บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 กล่าวนำ

การระบายอากาศในอาคารนั้นเป็นสิ่งจำเป็นเพราะเป็นการนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาใช้ภายในอาคาร และทำให้มลพิษของอากาศภายในอาคารเจือจางลง และอยู่ในระดับที่ผู้อยู่อาศัยภายในอาคารเกิดภาวะสุขสบาย ที่ผ่านมาอาคารเกือบทั้งหมดได้ถูกออกแบบให้อัตราการระบายอากาศคงที่ ซึ่งเป็นการระบายอากาศที่สิ้นเปลืองในช่วงที่มีคนอาศัยอยู่น้อยกว่าที่คำนวณเอาไว้ดังที่กล่าวมาแล้วในบทนำ

การระบายอากาศตามความต้องการโดยใช้ตัวตรวจรู้คาร์บอนไดออกไซด์(Carbon-dioxide sensor) นี้เป็นการระบายอากาศโดยยึดระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารเป็นเกณฑ์ ในการควบคุมนี้ ASHRAE Standard 62-1989 แนะนำว่า ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารไม่ควรเกิน 1000 ppm

เราสามารถลดภาระของระบบปรับอากาศในชวงที่มีคนผู้อยู่อาศัยในอาคารน้อยหรือในช่วงที่ไม่มีคนอยู่ การนำเอาตัวตรวจรู้คาร์บอนไดออกไซด์นี้มาเป็นตัวควบคุมการระบายอากาศตามความต้องการจะเป็นประโยชน์มากในการช่วยลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคาร

2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคารกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

ปัจจุบันนี้มนุษย์เริ่มจะคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมรอบตัวที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตมากขึ้น หลังจากมีความพร้อมในด้านต่างๆ ทำให้มนุษย์ป้องกันตัวเองจากปัญหาที่มีผลต่อสุขภาพร่างกาย ซึ่งเรื่องหนึ่งที่ปัจจุบันได้รับความสนใจอย่างมากก็คือ เรื่องของคุณภาพอากาศในอาคาร (Indoor Air Quality, IAQ)

ซึ่งคุณภาพอากาศในอาคารที่ยอมรับได้ หมายถึง อากาศในอาคารซึ่งไม่มีมลพิษ(ที่ทราบ) ในระดับความเข้มข้นสูงกว่าค่าที่กำหนด และผู้อาศัยส่วนใหญ่(80%หรือมากกว่า) ไม่บ่นแสดงความไม่พอใจ

สาเหตุที่เรื่องของคุณภาพอากาศในอาคารได้รับความสนใจเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในต่างประเทศก็เนื่องมาจากว่า มนุษย์ต้องอยู่อาศัยและทำงานภายในบ้านหรืออาคารเพื่อป้องกันตนเองจากอิทธิพลที่ไม่พึงปรารถนาของสิ่งแวดล้อมที่อยู่ภายนอก คุณภาพอากาศในอาคารมีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพทั้งทางร่างกายและทางจิตใจของมนุษย์ นักวิจัยชื่อ Sehweld ประมาณว่าในแต่ละปีมีผู้เสียชีวิตเนื่องจาก SPM และ RSP มากกว่า 2 ล้านคน (SPM ย่อมาจาก Suspended Particulate Matter และ RSP ย่อมาจาก Respirable Suspended Particulates) มลพิษหรือสารพิษที่มีอยู่ในอากาศเหล่านี้จะทำให้มนุษย์เกิดอาการแพ้ เจ็บป่วย และไม่สามารถดำเนินชีวิตได้ตามปกติ

คุณภาพอากาศในอาคารที่ยอมรับได้โดยพิจารณาถึงปริมาณมลพิษที่มีอยู่ในอากาศแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณมลพิษที่มีในอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้

มลพิษ	ปริมาณที่ยอมรับได้
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2)	0.03 ppm (1 ปี)
ฝุ่น	75 $\mu g/m^3$ (1 ปี)
คาร์บอนมอนออกไซด์(CO)	9 ppm (8 ชม.)
โอโซน	0.05 ppm (ต่อเนื่อง)
ไนโตรเจนออกไซด์(NO_x)	0.053 ppm (1 ปี)
สารตะกั่ว	1.5 $\mu g/m^3$ (3 เดือน)
คาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)	1000 ppm (ต่อเนื่อง)
Chlordane	0.0003 ppm (ต่อเนื่อง)
เรดอน	0.027 WL (เฉลี่ยต่อปี)

มลพิษเหล่านี้มีผลกระทบโดยตรงต่อระบบการหายใจและระบบทางเดินหายใจ Sulphur Dioxide (SO_2) และ SPM หรือ RSP อาจทำให้ปอดเสื่อมสมรรถภาพ เกิดการติดเชื้อรุนแรงในระบบทางเดินหายใจ ปอดอุดตันเรื้อรัง หรือแม้กระทั่ง มะเร็งในปอด มลพิษไม่ว่าจะเป็นโดยทางตรงหรือทางอ้อมที่เกิดจากการสูบบุหรี่ทำให้ปอดทำงานได้ไม่เต็มที่เพิ่มโอกาสเกิดโรคและติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจและโอกาสเกิดมะเร็งในปอด, NO_x มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจเช่นกัน ถ้าระบบทางเดินหายใจได้รับ NO_x มากจะทำให้ปอดทำงานลดลงและเพิ่มความ

ต้านทานในช่องอากาศ CO จะทดแทนและลดปริมาณออกซิเจนในเลือด ผลกระทบจะต่อเนื่องไปสู่การทำงานของหัวใจ หลอดเลือด และระบบประสาท ถ้าได้รับ CO ในปริมาณที่มากพอ ผู้ได้รับอาจเสียชีวิตได้ สารตะกั่ว มีผลต่อการสร้าง Haemoglobin ในเม็ดเลือด ทำลายการทำงานของตับ ไต และทำลายระบบประสาทบางส่วน

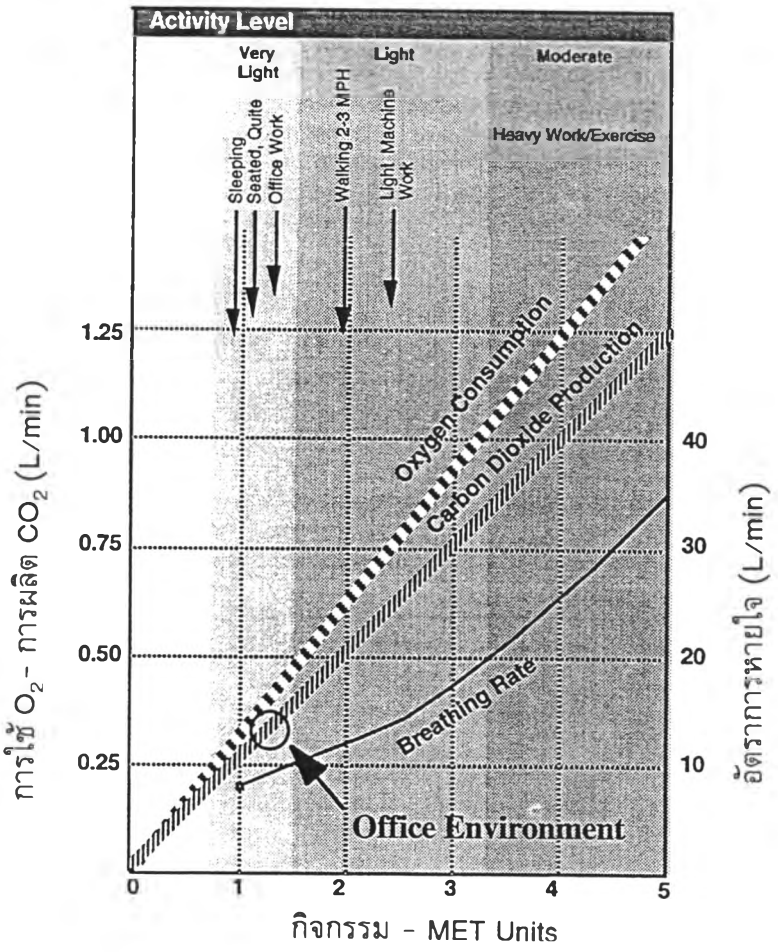
ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) นั้นจริงๆ แล้วไม่ใช่มลพิษ ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารบ่อยครั้งสามารถใช้เป็นตัวระบุคุณภาพอากาศในอาคารได้ (โดยทางอ้อม) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีความเข้มข้นเกิน 1,000 ppm ไม่มีผลโดยตรงกับสุขภาพของผู้อยู่อาศัยในอาคาร สาเหตุที่ปรากฏค่าควบคุมของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในตารางที่ 2.1 ก็เพราะปริมาณ CO_2 มีความสัมพันธ์ โดยตรงกับจำนวนผู้อยู่อาศัยในอาคาร เมื่อมีปริมาณ CO_2 มาก แสดงว่ามีผู้อยู่อาศัยในอาคารมาก กลิ่นต่างๆ และสิ่งที่มนุษย์ขับออกมา เช่น ฝุ่นละออง ความชื้น และเชื้อโรค ก็จะมีค่ามากตามไปด้วย

ตารางที่ 1.1 ซึ่งใช้คำนวณปริมาณการระบายอากาศที่ต้องการในหลายๆ กรณีถูกกำหนดเป็น cfm/คน การกำหนดในลักษณะเช่นนี้ทำให้ "ปริมาณการระบายอากาศมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของ CO_2 ในอาคาร" สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะปริมาณ CO_2 มีความสัมพันธ์กับปริมาณผู้อยู่อาศัยในอาคารนั่นเอง

2.3 การคำนวณหาระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร

ก๊าซออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับขบวนการเผาผลาญอาหารในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์หายใจเอาออกซิเจนเข้าไปใช้ และหายใจออกมาเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยอัตราการใช้ออกซิเจนและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์นั้นขึ้นอยู่กับ กิจกรรมของมนุษย์ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังแสดงในรูปที่ 2.1 (จาก ASHRAE STANDARD 62-1989, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality)

อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากคน(G) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของมนุษย์ดังรูปที่ 2.1 ที่กิจกรรมของมนุษย์เท่ากับ 1.2 MET units (การทำงานเบาๆ ในสำนักงาน) จากรูปจะอ่านค่าของ G ได้เท่ากับ 0.03 ลิตรต่อนาทีต่อคน หรือ 10.59×10^{-3} ลบ.ฟุตต่อนาทีต่อคน

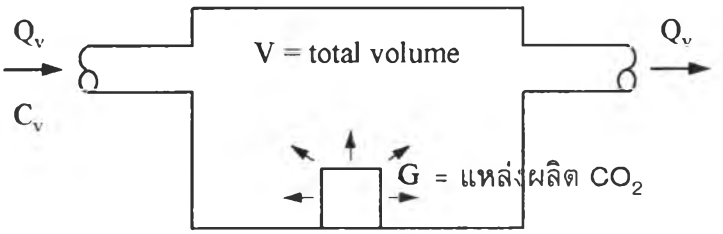


รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมของมนุษย์กับการใช้ออกซิเจน, ผลิตคาร์บอนไดออกไซด์

เราจะพบเห็นอยู่บ่อยว่าระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้สำหรับการควบคุมอัตราการระบายของอาคาร ซึ่งคนที่อาศัยอยู่ในห้องจะเพิ่มความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จากค่าเฉลี่ยของอากาศภายนอกประมาณ 0.04 % โดยค่าจะขึ้นกับความหนาแน่นของคนที่อาศัยอยู่ อัตราการไหลของอากาศภายนอกและประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศ คาร์บอนไดออกไซด์นี้ไม่เหมือนกับมลพิษอื่นๆ เพราะไม่สามารถกรอง, ดูดกลืนหรือดูดซับได้ ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นตัววัดความเจือจางของอากาศมลพิษภายในได้ดี และตารางที่ 2.2 แสดงความต้องการอากาศภายนอกสำหรับการหายใจโดยสมมุติว่าคาร์บอน-ไดออกไซด์ผสมกับอากาศภายในห้องได้เป็นอย่างดี

ตาราง 2.2 แสดงความต้องการอากาศภายนอกสำหรับการหายใจ

กิจกรรม	อัตราการเผาผลาญอาหารในร่างกาย Metabolic rate, M (W/m^2)	ความต้องการสำหรับหายใจโดยที่ความเข้มข้นของ O_2 มี 16.3 %ในอากาศที่หายใจ (L/s)	ความต้องการเพื่อให้ห้องมี CO_2 0.5 % โดยสมมุติว่า CO_2 ในอากาศบริสุทธิ์มี 0.04% (L/s)
นั่งเฉย ๆ	100	0.1	0.8
งานเบา ๆ	160-320	0.2-0.3	1.3-2.6
งานหนักปานกลาง	320-480	0.3-0.5	2.6-3.9
งานหนัก	480-650	0.5-0.7	3.9-5.3
งานหนักมาก	650-800	0.7-0.9	5.3-6.4



รูปที่ 2.2 แสดงรูปจำลองของคุณภาพอากาศภายในอาคารเพื่อที่จะหาระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์

การคำนวณหาระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.2 จะพบว่าระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องที่พิจารณาจะขึ้นอยู่กับคาร์บอน-ไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นในห้อง, อากาศที่เข้ามาในห้อง, และอากาศที่ออกจากห้อง ในกรณีนี้จะถือว่าในห้องที่พิจารณาไม่มีการดูดกลืน CO_2 หรือเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$CO_2(t) = f\,[CO_2 \text{ ที่ถูกผลิต, อากาศเข้า, อากาศออก}] \qquad (2.1)$$

ซึ่งจะเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$V \cdot dC(t) = G \cdot dt + C_v \cdot Q_v \cdot dt - C(t) \cdot Q_v \cdot dt \tag{2.2}$$

จากสมการที่ (2.2) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{dC(t)}{dt} + C(t) \cdot \frac{Q_v}{V} = \frac{\left(G + C_v \cdot Q_v\right)}{V} \tag{2.3}$$

และกำหนดให้

ค่า $A = \frac{Q_v}{V}$

ค่า $B = \frac{(G + C_v \cdot Q_v)}{V}$

ค่า $C = C(t)$

ดังนั้นจะจัดรูปสมการที่ (2.3) ได้ใหม่ดังนี้

$$\frac{dC}{dt} + A \cdot C = B \tag{2.4}$$

นำสมการที่ (2.4) มาจัดรูปและอินทริเกตทั้งสองข้างจะได้

$$\int \frac{dC}{-A \cdot C + B} = \int dt \tag{2.5}$$

หลังจากอินทริเกรตสมการที่ (2.5) จะได้

$$-\frac{1}{A} \cdot \ln|A \cdot C - B| + \text{constant} = t \tag{2.6}$$

แทนค่า A, B, C จะได้

$$-\frac{V}{Q_v}\cdot\ln\left|\frac{Q_v\cdot C(t)}{V}-\left(\frac{G}{V}+\frac{C_v\cdot Q_v}{V}\right)\right|+\text{constant}=t \qquad (2.7)$$

เมื่อพิจารณาว่าที่ t= 0 ; $C(t) = C_o$ จะได้ว่า

$$\text{constant}=\frac{V}{Q_v}\cdot\ln\left|\frac{Q_v\cdot C_o}{V}-\frac{G}{V}-\frac{C_v\cdot Q_v}{V}\right|$$

แทนค่า constant ลงในสมการที่ (2.7) จะได้

$$\frac{V}{Q_v}\cdot\ln\left|\frac{Q_v\cdot C_o-G-C_v\cdot Q_v}{Q_v\cdot C(t)-G-C_v\cdot Q_v}\right|=t \qquad (2.8)$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$C(t)=C_v+(C_o-C_v)\cdot e^{-\frac{Q_v\cdot t}{V}}+\frac{G}{Q_v}\cdot\left(1-e^{-\frac{Q_v\cdot t}{V}}\right) \qquad (2.9)$$

จากสมการที่ (2.9) เพื่อให้ง่ายสำหรับการแทนค่าจะจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$C(t)=C_v+(C_o-C_v)\cdot e^{-\frac{Q_v\cdot t}{V}}+\frac{G\cdot 10^6}{Q_v}\cdot\left(1-e^{-\frac{Q_v\cdot t}{V}}\right) \qquad (2.10)$$

โดยที่

C(t)	=	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใดๆ ; ppm
C_v	=	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก ; ppm
C_o	=	ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น ; ppm

Q_v = อัตราการไหลของอากาศเข้าห้อง ; ลิตรต่อนาที หรือ ลบ.ฟุตต่อนาที

V = ปริมาตรรวมของห้อง ; ลิตร หรือ ลบ.ฟุต

G = ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น ; ลิตรต่อนาที หรือ ลบ.ฟุตต่อนาที

t = เวลา ; นาที

ดังนั้นการคำนวณหาระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เวลาใดๆ สามารถหาได้จากสมการที่ (2.10) ซึ่งจะต้องทราบค่าดังต่อไปนี้

1. ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก (C_v) ค่าระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกนี้ จะเป็นค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลเข้าห้องที่พิจารณา โดยมีหน่วยเป็น ppm

2. ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้น (C_o) ค่าระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มต้นนี้ จะเป็นค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องที่พิจารณาที่เริ่มต้นในการคำนวณแต่ละครั้ง มีหน่วยเป็น ppm

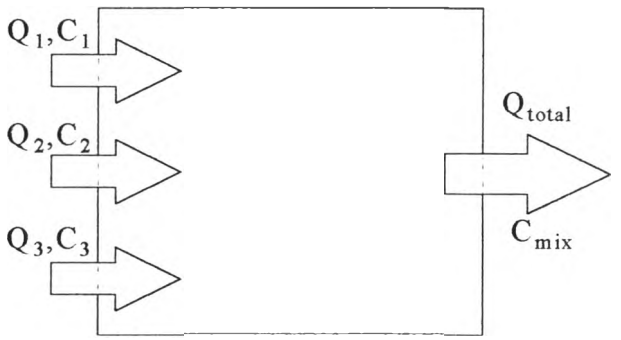
3. อัตราการไหลของอากาศเข้าห้อง (Q_v) อัตราการไหลนี้จะเป็นอัตราการไหลของอากาศจากภายนอกห้องที่ไหลเข้าห้องที่พิจารณารวมถึงการรั่วเข้าของอากาศจากภายนอกห้องที่พิจารณา ซึ่งหาได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ASCOS (จะอธิบายต่อไป) มีหน่วยเป็น ลิตรต่อนาที หรือ ลบ.ฟุตต่อนาที

4. ปริมาตรรวมของห้อง (V) ค่าปริมาตรรวมของห้องนี้จะเป็นปริมาตรของห้องที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ลิตร หรือ ลบ.ฟุต

5. ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้น (G) ค่าปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นนี้ จะขึ้นอยู่กับจำนวนของคนในห้องที่พิจารณา ซึ่งมีค่าประมาณ 0.3 ลิตรต่อนาทีต่อคน หรือ 10.59×10^{-3} ลบ.ฟุตต่อนาทีต่อคน

6. เวลา (t) ค่านี้จะเป็นเวลาที่พิจารณาทั้งหมด ตั้งแต่เริ่มต้นคำนวณจนถึงเวลาที่ต้องการผลลัพธ์ค่าระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ มีหน่วยเป็น นาที

สำหรับการหาระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากอากาศหลายแหล่งที่มีระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละแหล่งไม่เท่ากันไหลมาผสมรวมกัน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงรูปจำลองของห้องที่มีอากาศไหลจากหลายแหล่งมาผสมกัน

ระดับความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผสมแล้วสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2 + \ldots + Q_n \cdot C_n = (Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n) \cdot C_{mix} \qquad (2.11)$$

หรือ

$$C_{mix} = \frac{Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2 + \ldots + Q_n \cdot C_n}{(Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n)} \qquad (2.12)$$

โดยที่

C_1 = ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ของแหล่งที่ 1
C_2 = ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ของแหล่งที่ 2
C_n = ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ของแหล่งที่ n
C_{mix} = ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ของแหล่งที่ 1,2,...n ที่ผสมกัน
Q_1 = อัตราการไหลของอากาศจากแหล่งที่ 1
Q_2 = อัตราการไหลของอากาศจากแหล่งที่ 2
Q_n = อัตราการไหลของอากาศจากแหล่งที่ n

2.4 โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของอากาศภายในอาคาร

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์การไหลของอากาศภายในอาคารนี้ มีชื่อเต็มว่า ANALYSIS OF SMOKE CONTROL SYSTEM (ASCOS) โปรแกรมนี้จะคำนวณอัตราการไหลของอากาศภายในอาคาร โดยจะแทนอาคารด้วยพื้นที่ว่างหรือจุด(node) ที่เชื่อมต่อกันอยู่ โดยที่แต่ละพื้นที่ว่างหรือจุด(node) นี้จะมีความดันและอุณหภูมิเฉพาะที่และการไหลของอากาศจะไหลผ่านจากพื้นที่ความดันสูงสู่พื้นที่ความดันต่ำ ซึ่งจะไหลผ่านประตู, หน้าต่าง, ผนัง, หรือเพดาน

สำหรับรายละเอียดในส่วนต่างๆ ของโปรแกรม ASCOS จะขอกล่าวโดยแบ่งเป็นส่วนๆ ดังนี้

- การดำเนินการของโปรแกรม ASCOS
- โปรแกรมย่อยที่ช่วยในการทำงานของโปรแกรม ASCOS

1) การดำเนินการของโปรแกรม ASCOS

การดำเนินการของโปรแกรม ASCOS จะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอนดังนี้

ก. ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (input data)
ข. ขั้นตอนการคำนวณ (calculation)
ค. ขั้นตอนการแสดงผล (output)

ก. ขั้นตอนการใส่ข้อมูล (input data) คือ ขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการทำงานของโปรแกรม ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับโปรแกรมมีดังนี้คือ

1. ข้อมูลเบื้องต้น
2. ความสูงของอาคาร
3. อุณหภูมิ
4. ความดันภายนอก
5. ข้อมูลทั่วไปของอาคาร
6. ข้อมูลของช่องเปิด(Shaft)

ข. ขั้นตอนการคำนวณ (calculation) เมื่อผ่านขั้นตอนการป้อน input data แล้วในขั้นตอนการคำนวณนี้โปรแกรมจะทำการคำนวณตาม flow chart ดังรูปที่ 2.4

ค. ขั้นตอนการแสดงผล (output) การแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม ASCOS จะแสดงผลของอัตราการไหลในแต่ละ compartment ของทุกๆชั้นในอาคารที่วิเคราะห์ รวมถึงอัตราการไหลของช่อง Shaft ด้วยตัวอย่างตามภาคผนวก จ.

2) โปรแกรมย่อยที่ช่วยในการทำงานของโปรแกรม ASCOS มีดังนี้คือ

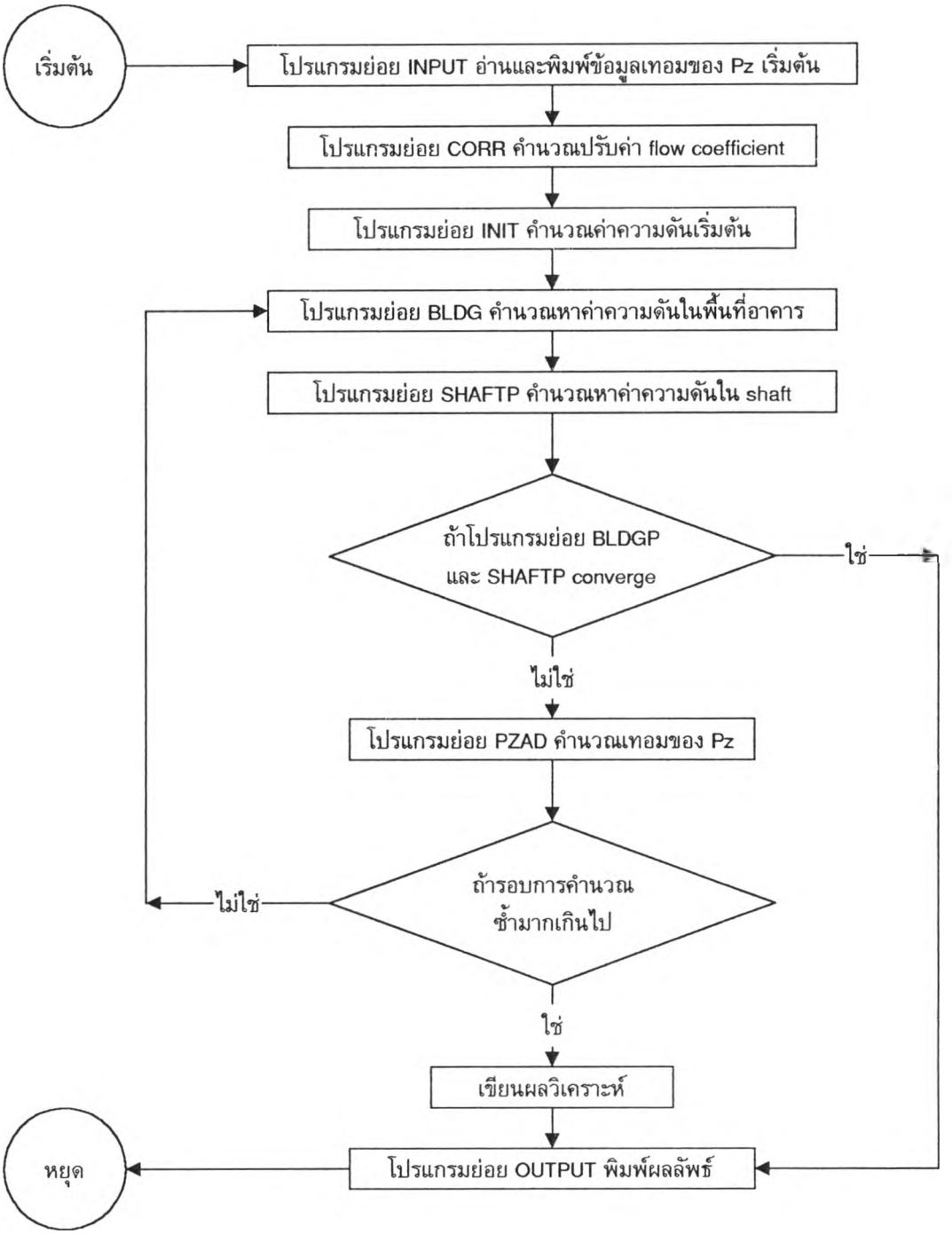
1. โปรแกรมย่อย INPUT จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลที่จำเป็นประกอบด้วยข้อมูล

- อุณหภูมิภายนอก
- อุณหภูมิในอาคาร
- ความดันภายนอก
- อัตราการไหลอากาศที่เกิดจากระบบต่างๆ สัมประสิทธิ์การไหล พื้นที่การไหลระหว่างพื้นที่ย่อยในอาคาร

2. โปรแกรมย่อย CORR โปรแกรมย่อยนี้จะทำการคำนวณปรับค่าสัมประสิทธิ์การไหล สำหรับเส้นทางการไหลของอากาศ

3. โปรแกรมย่อย INIT โปรแกรมย่อยนี้จะใช้ในการคำนวณค่าเริ่มต้นโดยประมาณค่าของความดันของอาคาร ซึ่งจะคิดค่าอัตราการไหลเชิงมวลแปรผันโดยตรงกับผลต่างความดันแล้วแก้สมการด้วยวิธีเมตริกซ์

4. โปรแกรมย่อย BLDGP ในการหาความดันในอาคารและการไหลอากาศจะใช้ 3 โปรแกรมย่อยคือ BLDGP, SHAFTP, และ PZAD โปรแกรมย่อย BLDGP นี้จะใช้ในเรื่องการแบ่งพื้นที่ย่อยในอาคาร ผลรวมของอัตราการไหลเชิงมวลทั้งหมดที่เข้าสู่พื้นที่ย่อย i จะถูกคำนวณ ถ้าค่าสัมบูรณ์ของผลรวมทั้งหมดน้อยกว่าค่าจำกัดสูงสุดแล้ว โปรแกรมจะถูกใช้กับพื้นที่ย่อยถัดไป หรือกลับเข้าไปสู่โปรแกรมหลัก แต่ถ้าค่าสัมบูรณ์ของผลรวมทั้งหมดมากกว่าค่าจำกัดสูงสุด ก็จะมีการปรับค่าความดันในพื้นที่ย่อย i โดยใช้วิธี regula falsi



รูปที่ 2.4 แสดง Flow chart ของโปรแกรมหลักของโปรแกรม ASCOS

5. โปรแกรมย่อย SHAFTP ลักษณะโปรแกรมจะคล้ายกับ BLDGP แต่จะใช้เฉพาะกับshaft ซึ่งจะคำนวณผลรวมของอัตราการไหลเชิงมวลที่เข้าสู่ shaft i ถ้าค่าสัมบูรณ์ของผลรวมที่ได้น้อยกว่าค่าจำกัดสูงสุด โปรแกรมจะถูกใช้กับ shaft ถัดไป หรือกลับเข้าสู่โปรแกรมหลัก แต่ถ้าผลรวมที่ได้มากกว่าค่าจำกัดสูงสุด จะปรับค่าความดันของ shaft โดยเปลี่ยนค่าความดันของ shaft ที่จุดต่ำสุด และคำนวณความดันใหม่ โปรแกรมผ่านทั้ง BLDGP และ SHAFTP โปรแกรมย่อย OUT จะแสดงผลลัพธ์ออกมา

6. โปรแกรมย่อย PZAD โปรแกรมย่อยนี้จะคำนวณผลต่างความดันน้ำสถิต (HYDROSTATIC PRESSURE DIFFERENCES)

7. โปรแกรมย่อย OUT โปรแกรมย่อยนี้จะแสดงผลลัพธ์ อัตราการไหล และความดันสำหรับเส้นทางการไหลทั้งหมด อีกทั้งผลต่างความดันของแต่ละ shaft ถ้าผู้ใช้จะใช้หน่วยอังกฤษ โปรแกรมก็จะเปลี่ยนเป็นอังกฤษก่อนแสดงผล

2.5 วิธีควบคุมการระบายอากาศ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการควบคุมการระบายอากาศของอาคารสำนักงานที่มีการระบายอากาศแบบ Demand Control Ventilaiton (DCV) ซึ่งการควบคุมการระบายอากาศแบบ DCV นี้จะใช้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเกณฑ์ในการควบคุม โดยใช้ Carbon-dioxide sensor เป็นตัวช่วยในการควบคุม การควบคุมการระบายอากาศแบบ DCV นี้ มีวิธีการควบคุมอยู่มากมายหลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของอาคาร, ความซับซ้อนของอาคาร, และระบบปรับอากาศ วิธีการควบคุมที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไปมี 3 แบบดังต่อไปนี้คือ

1. Setpoint Control

Setpoint Control ใช้ระบบ On-Off ธรรมดาหรือการเปิดปิด damper โดยยึดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการควบคุมคาร์บอนไดออกไซด์โดยทั่วไปตัว Damper จะถูกเปิดออกที่ตำแหน่ง Setpoint และถูกปิดลงเมื่อความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมาอยู่ในช่วง 50-100 ppmใต้ตำแหน่ง Setpoint

2. Proportional Control

การควบคุมการระบายตามสัดส่วนนี้ตัว carbon-dioxide sensor จะส่งสัญญาณ (เช่น 4-20 ma) ตามสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และสัญญาณจะปรับตำแหน่ง damper ที่หัวจ่ายลมตามสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ การควบคุมโดยทั่วไปจะเริ่มจากความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ภายในมากกว่าภายนอก 100 ppm อากาศจะถูกส่งเข้ามาในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 100 % ของอัตราการระบายอากาศที่ถูกกำหนดไว้ในการออกแบบ การควบคุมแบบนี้จะใช้กับระบบระบายอากาศที่ตอบสนองกับจำนวนคนที่มีจำนวนมากบ้างน้อยบ้างได้เร็วมากกว่าการจะคอยให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ถึงจุดที่ต้องการควบคุม

3. Proportional-Integral-Derivative Control (PID Control)

ในอาคารที่มีขนาดใหญ่หรือมีความซับซ้อนและมีคนอยู่น้อย การควบคุมจะใช้ PID Control (PID มาจาก Proportional - Integral - Derivative control) ซึ่ง PID control นี้จะดูแนวทางและอัตราการเพิ่มหรือลดของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ว่า ข้อมูลที่รับมาห่างจากจุด setpoint เท่าไหร่ และนานเท่าไหร่จะถึงจุด setpoint และเคลื่อนที่พ้นจากจุด setpoint เร็วขนาดไหนในการควบคุมคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวอย่างเช่น เมื่อเริ่มต้นของวันทำงาน PID control จะสังเกตความรวดเร็วของการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อคนเริ่มเข้ามาในอาคารตอนเช้า และในไม่กี่นาทีระบบปรับอากาศจะเริ่มทำงานและปรับให้อากาศบริสุทธิ์เข้ามาโดยยึดถือการทำนายจำนวนของคนที่อยู่จริงโดยอัตราของความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เหมือนกับระบบ Proportional control ตัวควบคุม PID นี้จะทำงานโดยยึดสัญญาณซึ่งมาจากตัว carbon-dioxide sensor (เช่น ช่วงจาก 500-800 ppm) ซึ่งการควบคุมแบบ PID นี้เป็นระบบที่ทันสมัยสามารถรับสัญญาณจากเครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์ และแปลงสัญญาณไปเป็นสัญญาณของ PID ได้เลย

2.6 การคำนวณหาภาระอากาศระบาย

อากาศระบาย(Ventilation Air, or Fresh Air) คืออากาศจากภายนอกที่นำเข้ามาในห้องปรับอากาศด้วยความต้องการที่จำเป็นโดยผ่านการปรับสภาวะของอากาศที่เครื่องเป่าลมเย็น (air handling equipment)

ในการระบายอากาศนั้นจะนำอากาศจากภายนอกเข้ามาในอาคาร เพื่อประโยชน์ในด้านความสบายและสุขภาพของผู้อาศัย ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่อากาศระบายนำเข้ามา

มักสูงกว่าของอากาศในห้อง และจะถูกลดปริมาณลงที่เครื่องเป่าลมเย็น ดังนั้นอากาศระบายจึงเป็นส่วนหนึ่งของภาระทำความเย็น

ภาระความร้อนสัมผัส(Sensible Heat) ของอากาศระบายหาได้จากสมการ

$$Q_s = 1.1 \ CFM \ (T_o - T_i) \qquad (2.13)$$

Q_s = ความร้อนสัมผัสที่ได้รับจากอากาศระบาย, Btuh

1.1 = ตัวคงที่ซึ่งได้จากผลคูณ (60 min/hr)(0.244 Btu/lb-$^{\circ}$F)/(13.34 ft^3/lb)

CFM = อัตราการไหลของอากาศระบาย, ft^3/min

T_o = อุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ, $^{\circ}$F

T_i = อุณหภูมิภายนอกห้องปรับอากาศ, $^{\circ}$F

สำหรับภาระความร้อนแฝง(Latint heat)ของอากาศระบายหาได้จากสมการ

$$Q_L = 0.68 \ cfm \ (W_o - W_i) \qquad (2.14)$$

Q_L = ความร้อนแฝงที่ได้รับจากอากาศระบาย, Btuh

0.68 = ตัวคงที่ซึ่งได้จากผลคูณ (60 min/hr)(1050 Btu/lb)/(13.34ft^3/lb)(7000gr/lb)

cfm = อัตราการไหลของอากาศระบาย, ft^3/min

W_i = ความชื้นจำเพาะของอากาศภายในห้องปรับอากาศ, gr_w/lb_a

W_o = ความชื้นจำเพาะของอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ, gr_w/lb_a

และภาระความร้อนของอากาศระบายหาได้โดยสมการ

ภาระความร้อนรวมของอากาศระบาย = $Q_S + Q_L$ (2.15)

2.7 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานความรู้ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สำหรับการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้คาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการดังนี้

- ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์
- ค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับวิทยานิพนธ์นี้มีดังนี้

- ค่าลงทุนของระบบระบายอากาศแบบเดิม และระบบระบายอากาศแบบ Demand Control Ventilation
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบระบายอากาศทั้งสองแบบ

1) ค่าลงทุนของระบบระบายอากาศแบบปริมาตรอากาศคงที่ (Constant Volume, CV) และระบบระบายอากาศแบบควบคุมปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยนตามความต้องการ (Demand Control Ventilation, DCV) ค่าลงทุนของระบบทั้งสอง มีความแตกต่างกันในส่วนต่างๆ ดังนี้

ก. ค่าลงทุนในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบระบายอากาศแบบ DCV จะมีอุปกรณ์มากกว่าแบบ CV กล่าวคือ จะมี CO_2 sensor และ อุปกรณ์ควบคุมเพิ่มขึ้น

ข. ค่าลงทุนในการออกแบบ

ค. ค่าติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ระบบระบายอากาศแบบ DCV จะมีอุปกรณ์มากกว่าแบบ CV ฉะนั้นค่าติดตั้งของระบบระบายอากาศแบบ DCV จะมีราคาที่แพงกว่า

2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของระบบทั้งสอง การดำเนินงานของระบบระบายอากาศทั้งสองแบบจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ที่ต่างกัน ค่าใช้จ่ายที่สำคัญของระบบทั้งสองมีดังนี้

ก. ค่าไฟฟ้า การคิดค่าไฟฟ้าสำหรับอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 2,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกินกว่า 355,000 หน่วยต่อเดือน โดยผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว โดยปกติแล้วจะถูกเก็บค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU Rate) วิธีการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU Rate จะแบ่งการคิดค่าไฟฟ้าเป็นสามส่วน ดังนี้

- ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า
- ค่าพลังงานไฟฟ้า
- ค่าบริการ

1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) คือค่าธรรมเนียมความต้องการพลังไฟฟ้า ซึ่งความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On Peak ในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์ ค่าธรรมเนียมความต้องการพลังไฟฟ้ามีอัตราดังนี้

1.1 แรงดัน 115 กิโลโวลท์ขึ้นไป	คิดอัตรา 102.80 บาทต่อกิโลวัตต์
1.2 แรงดัน 69 กิโลโวลท์	คิดอัตรา 158.88 บาทต่อกิโลวัตต์
1.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลท์	คิดอัตรา 200.93 บาทต่อกิโลวัตต์
1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์	คิดอัตรา 214.95 บาทต่อกิโลวัตต์

2. ค่าพลังงานไฟฟ้า การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้จะทำการคิดค่าธรรมเนียมค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาของวันและแรงดันไฟ ดังนี้

2.1 แรงดัน 115 กิโลโวลท์ขึ้นไป คิดอัตราดังนี้

วันจันทร์-เสาร์ เวลา 09.00-22.00 น. (On Peak) คิดอัตรา 1.5349 บาท/หน่วย
วันจันทร์-เสาร์ เวลา 22.00-09.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.6671 บาท/หน่วย
วันอาทิตย์ เวลา 00.00-24.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.6062 บาท/หน่วย

2.2 แรงดัน 69 กิโลโวลท์ คิดอัตราดังนี้

วันจันทร์-เสาร์ เวลา 09.00-22.00 น. (On Peak) คิดอัตรา 1.6292 บาท/หน่วย
วันจันทร์-เสาร์ เวลา 22.00-09.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.6769 บาท/หน่วย
วันอาทิตย์ เวลา 00.00-24.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.6153 บาท/หน่วย

2.3 แรงดัน 12-24 กิโลโวลท์ คิดอัตราดังนี้
วันจันทร์-เสาร์ เวลา 09.00-22.00 น. (On Peak) คิดอัตรา 1.7736 บาท/หน่วย
วันจันทร์-เสาร์ เวลา 22.00-09.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.6861 บาท/หน่วย
วันอาทิตย์ เวลา 00.00-24.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.6236 บาท/หน่วย

2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์ คิดอัตราดังนี้
วันจันทร์-เสาร์ เวลา 09.00-22.00 น. (On Peak) คิดอัตรา 1.8891 บาท/หน่วย
วันจันทร์-เสาร์ เวลา 22.00-09.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.7283 บาท/หน่วย
วันอาทิตย์ เวลา 00.00-24.00 น. (Off Peak) คิดอัตรา 0.6616 บาท/หน่วย

3. ค่าบริการ การคิดค่าบริการจะคิดตามแรงดันไฟดังนี้

3.1 แรงดัน 115 กิโลโวลท์ขึ้นไป	คิดอัตรา	400	บาท/เดือน
3.2 แรงดัน 69 กิโลโวลท์	คิดอัตรา	400	บาท/เดือน
3.3 แรงดัน 12-24 กิโลโวลท์	คิดอัตรา	850	บาท/เดือน
3.4 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์	คิดอัตรา	850	บาท/เดือน

(หมายเหตุ: แหล่งที่มาจากอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง เริ่มใช้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือน มกราคม 2540)

ข. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบระบายอากาศทั้งสองจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ต่างกัน ฉะนั้นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบย่อมต่างกันด้วย

2. ค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในวิทยานิพนธ์จะใช้ระยะเวลาคืนทุน (Pay-Back Period) เป็นค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้คาร์บอนไดออกไซด์ในการควบคุมปริมาณการระบายอากาศตามความต้องการ

การหาระยะเวลาคืนทุน (Pay-Back Period) คือระยะเวลาที่ต้องการเพื่อทำให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุน ซึ่งเราสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{Incremental initial cost}}{\text{Incremental operating cost}} \qquad (2.16)$$

การหาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบระบายอากาศแบบควบคุมปริมาตรอากาศแปรเปลี่ยนตามความต้องการ(Demand Control Ventilation, DCV) เป็นการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบระบายอากาศที่ใช้ระบบ DCV เทียบกับระบบปริมาตรคงที่(CV) ดังนั้นจะแทนค่าในตัวแปรต่างๆ ดังนี้

Incremental initial cost คือค่าลงทุนของระบบระบายอากาศแบบใช้ระบบ DCV ลบด้วยค่าลงทุนของระบบระบายอากาศแบบ CV

Incremental operating cost คือรายจ่ายประจำปีสำหรับระบบ CV ลบด้วยรายจ่ายประจำปีสำหรับระบบระบายอากาศแบบ DCV