

การคำนวณปริมาณการระบายอากาศ ตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1



ตุลย์ มณีวัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์: 0-2218-6640 E-mail: tul.m@chula.ac.th

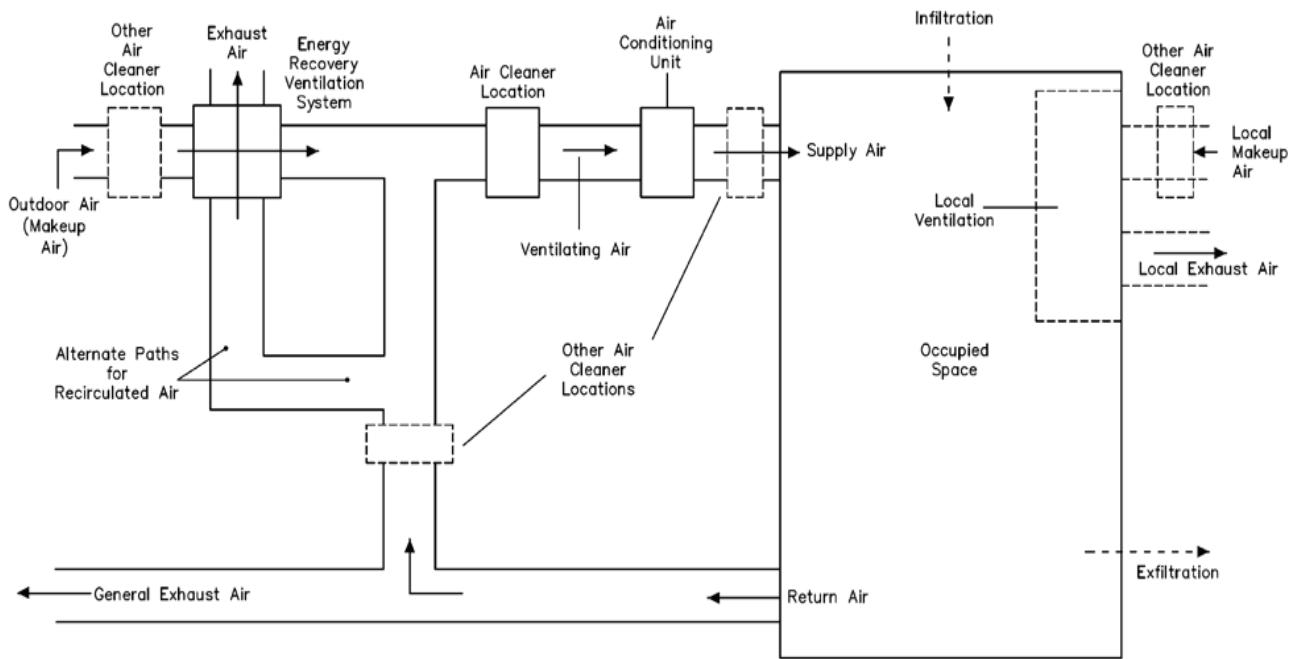
1. บทนำ

ระบบระบายอากาศ คือ ระบบที่ต้องมีการนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก เข้ามาเติม ในบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัย ในปริมาณที่พอเพียง และมีการระบายอากาศเสีย (Exhaust) ออกไปทิ้ง เพื่อรักษาคุณภาพของอากาศภายในอาคาร (IAQ) ไว้ในระดับที่ยอมรับได้

บทความนี้จะกล่าวถึงการคำนวณหาปริมาณอากาศระบาย ตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1^{1,2} แต่เนื้อหาจะครอบคลุมเฉพาะส่วนที่เป็น Ventilation Rate Procedure (VRP) เท่านั้น เนื่องจากวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ตรงไปตรงมา และโดยทั่วไปแล้ว ในช่วงต้นของการออกแบบ วิศวกรมักจะไม่ค่อยมีข้อมูลเพียงพอที่จะสามารถทำการคำนวณตามวิธี IAQ Procedure ได้

2. รูปแบบของระบบ

ระบบระบายอากาศที่ทำงานร่วมกันกับระบบปรับอากาศ (General Ventilation) มักจะมีรูปแบบดังแสดงอยู่ในรูปที่ 1 อากาศบริสุทธิ์จากภายนอกจะถูกนำเข้าสู่บริเวณที่มีผู้อยู่อาศัย (Occupied Space) ผ่านทางระบบปรับอากาศ (ร่วมกับ Supply Air) และอากาศเสียทั่วไป (General Exhaust) จะถูกนำออกผ่านทาง Return Air โดยทั่วไปปริมาณอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกจะมีค่าอยู่ประมาณราว 10 ถึง 15% ของปริมาณ Supply Air และอากาศเสียก็就会被กำจัดออกไปในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ค่าต่ำที่สุดของปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องนำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศตามมาตรฐาน 62.1 และปริมาณอากาศเสียที่ต้องดูดออกจาก Occupied Space นี้จะถูกกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดๆ ไป



รูปที่ 1: ระบบระบายอากาศ (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1-2013)

ในรูปที่ 1 ถ้ายังเอื้อใน Occupied Space มีจุดใดจุดหนึ่งหรือหลายจุด ที่มีการปล่อยมลพิษ ที่มีความรุนแรงเกินกว่าที่ระบบระบายอากาศทั่วไป (General Ventilation) จะสามารถจัดการได้ เราจะต้องทำการติดตั้งระบบ Local Ventilation เสริมขึ้นมา (ระบบดังกล่าวโดยทั่วไปมักจะประกอบไปด้วย Local Exhaust Hood และ Local Makeup Air)

ระบบ Local Ventilation นี้ จะไม่ถูกนำมากล่าวถึงในที่นี้ เนื่องจากมีขอบเขตกว้างขวาง ผู้อ่านสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากเอกสาร หรือตำราที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศในอุตสาหกรรม (Industrial Ventilation) ระบบระบายอากาศในบทความนี้จะเกี่ยวข้องอยู่แต่ส่วนที่เป็นการระบายอากาศทั่วไป (General Ventilation) เท่านั้น

3. คุณภาพอากาศภายนอกอาคาร

คุณภาพของอากาศภายนอกอาคารเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก เพราะกลไกหลักของการระบาย

อากาศ คือการใช้อากาศภายนอกที่สะอาด ไปเจือจางความสกปรกของอากาศภายใน (Dilution Principle)

ในประเทศสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน 62.1 ใช้วิธีดูว่าในพื้นที่ใด คุณภาพของอากาศ “ใช้ได้” ตามเกณฑ์ของ National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) (ตารางที่ 1) หรือไม่ ถ้าใช้ได้ ก็ยังจะต้องไปดูอีกด้วยว่าบริเวณโดยรอบ และบริเวณใกล้เคียงมีแหล่งกำเนิดมลภาวะที่ยังอาจจะเป็นอันตรายอยู่อีกหรือไม่ ซึ่งถ้าไม่พบอะไร จึงจะสรุปได้ว่า อากาศภายนอกอาคารนั้น “สะอาด”

สำหรับประเทศไทย มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป (ที่ยอมรับได้) สามารถหาได้จาก Website ของกรมควบคุมมลพิษ แต่เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีตารางบอกคุณภาพอากาศที่ครบในทุกพื้นที่ ดังนั้นการประเมินว่าอากาศภายนอกอาคารนั้น สะอาดหรือไม่เพียงไร จึงควรทำการตรวจวัดประเมินเป็นอาคารๆ ไป

การทำความสะอาดอากาศภายนอกนั้น (ถ้า

คุณภาพของอากาศ “ใช้ไม่ได้”) มาตรฐาน 62.1 กำหนดไว้ดังนี้คือ

- PM10 ให้ใช้ Filter MERV 6 ขึ้นไป (แต่ถ้ามี Cooling Coil ด้วย ต้องใช้ MERV 8 ขึ้นไปเพื่อป้องกัน Cooling Coil)
- PM2.5 ให้ใช้ Filter MERV 11 ขึ้นไป
- Ozone ให้ใช้ Air Cleaning Device ที่มีประสิทธิภาพการขจัดโอโซน ขั้นต่ำ 40% ขึ้นไป
- ผลภาวะอื่นๆ — เนื่องจากยังไม่มีแนวปฏิบัติที่เหมาะสมในขณะนี้ มาตรฐานจึงให้จัดทำแต่เพียงรายงานผลกระทบที่คาดว่าจะมีต่อคุณภาพของอากาศภายในอาคารเท่านั้น

4. ภาพรวมของการคำนวณหาอัตราการระบายอากาศ

ในการคำนวณหาอัตราการระบายอากาศในอาคารหลังใดหลังหนึ่ง วิศวกรจะต้องทำความเข้าใจในภาพรวมเสียก่อนว่า เรื่องที่จะต้องพิจารณาที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 5 เรื่องคือ

1) การนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามายังบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัย เพื่อใช้ในการระบายอากาศ (Outdoor Air Intake to Occupied Zone for Ventilation) เรื่องนี้เป็นหัวใจของมาตรฐาน มาตรฐานจะมีการกำหนดไว้อย่างชัดเจนว่า จะต้องมีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาอย่างน้อยเท่าใด

ตารางที่ 1: National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) ของประเทศสหรัฐอเมริกา (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1-2013)

สารมลพิษ	ค่ามาตรฐานหลัก	เวลาที่ใช้ในการเฉลี่ยค่า
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	9 ppm (10 mg/m ³)	8 ชั่วโมง ^ก
	35 ppm (40 mg/m ³)	1 ชั่วโมง ^ก
ตะกั่ว (Pb)	0.15 µg/m ³	3 เดือน (Rolling)
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)	100 ppb	1 ชั่วโมง ^ข
	0.053 ppm (100 µg/m ³)	1 ปี (arithmetic mean)
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀)	150 µg/m ³	24 ชั่วโมง ^ก
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	12 µg/m ³	1 ปี (arithmetic mean)
	35 µg/m ³	24 ชั่วโมง ^ข
ก๊าซโอโซน (O ₃)	0.075 ppm	8 ชั่วโมง ^ก
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	75 ppb	1-ชั่วโมง ^ก
	—	3 ชั่วโมง

หมายเหตุ:

ก. เกินได้ไม่เกินปีละ 1 ครั้ง

ข. 98th percentile เฉลี่ยตลอดช่วง 3 ปี

ค. เกินได้ไม่เกินปีละ 1 ครั้ง จากค่าเฉลี่ย 3 ปี

ง. เฉลี่ยตลอด 3 ปี

จ. ค่าเฉลี่ย 3 ปีของค่าสูงสุดในสัปดาห์ของค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงรายวัน

ฉ. 99th percentile ของความเข้มข้นสูงสุดในหนึ่งชั่วโมงเป็นรายวัน เฉลี่ยตลอดช่วง 3 ปี

รายละเอียดการคำนวณหาค่านี้ด้วยวิธี Ventilation Rate Procedure (VRP) จะแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 6

2) การดูดออก (Exhaust) พื้นที่บางพื้นที่ที่แสดงในตารางที่ 7 เป็นพื้นที่ที่ต้องจัดให้มีการระบายอากาศด้วยวิธีดูดออก (Exhaust) และทิ้งอากาศที่ดูดออกนี้ ไปนอกอาคารเลย พื้นที่เหล่านี้ บางพื้นที่ก็มีข้อกำหนดดังแสดงในตารางที่ 2 ว่าจะต้องนำอากาศภายนอกมาเติมอย่างน้อยเท่าใด แต่บางพื้นที่ก็ไม่มีผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาความเหมาะสมเองว่าจะทำการ Makeup อย่างไร ด้วยอากาศ Class ไหน หรือจะต้องนำอากาศภายนอกเข้ามาเพิ่มเติมอีก

3) การควบคุมความดันในอาคาร (Building Pressurization) มาตรฐานมีการกำหนดภาพรวมของการระบายอากาศในอาคารไว้ว่า เมื่อพิจารณาพร้อมทั้งอาคารแล้ว อากาศที่นำเข้าต้องมากกว่าอากาศเสียที่ทิ้งไป (ยกเว้นบางกรณีพิเศษจริง ๆ) เพื่อให้การ Pressurization ของอาคารเป็นบวก และมี Exfiltration อย่างเหมาะสม

4) การ Makeup และ การ Bleed ทั้ง มาตรฐานบอกว่า Zone ใดที่ต้องการนำอากาศบริสุทธิ์ เข้าไปเติมบ้าง (หรือดูดออกทิ้ง) เพื่อการระบายอากาศ แต่ไม่ได้บอกถึงรายละเอียดของการ Makeup หรือรายละเอียดของการ Bleed ออกทิ้ง หรือ Recirculate อย่างไร ผู้ออกแบบจะต้องใช้วิจารณญาณในการดูว่าจะจัดการอย่างไรกับลมที่ต้องจัดให้มีการเข้าออกเพิ่มเติม เพื่อการรักษาทั้ง Zone และ Building Pressurization ไว้ให้เหมาะสม

5) ชั้นคุณภาพของอากาศและการนำกลับมาใช้งาน (Air Classification and Recirculation) มาตรฐานมีการแบ่งชั้นคุณภาพอากาศภายในอาคารออกเป็น 4 ระดับ คือ 1 2 3 และ 4 และมีการกำหนดข้อจำกัดในการ Transfer หรือ Recirculate ไว้อย่าง

ชัดเจน ดังที่จะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 5 ข้อจำกัดต่างๆ เหล่านี้ เมื่อนำเอาไปพิจารณาร่วมกับเรื่องอื่นๆ ดังกล่าวข้างต้นก็จะนำไปสู่การออกแบบระบบระบายอากาศที่ถูกต้องต่อไป

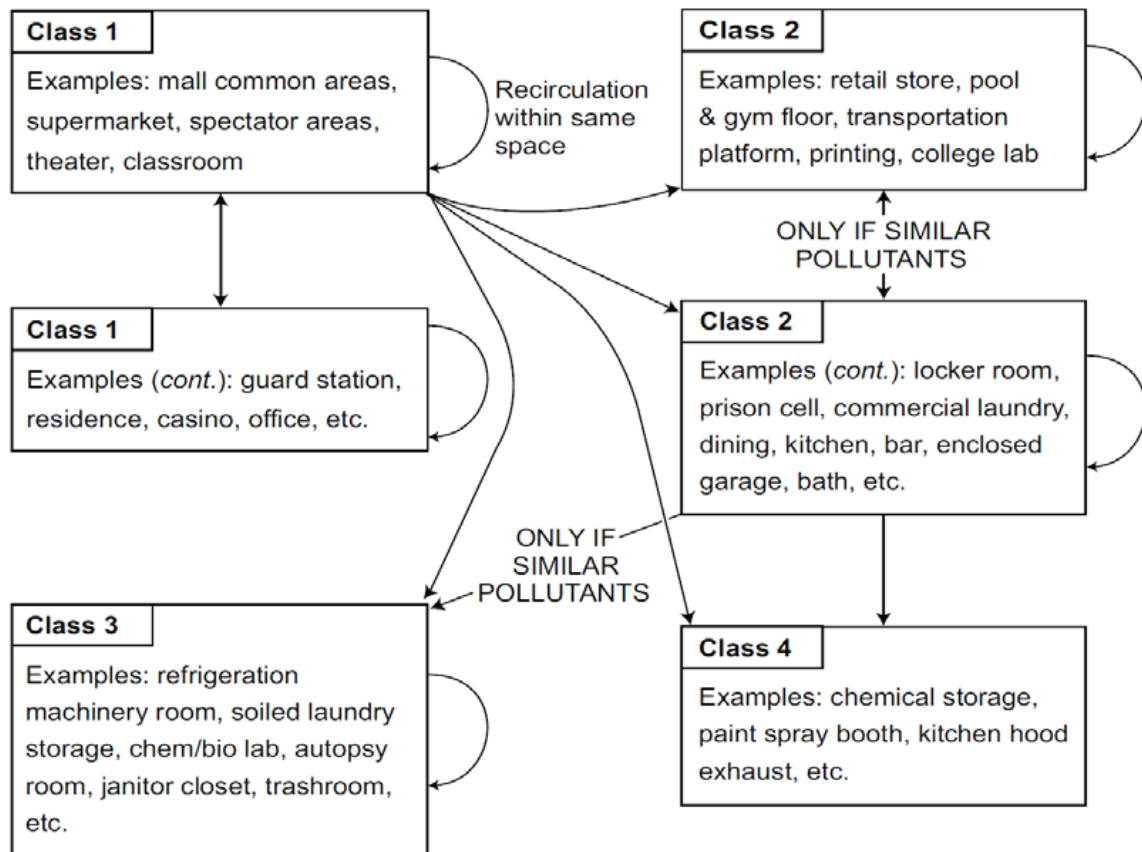
วิศวกร/ผู้ออกแบบ จะต้องประมวลเรื่องต่างๆ ทั้งหมดให้มีความสอดคล้องกัน และนำไปสู่ระบบระบายอากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามความต้องการต่อไป

5. Air Classifications

มาตรฐาน 62.1 ได้มีการกำหนดระดับคุณภาพของอากาศภายในอาคารไว้เป็น 4 ระดับ เรียกว่าระดับชั้นคุณภาพ Air Class 1 ถึง Air Class 4 โดย Air Class 1 คือ ระดับที่ดีที่สุด (ใกล้เคียงกับอากาศภายนอก) และ Air Class 4 คือระดับแย่ที่สุด (อากาศเสียที่ต้องทิ้งออกไปนอกอาคาร) คุณภาพของอากาศทั้งสี่ Class โดยสังเขปมีดังต่อไปนี้คือ

- **Air Class 1** คือคุณภาพดี ใช้ Recirculate และใช้ Transfer ไปยังห้องที่มี Air Class ต่ำกว่าได้
- **Air Class 2** คือคุณภาพพอใช้ได้ ใช้ Recirculate ใน Zone เดิมได้ และใช้ Transfer ไปยังห้อง Toilet ได้
- **Air Class 3** คือคุณภาพแย่ อาทิเช่น อากาศระบายออกจากครัว ใช้ Recirculate ใน Zone เดิมได้ แต่ใช้ Transfer ไปยัง Zone อื่นๆไม่ได้
- **Air Class 4** คือคุณภาพแย่มาก อาทิเช่น อากาศระบายออกจากเครื่องพิมพ์บางประเภท อากาศระบายออกจาก Laboratory Hood ซึ่งทั้งสกปรก เหม็น และมีพิษ ต้องทิ้งอย่างเดียว ห้ามนำกลับมาใช้

มาตรฐานมีการกำหนด Air Class ไว้ก็เพื่อทำให้เกิดความชัดเจนว่า อากาศจะไหลจากไหนไปไหนได้



รูปที่ 2: Recirculation Restrictions for Classified Air (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1 User Manual)

บ้าง และทราบว่าอากาศจาก Zone ไหน อยู่ Class อะไร ช่อง Air Class ในตารางที่ 2 และ 7 เป็นการกำหนดว่าคุณภาพอากาศที่จะถูกระบายออก หรือ Return ออกจาก Zone นั้นๆ จะมีคุณภาพดีแค่ไหน (อยู่ Class อะไร) โดยทั่วไปแล้ว การ Recirculation และการ Transfer ระหว่าง Zone ต่างๆ ตามมาตรฐานต้องเป็นไปตามข้อจำกัดที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2 นี้เท่านั้น

6. การคำนวณหาปริมาณอากาศภายนอกโดยวิธี VRP

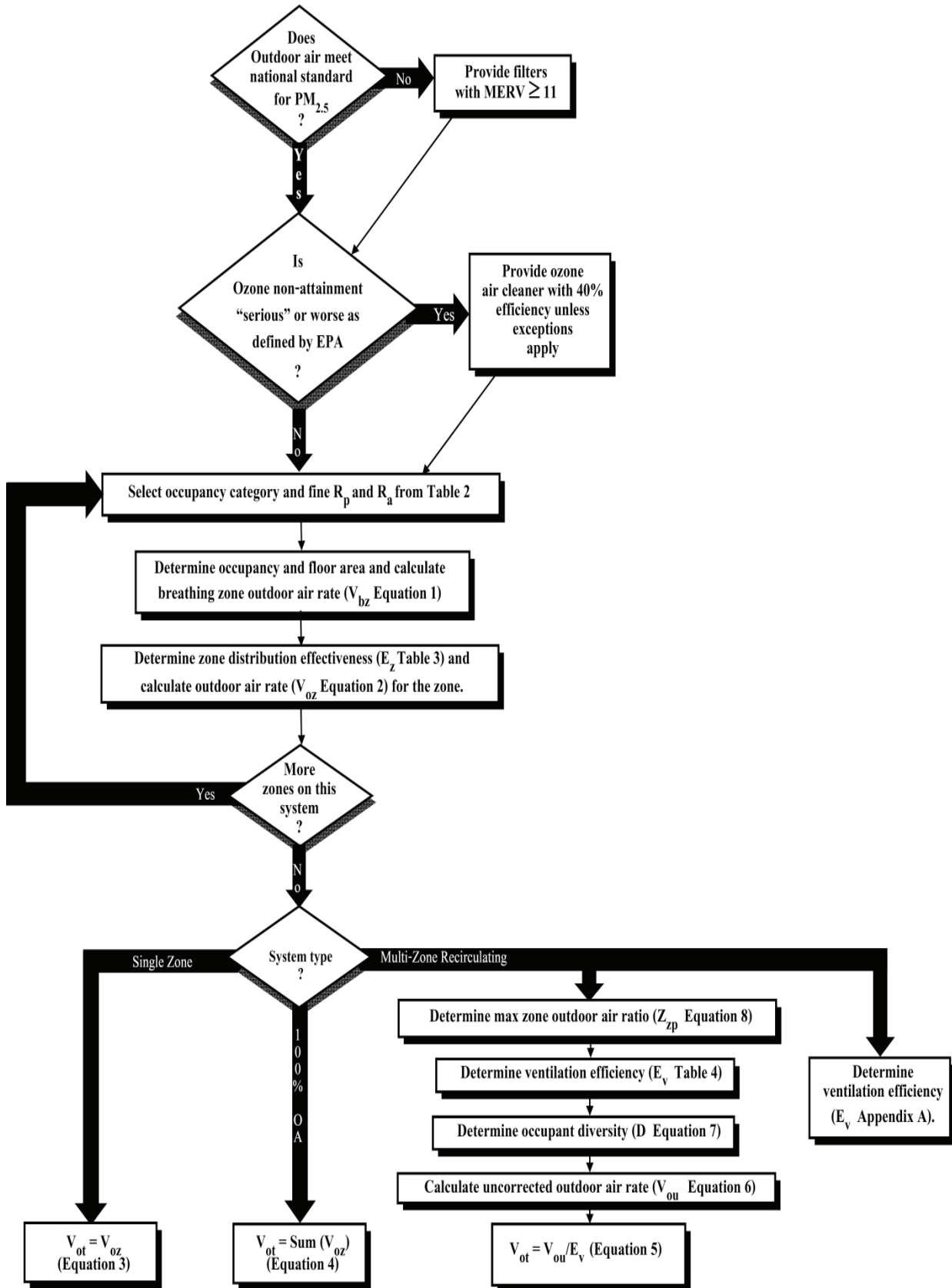
การคำนวณหาปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องป้อนเข้าสู่ตัวอาคารโดยวิธี VRP นั้น ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ (ดูรูปที่ 3 ประกอบ)

- **ขั้นตอนที่ 1** ต้องดูว่าอากาศภายนอกสะอาดพอหรือไม่ ถ้าไม่ ต้อง Clean ก่อนนำเข้ามาใช้ในการระบายอากาศ

- **ขั้นตอนที่ 2** กำหนดว่าในแต่ละ Ventilation Zone เราต้องการอากาศภายนอกในอัตราอย่างน้อยที่สุดเท่าใด เพื่อเอามาจ่ายที่หัวจ่ายใน Zone นั้นๆ (V_{OZ})

- **ขั้นตอนที่ 3** กำหนดว่าในแต่ละ Ventilation System (AHU) เราต้องเอาอากาศภายนอกมาป้อนให้ที่ AHU ในอัตราอย่างน้อยที่สุดเท่าใด (V_{O1})

รายละเอียดของขั้นตอนที่ 1 ได้มีการกล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อที่ 3 ส่วนการคำนวณตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 มีรายละเอียดแบ่งออกเป็นเรื่องของ Zone และ System Calculations ดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 3: Ventilation Rate Procedure Flow Chart (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1 User Manual)

6.1 Zone Calculations

การคำนวณปริมาณอากาศภายนอกที่จะต้องนำเข้าสู่ Zone จากตารางที่ 2 ให้คำนวณด้วยสูตรดังนี้

ถ้า V_{bz} = Breathing Zone Outdoor Air Flow
เป็น cfm

A_z = พื้นที่ห้องเป็นตารางฟุต

P_z = จำนวนผู้อยู่อาศัยภายในห้อง

R_p = Outdoor Air Flow Rate ต่อคน
(จากตารางที่ 2) เป็น cfm/คน

R_a = Outdoor Air Flow Rate ต่อพื้นที่ห้อง
(จากตารางที่ 2) เป็น cfm/ตารางฟุต

จะได้ว่า

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z \quad (1)$$

โดยที่คำว่า Breathing Zone (รูปที่ 4) หมายถึง บริเวณในห้องที่ต้องการการระบายอากาศ แต่จำกัดความสูงอยู่ที่ตั้งแต่ 75 มม.จนถึง 1,800 มม. และห่างจากกำแพงทุกด้าน 600 มม. สาเหตุที่ต้องมีการแยกแยะ Breathing Zone ออกจากขนาดของห้องก็เพื่อเป็นการบ่งชี้ว่า อากาศภายนอกต้องถูกนำเข้ามาจ่ายในบริเวณที่มีผู้อยู่อาศัย ไม่ใช่เอาไปจ่ายในจุดที่ไม่มีผู้อยู่อาศัย เช่น ที่สูงมาก ๆ ในห้อง เป็นต้น

เมื่อได้ปริมาณ V_{bz} จากสมการที่ (1) แล้ว ต้องนำปริมาณดังกล่าวไปหา Zone Outdoor Airflow (V_{oz}) จากสมการ

$$V_{oz} = V_{bz}/E_z \quad (2)$$

ค่า E_z นี้เรียกว่า เป็นค่า “ประสิทธิภาพในการกระจายอากาศระบาย” (Zone Air Distribution Effectiveness) ค่า E_z สำหรับระบบการกระจายอากาศระบายแบบต่าง ๆ เป็นไปตามตารางที่ 3

ถ้า Zone ใดมีระบบการกระจายอากาศระบายที่ดี ค่า E_z ก็จะสูง ($E_z = 1.0$) แต่ถ้าระบบการกระจายอากาศระบายแย่ หรือมีการ Short Circuit ระหว่างอากาศระบายกับ Exhaust System ค่า E_z ก็จะต่ำ เช่น $E_z = 0.5$ เป็นต้น

ในการคำนวณค่า Zone Outdoor Airflow จากสมการที่ (2) ต้องอย่าลืมว่า ค่าในตารางที่ 2 เป็นค่าการนำเข้าอากาศภายนอกในอัตราต่ำสุด (Minimum Outdoor Air Rate) และค่า E_z ในหน้างานจริงอาจแย่มากกว่าที่คิดก็ได้ ดังนั้นการเพื่อเพิ่มเติม และการบัดขึ้นเล็กน้อยจึงเป็นสิ่งที่ควรกระทำ

6.2 ในกรณี Single-Zone Systems

ถ้าระบบระบายอากาศ จ่ายอากาศบริสุทธิ์ไปยัง โชนเดี่ยว อากาศภายนอกที่ต้องดูดเข้ามา (Outdoor Air Intake Flow (V_{ot})) ก็จะมีค่าเท่ากับ Zone Outdoor Airflow

$$V_{ot} = V_{oz} \quad (3)$$

ตัวอย่างที่ 1 Restaurant Dining Room
แห่งหนึ่งมีขนาดกว้าง 10 เมตร ยาว 20 เมตร และสูง 4 เมตร จงหาปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่ต้องเติมเข้าไปในระบบปรับอากาศ/ระบายอากาศ จากตารางที่ 2

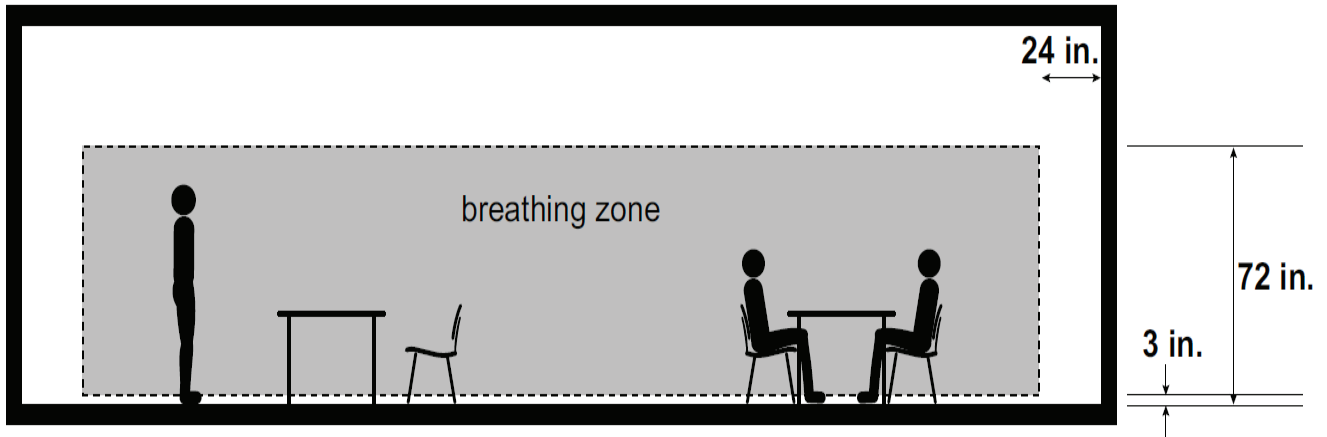
People Outdoor Air Rate (R_p) = 7.5 cfm/คน

Area Outdoor Air Rate (R_a) = 0.18 cfm/ตรม.

จำนวนคนโดยประมาณจากตารางที่ 2

$$= (70/100) \times 10 \times 20 = 140 \text{ คน}$$

(หมายเหตุ: จำนวนคนที่แม่นยำกว่านี้ควรหาจาก Furniture Layout)



รูปที่ 4: Breathing Zone (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1 User Manual)

จากสมการที่ (1) จะได้ว่า Breathing Zone Outdoor Air Flow (V_{bz}) จะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{bz} &= 7.5 \times 140 + 0.18 \times 10 \times 20 \times 10.76 \\ &= 1,050 + 388 \\ &= 1,438 \text{ cfm.} \end{aligned}$$

ขั้นตอนถัดไป คือ การหา Zone Outdoor Airflow (V_{oz}) จาก

$$V_{oz} = V_{bz} / E_z$$

เนื่องจากโจทย์ไม่ได้บอกรายละเอียดมาว่าระบบการกระจายอากาศระบายเป็นอย่างไร เราจะสมมติว่าระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีปานกลางคือ E_z มีค่าประมาณ 0.8 (ในกรณีที่ทราบว่าการกระจายอากาศระบายมีรายละเอียดอย่างไร ให้ดูตารางที่ 3 เพื่อพิจารณากำหนดค่า E_z ที่เหมาะสม)

$$\begin{aligned} V_{oz} &= 1,438 / 0.8 \\ &= 1,798 \text{ cfm} \end{aligned}$$

ในโจทย์ข้อนี้ ให้สังเกตอย่างหนึ่งด้วยคือ ในตารางที่ 2 Air Class ของพื้นที่นี้คือ 2 ซึ่งแปลว่าอากาศที่ Return ออกจากห้องนี้สามารถนำมา Recirculate ได้ ไม่จำเป็นต้อง Exhaust ออกทิ้งไป แต่ถ้าในตารางที่ 2 Air Class มีค่าเป็น 4 อากาศที่ Return ออกจากห้องนี้จะไม่สามารถนำมา Recirculate ได้ ต้อง Exhaust ออกทิ้งไปเลย

6.3 ในกรณี 100% Outdoor Air Systems

ในกรณีนี้เนื่องจากเป็นอากาศบริสุทธิ์ทั้งหมด ดังนั้น

$$V_{ot} = \sum_{\text{all zones}} V_{oz} \quad (4)$$

6.4 ในกรณี Multiple-Zone Recirculating Systems

ถ้าระบบระบายอากาศ จ่ายอากาศบริสุทธิ์ไปยังโซนหลายๆ โซนพร้อมๆ กันค่า Outdoor Air Intake (V_{ot}) จะต้องมีการคำนวณเพิ่มเติมดังนี้

$$V_{ot} = V_{ou} / E_v \quad (5)$$

ตารางที่ 2 : Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1-2013)

ประเภทการใช้งาน	People	Area	Notes	Default Values		Air Class
	Outdoor	Outdoor		Occupant	Combined	
	Air Rate	Air Rate		Density	Outdoor	
	R_p	R_a		(see Note 4)	Air Rate	
	cfm/p	cfm/ft ²		#/100 m ²	cfm/p	(see Note 5)
ทัณฑสถาน (Correctional Facilities)						
ห้องคุมขังนักโทษ (Cell)	5	0.12		25	10	2
ห้องสันทนาการ (Dayroom)	5	0.06		30	7	1
ห้องผู้คุม (Guard stations)	5	0.06		15	9	1
ห้องรอ (Booking/waiting)	7.5	0.06		50	9	2
สถานศึกษา (Educational Facilities)						
ศูนย์รับบาลเด็กเล็ก (ถึง 4 ขวบ) (Daycare (through age 4))	10	0.18		25	17	2
ห้องเด็กป่วยในศูนย์รับบาลเด็กเล็ก (Daycare sickroom)	10	0.18		25	17	3
ห้องเรียน (อายุ 5-8 ปี) (Classrooms (ages 5–8))	10	0.12		25	15	1
ห้องเรียน (อายุตั้งแต่ 9 ขึ้นไป) (Classrooms (age 9 plus))	10	0.12		35	13	1
ห้องเรียนแบบบรรยาย (Lecture classroom)	7.5	0.06		65	8	1
หอประชุมบรรยายขนาดใหญ่ (Lecture hall (fixed seats))	7.5	0.06		150	8	1
ห้องเรียนศิลปะ (Art classroom)	10	0.18		20	19	2
ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ (Science laboratories)	10	0.18		25	17	2
ห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย (University/college laboratories)	10	0.18		25	17	2
ห้องปฏิบัติการงานไม้/งานโลหะ (Wood/metal shop)	10	0.18		20	19	2
ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (Computer lab)	10	0.12		25	15	1
ศูนย์สื่อสาร (Media center)	10	0.12	A	25	15	1
ห้องดนตรี/ละคร/เต้นรำ (Music/theater/dance)	10	0.06		35	12	1
ห้องประชุมเอนกประสงค์ (Multiuse assembly)	7.5	0.06		100	8	1
สถานบริการอาหารและเครื่องดื่ม (Food and Beverage Service)						
ร้านอาหารแบบภัตตาคาร (Restaurant dining rooms)	7.5	0.18		70	10	2
ร้านอาหารบริการตนเอง/ร้านอาหารฟาสต์ฟู้ด (Cafeteria/fast-food dining)	7.5	0.18		100	9	2
บาร์ ค็อกเทล เลานจ์ (Bars, cocktail lounges)	7.5	0.18		100	9	2
ห้องครัว (ส่วนปรุงอาหาร) (Kitchen (cooking))	7.5	0.12		20	14	2
สถานที่ทั่วไป (General)						
ห้องพักเบรก (Break rooms)	5	0.06		25	7	1
มุมน้ำกาแฟ (Coffee stations)	5	0.06		20	8	1
ห้องสัมมนา/ห้องประชุม (Conference/meeting)	5	0.06		50	6	1
โถงทางเดิน (Corridors)	—	0.06		—		1
ห้องเก็บของเหลวหรือเจลที่มีคนอยู่ (Occupiable storage rooms for liquids or gels)	5	0.12	B	2	65	2
โรงแรม โมเต็ล รีสอร์ท หอพัก (Hotels, Motels, Resorts, Dormitories)						
ห้องนอน/ห้องนั่งเล่น (Bedroom/living room)	5	0.06		10	11	1
โรงนอน (นอนรวมๆกัน) (Barracks sleeping areas)	5	0.06		20	8	1
ห้องซักผ้าส่วนกลาง (Laundry rooms, central)	5	0.12		10	17	2

ตารางที่ 2 : Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (ต่อ)

ประเภทการใช้งาน	People	Area	Notes	Default Values		Air Class
	Outdoor Air Rate R_p	Outdoor Air Rate R_a		Occupant Density (see Note 4)	Combined Outdoor Air Rate (see Note 5)	
	cfm/p	cfm/ft ²		#/100 m ²	cfm/p	
ห้องซักรีดภายในบ้านที่อยู่อาศัย (Laundry rooms within dwelling units)	5	0.12		10	17	1
ห้องโถงพักคอย/ห้องรอการแสดง (Lobbies/prefunction)	7.5	0.06		30	10	1
ห้องประชุมเอนกประสงค์ (Multipurpose assembly)	5	0.06		120	6	1
อาคารสำนักงาน (Office Buildings)						
ห้องพักเบรก (Breakrooms)	5	0.12		50	7	1
ห้องโถงทางเข้าหลัก (Main entry lobbies)	5	0.06		10	11	1
ห้องเก็บของแห้งที่มีคนอยู่ (Occupiable storage rooms for dry materials)	5	0.06		2	35	1
พื้นที่ส่วนสำนักงาน (Office space)	5	0.06		5	17	1
พื้นที่บริเวณต้อนรับ (Reception areas)	5	0.06		30	7	1
พื้นที่ส่วนรับโทรศัพท์ป้อนข้อมูล (Telephone/data entry)	5	0.06		60	6	1
พื้นที่ใช้สอยเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous Spaces)						
ตู้รักษาสินทรัพย์ (Bank vaults/safe deposit)	5	0.06		5	17	2
พื้นที่ส่วนห้องโถงรับรองของธนาคาร (Banks or bank lobbies)	7.5	0.06		15	12	1
ห้องคอมพิวเตอร์ (ไม่มีการพิมพ์) (Computer (not printing))	5	0.06		4	20	1
พื้นที่ส่วนที่มีการทำความเย็น (<10° C) (Freezer and refrigerated spaces (<50°F))	10	0	E	0	0	2
พื้นที่ส่วนการผลิตทั่วไป (ไม่รวมส่วนอุตสาหกรรมหนักและส่วนกระบวนการผลิตที่ใช้สารเคมี) (General manufacturing (excludes heavy industrial and processes using chemicals))	10	0.18		7	36	3
เภสัชกรรม (พื้นที่ส่วนเตรียมยา) (Pharmacy (prep. area))	5	0.18		10	23	2
สตูดิโอถ่ายภาพ (Photo studios)	5	0.12		10	17	1
พื้นที่รับส่งสินค้า (Shipping/receiving)	10	0.12	B	2	70	2
พื้นที่คัดแยก บรรจุ ประกอบ (เบา) (Sorting, packing, light assembly)	7.5	0.12		7	25	2
ตู้โทรศัพท์ (Telephone closets)	—	0		—		1
พื้นที่เพื่อรอการขนส่ง (Transportation waiting)	7.5	0.06		100	8	1
โกดัง (Warehouses)	10	0.06	B	—		2
พื้นที่สาธารณะ (ที่คนมารวมตัวกัน) (Public Assembly Spaces)						
หอประชุม บริเวณพื้นที่สำหรับผู้ฟัง (Auditorium seating area)	5	0.06		150	5	1
สถานที่ประกอบพิธีกรรมทางศาสนา (Places of religious worship)	5	0.06		120	6	1
ห้องพิจารณาคดี (Courtrooms)	5	0.06		70	6	1
ห้องประชุมสภานิติบัญญัติ (Legislative chambers)	5	0.06		50	6	1
ห้องสมุด (Libraries)	5	0.12		10	17	1
ห้องโถงพักคอย (Lobbies)	5	0.06		150	5	1
พิพิธภัณฑสถาน (สำหรับเด็ก) (Museums (children's))	7.5	0.12		40	11	1
พิพิธภัณฑสถาน/หอศิลป์ (Museums/galleries)	7.5	0.06		40	9	1
ที่อยู่อาศัย (Residential)						
พื้นที่ส่วนที่อยู่อาศัย (Dwelling unit)	5	0.06	F,G	F		1

ตารางที่ 2 : Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (ต่อ)

ประเภทการใช้งาน	People	Area	Notes	Default Values		Air Class
	Outdoor Air Rate	Outdoor Air Rate		Occupant Density	Combined Outdoor Air Rate	
	R_p	R_a		(see Note 4)	Air Rate (see Note 5)	
	cfm/p	cfm/ft ²		#/100 m ²	cfm/p	
โถงทางเดินร่วม (Common corridors)	—	0.06				1
ร้านค้า (Retail)						
พื้นที่ขายของ (ยกเว้นพื้นที่ส่วนที่ระบุด้านล่างนี้) (Sales (except as below))	7.5	0.12		15	16	2
พื้นที่ใช้ร่วมทั่วไปในห้างสรรพสินค้า (Mall common areas)	7.5	0.06		40	9	1
ร้านตัดผม (Barbershop)	7.5	0.06		25	10	2
ร้านเสริมสวยและทำเล็บ (Beauty and nail salons)	20	0.12		25	25	2
ร้านขายสัตว์เลี้ยง (พื้นที่สัตว์) (Pet shops (animal areas))	7.5	0.18		10	26	2
ซูเปอร์มาร์เก็ต (Supermarket)	7.5	0.06		8	15	1
ร้านซักรีดแบบหยอดเหรียญ (Coin-operated laundries)	7.5	0.12		20	14	2
กีฬาและกิจกรรมบันเทิง (Sports and Entertainment)						
ห้องออกกำลังกาย, สนามกีฬา (พื้นที่เล่นกีฬา) (Gym, sports arena (play area))	20	0.18	E	7	45	2
พื้นที่สำหรับผู้ชม (Spectator areas)	7.5	0.06		150	8	1
สระว่ายน้ำ (ตัวสระและระเบียง) (Swimming (pool & deck))	—	0.48	C	—		2
พื้นที่ดิสโก้/เต้นรำ (Disco/dance floors)	20	0.06		100	21	2
เฮลท์คลับ ห้องแอโรบิก (Health club/aerobics room)	20	0.06		40	22	2
เฮลท์คลับ ห้องยกน้ำหนัก (Health club/weight rooms)	20	0.06		10	26	2
โบว์ลิ่ง (ส่วนที่นั่ง) (Bowling alley (seating))	10	0.12		40	13	1
คาสิโน (Gambling casinos)	7.5	0.18		120	9	1
ร้านเกม (Game arcades)	7.5	0.18		20	17	1
เวทีต่างๆ สตูดิโอ (Stages, studios)	10	0.06	D	70	11	1

หมายเหตุทั่วไป:

- อัตราในตารางนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อข้อกำหนดอื่นๆทั้งหมดในมาตรฐาน 62.1 ได้รับการปฏิบัติตามด้วย
- ตารางนี้ใช้กับพื้นที่ปลอดการสูบบุหรี่
- อัตราการไหลเชิงปริมาตรที่ระบุเป็นที่ Standard Conditions อัตรานี้อาจมีการปรับเปลี่ยนตามความหนาแน่นของอากาศที่เกิดขึ้นจริงก็ได้ แต่มาตรฐานไม่ได้บังคับว่าให้ต้องทำ
- ให้ใช้ค่า Default Occupant Density ก็ต่อเมื่อไม่ทราบค่าความหนาแน่นจริงของผู้ใช้พื้นที่
- ค่า Default Combined Outdoor Air Rate ถูกคำนวณมาจากค่า Default Occupant Density
- ในกรณีที่ประเภทการใช้งานที่ต้องการไม่มีระบุอยู่ในตารางนี้ ให้ใช้อัตราการระบายเดียวกันกับประเภทการใช้งานที่มีความคล้ายคลึงกันแทนได้

หมายเหตุเฉพาะรายการ:

- สำหรับห้องสมุดในโรงเรียนมัธยมและห้องสมุดในมหาวิทยาลัย ให้ใช้ค่าของห้องสมุดในหมวดพื้นที่สาธารณะ
- อัตรานี้อาจจะไม่เพียงพอถ้าวัสดุที่จัดเก็บมีการปล่อยก๊าซที่อาจเป็นอันตราย
- อัตราการระบายนี้ไม่มีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมความชื้น อาจต้องมีการเพิ่มการระบายหรือใช้เครื่องลดความชื้นเพื่อเอาความชื้นออกทิ้งไป นอกจากนั้นแล้วพื้นที่ระเบียงบริเวณรอบสระที่จะคาดว่าจะเป็นในการใช้สระปกติ อาจจะแห้ง เช่น เมื่อมีผู้เล่นน้ำลงไปอยู่ในสระแล้ว ในกรณีนี้อาจถือได้ว่าระเบียงดังกล่าวไม่ได้เปียก และอาจถือเป็นพื้นที่ประเภทอื่นได้ เช่น พื้นที่ผู้ชม เป็นต้น
- อัตราดังกล่าวไม่รวมกรณีที่มีการปล่อยไอหรือหมอกควันสำหรับเทคนิคพิเศษบนเวที เช่น ไอร์หรือน้ำแข็งแห้ง หรือควันเทียม เป็นต้น
- ถ้าจะมีการใช้อุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ในสนามหรือในบริเวณสนามต้องจัดให้มีการระบายอากาศหรือการควบคุมมลภาวะที่จุดกำเนิดเพิ่มเติม
- ค่า Default Occupancy ของที่พักอาศัยจะเป็นสองคนสำหรับ Studio และ One-bedroom Unit และเพิ่มอีกหนึ่งคนต่อหนึ่งห้องนอนที่เพิ่มขึ้น
- อากาศจากที่พักอาศัยแห่งนี้ต้องไม่หมุนเวียนหรือถูกส่งผ่านไปยังพื้นที่อื่นนอกที่ที่พักอาศัยนั้น

ตารางที่ 3 : Zone Air Distribution Effectiveness (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1-2013)

ลักษณะการจ่ายลม	E_z
จ่ายลมเย็นจากเพดาน	1.0
จ่ายลมร้อนจากเพดานและให้ลมกลับที่พื้น	1.0
จ่ายลมที่อุ่นกว่าอุณหภูมิห้อง 8°C หรือมากกว่าจากเพดานและให้ลมกลับที่เพดาน	0.8
จ่ายลมที่อุ่นกว่าอุณหภูมิห้องไม่เกิน 8°C จากเพดานและให้ลมกลับที่เพดาน แต่จัดการให้กระแสลมจ่ายที่มีความเร็ว 0.8 m/s วิ่งลงมาถึงระดับ 1.4 เมตร เหนือพื้นหรือต่ำกว่าได้ หมายเหตุ: ถ้ากระแสลมจ่ายมีความเร็วต่ำกว่านั้น $E_z = 0.8$	1.0
จ่ายลมเย็นจากพื้นและให้ลมกลับที่เพดาน โดยที่ Vertical Throw มีค่าสูงเกินกว่า 0.25 m/s ที่ระยะสูงกว่า 1.4 เมตร	1.0
จ่ายลมเย็นจากพื้นและให้ลมกลับที่เพดาน ด้วยระบบ Low-velocity Displacement Ventilation ที่ทำให้เกิด Unidirectional Flow และ Thermal Stratification หรือระบบ Underfloor Air Distribution ที่ Vertical Throw มีค่าน้อยกว่า 0.25 m/s ที่ระยะเหนือพื้น 1.4 เมตร	1.2
จ่ายลมร้อนจากพื้นและให้ลมกลับที่พื้น	1.0
จ่ายลมร้อนจากเพดานและให้ลมกลับที่เพดาน	0.7
อากาศเดิมถูกดูดเข้าห้องด้านตรงกันข้ามกับช่องดูดอากาศเสีย หรือ ช่องลมกลับ	0.8
อากาศเดิมถูกดูดเข้าห้องใกล้กับช่องดูดอากาศเสีย หรือ ช่องลมกลับ	0.5

หมายเหตุ:

- "ลมเย็น" หมายถึง ลมจ่ายที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง
- "ลมร้อน" หมายถึง ลมจ่ายที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง
- "การจ่ายลมจากเพดาน" หมายถึง มีช่องจ่ายลมอยู่สูงกว่า Breathing Zone
- "การจ่ายลมจากพื้น" หมายถึง มีช่องลมจ่ายอยู่ต่ำกว่า Breathing Zone
- ทางเลือกอีกทางหนึ่งนอกเหนือไปจากการใช้ค่าข้างต้น E_z อาจเปรียบได้กับค่า Air-change Effectiveness ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีการตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASHRAE 129 สำหรับการจ่ายลมทุกแบบ ยกเว้นแบบ Unidirectional Flow

โดยที่ V_{ou} คือ Uncorrected Outdoor Air Intake ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้คือ

$$V_{ou} = D \sum_{\text{all zones}} (R_p \times P_z) + \sum_{\text{all zones}} (R_a \times A_z) \quad (6)$$

โดยที่ D คือ Occupant Diversity Ratio ซึ่งหาได้จากสูตร

$$D = P_s / \sum_{\text{all zones}} P_z \quad (7)$$

โดยที่ P_s คือจำนวนผู้อยู่อาศัยสูงสุดจริงในวันทำการตามปกติ ส่วน E_v คือ System Ventilation Efficiency ซึ่งหาได้จากตารางที่ 4

ค่า $\text{Max}(Z_p)$ ในตารางที่ 4 คือค่าของ Z_{pz} ที่มีค่าสูงที่สุดในบรรดา Zone ต่างๆ ที่คำนวณได้จากสูตร

$$Z_{pz} = V_{oz}/V_{pz} \quad (8)$$

โดยที่ V_{pz} คือ Supply Air CFM ในแต่ละ Zone

ตารางที่ 4 : System Ventilation Efficiency (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1-2013)

Max (Z_{pz})	E_v
≤ 0.15	1.0
≤ 0.25	0.9
≤ 0.35	0.8
≤ 0.45	0.7
≤ 0.55	0.6
> 0.55	Use Appendix A ในตัวมาตรฐาน 62.1

หมายเหตุ:

1. "Max (Z_{pz})" หมายถึงค่าสูงสุดของ Z_{pz} ซึ่งคำนวณโดยสมการที่ (8) สำหรับทุกพื้นที่ที่ระบายอากาศ (Ventilation Zones) ของระบบระบายอากาศหนึ่งๆ (ของ AHU หนึ่งๆ)
2. สำหรับค่าของ Max (Z_{pz}) ที่อยู่ระหว่าง 0.15 กับ 0.55 ค่าของ E_v สามารถหาได้โดยการ Interpolation ค่าในตาราง
3. ค่าของ E_v ในตารางนี้ มาจากการใช้สัดส่วนอากาศภายนอกต่ออากาศถ่ายเทเท่ากับ 0.15 สำหรับระบบที่มีสัดส่วนนี้สูงกว่านี้ ค่า E_v ในตารางนี้อาจให้ค่าที่ต่ำเกินไป ในกรณีนี้ การใช้วิธีการใน Normative Appendix A จะให้ค่าที่สมเหตุสมผลกว่า

ตัวอย่างที่ 2 อาคารสำนักงานแห่งหนึ่งมี Typical Floor Plan ดังแสดงในรูปที่ 5 ระบบปรับอากาศในแต่ละชั้นเป็น VAV มี AHU อยู่หนึ่งตัว ซึ่งได้รับ Pre-conditioned Outdoor Air จาก OAU ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นดาดฟ้า (OAU ดังกล่าวจ่าย Pre-conditioned Outdoor Air ให้แก่ AHU ในทุกชั้น) รูปที่ 5 ทางด้านขวามือแสดง VAV Zoning ของชั้น โดยในแต่ละโซนมีการติดตั้งกล่อง VAV แบบ Fan-powered ในทุกโซน ค่าประสิทธิภาพในการกระจายอากาศระบาย (E_z) สำหรับทุก Zone จะกำหนดให้เท่ากับ 1.0 Zone Details แสดงอยู่ในตารางที่ 5 โดยจำนวนคน (Design Occupancy) หาได้จาก Furniture Layout และมีการใช้ค่า Design Occupancy เท่ากับ 1.7 สำหรับ Private Office ด้วย (ที่มาของค่า Design Occupancy สำหรับ Private Office นี้จะแสดงอยู่ในตัวอย่างที่ 5) ค่า Design Total Supply Air to Zone ได้มาจากรายการ Cooling Load Calculations ของวิศวกร จำนวนคนจริงที่แน่นอน (ที่ไม่ได้หาจาก Furniture Plan) จะมีอยู่รวม

ทั้งสิ้น 73 คน จงหาว่า Designed Outdoor Requirement ของ AHU ในชั้นนี้จะมีค่าเท่าไร ถ้าใช้ค่า System Ventilation Efficiency ในตารางที่ 4 ในการคำนวณ

เนื่องจากโจทย์ในตัวอย่างที่ 2 นี้เป็นกรณี Multiple-Zone System เราจึงต้องใช้สมการที่ (5) ถึง (8) ในการคำนวณหาค่า V_{ot} ดังนี้

เนื่องจาก P_s มีค่าเท่ากับ 73 และ $\sum_{\text{all zones}} P_z$ มีค่าเท่ากับ 150.4 ดังนั้นจากสมการที่ (7)

$$D = 73/150.4$$

$$= 0.485$$

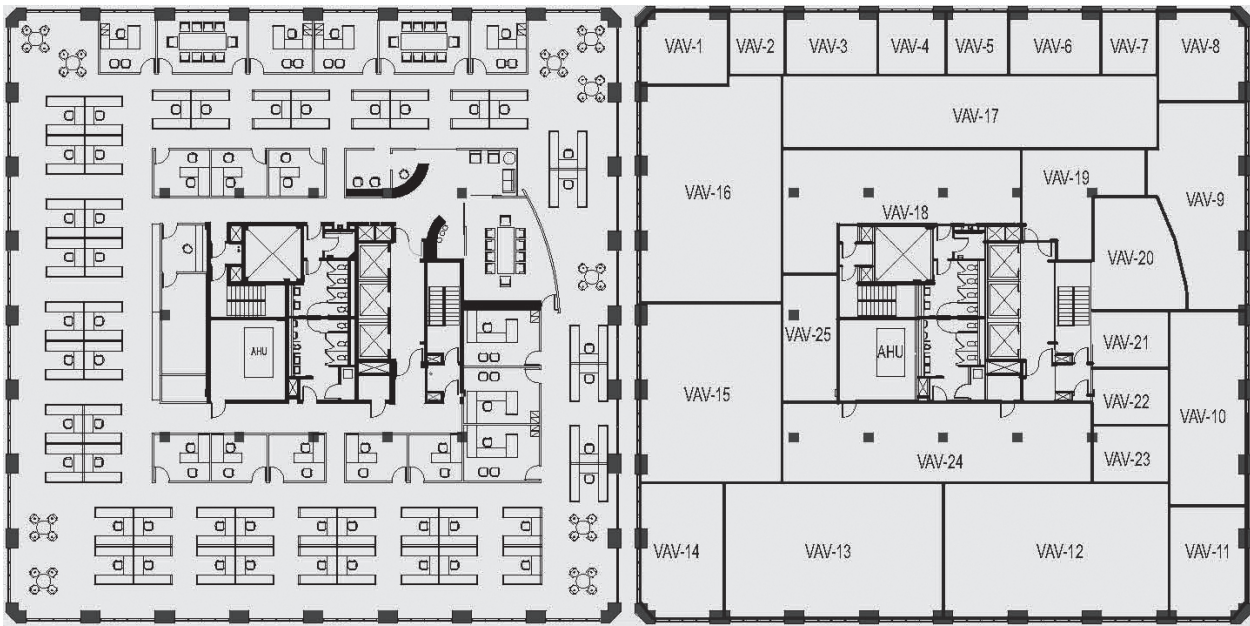
ทำการคำนวณหา V_{ou} จากสมการ (6) จะได้

$$V_{ou} = 0.485 \times 752 + 905$$

$$= 1,270 \text{ cfm}$$

โดยที่ค่า $\sum_{\text{all zones}} (R_p \times P_z)$ และ $\sum_{\text{all zones}} (R_q \times A_z)$ แสดงอยู่ในตารางที่ 6

ค่า Max Z_p ตามสมการที่ (8) แสดงอยู่ในตารางที่ 6 เช่นกัน และ Max (Z_p) = 0.34 เกิดขึ้นที่ Zone VAV-20



รูปที่ 5: Typical Floor Plan ของอาคารสำนักงานในตัวอย่างที่ 2 (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1 User Manual)

จากตารางที่ 4 จะได้ว่า System Ventilation Efficiency (E_v) จะมีค่าเท่ากับ 0.81 (โดยการ Interpolation ค่าในตารางที่ 4)

ดังนั้นจากสมการที่ (5)

$$\begin{aligned} V_{ot} &= V_{ou}/E_v \\ &= 1,270/0.81 \\ &= 1,568 \text{ cfm} \end{aligned}$$

การคำนวณในกรณี Multiple-Zone นี้ปกติเรา จะไม่ได้ทำด้วยมือ ผู้อ่านสามารถดาวน์โหลด Spread Sheet ของ USGBC LEED 62MZCalc.xls มาช่วยในการคำนวณได้ นอกจากนั้นแล้วค่า System Ventilation Efficiency (E_v) ในตารางที่ 4 อาจให้ ค่าไม่ถูกต้องอีกด้วย เนื่องจากค่าดังกล่าวมาจาก สมมติฐานที่ว่าอัตราส่วนระหว่างอากาศภายนอกกับ ลมจ่าย (Supply Air) มีค่าอยู่ที่ 15% ถ้าอัตราส่วน ดังกล่าวไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้างต้น ค่า E_v ก็อาจ

จะผิดไปได้ ในตัวอย่างที่ 2 นี้ถ้าใช้ Spread Sheet ของ USGBC มาช่วยในการคำนวณจะพบว่าค่าของ E_v จะมีค่าอยู่เพียง 0.75 และจะทำให้เราได้ค่าปริมาณ อากาศระบายเพิ่มขึ้นเป็น 1,693 cfm

ก่อนจะจบในหัวข้อนี้ ขอย้ำอีกครั้งว่าปริมาณ อากาศบริสุทธิ์จากภายนอกตามตารางที่ 2 นั้นเป็น ค่าต่ำที่สุดที่มาตรฐานอนุญาต USGBC (US Green Building Council) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้การรับรอง เรื่อง LEED สนับสนุนการเพิ่มอัตราการระบายขึ้นอีก 30% จากค่าขั้นต่ำตามมาตรฐานนี้ โดยการให้ Credit เพิ่มในหัวข้อ Indoor Environmental Quality ข้อควรระวังในข้อนี้คือ สำหรับระบบ VAV แล้ว การเพิ่ม 30% ที่ AHU อาจจะไม่ใช่ 30% ใน Breathing Zone และถ้าจะให้ได้ 30% ใน Breathing Zone อาจต้องเพิ่มปริมาณที่ AHU ขึ้นถึง 50% ก็ เป็นไปได้

7. Exhaust Ventilation

ในพื้นที่บางประเภท มาตรฐาน 62.1 กำหนดให้ ต้องมีการระบายอากาศแบบดูดออกด้วย (Exhaust คืออากาศที่ต้องดูดออกจากพื้นที่และทิ้งออกไปนอก อาคาร) โดยที่ Exhaust Makeup Air อาจเป็น องค์ประกอบใดๆก็ได้ของอากาศภายนอก (Outdoor Air) อากาศหมุนเวียน (Recirculated Air) และ Transfer Air ตารางที่ 7 แสดงชนิดของพื้นที่ และ ปริมาณอากาศที่ต้องดูดออกขั้นต่ำจากแต่ละพื้นที่

จากการพิจารณาประเภทของพื้นที่ในตารางที่ 2 และ 7 ร่วมกันเราจะพบว่าบางพื้นที่มีความต้องการ ทั้งการเติม Fresh Air (อากาศภายนอกที่สะอาด) และการ Exhaust และบางพื้นที่ก็มีความต้องการแต่ เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ในกรณีที่พื้นที่ที่พิจารณา มี ข้อกำหนดให้มีการเติมทั้ง Fresh Air และ Exhaust

เราจะต้องมาทำการพิจารณาเพิ่มเติมอีกว่า ปริมาณ ฝั่งไหน มากน้อยกว่ากัน และจะต้องมีการจัดหา เพิ่มเติมอย่างไร เพื่อให้ได้มาซึ่ง Zone Pressurization ที่เหมาะสม ในกรณีที่ Exhaust Air มีปริมาณ มากกว่า การเพิ่มปริมาณอากาศภายนอก (เพิ่มเติม อีกจากที่ระบุในตารางที่ 2) หรือ Makeup โดยใช้ อากาศจาก Zone อื่นที่มี Air Class ที่เหมาะสม ก็อาจทำได้ และเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาเป็นกรณีไป

ในกรณีที่พื้นที่ที่พิจารณา มีข้อกำหนดให้เติม Fresh Air ตามตารางที่ 2 แต่ไม่มีข้อกำหนดให้ Exhaust ออกตามตารางที่ 7 ก็แสดงว่าพื้นที่นั้น ค่อนข้างสะอาด และมักจะมีความต้องการความดัน เป็นบวก ในกรณีนี้เราก็มักจะจัดให้มีการ Exhaust ออก ร่วมกับ Return Air และจัดให้มีปริมาณ

ตารางที่ 5 : Zone Details ในตัวอย่างที่ 2 (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1 User Manual)

Zone Name	Zone Tag	Occupancy Category	Floor Area of Zone sq.ft	Design Population of Zone	Design Total Supply to Zone cfm
Corner Open Office	VAV-1	Office space	290	8	545
North Private Office	VAV-2	Office space	162	1.7	175
North Conference Room	VAV-3	Conference/meeting	267	10	265
North Private Office	VAV-4	Office space	187	1.7	180
North Private Office	VAV-5	Office space	187	1.7	180
North Conference Room	VAV-6	Conference/meeting	267	10	265
North Private Office	VAV-7	Office space	162	1.7	175
Corner Open Office	VAV-8	Office space	290	12	390
East Open Office	VAV-9	Office space	873	6	990
East Open Office	VAV-10	Office space	615	4	700
Corner Open Office	VAV-11	Office space	484	8	710
South Open Office	VAV-12	Office space	1,435	10	1,900
South Open Office	VAV-13	Office space	1,435	8	1,835
Corner Open Office	VAV-14	Office space	484	8	1,365
West Open Office	VAV-15	Office space	1,188	8	1,585
West Open Office	VAV-16	Office space	1,462	8	2,095
Interior Open Office	VAV-17	Office space	1,294	8	760
Interior Private Office	VAV-18	Office space	965	6	565
Reception	VAV-19	Office space	465	7	445
Interior Conference room	VAV-20	Conference/meeting	443	10	325
Interior Private Office	VAV-21	Office space	210	1.7	135
Interior Private Office	VAV-22	Office space	210	1.7	135
Interior Private Office	VAV-23	Office space	210	1.7	135
Interior Private Office	VAV-24	Office space	1,160	7.5	610
Server Room	VAV-25	Computer (not printing)	335	0	100
Totals			15,080	150.4	16,565

General Exhaust ประมาณ 90% ของปริมาณ Fresh Air ที่เติมเข้าสู่พื้นที่

ในกรณีที่พื้นที่ที่พิจารณา มีข้อกำหนดให้ Exhaust อย่างเดียวตามตารางที่ 7 แต่ไม่มีข้อกำหนดให้เติม Fresh Air ตามตารางที่ 2 ก็แสดงว่า พื้นที่นั้นค่อนข้างสกปรก และมักจะมีความต้องการความดันเป็นลบ ในกรณีนี้เราก็มักจะจัดให้มีการเติมอากาศเข้าไปชดเชยในปริมาณประมาณ 90% ของปริมาณ Exhaust Air ที่ถูกดูดออกจากพื้นที่ อากาศที่เติมเข้าไปชดเชยนี้ อาจเป็นอากาศภายนอกที่สะอาดหรืออากาศจาก Zone อื่นก็ได้ แต่ต้องมี Air Class ที่เหมาะสม

ตัวอย่างที่ 3 ในห้อง Art Class Room ขนาด กว้าง 10 เมตร ยาว 12 เมตร และมีผู้ใช้ห้องจำนวน

30 คน จงหาว่าจะต้องจัดให้มีการระบายอากาศอย่างไรในปริมาณเท่าใดบ้าง

จากตารางที่ 2 และ 7 จะพบว่า Art Class Room ต้องมีทั้งการดูดอากาศเสียออกทิ้งไป และเติมอากาศบริสุทธิ์เข้ามาในบริเวณที่ปรับอากาศด้วย

จากตารางที่ 7 ปริมาณอากาศเสียที่ต้องดูดออกทิ้งไป (V_{EX}) จะคำนวณได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} V_{EX} &= 0.7 \times 10 \times 12 \times 10.76 \\ &= 904 \text{ cfm} \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2 ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่ต้องนำเข้ามาคือ (สมมติให้ $E_z = 1.0$)

$$\begin{aligned} V_{OZ} &= 30 \times 10 + 0.18 \times 10 \times 12 \times 10.76 \\ &= 300 + 232.4 \\ &= 533 \text{ cfm} \end{aligned}$$

ตารางที่ 6 : รายการคำนวณในตัวอย่างที่ 2

Zone Name	Zone Tag	People Outdoor Airflow cfm	Area Outdoor Airflow cfm	Zone Outdoor Airflow cfm	Primary Airflow to Zone cfm	Primary OA Fraction
Corner Open Office	VAV-1	40	17.4	57	545	0.11
North Private Office	VAV-2	8.5	9.72	18	175	0.10
North Conference Room	VAV-3	50	16.02	66	265	0.25
North Private Office	VAV-4	8.5	11.22	20	180	0.11
North Private Office	VAV-5	8.5	11.22	20	180	0.11
North Conference Room	VAV-6	50	16.02	66	265	0.25
North Private Office	VAV-7	8.5	9.72	18	175	0.10
Corner Open Office	VAV-8	60	17.4	77	390	0.20
East Open Office	VAV-9	30	52.38	82	990	0.08
East Open Office	VAV-10	20	36.9	57	700	0.08
Corner Open Office	VAV-11	40	29.04	69	710	0.10
South Open Office	VAV-12	50	86.1	136	1900	0.07
South Open Office	VAV-13	40	86.1	126	1835	0.07
Corner Open Office	VAV-14	40	29.04	69	1365	0.05
West Open Office	VAV-15	40	71.28	111	1585	0.07
West Open Office	VAV-16	40	87.72	128	2095	0.06
Interior Open Office	VAV-17	40	77.64	118	760	0.15
Interior Private Office	VAV-18	30	57.9	88	565	0.16
Reception	VAV-19	35	27.9	63	445	0.14
Interior Conference room	VAV-20	50	26.58	77	225	0.34
Interior Private Office	VAV-21	8.5	12.6	21	135	0.16
Interior Private Office	VAV-22	8.5	12.6	21	135	0.16
Interior Private Office	VAV-23	8.5	12.6	21	135	0.16
Interior Private Office	VAV-24	37.5	69.6	107	610	0.18
Server Room	VAV-25	0	20.1	20	100	0.20
Totals/Maximum		752	905	1,657	16,465	0.34

ตารางที่ 7 : Minimum Exhaust Rates (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1-2013)

ประเภทการใช้งาน	Exhaust Rate cfm/unit	Exhaust Rate cfm/ft2	หมายเหตุ	Air Class
สนามกีฬา (Arenas)	—	0.50	B	1
ห้องเรียนศิลปะ (Art classrooms)	—	0.70		2
อู่ซ่อมรถยนต์ (Auto repair rooms)	—	1.50	A	2
ร้านตัดผม (Barber shops)	—	0.50		2
ร้านเสริมสวยและทำเล็บ (Beauty and nail salons)	—	0.60		2
ห้องคุมขังนักโทษพร้อมส้วม (Cells with toilet)	—	1.00		2
ห้องพิมพ์เอกสารและถ่ายสำเนา (Copy, printing rooms)	—	0.50		2
ห้องล้างฟิล์ม (Darkrooms)	—	1.00		2
ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในสถานศึกษา (Educational science laboratories)	—	1.00		2
ห้องเก็บอุปกรณ์ทำความสะอาด ห้องขยะ ห้องรีไซเคิล (Janitor closets, trash rooms, recycling)	—	1.00		3
ห้องครัวเล็กๆ (Kitchenettes)	—	0.30		2
ห้องครัวเชิงพาณิชย์ (Kitchens-commercial)	—	0.70		2
ห้องแต่งตัว/เก็บของ (Locker/dressing rooms)	—	0.25		2
ห้องตู้ล็อกเกอร์ (Locker rooms)	—	0.50		2
บูธสเปรย์สี (Paint spray booths)	—	—	F	4
โรงจอดรถ (Parking garages)	—	0.75	C	2
ร้านขายสัตว์เลี้ยง (พื้นที่สัตว์) (Pet shops (animal areas))	—	0.90		2
ห้องเครื่องทำความเย็น (Refrigerating machinery rooms)	—	—	F	3
ห้องครัวในที่พักอาศัย (Residential kitchens)	50/100	—	G	2
ห้องเก็บผ้าสกปรก (Soiled laundry storage rooms)	—	1.00	F	3
ห้องเก็บสารเคมี (Storage rooms, chemical)	—	1.50	F	4
ห้องน้ำส่วนตัว (Toilets—private)	25/50	—	E, H	2
ห้องน้ำสาธารณะ (Toilets—public)	50/70	—	D, H	2
ห้องช่าง/ห้องเรียน-งานไม้ (Woodwork shop/classrooms)	—	0.50		2

หมายเหตุ:

A: ตรงตำแหน่งที่เครื่องชนดมีการเดินเครื่องต้องมีระบบดูดไอเสียที่เชื่อมต่อโดยตรงเข้ากับท่อไอเสียและมีการป้องกันการเล็ดลอดของควันไอเสีย

B: ถ้ามีการใช้อุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้ในสนามต้องจัดให้มีการระบายอากาศหรือการควบคุมมลภาวะที่จุดกำเนิดเพิ่มเติม

C: ไม่จำเป็นต้องดูดอากาศออกทั้งถ้ามีผนังอย่างน้อยสองด้านหรือมากกว่าที่มีช่องเปิดโล่งเกินกว่า 50 % ของพื้นที่ผนังแต่ละด้าน

D: อัตรานี้เป็นอัตราต่อส้วมหรือต่อโถปัสสาวะ ใช้อัตราอันสูงในสภาวะที่คาดว่าจะมีการใช้งานหนัก เช่น ห้องสุขาในโรงพยาบาล โรงเรียน และสถานที่เล่นกีฬา นอกนั้นแล้วใช้อัตราขั้นต่ำได้

E: อัตรานี้เป็นอัตราสำหรับห้องน้ำส่วนตัวที่เข้าใช้ทีละคน สำหรับระบบที่ทำงานอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาการใช้งานปกติ ให้ใช้อัตราที่ต่ำกว่าที่ระบุได้ มิฉะนั้นให้ใช้อัตราที่สูงขึ้น

F: คู่มือฐานบังคับอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

G: สำหรับระบบที่มีการทำงานต่อเนื่องให้ใช้อัตราขั้นต่ำ มิฉะนั้นแล้วให้ใช้อัตราอันสูง

H: อากาศเสียที่ผ่านกระบวนการความสะอาดจนได้ตามเกณฑ์ของ Air Class I แล้ว สามารถนำไปใช้หมุนเวียนได้ (Return กลับไป AHU ได้)

จากผลการคำนวณดังกล่าวข้างต้นจะพบว่า ปริมาณ Exhaust ที่ต้องดูดออกมีมากกว่าความต้องการนำเข้าอากาศบริสุทธิ์อยู่ $904 - 533 = 371$ cfm ปริมาณอากาศชดเชย (Makeup Air) ที่ขาดอยู่อีก 371 cfm นี้ ทำให้เราต้องนำเข้าอากาศบริสุทธิ์ (หรือใช้อากาศอื่นก็ได้ที่เป็นไปตามกติกาของ Recirculation Restrictions for Classified Air) อีกประมาณ 371 cfm เข้ามาชดเชยเพิ่มเติม

ถ้าเราต้องการให้ความดันในห้องนี้เป็นลบเล็กน้อย วิธีการง่าย ๆ (เบื้องต้น) คือ นำอากาศเข้ามาชดเชยให้น้อยกว่า 371 cfm

สมมติว่า เราต้องการให้ Exhaust ทั้งหมดมากกว่า Fresh Air ประมาณ 10% ดังนั้น Fresh Air รวมควรเท่ากับ $0.9 \times 904 = 814$ ดังนั้น V_{OZ} ควรต้องปรับเพิ่มจากค่า Minimum 533 cfm ให้เป็นประมาณ 814 cfm

8. การออกแบบเพื่อรองรับ Variable Load Conditions

Variable Load Conditions ในที่นี้หมายถึง การที่ภาระความร้อน หรือความเย็น เปลี่ยนไป หรือจำนวนคนมีการเปลี่ยนแปลงไป ระบบระบายอากาศจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถส่ง Fresh Air เข้าไปยัง Breathing Zone ได้เสมอ ในปริมาณอย่างน้อยตามที่คำนวณได้จากตารางที่ 2 ไม่ว่า Load Conditions จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม (มากกว่าไม่เป็นไร)

เรื่องนี้ มีประเด็นมาจากเรื่องของระบบ VAV ซึ่งมีการหรือลมที่จ่ายเข้าสู่ Breathing Zone ตาม Load ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป มาตรฐานจึงกำหนดไว้ว่า ในการคำนวณจะต้องศึกษาว่า Outdoor Air ที่ส่งเข้าสู่ Breathing Zone มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ภายใต้สภาวะ Load ต่าง ๆ และผู้ออกแบบจะต้องทำให้ระบบ

มีความสามารถที่จะส่ง Outdoor Air เข้าสู่ Breathing Zone ได้เสมอ ตามมาตรฐานนี้ ในทุกสภาวะ Load

9. Short-Term Conditions

Short-Term Conditions ต่าง ๆ มีผลต่อการคำนวณปริมาณอากาศระบาย เพราะจะมีผลกับจำนวนคนที่ใช้ในการคำนวณ อาทิเช่น ในห้องของผู้บริหาร โดยปกติจะมีผู้อยู่อาศัยประจำเพียงคนเดียว แต่ก็มักจะมีผู้อื่น (แขก) แวะเข้ามา เพื่อปรึกษาหารืออยู่เรื่อย ๆ เป็นระยะ บางทีก็มาเพียงคนเดียว บางทีก็มาสองคนเป็นต้น และอาจใช้เวลาอยู่ไม่นานก็กลับออกไป ดังนั้นจึงเกิดปัญหากับตัวเลขที่ใช้ในการออกแบบจำนวนคน (Design Occupancy) ขึ้นว่าจะให้ตัวเลขเป็น หนึ่ง หรือ สอง หรือสามคนดีในห้องดังกล่าว

มาตรฐานได้กำหนดวิธีการ จัดการกับกรณี Short-Term Conditions ต่างๆ ไว้ดังนี้คือ

ก) ให้หาค่า Averaging Time Period จากสูตร

$$T = 3V / V_{bz} \quad (9)$$

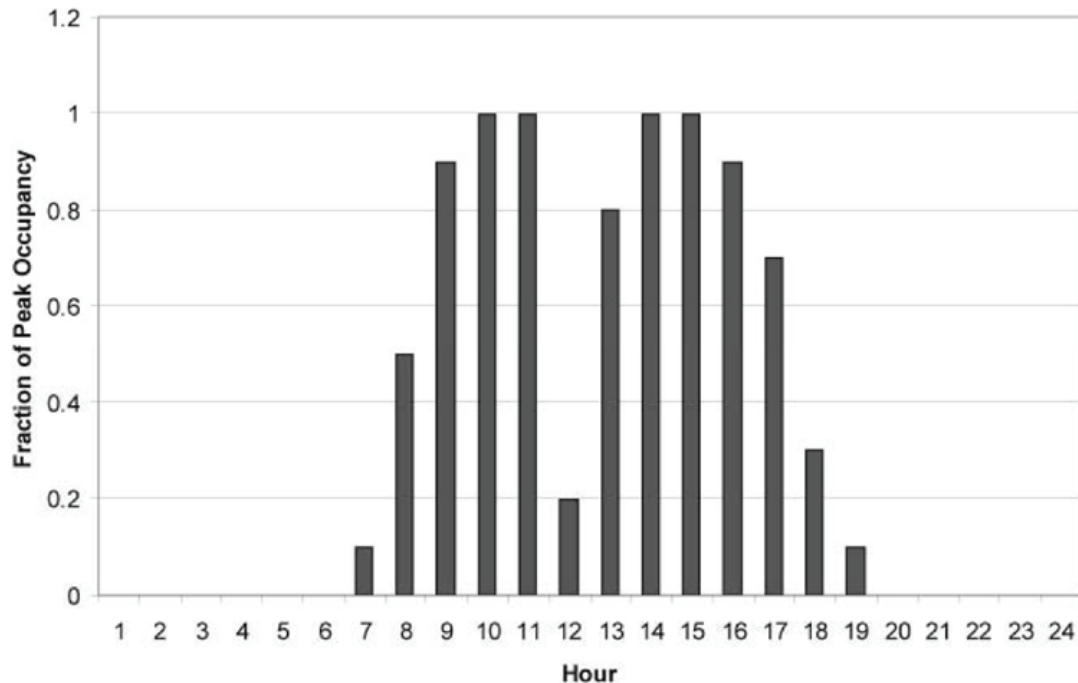
โดย V = Space Volume เป็นลูกบาศก์ฟุต

V_{bz} = Breathing Zone Outdoor Air Rate เป็น cfm

T = Average Time Period เป็นนาที

ข) ในกรณีจำนวนคนไม่แน่นอน มาตรฐานกำหนดให้หาค่าเฉลี่ยของจำนวนคนในช่วงคาบเวลา T และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีค่าเป็นค่า Design Occupancy เพื่อนำไปใช้คำนวณปริมาณอากาศระบายตามตารางที่ 2 ได้เลย

ค) ในกรณีที่อากาศจ่าย (Supply Air) มีการเปิดๆ ปิดๆ ค่าเฉลี่ยของ Outdoor Air Flow ที่จ่ายเข้ามายัง Breathing Zone ในช่วงคาบเวลา T ต้องไม่น้อยกว่าค่า V_{bz} ที่คำนวณได้จากสมการที่ (1)



รูปที่ 6 : Typical Office Peak-day Occupancy Profile ในตัวอย่างที่ 4 (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1 User Manual)

ง) ในกรณีที่การดูดอากาศภายนอกเข้ามามีการเดิน ๆ หยุด ๆ (เปิด ๆ ปิด ๆ) อากาศภายนอกเฉลี่ยที่ถูกดูดเข้ามาในคาบเวลา T ต้องไม่น้อยกว่า Minimum Outdoor Air Intake (V_{ot}) ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ (3) หรือ (4) หรือ (5) แล้วแต่กรณี

ตัวอย่างที่ 4 จงหาค่า Design Occupancy (P_z) ของสำนักงานขนาด 2000 ตารางฟุต มี Work Station จำนวน 20 ตัว และฝ้าเพดานสูง 9 ฟุต

ในโจทย์ข้อนี้ ผู้ออกแบบอาจกำหนดให้ P_z มีค่าเป็น 20 ได้เลย เนื่องจากมาตรฐานมิได้กำหนดให้ผู้ออกแบบต้องพิจารณาในเรื่องของจำนวนคนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาต่างๆ

อย่างไรก็ตามถ้าผู้ออกแบบมีความประสงค์ที่จะใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา ผู้ออกแบบจะต้องคำนวณ

ค่า Averaging Time Period (T) และกำหนด Occupancy Profile ที่เหมาะสมขึ้นมาเหมือนอย่าง que แสดงอยู่ในรูปที่ 6

ค่า Averaging Time Period ในหัวข้อนี้คือ

$$\begin{aligned}
 T &= 3V / V_{bz} \\
 &= 3 \times 2,000 \times 9 / \\
 &\quad (20 \times 5 + 2,000 \times 0.06) \\
 &= 245 \text{ นาที} \\
 &\approx 4 \text{ ชม.}
 \end{aligned}$$

จากรูปที่ 6 จะพบว่าช่วงเวลาที่ค่าเฉลี่ยของจำนวนคนมีค่าสูงสุดในช่วง 4 ชม.ติดกัน เกิดในช่วงเวลา 13 ถึง 16 น. ดังนั้น

$$\text{ค่าเฉลี่ย คือ } (0.8+1.0+1.0+0.9)/4 \approx 0.9$$

ดังนั้น Design Occupancy จึงเท่ากับ $0.9 \times 20 = 18$ คน

ตัวอย่างที่ 5 Private Office ขนาด 230 ตารางฟุต ฝ้าสูง 9 ฟุต โดยใน Furniture Plan มี Work Station หนึ่งที่นั่ง และมีเก้าอี้แขกสองตัว จงคำนวณหา Design Occupancy

ค่า Averaging Time Window คือ

$$\begin{aligned} T &= 3v / V_{bz} \\ &= 3 \times 230 \times 9 / \\ &\quad (3 \times 5 + 230 \times 0.06) \\ &= 215 \text{ นาที} \\ &\approx 3.6 \text{ ชม.} \end{aligned}$$

สมมติว่าเก้าอี้แขกทั้งสองตัวมีผู้มานั่งเป็นเวลาสั้นๆ ตัวละ 1/3 ของช่วงเวลา T ดังนั้น Design Occupancy จะมีค่าเท่ากับ

$$1 + 2 \times (1/3) = 1.7 \text{ คน}$$

10. Demand Control Ventilation (DCV)

ในกรณีที่จำนวนคนมีการเปลี่ยนแปลงไป มาตรฐานอนุญาตให้ปริมาณการระบายอากาศตามสมการที่ (1) มีการเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนคนได้ แต่ทั้งนี้ Breathing Zone Outdoor Airflow (V_{bz}) ต้องมีค่าไม่น้อยไปกว่า Building Component ($R_a \times A_z$) ของ DCV Zone และต้องไม่ลดลงจน Outdoor Air Intake มีค่าน้อยไปกว่า Exhaust Airflow เพื่อการรักษา Building Pressurization เอาไว้ให้เป็นบวก

11. ระยะห่างขั้นต่ำ

ตำแหน่งของหัวลมดูด (Fresh Air Grill) และ หัวลม Exhaust (Exhaust Air Grill) ต้องไม่ใกล้กันจนเกินไปเพื่อป้องกันอากาศเสียหลุดรอดเข้าไปยังช่องลมดูดอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก มาตรฐาน 62.1 ได้กำหนดระยะห่างขั้นต่ำไว้ดังแสดงในตารางที่ 8

12. เรื่องอื่น ๆ

มาตรฐานการระบายอากาศที่ออกมาใหม่ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 มีการเพิ่มเติมรายละเอียดวิธีการคำนวณ และอื่น ๆ อีกมาก วิศวกรผู้ออกแบบระบบปรับอากาศจะคิดถึงระบบระบายอากาศแบบเมื่อ 10 ปีก่อนไม่ได้อีกต่อไป รายการคำนวณของระบบระบายอากาศจะกลายเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากขึ้นกว่าแต่ก่อนมาก และสำคัญไม่น้อยไปกว่ารายการคำนวณ Cooling Load Calculations

มาตรฐาน 62.1 ยังมีรายละเอียดอื่นๆ ที่สำคัญอีกมากมาย ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงในบทความนี้ อาทิเช่น เรื่องของ

- รายละเอียดของ System และ Equipment ที่เหมาะสมสำหรับระบบระบายอากาศที่ดี
- การคำนวณปริมาณอากาศระบายด้วยวิธีอื่นๆ อาทิเช่นวิธี Indoor Air Quality และ Natural Ventilation Procedure
- การก่อสร้างระบบที่ดี และการ Start-up
- การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบที่ดี เป็นต้น

ระบบระบายอากาศมีผลกระทบที่สำคัญทั้งในเรื่องของการใช้พลังงานในอาคารและในเรื่องของ Indoor Environmental Quality วิศวกรผู้มีหน้าที่ออกแบบระบบระบายอากาศ จะต้องมีความรับผิดชอบมาก และจะต้องทำการศึกษาเรื่องต่างๆ ทั้งหมดอย่างละเอียดลึกซึ้ง จึงจะสามารถ ออกแบบระบบ ได้อย่างสมบูรณ์ถูกต้อง เอกสารที่ควรจะต้องศึกษา และติดตาม นอกจากตัวเนื้อมาตรฐานเองแล้ว คือ User Manual ของมาตรฐาน เท่าที่ผู้เขียนทราบทั้งตัวมาตรฐาน และ User Manual ก็กำลังจะมีฉบับปรับปรุงออกมาใหม่ในปี 2016 นี้

ตารางที่ 8 : Air Intake Minimum Separation Distance (ที่มา: ASHRAE Standard 62.1-2013)

ชนิดของสิ่งที่ต้องอยู่ห่าง	ระยะห่างขั้นต่ำ, เมตร
ช่องระบายอากาศเสีย (Exhaust Air) หรือช่องระบายอากาศระบายออก (Relief Air) จากบริเวณที่มีมลภาวะระดับ 2 (Air Class 2) (ดูหมายเหตุ 1)	3
ช่องระบายอากาศเสีย (Exhaust Air) หรือช่องระบายอากาศระบายออก (Relief Air) จากบริเวณที่มีมลภาวะระดับ 3 (Air Class 3) (ดูหมายเหตุ 1)	5
ช่องระบายอากาศเสีย (Exhaust Air) หรือช่องระบายอากาศระบายออก (Relief Air) จากบริเวณที่มีมลภาวะระดับ 4 (Air Class 4) (ดูหมายเหตุ 2)	10
ช่องระบายอากาศจากระบบท่อสุขาภิบาล ที่อยู่สูงกว่า ช่องดูดอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกอาคาร ไม่เกิน 1 เมตร	3
ช่องระบายอากาศจากระบบท่อสุขาภิบาล ที่อยู่สูงกว่า ช่องดูดอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกอาคาร อย่างน้อย 1 เมตร	1
ช่องระบาย หรือ ปล่องควันไฟ จากอุปกรณ์การเผาไหม้ (ดูหมายเหตุ 3)	5
ทางเข้าที่จอดรถ พื้นที่ขนถ่ายสินค้าขึ้นลงจากรถ หรือ ที่รถจอดต่อแถวรอคิว (ดูหมายเหตุ 4)	5
พื้นที่ขนถ่ายสินค้าขึ้นลงรถบรรทุก ตู้ หรือ ที่จอดหรือที่จอดรถของรถโดยสาร (ดูหมายเหตุ 4)	7.5
ทางรถไฟ ถนน สถานีจอดรถ (ดูหมายเหตุ 4)	1.5
ถนนที่มีการจราจรคับคั่ง	7.5
หลังคา พื้นที่ลาดเอียง หรือพื้นผิวซึ่งอยู่ใต้ช่องดูดอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกอาคารพอดี (ดูหมายเหตุ 5 และ 6)	0.3
ที่เก็บ หรือ ที่ขนถ่ายขยะ หรือ ถังขยะขนาดใหญ่	5
ช่องดูดอากาศ หรือ อ่างน้ำ ของหอผึ่งน้ำ	5
ช่องระบายอากาศทิ้งของหอผึ่งน้ำ	7.5

หมายเหตุ:

- ข้อกำหนดนี้ใช้สำหรับระยะห่างระหว่างช่องดูดของระบบหนึ่งกับช่องระบายของอีกระบบหนึ่ง
- ระยะห่างดังกล่าวไม่สามารถใช้ได้กับช่องระบายของ Laboratory Fume Hood Exhaust หลักเกณฑ์การพิจารณาระยะดังกล่าวต้องเป็นไปตาม NFPA45 และ ANSI/ASHRAE 62.1-2013 ข้อมูลเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ในการพิจารณาระยะดังกล่าว สำหรับอุตสาหกรรม สามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก ACGIH Industrial Ventilation Manual และใน ASHRAE Handbook—HVAC Applications
- ระยะห่างอาจจะน้อยกว่านี้ได้ หากไม่ขัดกับมาตรฐานดังต่อไปนี้ (ก) ANSI Z233.1/NFPA 549 สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง (ข) NFPA3110 สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (ค) NFPA21111 สำหรับอุปกรณ์เผาไหม้ชนิดอื่น ๆ
- การวัดระยะให้วัดจากตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดที่คาดว่ายานพาหนะเหล่านี้จะปล่อยไอเสียออกมา
- ระยะห่างอาจจะน้อยกว่านี้ได้ถ้าพื้นผิวดังกล่าวทำมุมมากกว่า 45 องศาจากแนวระดับ หรือ มีความกว้างน้อยกว่า 30 มม.
- ถ้าคาดว่าจะมีการสะสมของหิมะให้ใช้หิมะของหิมะ (ที่ความสูงเฉลี่ย) เป็นจุดอ้างอิงสำหรับการวัดระยะดังกล่าว

13. เอกสารอ้างอิง

¹ ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.

² 62.1 User's Manual ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.