ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับ CO_2-Based DCV

ตุลย์ มณีวัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์: 081-836-9582 E-mail: tul.m@chula.ac.th

คำนำ

DCV หรือ Demand Control Ventilation คือ กลยุทธ์ในการประหยัดพลังงานในการระบายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดอันหนึ่ง หลักการก็ง่ายๆ กล่าวคือเมื่อจำนวนผู้อยู่อาศัยในพื้นที่มีจำนวนลดลง อัตราการคาย CO_2 จากคนก็จะมีจำนวนลดลงไปด้วย ทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 ในบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยลดลง ถ้าระบบระบายอากาศสามารถรับรู้ปริมาณความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ได้ และสามารถไปปรับลดปริมาณอากาศระบายลงได้ ก็จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน

ระบบ DCV นี้จริงๆก็มีมาช้านานแล้ว ผู้เขียนเองก็ได้เคยทำการศึกษาเรื่องนี้อย่างละเอียดไปเมื่อกว่า 20 ปีมาแล้ว แต่สาเหตุที่ต้องมีการเขียนบทความฉบับนี้ออกมาอีกก็เนื่องมาจากว่าตั้งแต่ในราวปี ค.ศ. 2004 หรือ พ.ศ. 2547 (กว่า 15 ปีมาแล้ว) มาตรฐาน ASHRAE Standard 62.1 มีการเปลี่ยนแปลงใหญ่วิธีการคำนวณอัตราการจ่ายอากาศบริสุทธิ์ในบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยมีการแยกออกเป็นสองส่วนคืออัตราต่อพื้นที่และอัตราต่อคน มีผลทำให้วิธีการควบคุมของ DCV ต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วย และนอกจากนั้นแล้วอัตราการระบายอากาศต่อคนก็มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากด้วย กล่าวคืออัตราต่อคนจะถูกลดลงค่อนข้างมาก ผลของการเปลี่ยนแปลงในสองประเด็นดังกล่าวยังไม่ค่อยเป็นที่ทราบแน่ชัดในหมู่วิศวกรออกแบบระบบระบายอากาศและผู้ใช้งานในประเทศ ทำให้เกิดการถกเถียงกันอยู่บ่อยครั้ง ผู้เขียนจึงคิดว่าสมควรที่จะเอาหัวข้อนี้มาชี้แจงให้เกิดความกระจ่างอีกครั้ง

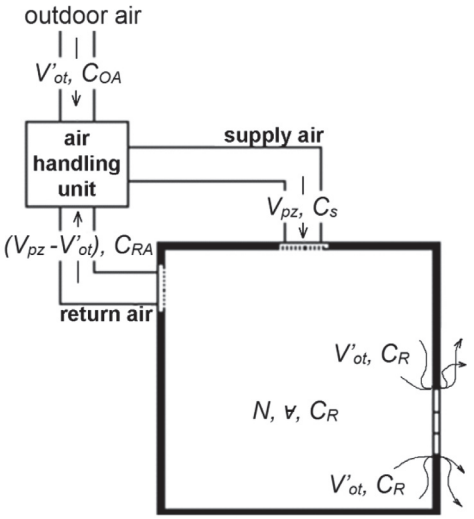
พื้นฐานของระบบ CO_2-Based DCV

CO_2 เป็น Bioeffluents ที่เกิดขึ้นจากคนในอัตราตามขนาดของร่างกาย อายุ เพศ และระดับกิจกรรม (Metabolic Rate) นอกจากนั้นแล้วในเวลาเดียวกันคนยังผลิตกลิ่นตัว (Odorous Bioeffluents) ออกมาอีกด้วย ผลลัพธ์ของงานวิจัยยังพบอีกด้วยว่าอัตราการผลิตกลิ่นตัวนี้มีค่าแปรผันโดยตรงกับอัตราการผลิต CO_2 ด้วยสาเหตุดังกล่าวข้างต้น CO_2 จึงมักถูกใช้เป็น "ตัวแทน" ของมลพิษที่ปล่อยออกมาจากตัวคนอยู่เสมอจนผู้คนส่วนมากนึกไปว่า CO_2 เป็นมลพิษ (จริงๆก็เป็นในระดับหนึ่ง แต่ความเข้มข้นต้องสูงมากๆ เช่น มีค่าเกินกว่า 5,000 ppm เป็นต้น)

เนื่องจากว่าอัตราการผลิต CO_2 นี้เราสามารถที่จะคำนวณได้ใกล้เคียงทำให้เราสามารถใช้ค่าความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องไปคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมได้ถ้าเราทราบจำนวนผู้อยู่อาศัย และในทางกลับกัน ถ้าเรารู้ว่าเรากำลังระบายอากาศอยู่เท่าใดเราก็สามารถใช้ความเข้มข้นของ CO_2 ไปคำนวณหาจำนวนผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้

CO_2-based DCV ไม่ควรนำไปใช้ในสถานที่ที่มีแหล่งกำเนิด CO_2 นอกเหนือจากผู้อยู่อาศัย อาทิเช่น ห้องที่มีอุปกรณ์การเผาไหม้ เช่น เตาหรือมีการใช้น้ำแข็งแห้งเป็นต้น เพราะจะทำให้ปริมาณ CO_2 ในห้องสูงขึ้นเป็นอย่างมากโดยที่ไม่ได้มาจากผู้อยู่อาศัย และห้องอีกประเภทหนึ่งคือห้องที่มีการใช้อุปกรณ์ดูดซับ CO_2 ห้องประเภทนี้ก็ไม่ควรใช้ DCV เพราะจะทำให้อัตราการระบายอากาศต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการประยุกต์ใช้ CO_2-based DCV ต่อไป ผู้เขียนจะขออธิบายทฤษฎีการคำนวณหาความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องเดี่ยว (Single Zone) ตามรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1: Single Zone CO_2

สมมุติว่าห้องมีการนำเข้าอากาศบริสุทธิ์มากกว่าอากาศเสียที่ถูกนำออกและมีความดันภายในเป็นบวกเมื่อเปรียบกับภายนอก จากการพิจารณาให้ตัวห้องเป็น Control Volume และจากสมดุลมวลของ CO_2 เราจะได้ว่า

$$N + V_{pz}C_s - (V_{pz} - V'_{ot})C_{RA} - V'_{ot}C_R = \forall \frac{\partial C_R}{\partial t} \qquad (1)$$

โดยที่

N = อัตราการ Generate CO_2 ภายในห้อง

V_{pz} = อัตราการไหลของอากาศระบายเข้าสู่ห้อง

V'_{ot} = อัตราการไหลของอากาศภายนอกเข้า AHU ที่ขณะใดๆ

$\forall$ = ปริมาตรห้อง

C_s = ความเข้มข้นของ CO_2 ในลมจ่าย

C_R = ความเข้มข้นของ CO_2 ในห้อง

C_{RA} = ความเข้มข้นของ CO_2 ในลมกลับ

ในสภาวะ Steady State สมการที่ 1 จะลดรูปลงเหลือเป็น

$$N = V_{pz}(C_{RA} - C_s) + V'_{ot}(C_R - C_{RA}) \qquad (2)$$

จากสมดุลมวลที่เครื่องเป่าลมเย็นจะได้ว่า

$$V'_{ot}(C_{RA} - C_{OA}) = V_{pz}(C_{RA} - C_s) \quad (3)$$

จากการรวมสมการที่ 2 และ 3 จะได้ว่า

$$N = V'_{ot}(C_R - C_{OA}) \quad (4)$$

เนื่องจากห้องดังกล่าวเป็นเพียง Single Zone ดังนั้น

$$V_{ot} = V_{oz} = \frac{V_{bz}}{E_z} \quad (5)$$

โดยที่ E_z คือประสิทธิภาพการจ่ายอากาศระบายเข้าไปยัง Breathing Zone และ

$$V_{bz} = R_p P_z + R_a A_z \quad (6)$$

โดยที่

V_{bz} = ปริมาณอากาศระบายใน Breathing Zone

R_p = อัตราการระบายอากาศต่อคน

P_z = จำนวนคนในห้อง

R_a = อัตราการระบายอากาศต่อพื้นที่

A_z = ขนาดพื้นที่ห้อง

V_{ot} ในสมการที่ 5 จะถูกเขียนเป็น V'_{ot} ถ้าจำนวนผู้อยู่อาศัยมีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดตาม Design Occupancy และถ้าคนเป็นเพียงแหล่งกำเนิดเดียวของ CO_2 ในห้อง Source Strength ของ CO_2 จะเขียนได้เป็น

$$N = kmP_z \quad (7)$$

โดยที่

k = อัตราการคาย CO_2 ซึ่งมีค่าประมาณ 0.0084 cfm/Met/คน สำหรับผู้ใหญ่

m = ระดับกิจกรรมในหน่วย Met

ค่า Met สำหรับกิจกรรมต่างๆ สามารถดูรายละเอียดได้จาก ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamental ในบทที่ 9 ในหัวข้อเรื่อง Thermal Comfort ค่า Met บางส่วนจะถูกนำมาแสดงไว้ในตารางที่ 1 เพื่อความสะดวกดังนี้

ตารางที่ 1: Typical Met Levels สำหรับระดับกิจกรรมแบบต่างๆ

ACTIVITY	MET
Seated, quiet	1.0
Reading and writing, seated	1.0
Typing	1.1
Filing, seated	1.2
Filing, standing	1.4
Walking, at 0.89 m/s	2.0
House cleaning	2.0–3.4
Exercise	3.0–4.0

จากการรวมสมการที่ 4 และ 7 เข้าด้วยกันเราจะสามารถหาค่าจำนวนผู้อยู่อาศัยในห้อง (P_z) ได้จากการวัดค่าความเข้มข้นของ CO_2 ภายในและภายนอกห้องและจากค่าอัตราการไหลของอากาศภายนอกดังนี้

$$P_z = \frac{V'_{ot}(C_R - C_{OA})}{km} \quad (8)$$

ถ้าค่า k สำหรับผู้ใหญ่จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.0084 cfm/Met/คน และถ้าใช้ค่าความเข้มข้นของ CO_2 เป็น ppm เราจะเขียนสมการข้างบนได้เป็น

$$P_z = \frac{V'_{ot}(C_R - C_{OA})}{8400m} \quad (9)$$

รวมสมการ 5 6 และ 9 เข้าด้วยกัน จะได้ว่าอัตราการจ่ายอากาศบริสุทธิ์เข้าไปยังห้องที่จำนวนคนใดๆ จะเขียนได้เป็น

$$V'_{ot} = \frac{R_a A_z}{E_z - \frac{R_p(C_R - C_{OA})}{8400m}} \quad (10)$$

สมการข้างต้นสามารถใช้หาค่าความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องที่สภาวะออกแบบ (Maximum Occupancy) ได้ดังนี้

$$V_{ot} = \frac{R_p P_z + R_a A_z}{E_z} = \frac{R_a A_z}{E_z - \frac{R_p(C_R - C_{OA})}{8400m}} \quad (11)$$

แก้สมการข้างบนเพื่อหาค่าความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องจะได้ว่า

$$C_R = C_{OA} + \frac{8400 E_z m}{R_p + \frac{R_a A_z}{P_z}} \quad (12)$$

ที่จุดนี้ผู้เขียนอยากจะให้ท่านผู้อ่านสังเกตดูค่า CO_2 Concentration ในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าของ CO_2 Concentration ไม่ได้อยู่แค่ระดับ 1,000 ppm ตามที่คุ้นเคยกันมาแต่ในอดีต ค่าในตารางที่ 2 ตรง Occupancy Category ที่มีค่าต่ำกว่า 1,000 ก็มีแต่ในเฉพาะกรณีที่ห้องมีลักษณะการใช้งานเป็นสำนักงานเท่านั้น ในกรณีอื่นๆโดยเฉพาะในกรณีที่มีผู้อยู่อาศัยหนาแน่น เมื่อมีการระบายอากาศตามมาตรฐาน 62.1 ฉบับล่าสุด ค่าความเข้มข้นของ CO_2 จะมีค่าสูงกว่า 1,000 ppm มาก

อะไรที่เปลี่ยนไปจากเดิม

ตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 2004 คือเริ่มมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989 มาตรฐาน 62.1 จะระบุอัตราการระบายอากาศเป็นต่อคนอย่างเดียวจนกระทั่งในปี ค.ศ. 2004 ถึงได้มีการเปลี่ยนแปลงใหญ่ เป็นอัตราทั้งต่อคนและพื้นที่

ในสมัยที่อัตราการระบายอากาศเป็นเพียงแต่อัตราเฉพาะต่อคน การควบคุม DCV เป็นเรื่องง่ายมาก เพราะการควบคุมก็เพียงแต่ปรับอัตราการระบายอากาศให้ความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องมีค่าคงที่เท่านั้น เหมือนกับการตั้งค่า Thermostat ให้รักษาอุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 2 เป็นค่า Steady State CO_2 Concentration ที่ Design Occupancy สำหรับบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัยในลักษณะการใช้งานต่างๆกันที่คำนวณได้จากสมการข้างต้น ถ้า E_z = 1.0 และ CO_2 ภายนอกมีค่าอยู่ที่ 400 ppm

Occupancy Category	Activity level (met)	Steady State CO_2 Concentration (ppm)
Classrooms	1	1025
Restaurant dining rooms	1.4	1570
Conference/meeting	1	1755
Lobbies/prefunction	1.5	1725
Office space	1.2	990
Sales	1.5	1210

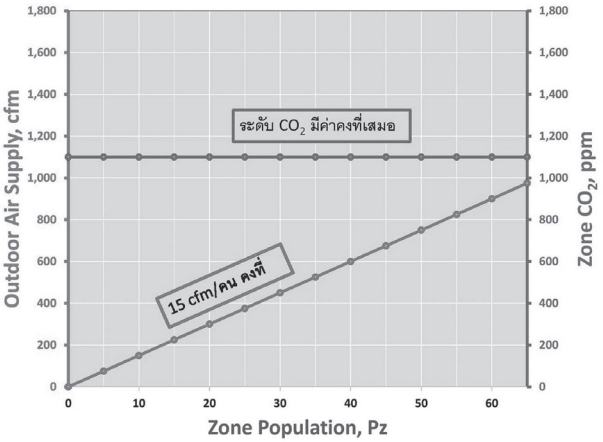
ตารางที่ 2: Steady State CO_2 Concentrations at 400 ppm Ambient

ไว้ให้คงที่ แต่พอมาตรฐาน 62.1 ในปี ค.ศ. 2004 ถูกประกาศใช้ออกมา ความง่ายที่เคยมีก็ไม่เหมือนเดิมเสียแล้วเนื่องจากว่าอัตราการระบายอากาศมิได้ขึ้นอยู่แต่เพียงจำนวนคนอย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ห้องด้วย เพื่อให้เกิดความกระจ่างในเรื่องนี้ผู้เขียนจะขอยกตัวอย่างจากเอกสารอ้างอิง [1] ซึ่งเขียนไว้ได้ดีมากมาให้พวกเราดูกันเป็นตัวอย่าง

สมมุติว่าเราอยู่ในห้องเรียนแบบบรรยายขนาด 1,000 ตารางฟุต มีนักเรียนอยู่ 65 คน มาตรฐาน 62.1 สมัยก่อนปี ค.ศ. 2004 บอกให้เราระบายอากาศ 15 cfm/คน คือ V_{bz} = 15 x 65 = 975 cfm ใช้ค่า E_z = 1.0 และ $V_{ot} = V_{oz}$ เนื่องจากเป็น Single Zone สมมติให้ค่าเฉลี่ยของระดับกิจกรรมคือ Met = 1.25 และ CO_2 Generation Rate, k = 0.0084 cfm/คน/Met ก็จะทำให้เราสามารถคำนวณได้ว่าปริมาณ CO_2 ที่เกิดขึ้นคือ 65 x 0.0084 x 1.25 cfm ซึ่งถ้าเอา 975 cfm ของ V_{bz} ไปหาร ก็จะได้ว่าระดับ CO_2 ในห้องจะเพิ่มขึ้น 700 ppm จากค่า CO_2 ภายนอกอาคาร (ในที่นี้ต่อไปเราจะสมมติให้ระดับ CO_2 ภายนอกอาคารมีค่าคงที่เท่ากับ 400 ppm) และทำให้ระดับ CO_2 ภายในห้องเพิ่มขึ้นเป็น 700 + 400 = 1,100 ppm

ในกรณีที่ไม่ใช้ DCV อัตราการระบายอากาศก็จะคงที่อยู่ที่ 975 cfm เสมอไม่ว่าจำนวนผู้อยู่อาศัยจะมีค่าลดลงหรือไม่ แต่ถ้ามีการใช้ DCV ปริมาณการระบายอากาศก็จะลดลงตามจำนวนคน ดังแสดงในรูปที่ 2

สมมุติว่าจำนวนคนลดลงจาก 65 เป็น 50 ความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องก็จะลดลงเป็น 400 + (50 x 0.0084 x 1.25)×10^6/975 ppm = 940 ppm โดยประมาณ ซึ่งต่ำกว่า Set Point 1,100 ppm เดิม ระบบ DCV ก็จะปรับลดการระบายอากาศลงจาก 975 cfm ให้เป็นเหลือเพียง 50 × 15 = 750 cfm เพื่อทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 กลับขึ้นไปเป็น 1,100

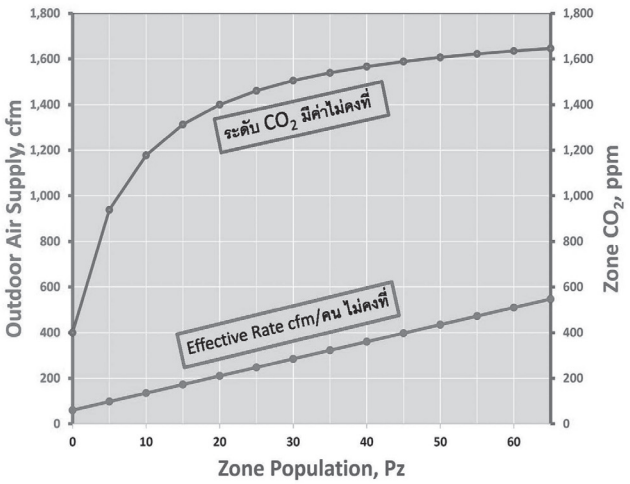


รูปที่ 2: Characteristic ของ CO_2-based DCV ในยุคก่อนปี ค.ศ. 2004

ppm ดังเดิม จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการระบายอากาศขึ้นอยู่กับตัวบุคคลแต่เพียงอย่างเดียว การควบคุม DCV ก็จะตรงไปตรงมาคือแค่คอยรักษา Set Point ตามรายการคำนวณไว้ที่ 1,100 ppm

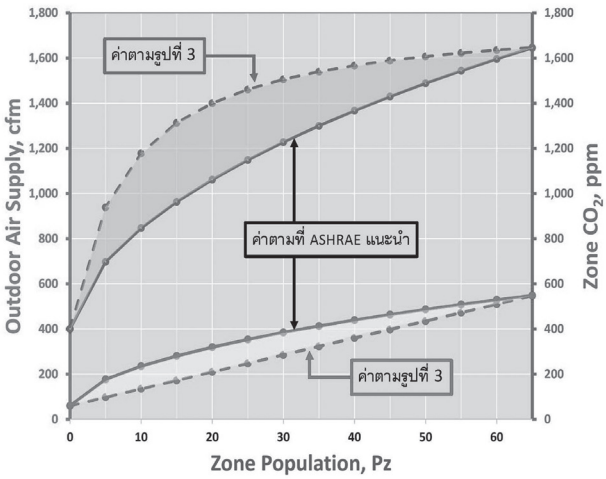
คราวนี้มาลองดูสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อการระบายอากาศเป็นไปตามมาตรฐาน 62.1 ปี ค.ศ. 2004 จากตารางค่าในมาตรฐานจะพบว่าปริมาณการระบายอากาศจะกลายเป็น 7.5 cfm/คน บวกกับอีก 0.06 cfm/ตารางฟุต สำหรับห้องเรียนห้องเดิม จากสมการที่ 6 จะได้ว่าปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่ต้องการคือ 7.5 x 65 + 0.06 x 1,000 = 550 cfm (น้อยกว่าค่าตามมาตรฐานในปี ค.ศ. 2001 เป็นอย่างมาก!!!) ปริมาณการระบายอากาศจะเพิ่มจากค่าเพียง 60 cfm เมื่อไม่มีผู้อยู่อาศัยไปเป็น 550 cfm เมื่อมีผู้อยู่อาศัยครบ 65 คนตามที่ออกแบบไว้ (ตาม Design Occupancy) ส่วนค่า CO_2 ในห้องจะเพิ่มจาก 400 เป็น 1,650 ppm ดังแสดงในรูปที่ 3 คราวนี้ถ้าจำนวนผู้อยู่อาศัยลดลงจาก 65 ไปเป็น 50 เหมือนอย่างในคราวที่แล้ว ค่าความเข้มข้นของ CO_2 ในห้องก็จะลดลง จากการคำนวณด้วยวิธีการเช่นเดิมก็จะพบว่าค่าความเข้มข้นของ CO_2 ก็น่าจะลดลงเหลือเพียงประมาณ 950 + 400 = 1,350 ppm ถ้าปริมาณการระบายยังไม่เปลี่ยน (คืออยู่ที่ค่าสูงสุด 550 cfm ตามเดิม)

แต่เมื่อจำนวนคนลดลง ระบบ DCV ก็น่าจะสามารถปรับลดปริมาณ V_{oz} ลงได้อย่างที่ควรโดยต้องปรับลดปริมาณการระบายอากาศลงจนค่าความเข้มข้นของ CO_2 กลับขึ้นไปจนถึงจุดที่ควรจะเป็น แต่คราวนี้ไม่ง่ายเหมือนเดิมเพราะไม่มี "Target CO_2" ง่ายๆ เป็นค่าคงที่เหมือนอย่างในคราวที่แล้ว คราวนี้ค่าเป้าหมายของ CO_2 มีกราฟเป็นเส้นโค้ง มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากการระบายอากาศเสมือนต่อคน (Effective Rate Per Person) มีค่าไม่คงที่ การคำนวณ Target CO_2 ต้องการเครื่องวัด/ปรับ Air Flow และต้องมีคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ!



รูปที่ 3: Characteristic ของ CO_2-based DCV ในยุคหลังปี ค.ศ. 2004

มาถึงจุดนี้เมื่อหลายปีก่อนวิศวกรผู้ออกแบบบางคนถึงกับบ่นว่าการออกแบบระบบ DCV ในยุคหลังจาก ค.ศ. 2004 เป็นต้นมาเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ ซึ่งในความเป็นจริงก็ไม่ได้แย่ขนาดนั้น การออกแบบ DCV เพื่อให้ได้ Characteristic Curve ใกล้เคียงกับที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3 ก็เป็นเรื่องที่ทำได้ไม่ยากนัก รูปที่ 4 เป็น Characteristic Curve ของระบบ CO_2-Based DCV ที่ ASHRAE ได้แนะนำไว้ให้ใช้ทดแทนระบบ CO_2-Based DCV ที่ใช้อยู่แต่เดิมก่อนปี ค.ศ. 2004 จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า Characteristic Curve ที่ได้ก็ไม่ได้ห่างไปจากค่าตามทฤษฎี (ตามรูปที่ 3) มากนัก ผลประหยัดตามที่แสดงอยู่ในเอกสารอ้างอิง [1] ก็ยังถือได้ว่าไม่ต่างกับของเดิมมากนักคือ เช่น ถ้าของเดิมทำได้ตามทฤษฎีอาจประหยัด 47% แต่ถ้าของใหม่ทำได้ตามรูปที่ 4 อาจประหยัดได้เพียง 40% เป็นต้น ซึ่งก็ยังถือได้ว่ามีผลประหยัดค่อนข้างมากอยู่



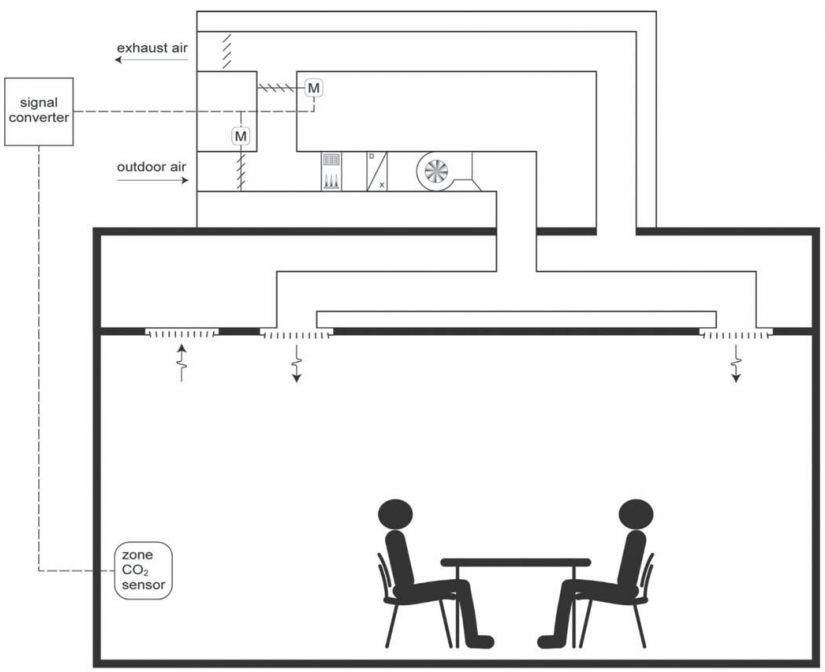
รูปที่ 4: Characteristic ของ CO_2-based DCV แบบง่ายตามวิธีที่ ASHRAE แนะนำ

วิธีการ Setup ระบบเพื่อให้ได้ Characteristic Curve ดังรูปที่ 4 นี้ทำได้ไม่ยากและไม่ได้ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษใดๆมากไปกว่าในอดีตเลย รายละเอียดวิธีการ Setup ดังกล่าวในทางปฏิบัติASHRAE ได้ให้คำแนะนำไว้ในเอกสารอ้างอิง [2] สำหรับในกรณี Single Zone โดยให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1	คำนวณค่า V_{oz} ตอนที่จำนวนคนมากที่สุดตามค่า Design Occupancy จากสมการที่ 6 และต่อไปเราจะเรียกค่านี้ว่าค่า V_{oz-max}
ขั้นตอนที่ 2	คำนวณค่า V_{oz} ตอนที่จำนวนคน $P_z = 0$ คือไม่มีคนเลยจากสมการที่ 6 และต่อไปเราจะเรียกค่านี้ว่าค่า V_{oz-min}
ขั้นตอนที่ 3	คำนวณค่า Steady State CO_2 Concentration ที่เกิดขึ้นในห้องนี้เมื่อ $V_{oz} = V_{oz-max}$ และเมื่อ $V_{oz} = V_{oz-min}$ และเรียกค่าทั้งสองนี้ว่า C_{R-max} และ C_{R-min} ตามลำดับ โดยปกติค่า C_{R-min} นี้จะมีค่าเท่ากับค่า CO_2 ของอากาศภายนอกอาคารคือมีค่าประมาณ 400 ppm
ขั้นตอนที่ 4	จัดหา CO_2 Sensor + Controller ที่สามารถ Calibrate ให้ค่า Output Signal เป็นค่าสูงสุดเมื่อค่า CO_2 ในห้องเป็นค่า C_{R-max} และให้ค่า Output Signal เป็นค่าต่ำสุดเมื่อค่า CO_2 ในห้องเป็นค่า C_{R-min} แล้วส่งสัญญาณการควบคุมนี้ไปยัง Outdoor Air Damper (รูปที่ 5)
ขั้นตอนที่ 5	ปรับ Outdoor Air Damper ให้ส่งลมเท่ากับ V_{oz-max} เมื่อได้รับ Output Signal สูงสุดจาก CO_2 Controller
ขั้นตอนที่ 6	ปรับ Outdoor Air Damper ให้ส่งลมเท่ากับ V_{oz-min} เมื่อได้รับ Output Signal ต่ำสุดจาก CO_2 Controller

หมายเหตุ: ในช่วงระหว่างค่า C_{R-min} ถึง C_{R-max} Output Signal ที่ส่งออกไปจาก Controller จะแปรผันโดยตรงตามค่าของ CO_2 ที่วัดได้ในห้องที่ขณะใดๆ C_R และ V_{oz} จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามสมการดังต่อไปนี้คือ

$$V_{oz} = \left(\frac{V_{oz-max} - V_{oz-min}}{C_{R-max} - C_{R-min}}\right)(C_R - C_{R-min}) + V_{oz-min} \qquad (13)$$



รูปที่ 5: CO_2-based DCV สำหรับ Packaged A/C Unit

ด้วยการทำตามรายละเอียดดังกล่าวข้างต้น Characteristic Curve ของระบบก็จะเป็นไปตามดังแสดงในรูปที่ 4 Characteristic Curve ดังกล่าวจะจ่ายอากาศมากกว่าเส้นตามทฤษฎีอยู่บ้างเล็กน้อย แต่วิธีการนี้ถือว่าเป็นวิธีการที่ตรงไปตรงมามากที่สุด และอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบก็ไม่ได้มีความยุ่งยากมากไปกว่าแต่ก่อน

ก่อนที่จะจบในส่วนนี้ผู้เขียนอยากจะขอกล่าวเพิ่มเติมอีกสักเล็กน้อยว่าการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามจำนวนคนเป็นเรื่องที่จะง่ายขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากว่าความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีจะทำให้เราสามารถนับจำนวนคนในห้องได้ไม่ยาก เทคโนโลยีการวัดและการควบคุมปริมาณลมจ่ายก็จะง่ายขึ้นเรื่อยๆและมีราคาถูกลง เมื่อถึงเวลานั้น เราก็สามารถที่จะใช้สมการต่างๆที่กล่าวถึงไปแล้วในตอนต้นทำการคำนวณใน Controller ได้เลยและสั่งให้ Intelligent Motor/Advanced Air Flow Measurement ปรับลดอัตราการจ่ายลมได้อย่างไม่ยาก เมื่อเวลานั้นมาถึง (จริงๆก็ถึงแล้วนะ) การประหยัดพลังงานด้วย Dynamic Reset/DCV ก็จะสมบูรณ์และทำงานให้เราได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

สรุป

CO_2-based DCV ตามมาตรฐาน 62.1 ฉบับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 มีความยุ่งยากกว่าในอดีตอยู่บ้างเล็กน้อย แต่ก็อยู่ในวิสัยที่สามารถจัดการได้ตามรายละเอียดวิธีการดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น สิ่งที่ควรทำความเข้าใจใหม่ให้ชัดเจนคือ

1) ค่าของ CO_2 สูงสุดในห้องเมื่อมีผู้อยู่อาศัยเต็มตาม Design Occupancy มีค่าสูงกว่า 1,000 ppm มาก (ในหลายๆกรณี) ท่านผู้อ่านไม่ควรยึดอยู่กับ “Rule of Thumb” ว่า CO_2 ในห้องจะต้องเป็น 700 + 400 = 1,100 ppm เสมอไป ดังที่มักจะเข้าใจกันผิดๆ เป็นส่วนมาก
2) ค่าของปริมาณการระบายอากาศตามมาตรฐาน 62.1 ในปัจจุบัน เป็นค่าขั้นต่ำแล้วจริงๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 เป็นต้นมา ปริมาณการระบายอากาศถูกปรับให้ลดลงเป็นอย่างมากเพื่อสะท้อนว่าเป็นค่าขั้นต่ำแล้วจริงๆ ดังนั้นจึงอยากให้ท่านผู้อ่านมีความชัดเจนในเรื่องนี้ และเข้าใจว่าเรากำลังอยู่ในสภาวะหมิ่นเหม่ของคำว่า “การระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้” แล้วจริงๆ

เอกสารอ้างอิง

1. Stanke, D. 2006. “Standard 62.1-2004 System Operation: Dynamic Reset Options” ASHRAE Journal 48(12):18—32.
2. ASHRAE. 2016. 62.1 User’s Manual: ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016.