ของระบบยิงสู่พื้น เมื่อเทียบกับระบบผสม

3. ประสิทธิภาพของการกระจายอากาศ

ดัชนีที่ใช้ในการตัดสินว่าระบบการไหลเวียนอากาศต่างประเภทมีประสิทธิภาพเพียงไรนั้น เรียกว่าประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศ (Air Change Effectiveness, ε_z หรือ VEF) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอายุอากาศเฉลี่ยเฉพาะที่ (Local Mean Age, τ_i) และอายุอากาศเฉลี่ยของห้อง (Room Mean Age, τ_r) ซึ่งเป็นส่วนกลับของอัตราการเปลี่ยนอากาศของห้อง (Air Change, ACH) ตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การคำนวณอัตราการเปลี่ยนอากาศของห้องสามารถคำนวณได้ง่าย ๆ จากการหาสัดส่วนของอัตราการหมุนเวียนอากาศของระบบปรับอากาศ (V) ต่อปริมาตรห้อง (Q)

$$\varepsilon_z = \frac{\tau_r}{\tau_i} \qquad (1)$$

$$\tau_r \quad \frac{1}{ACH} = \frac{Q}{V} \qquad = \qquad (2)$$

ในความเป็นจริงแล้ว ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศ ก็คือประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนอากาศในการลดมลภาวะอ้างอิงจากจุดหรือโซนที่กำหนด ซึ่งตัวแปรหลักที่ใช้คำนวณก็คืออายุเฉลี่ยของอากาศ ณ ตำแหน่งนั้น ๆ โดยสามารถหาค่าได้จากการทดสอบติดตามก๊าซ (Gas Tracing Method) ตามมาตรฐาน ASHRAE 129 (BSR/ASHRAE, 2002) การทดสอบจะทำโดยการจ่ายก๊าซทดสอบ อาทิ SF_6 เข้าสู่ห้องทดสอบจนมีความเข้มข้นตั้งต้นในระดับที่กำหนด (C_o) จากนั้นทำการจ่ายอากาศผ่านระบบการไหลเวียนอากาศที่ถูกทดสอบจนกระทั่งก๊าซดังกล่าวมีความเข้มข้น (C_i) ค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหมดไป โดยค่าความเข้มข้นของก๊าซและเวลาที่ใช้ในการลดความเข้มข้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3 จึง

อาจกล่าวได้ว่า หากก๊าซทดสอบมีอัตราการลดความเข้มข้นที่รวดเร็ว แสดงว่าอากาศบริเวณนั้นมีอายุเฉลี่ยต่ำ (อากาศถูกแทนที่เร็วด้วยอากาศที่ดีกว่าจากหัวจ่าย) หรือระบบการไหลเวียนอากาศมีประสิทธิภาพสูงในการลดมลภาวะ ณ ตำแหน่งที่ถูกทดสอบนั่นเอง

$$\tau_i = \frac{1}{C_0}\int_o^\infty C_i(t)dt \qquad (3)$$

โดยทั่วไปแล้ว การทดสอบหาค่าอายุเฉลี่ยของอากาศเฉพาะที่จะกระทำขึ้นในบริเวณโซนการหายใจ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 0.3-1.8 เมตร จากพื้นห้อง จากนั้นจึงทำการหาค่าประสิทธิภาพการหมุนเวียนอากาศ ด้วยการเทียบค่าอายุเฉลี่ยเฉพาะที่ของอากาศในโซนการหายใจกับค่าอายุอากาศเฉลี่ยของห้อง ซึ่งหากอายุเฉลี่ยของอากาศเฉพาะที่มีค่าน้อยกว่าอายุอากาศเฉลี่ยของห้อง ย่อมจะทำให้ค่า VEF มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการไหลเวียนอากาศที่ถูกทดสอบมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ ในทางกลับกันหากค่าดังกล่าวต่ำกว่า 1 แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพไม่เป็นที่น่าพอใจนัก

ในปัจจุบัน มาตรฐาน ASHRAE 62 ตั้งแต่ปี 2004 เป็นต้นมาได้ยอมรับว่าการใช้ระบบการไหลเวียนอากาศที่อาศัยการลอยตัวของอากาศร้อนเข้ามาสนับสนุน อาทิ ระบบการไหลเวียนอากาศแบบแทนที่มีค่า VEF สูงถึง 1.2 ในขณะที่ระบบผสมที่มีการวางตำแหน่งหัวจ่ายที่เหมาะสมจะมีค่า VEF เพียง 1.0 แต่หากมีการวางตำแหน่งหัวจ่ายและช่องนำลมกลับไม่เหมาะสม เช่น วางไว้ใกล้กันจะเป็นการลดค่า VEF ลดลงเหลือเพียง 0.5 นอกจากนี้ การจ่ายอากาศเย็นจะได้ทำให้ค่า VEF สูงกว่าการจ่ายอากาศร้อน เนื่องจากอากาศร้อนมีน้ำหนักเบาจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวขึ้น และไม่เข้าสู่โซนการหายใจเท่าที่ควร มลภาวะจึงมีแนวโน้มที่จะคงอยู่ในโซนการหายใจมากขึ้น (ASHRAE, 2004) ในทางกลับกัน อากาศเย็นที่หนักจะมีแนวโน้มจมลงต่ำ และเข้าสู่โซนการหายใจมากกว่า ดังนั้นการออกแบบให้มีอยู่ในภาวะการทำความเย็น (Cooling Mode) จึงมีส่วนช่วยให้ระบบการไหลเวียนอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ตารางที่ 1 ได้มีการสรุป VEF หรือ ε_z จากมาตรฐาน ASHRAE 62 ไว้เพื่ออ้างอิง

ระบบการไหลเวียนอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงมีส่วนเชื่อมโยงกับการประหยัดพลังงานโดยตรง มาตรฐาน ASHRAE 62 กำหนดให้ปริมาณอากาศสำหรับการหายใจ (Breathing Zone Outdoor Airflow หรือ V_{bz}) ซึ่งคือปริมาณอากาศภายนอกทางทฤษฎีตามประเภทของผู้ใช้อาคารมาคำนวณร่วมกับ VEF เพื่อคำนวณอากาศภายนอกสำหรับโซน (Zone Outdoor Airflow หรือ V_{oz}) ตามสมการที่ 4 ซึ่งค่า V_{oz} นี้ เป็นปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องนำเข้าสู่ระบบปรับอากาศ โดยมีการคำนึงถึงลักษณะของการกระจายอากาศภายในห้อง ดังนั้นหากระบบการไหลเวียนอากาศมีค่า VEF สูง ย่อมส่งผลให้ค่า V_{oz} ลดลง ดังนั้น

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศของลักษณะการกระจายอากาศแบบต่าง ๆ (ASHRAE, 2004)

ลักษณะการกระจายอากาศ	VEF, ε_z
ช่องจ่ายลมเย็นระดับฝ้าเพดาน	1.0
ช่องจ่ายลมเย็นและช่องลมกลับในระดับพื้น	1.0
ช่องจ่ายลมร้อนระดับฝ้าเพดานสูงกว่าอุณหภูมิห้องมากกว่า 8°C และช่องลมกลับอยู่ในระดับฝ้าเพดาน	0.8
ช่องจ่ายลมร้อนระดับฝ้าเพดานสูงกว่าอุณหภูมิห้องน้อยกว่า 8°C โดยมีความเร็วลมไม่น้อยกว่า 0.8 m/s และลมร้อนลงต่ำถึงระดับ 1.4 เมตร จากพื้น และช่องลมกลับอยู่ในระดับฝ้าเพดาน: หากมีความเร็วต่ำกว่า ε_z = 0.8	1.0
ช่องจ่ายลมเย็นระดับพื้นที่มีความเร็วไม่น้อยกว่า 0.8 m/s และลมเย็นพุ่งสูงกว่าถึงระดับ 1.4 เมตร จากพื้น	1.0
ช่องจ่ายลมเย็นระดับพื้นและช่องลมกลับระดับเพดาน โดยการจ่ายลมเย็นมีความเร็วลมต่ำ และส่งเสริมให้เกิดการลอยตัวของอากาศร้อนในทิศทางเดียว ด้วยหลักการการไหลเวียนอากาศแบบแทนที่	1.2
ช่องจ่ายลมร้อนระดับพื้นและช่องนำลมกลับระดับพื้น	1.0
ช่องจ่ายลมร้อนระดับพื้นและช่องนำลมกลับระดับฝ้า	0.7
ช่องจ่ายลมอยู่ตรงข้ามกับช่องลมกลับ	0.8
ช่องจ่ายลมอยู่ใกล้กับช่องลมกลับ	0.5

แนวโน้มของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศจึงลดลงตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ควรตระหนักว่าการลดลงของปริมาณอากาศภายนอกที่เกิดจากประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่ได้เป็นการลดคุณภาพอากาศภายในอาคารแต่อย่างใด

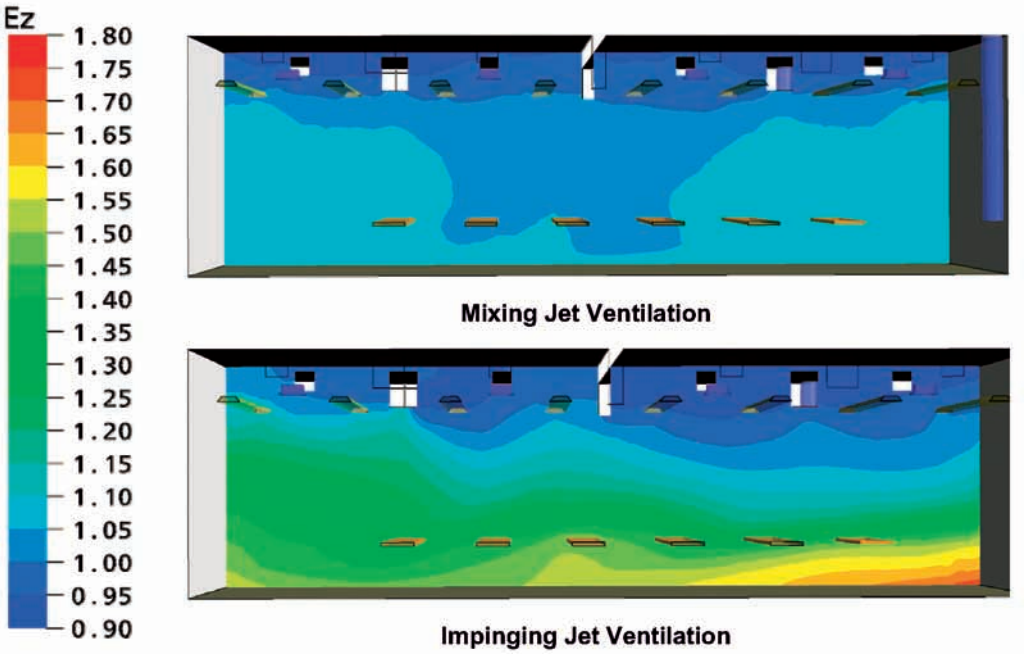
$$V_{oz} = \frac{V_{bz}}{\varepsilon_z} \qquad (4)$$

การลดพลังงานจากปริมาณอากาศภายนอกที่ลดลงนั้นขึ้นอยู่กับสภาพของอากาศภายนอกและภาวะของการปรับอากาศขณะนั้น ซึ่งลักษณะของการประหยัดพลังงานจะเกิดขึ้นในลักษณะดังต่อไปนี้

- **อากาศภายนอกร้อนและการปรับอากาศอยู่ในภาวะการทำความเย็น:** ประสิทธิภาพของระบบการไหลเวียนอากาศธรรมชาติมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานได้มาก โดยเฉพาะในส่วนของการทำความเย็น เนื่องจากการลดอากาศภายนอกที่มีความร้อนสูงจะก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นโดยตรง
- **อากาศภายนอกเหมาะสมและการปรับอากาศอยู่ในภาวะการทำความเย็น:** ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศที่สูงจะมีส่วนน้อยในการช่วยประหยัดพลังงาน หากอากาศภายนอกมีความเย็นที่พอเหมาะระบบปรับอากาศจะสามารถดึงเอาอากาศภายนอกเข้ามามากเท่าที่ต้องการ โดยไม่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในการทำความเย็นเพิ่มเติม การลดปริมาณอากาศภายนอกจึงไม่ได้ช่วยลดการใช้พลังงานแต่อย่างไร ในทางกลับกัน ประสิทธิภาพการไหลเวียนที่สูงกลับมีส่วนช่วยเพิ่มคุณภาพอากาศภายในอาคารให้ดีขึ้น โดยการกระจายอากาศภายนอกไปยังโซนการหายใจได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- **อากาศภายนอกหนาวเย็นและการปรับอากาศอยู่ในภาวะการทำความเย็น:** กรณีนี้สามารถเกิดขึ้นได้หากอาคารมีแหล่งความร้อนภายในอาคารสูง (Internal Load) หรือมีรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความร้อนสูงเข้าสู่อาคาร (ผ่านกระจก) ในกรณีนี้ระบบปรับอากาศจำต้องใช้พลังงานความร้อนในการอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิไม่ต่ำจนเกินไป โดยจะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ในระดับ 10-13°C ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศที่สูงสามารถลดปริมาณอากาศภายนอก และลดพลังงานจากการทำความร้อนได้โดยตรง
- **อากาศภายนอกหนาวเย็นและการปรับอากาศอยู่ในภาวะการทำความร้อน:** กรณีดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้หากอาคารมีแหล่งความร้อนภายในอาคารไม่เพียงพอ หรืออาคารมีการสูญเสียความร้อนผ่านการรั่วไหลหรือกระจกมากเกินไป ระบบปรับอากาศต้องทำความร้อนให้กับอากาศที่หนาวเย็นจากภายนอกในปริมาณมาก ในกรณีหากสามารถลดปริมาณอากาศภายนอกจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการทำความร้อนได้มาก แต่ในความเป็นจริงแล้ว เมื่ออาคารเข้าสู่ภาวะการทำความร้อน จะเป็นการยากที่จะทำให้ประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศสูงเกิน 1 ดังนั้น ในกรณีนี้จึงเป็นไปได้ยากที่จะหวังพึ่งระบบที่มีประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศสูงในการลดการใช้พลังงาน
- **อากาศภายนอกร้อนและการปรับอากาศอยู่ในภาวะการทำความร้อน:** กรณีดังกล่าวเกิดขึ้นได้ยากในการใช้งานจริง ภายในอาคารมีทั้งความร้อนที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้า ตลอดจนรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในอาคาร ดังนั้นภายในอาคารจึงมีแนวโน้มที่จะร้อนกว่าภายนอกอยู่แล้ว ยิ่งภายนอกอากาศร้อน ยิ่งไม่มีความจำเป็นต้องทำความร้อนภายในอาคารแต่อย่างใด ในทางตรงกันข้าม หากอากาศภายนอกร้อน อาคารมักต้องการการทำความเย็นเกือบตลอดเวลา ซึ่งผลกระทบการใช้พลังงานจากระบบการไหลเวียนอากาศจะเป็นไปตามแนวโน้มที่ได้กล่าวไปแล้วในกรณีแรก

4. ระบบการไหลเวียนอากาศแบบยิงสู่พื้น

ระบบยิงสู่พื้นได้เริ่มมีการวิจัยและประยุกต์ใช้จริงกว่า 10 ปี มาแล้ว โดยผลการวิจัยต่าง ๆ ทั้ง Karimipanah และ Awbi ตลอดจนของผู้เขียนเอง ได้พบว่าระบบดังกล่าวมีข้อได้เปรียบต่อการใช้ระบบผสมในหลาย ๆ ด้าน (Karimipanah & Awbi, 2002; Varodompun & Navvab, 2007) ซึ่งได้มีการสรุปตรงกันว่าระบบยิงสู่พื้นมีค่า VEF มากกว่า 1 จากการวิจัยของผู้เขียนพบว่าระดับ VEF ของระบบยิงสู่พื้นจะอยู่ที่ 1.1 รูปที่ 2 ได้แสดงค่า VEF ที่เกิดจากการจำลองสภาพด้วยพลศาสตร์การไหล (CFD หรือ Computational Fluid Dynamics) ซึ่งจากการเปรียบเทียบระหว่างระบบผสมและระบบยิงสู่พื้น แสดงให้เห็นว่าระบบผสมจะมีค่า



รูปที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศของระบบผสมและระบบยิงสู่พื้น

VEF เฉลี่ยใกล้เคียงกับ 1 เท่ากันทั่วทั้งห้องไม่ว่าจะเป็นบริเวณใกล้กับพื้นห้องหรือใกล้กับฝ้าเพดาน ในทางกลับกัน เมื่อมีการใช้ระบบยิงสู่พื้น VEF ภายในโซนการหายใจจะมีค่าสูง โดยอาจสูงถึง 1.3 แต่ค่า VEF ในระดับฝ้าเพดานจะมีค่า VEF น้อยกว่า 1 จึงอาจสรุปได้ว่าระบบยิงสู่พื้นสามารถรักษาคุณภาพอากาศในบริเวณที่ผู้ใช้อาคารใช้สำหรับการหายใจได้ดีกว่าระบบผสม หรือหากมุ่งเน้นที่การประหยัดพลังงานเป็นหลัก เมื่อควบคุมให้ทั้ง 2 ระบบมีคุณภาพอากาศในโซนการหายใจที่เท่าเทียมกัน (ระดับความเข้มข้นของมลภาวะเท่ากัน) ระบบยิงสู่พื้นจะมีแนวโน้มในการประหยัดพลังงานได้มากกว่า

ในปัจจุบัน นอกจากระบบยิงสู่พื้นที่มีประสิทธิภาพสูงแล้ว ระบบที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายกว่าเนื่องจากมีการพัฒนามาก่อนระบบยิงสู่พื้น คือ ระบบไหลเวียนอากาศแบบแทนที่ (Displacement Ventilation) โดยระบบนี้จะอาศัยหลักการการลอยตัวของอากาศร้อนเช่นเดียวกับระบบยิงสู่พื้น แต่ทั้ง 2 ระบบจะมีความแตกต่างที่ลักษณะการจ่ายลม ระบบแทนที่จะมีช่องจ่ายลมเย็นขนาดใหญ่และอยู่ใกล้ระดับพื้นห้อง ลมเย็นความเร็วต่ำจะถูกผลักเข้าสู่ห้องอย่างช้า ๆ การลอยตัวของอากาศร้อนจึงสามารถเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ระบบการไหลเวียนอากาศแบบแทนที่ก็มีข้อเสียที่สำคัญ คือการไม่สามารถจ่ายลมที่เย็นเกินไปนัก ความเร็วลมจ่ายที่มีความเร็วลมต่ำจำต้องใช้อุณหภูมิจ่ายที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องไม่เกิน 3-5°C (Skistad, 1994) ทั้งนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความแตกต่างของอุณหภูมิที่มากเกินไป (Stratification Discomfort) ซึ่งมีการกำหนดขอบเขตความแตกต่างอุณหภูมิตามความสูงของห้องไว้ไม่เกิน 3°C จากระยะความสูง 0.1-1.1 เมตร ตามมาตรฐาน ASHRAE 55-2004 (ASHRAE, 2004)

โดยปกติแล้วอุณหภูมิหัวจ่ายที่มีความเหมาะสมจะอยู่ที่ 10-13°C ซึ่งจะเป็นช่วงที่ระบบปรับอากาศสามารถรีดความชื้นได้ดี และอุณหภูมิที่เย็นจะทำให้สามารถลดปริมาณลมจ่ายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม การที่ระบบแทนที่ต้องการลมจ่ายที่อุ่นขึ้น จะส่งผลเสียต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ โดยระบบจำต้องใช้พลังงานจากพัดลมที่เพิ่มขึ้น จากการที่ต้องใช้ปริมาณลมที่เพิ่มขึ้น พลังงานที่ต้องใช้ไปกับพัดลมนี้อาจมากกว่าพลังงานที่ลดได้จากปริมาณอากาศภายนอกที่ลดลง (จากค่า VEF ของระบบที่สูงถึง 1.2) จึงทำให้ระบบแทนที่ไม่มีประสิทธิภาพทางพลังงานเท่าที่ควร การลดปัญหาความแตกต่างของอุณหภูมิแต่ยังสามารถลดอุณหภูมิลมจ่ายให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในขณะที่สามารถรักษาคุณลักษณะจากการลอยตัวของอากาศร้อน จึงเป็นความท้าทายสำหรับนักวิจัยและผู้ออกแบบระบบไหลเวียนอากาศ

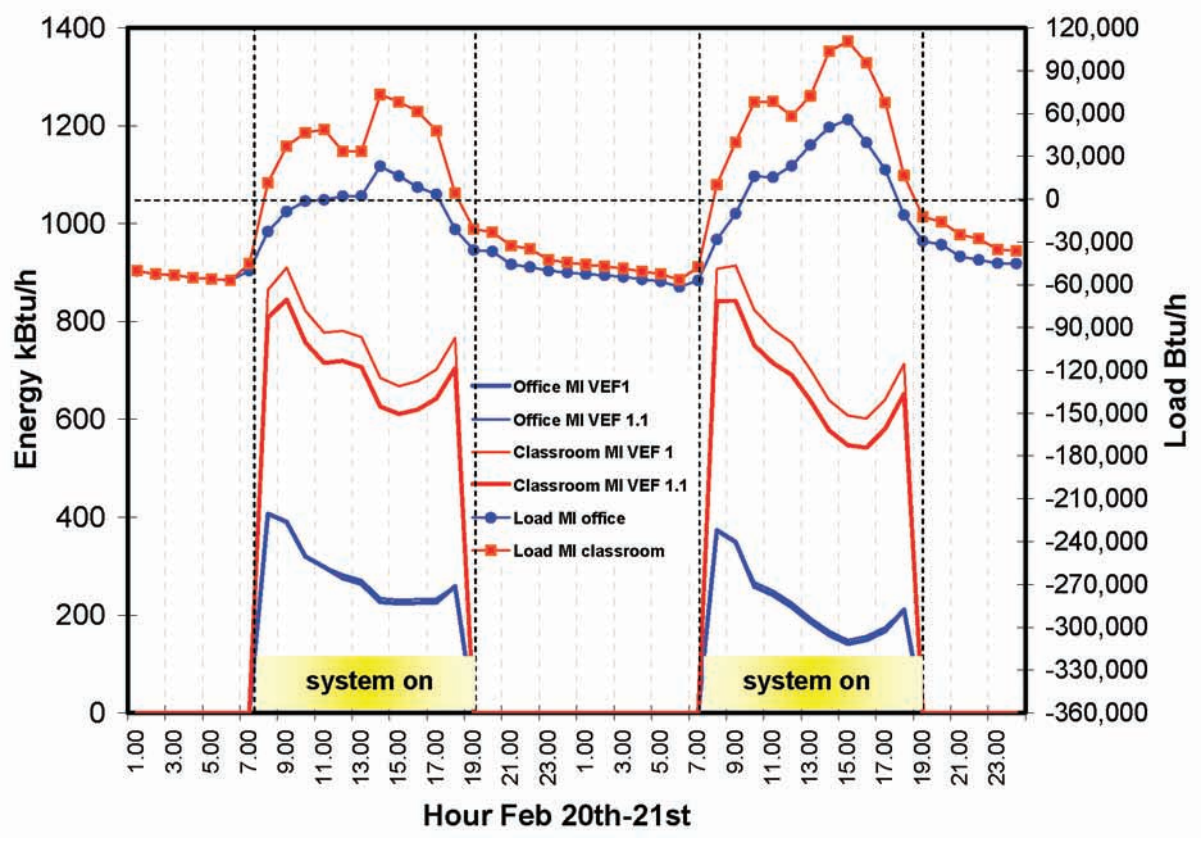
ระบบยิงสู่พื้นเป็นระบบหนึ่งที่สามารถชดเชยข้อเสียของระบบแทนที่ได้ โดยระบบนี้สามารถใช้ลมจ่ายที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม ความเร็วลมจ่ายที่เหมาะสมของระบบจะอยู่ในช่วง 1-1.5 m/s (Varodompun, 2007) เพื่อให้มีพลังงานจลน์ที่เพียงพอในการผสมอากาศบริเวณด้านล่างของห้อง เมื่อมีอัตราการผสมของอากาศที่พอเพียง ปัญหาความแตกต่างของอุณหภูมิจึงลดลง การที่ระบบสามารถทำงานในช่วงที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศจึงทำให้ระบบสามารถได้รับประโยชน์จากการลดการใช้พลังงานได้อย่างเต็มที่กว่าระบบแทนที่

5. กรณีศึกษาการลดการใช้พลังงานด้วยการใช้ระบบการไหลเวียนอากาศที่มีประสิทธิภาพ

เพื่อจำลองให้ผู้อ่านได้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการเลือกใช้ระบบการไหลเวียนอากาศที่เหมาะสม บทความชิ้นนี้จึงได้มีการใช้การจำลองสภาพการใช้พลังงานด้วยซอฟแวร์ eQUEST ซึ่งอยู่บนพื้นฐานการคำนวณของ DOE V 2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้พลังงานจากระบบผสมและระบบยิงสู่พื้น

อาคารตัวอย่างขนาด 1,000 ตารางเมตร ที่มีการใช้วัสดุตามข้อกำหนดของ ASHRAE 90.1 2004 โดยมีพื้นที่กระจกไม่เกิน 40% และใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพ (ASHRAE/IESNA, 2004) ระบบปรับอากาศเป็นแบบ package ที่มี COP (Coefficient Of Performances) 3 และมีระบบทำความร้อนด้วย boiler ที่มีประสิทธิภาพ 85% ตัวแปรต้นประกอบด้วย 1) การไหลเวียนอากาศ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบผสม (VEF=1) และระบบยิงสู่พื้น (VEF=1.1) 2) ภูมิอากาศของ 2 ภูมิภาค ได้แก่ Detroit และ Houston 3) ลักษณะของผู้ใช้อาคารประเภทสำนักงานที่มีผู้ใช้งาน 20 ตารางเมตรต่อคน และโรงเรียนที่มีผู้ใช้งาน 3 ตารางเมตรต่อคน

ในการจำลองสภาพการใช้พลังงาน ได้มีการใช้ภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงเป็นตัวตัดสินว่าชั่วโมงใดสามารถลดปริมาณอากาศภายนอกจากการใช้ระบบยิงสู่พื้นได้ ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3 ในชั่วโมงที่ระบบต้องทำความเย็นให้กับอากาศภายนอก (ภาระการ

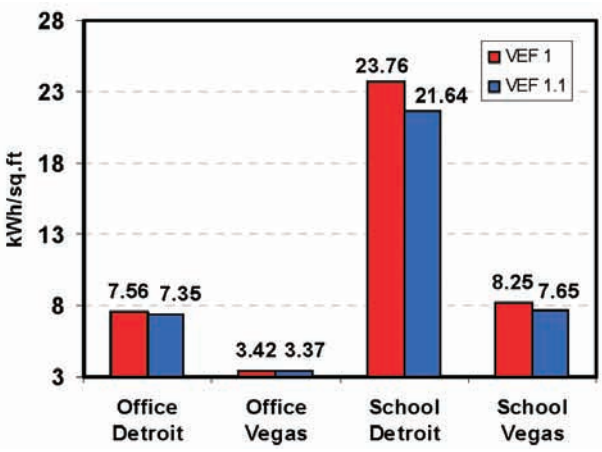


รูปที่ 3 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานของระบบผสมและยิงสู่พื้น

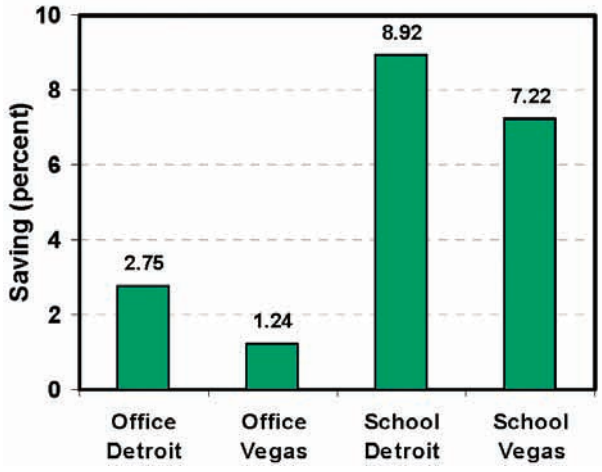
ทำความเย็นเป็นบวก) จะมีการลดปริมาณอากาศภายนอกตามสมการที่ 4 โดยใช้ค่า VEF ที่ 1.1 แต่หากชั่วโมงใดที่มีการทำความร้อน (ภาระการทำความเย็นเป็นลบ) จะใช้ค่า VEF ที่ 1 ในการคำนวณหาปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องนำเข้าสู่ระบบ ส่วนระบบการไหลเวียนอากาศแบบผสมจะมีการใช้ VEF ที่ 1 ในทุกกรณีไม่ว่าระบบจะทำความร้อนหรือเย็น ในการนี้ ได้มีการนำตัวอย่างของข้อมูลรายชั่วโมงของวันที่ 20-21 กุมภาพันธ์ มาแสดงเป็นตัวอย่าง ซึ่งข้อมูลที่นำมาแสดงเป็นข้อมูลภูมิอากาศของเมือง Detroit โดยได้แสดงข้อมูลของอาคารสำนักงาน และห้องเรียนด้วยสัญลักษณ์สีน้ำเงินและแดงตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า แม้ว่าในเดือนกุมภาพันธ์ที่สภาพอากาศภายนอกมีความหนาวเย็นมาก ระบบปรับอากาศของทั้ง 2 อาคาร ยังคงมีช่วงเวลาที่ทำความเย็นเกิดขึ้นสาเหตุเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ที่มาจากดวงอาทิตย์ทำมุมต่ำและเกือบตั้งฉากกับกระจก ความร้อนจึงเข้าสู่อาคารได้ค่อนข้างมาก ข้อมูลบนแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าห้องเรียนจะมีภาระการทำความเย็นที่สูงกว่าจากการที่มีผู้ใช้อาคารซึ่งถือเป็นแหล่งความร้อนหนาแน่นกว่า

ผลการใช้พลังงานได้ถูกแสดงไว้ด้างล่างของรูปที่ 3 เส้นสีน้ำเงินแสดงผลของสำนักงาน ในขณะที่เส้นสีแดงแสดงผลของห้องเรียน โดยจะสังเกตได้ว่าห้องเรียนจะส่งผลให้มีการประหยัดพลังงานได้มากกว่า เมื่อมีการใช้ระบบยิงสู่พื้น ซึ่งผลดังกล่าวเกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการ คือ ห้องเรียนมีปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องนำเข้าสู่ระบบเป็นปริมาณมาก การลดปริมาณอากาศภายนอกจึงมีผลต่อการใช้พลังงานมาก ยิ่งไปกว่านั้นห้องเรียนมีความร้อนจากผู้ใช้อาคารที่มากกว่า ระบบจึงมีแนวโน้มที่จะทำความเย็นมากกว่า ระบบจึงมีโอกาสที่จะใช้ประโยชน์จาก VEF ที่สูงของระบบยิงสู่พื้นได้บ่อยกว่า

เมื่อนำพลังงานรายปีของทุกกรณีมาเปรียบเทียบกันดังที่แสดงในรูปที่ 4 จะพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้มีการประหยัดพลังงานจากการใช้ระบบการไหลเวียนอากาศที่มีประสิทธิภาพคือความหนาแน่นของผู้ใช้อาคาร ซึ่งส่งผลมากกว่าความแตกต่างทางภูมิอากาศ อาคารโรงเรียนจะมีแนวโน้มในการใช้พลังงานจากการปรับอากาศที่สูงกว่า ในขณะที่อาคารสำนักงานแทบจะไม่มีการลดการใช้พลังงานเลย เมื่อดูผลร้อยละของการลดพลังงานก็ยังแสดงผลไปในทิศทางเดียวกัน ดังที่แสดงไว้รูปที่ 5 อาคารโรงเรียนที่มีผู้ใช้อาคารหนาแน่นจะลดพลังงานได้ถึง 7-8% ในขณะที่อาคารสำนักงานจะลดพลังงานลงได้เพียง 1-2% เท่านั้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ควรเลือกใช้ระบบการไหลเวียนอากาศแบบยิงสู่พื้นในอาคารที่มีความหนาแน่นเป็นหลัก อาทิ ห้องเรียน โรงหนัง โรงละคร เป็นต้น



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบที่มีประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศแตกต่างกันตามประเภทอาคารและตามภูมิอากาศ



รูปที่ 5 เปรียบเทียบร้อยละของการประหยัดพลังงานของระบบที่มีประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศแตกต่างกันตามประเภทอาคารและตามภูมิอากาศ

6. สรุป

บทความชิ้นนี้ได้ชี้ให้เห็นว่า ระบบการไหลเวียนอากาศ คุณภาพอากาศภายในอาคาร และการประหยัดพลังงานในอาคาร มีความเชื่อมโยงกันอย่างมิอาจแยกจากกันได้ ซึ่งหากระบบไหลเวียนอากาศมีประสิทธิภาพสามารถกระจายอากาศได้ดี ตลอดจนมีประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศที่สูง จะสามารถลดการใช้พลังงานจากการลดปริมาณอากาศภายนอกที่จะนำเข้าสู่ระบบปรับอากาศได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เป็นที่พิสูจน์แล้วว่าการลดปริมาณดังกล่าวจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารแต่อย่างใด

การออกแบบระบบไหลเวียนอากาศให้มีประสิทธิภาพนั้น สถาปนิกและวิศวกรมีส่วนสำคัญในการทำงานผสานกัน ทั้งในการจัดวางตำแหน่งของช่องลมจ่ายและช่องลมกลับให้เหมาะสม โดยเฉพาะหากต้องการใช้ระบบการไหลเวียนอากาศยิงสู่พื้นนั้นต้องมีการวางตำแหน่งลมจ่ายและช่องลมกลับที่เป็นลักษณะเฉพาะ นอกจากนี้ควรออกแบบอาคารให้เข้าสู่ภาวะการทำความเย็น โดยควรหลีกเลี่ยงการทำความร้อนในช่วงอากาศหนาว เพื่อให้ระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนอากาศสูงกว่า 1 ตลอดเวลา งานวิจัยชิ้นนี้ยังได้แสดงกรณีตัวอย่างของการลดการใช้พลังงานจากการใช้ระบบการไหลเวียนอากาศที่มีประสิทธิภาพ และได้ชี้ให้เห็นว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดในอาคารประเภทที่มีผู้ใช้อาคารหนาแน่นเป็นหลัก

ในอนาคตอันใกล้นี้ ผู้เขียนมุ่งหวังที่จะทำการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้ระบบการไหลเวียนอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างระบบยิงสู่พื้น ในประเทศไทย ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการลดการใช้พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ ซึ่งถือว่าเป็นสาเหตุหลักของการใช้พลังงานในอาคารที่อยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

รายการอ้างอิง

ASHRAE. (2004). *ANSI/ASHRAE 55-2004: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, GA: ASHRAE.

ASHRAE. (2004). *ANSI/ASHRAE 62-2004: Ventilation for acceptable indoor air quality*. Atlanta, GA: ASHRAE.

ASHRAE/IESNA. (2004). *ASHRAE/IESNA standard 90.1 2004: Energy standard for building except low-rise residential building*. Atlanta, GA: ASHRAE.

Awbi, H. B. (2003). *Ventilation of buildings* (2nd ed.). London, New York: Spon Press.

BSR/ASHRAE. (2002). *BSR/ASHRAE standard 129-1997 (RA): Measuring air-change effectiveness*. Atlanta, GA: ASHRAE.

Karimipanah, T., & Awbi, H. B. (2002). Theoretical and experimental investigation of impinging jet ventilation and comparison with wall displacement ventilation. *Building and Environment, 37*(12), 1329-1342.

Skistad, H. (1994). *Displacement ventilation*. Control of the built environment series; 1, Taunton, Somerset, England; New York: Research Studies Press: Wiley.

Varodompun, J. (2007). *Architectural and HVAC application of impinging jet ventilation using full scale and CFD simulation*. In TCAUP College of Architecture, Ph. D., Ann Arbor: The University of Michigan.

Varodompun, J., & Navvab, M. (2007). HVAC Ventilation strategies: The contribution for thermal comfort, energy efficiency, and indoor air quality. *Journal of Green Building, 2*(2), 131-150.