# การศึกษาช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย

น.ส.วาสิตา วานิชศิริโรจน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# THE STUDY OF AIR VENT TO REDUCE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN CONDOMINIUM BEDROOMS.

Miss Wasita Wanichsiriroj

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย |
| โดย | น.ส.วาสิตา วานิชศิริโรจน์ |
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร |

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารณี จารีมิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วาสิตา วานิชศิริโรจน์ : การศึกษาช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย. ( THE STUDY OF AIR VENT TO REDUCE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN CONDOMINIUM BEDROOMS.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาว่าการเปิดช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติจะสามารถลดความปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยได้หรือไม่ โดยทำการสำรวจห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 5 แห่ง ว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินมาตรฐานหรือไม่ จากนั้นเลือกห้องนอน 2 ห้องจาก 5 ห้องข้างต้น ที่มีพื้นที่ 11.00 ตร.ม. (ปริมาตร 27.50 ลบ.ม.) และ พื้นที่ 14.00 ตร.ม. (ปริมาณ 31.10 ลบ.ม.) เป็นตัวแทนการทดลองเก็บข้อมูลค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงในทุกห้านาที ช่วงเวลา 23:30 น. ถึง 07:00 น. รวม 7 ชั่วโมงครึ่งต่อวัน เป็นระยะเวลา 15 วัน แต่ละวันจะเปิดช่องระบายอากาศที่หน้าต่างที่มีอยู่ด้านเดียวของห้อง เริ่มจากขนาด 50 ตร.ซม. แล้วเพิ่มขึ้นวันละ 50 ตร.ซม.ไปสิ้นสุดที่ 700 ตร.ซม. นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราแลกเปลี่ยนอากาศและความสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศ

ผลการศึกษาพบว่าห้องนอนที่มีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. ถึง 31.10 ลบ.ม. นั้น ถ้าเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติที่ผนังด้านเดียวที่ร้อยละ 0.61 ถึง ร้อยละ 0.41 ของพื้นที่ห้องตามลำดับ จะสามารถลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงได้ตามเกณฑ์ ASHRAE ที่กำหนดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารต้องไม่มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อากาศภายนอกที่ปกติมีค่าประมาณ 300 ppm ถึง 400 ppm เกินกว่า 700 ppm หรือต้องไม่เกิน 1,000 ppm ถึง 1,100 ppm ผลการทดลองนี้ทำให้เกิดอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่ 1.00 ACH ถึง 0.8 ACH (16.90 CFM ถึง 14.60 CFM) ตามลำดับ ส่วนผลการจำลองค่าความสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นเพียง ร้อยละ 0.77 ถึง ร้อยละ 0.33 ตามลำดับ เทียบกับห้องนอนที่ไม่มีการเปิดช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติ ส่วนการใช้เครื่อง Energy Recovery Ventilator ที่ให้ผลแบบเดียวกันสิ้นเปลืองพลังงานถึงร้อยละ 5.14 ถึง ร้อยละ 3.57 ตามลำดับ แต่ผลการทดลองนี้พบว่าไม่สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามเกณฑ์ WELL Building Standards V.2 ที่กำหนดให้ไม่เกิน 900 ppm 750 ppm และ 600 ppm และไม่สามารถทำให้เกิดอัตราแลกเปลี่ยนอากาศได้ตามเกณฑ์ ASHRAE ที่กำหนดว่าต้องไม่น้อยกว่า 30 CFM สำหรับห้องพัก 1 ห้องนอนที่มีพื้นที่น้อยกว่า 46.50 ตร.ม.

| | | |
|---|---|---|
| สาขาวิชา | สถาปัตยกรรม | ลายมือชื่อนิสิต ..... |
| ปีการศึกษา | 2561 | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ..... |

# # 6173347625 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD: CARBON DIOXIDE, CONDOMINIUM, BEDROOM, AIR CHANGE, AIR VENT

Wasita Wanichsiriroj : THE STUDY OF AIR VENT TO REDUCE CARBON DIOXIDE CONCENTRATION IN CONDOMINIUM BEDROOMS.. Advisor: Assoc. Prof. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D.

This study investigated how an air vent can reduce the Carbon dioxide concentration in condominium bedrooms. By surveying 5 condominium's bedrooms to check whether the Carbon dioxide concentrations exceed the standards or not. Two bedrooms with area of 11.00 $m^2$ (27.50 $m^3$) and 14.00 $m^2$ (31.10 $m^3$) were selected as case studies. Data collections of Carbon dioxide were performed at every five-minute interval from 23:30 – 07:00. With a total of 7.5 hours for 15 days. During the study, air vents were opened at the window, from 50 $cm^2$ to 700 $cm^2$ (increase 50 $cm^2$ per day) and the Carbon dioxide levels were recorded for the air change rate calculation and cooling energy simulation.

This study found that by opening the air vent only on one side of 27.50 $m^3$ – 31.10 $m^3$ condominium's bedroom =(0.61% - 0.41% of room area) the concentration of Carbon dioxide can come down to reach the ASHRAE standard, (700 ppm above the outdoor levels or equal to 1000 - 1100 ppm). These results cause the air exchange rates of 1.00 ACH - 0.80 ACH (16.90 CFM - 14.60 CFM) respectively. The results also found that the cooling energy consumption increases by 0.77% - 0.33 % respectively, compared to bedroom without opening. Moreover, if the energy recovery ventilator (ERV) were used, the energy consumption will increase 5.14% - 3.57%, respectively. This study showed that without the ERV, the Carbon dioxide levels could not be reduced to lower than either 900, 750 or 600 ppm which are the limits required by the WELL Building Standards V.2. The air change rate is still lower than the standard that suggested by ASHRAE which requires at least 30 CFM for one bedroom unit with and area less than 46.50$m^2$.

| | | |
|---|---|---|
| Field of Study: | Architecture | Student's Signature ..... |
| Academic Year: | 2018 | Advisor's Signature ..... |

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา ความรู้ แก้ไขข้อบกพร่อง และให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารณี จารีมิตร สำหรับความรู้ คำแนะนำต่าง ๆ ในการปรับปรุงเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณณพสุดา พิมเทพา สำหรับการช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และขอขอบคุณ คุณบุญฤทธิ์ สมิทธิญาน คุณสุจิรา ชีวาเสถียรชัยพร และคุณพิชญ์สินี จงยั่งยืนวงศ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลองให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ และครอบครัวสำหรับกำลังใจและการสนับสนุนเป็นอย่างดี และนอกจากนี้ขอขอบคุณบุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามที่มีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

วาสิตา วานิชศิริโรจน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญ

**หน้า**


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 2

1.3. สมมติฐานการวิจัย ..... 2

1.4. ขอบเขตของการศึกษา ..... 2

1.5. ระเบียบวิธีการศึกษา ..... 3

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 6

2.1. นิยาม และเกณฑ์มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร ..... 7

2.2. นิยาม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ ..... 14

2.3. นิยาม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ..... 17

2.4. ปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับการทำความเย็นภายในอาคารชุดพักอาศัย ..... 30

2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 32

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 40



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1. การสำรวจห้องนอน อาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร ..... 41
3.2. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ..... 44
3.3. กำหนดลักษณะของห้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ..... 44
3.4. วิธีการวิจัย ..... 50
บทที่ 4 ผลการศึกษา ..... 56
4.1. ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย ..... 56
4.2. ผลการทดลองจากห้องนอนที่ถูกเลือก 2 ห้อง และผลการทดลองจากกล่องทดลอง ..... 62
4.3. ผลการคำนวณค่าพลังงานของเครื่องปรับอากาศ ..... 81
4.4. สรุปผลการศึกษา ..... 88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ..... 89
5.1. สรุปผลการวิจัย ..... 90
5.2. แนวทางเพื่อการประยุกต์ใช้ ..... 93
5.3. ข้อเสนอแนะ ..... 93
บรรณานุกรม ..... 95
ภาคผนวก ..... 99
ภาคผนวก ก ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย ..... 100
ภาคผนวก ข อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน ห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย ..... 131
ประวัติผู้เขียน ..... 161

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการศึกษา และผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

ตารางที่ 2 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ระดับสูงสุดภายในอาคาร ในแต่ละประเทศ (Greg Lowitz, 2017)..... 11

ตารางที่ 3 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ตามมาตรฐาน EN13779..... 12

ตารางที่ 4 เกณฑ์ WELL Building Standard v.2..... 13

ตารางที่ 5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารชุดพักอาศัยตามเกณฑ์ต่างๆ..... 13

ตารางที่ 6 ช่วงเวลาขั้นต่ำที่ใช้ในการทดลอง (ASTM E741 - 11(2017))..... 20

ตารางที่ 7 ปริมาณการเผาผลาญของคนในช่วงวัยต่าง ๆ..... 22

ตารางที่ 8 มาตรฐาน ASHRAE 62.2-2016 ข้อกำหนดการระบายอากาศ..... 23

ตารางที่ 9 มาตรฐาน CIBSE Guide B2 (2001)..... 24

ตารางที่ 10 ประเภทอาคารตามมาตรฐาน DIN EN 15251..... 24

ตารางที่ 11 การระบายอากาศตามมาตรฐาน DIN EN 15251..... 25

ตารางที่ 12 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติหรือวิธีกล (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537)..... 25

ตารางที่ 13 อัตราการระบายการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับภาวะอากาศ (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537)..... 26

ตารางที่ 14 อัตราการระบายอากาศตามข้อกำหนดของ วสท.3003 - 40..... 28

ตารางที่ 15 สรุปข้อบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย..... 29

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพของเครื่อง FV-04VE1 และปริมาณพลังงานที่ใช้..... 49

ตารางที่ 17 ลักษณะของห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 5 แห่ง..... 56

ตารางที่ 18 ผลการวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm) ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย..... 59

ตารางที่ 19 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A ขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม. ..... 65

ตารางที่ 20 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน B ขนาดปริมาตร 31.10 ลบ.ม. ..... 66

ตารางที่ 21 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน A ขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม..... 71

ตารางที่ 22 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน B ขนาดปริมาตร 31.10 ลบ.ม..... 72

ตารางที่ 23 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในกล่องทดลอง ขนาดปริมาตร 1.00 ลบ.ม..... 75

ตารางที่ 24 ผลการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 และสัดส่วนของช่องเปิดระบายอากาศต่อปริมาตร ของในห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม..... 77

ตารางที่ 25 ผลการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 และสัดส่วนของช่องเปิดระบายอากาศต่อปริมาตร ของในห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม..... 78

ตารางที่ 26 ผลการพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศ ภายในห้องนอน A ขนาดปริมาตร 27.50 $m^3$..... 81

ตารางที่ 27 ผลการพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศ ภายในห้องนอน B ขนาดปริมาตร 31.10 ลบ.ม..... 82

ตารางที่ 28 ผลสรุปคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศของห้องนอน A และห้องนอน B..... 84

ตารางที่ 29 ผลคำนวณพลังงานในหนึ่งเดือนจากการใช้เครื่องกลสำหรับห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม..... 85

ตารางที่ 30 ผลคำนวณพลังงานในหนึ่งเดือนจากการใช้เครื่องกลสำหรับห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม..... 85

ตารางที่ 31 ผลการคำนวณพลังงานที่เพิ่มขึ้นของห้องนอน A และห้องนอน B..... 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญรูปภาพ

**หน้า**

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่มนุษย์ทำต่ออัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ASHARE, 2007a) ..... 8

รูปที่ 2 อัตราการระบายอากาศสำหรับใช้เจือจางระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากมนุษย์ (ASHARE, 2007a) ..... 9

รูปที่ 3 เกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับคุณภาพอากาศในอาคารพักอาศัย (ภาวดี ธุววงศ์, 2560) ..... 10

รูปที่ 4 สัดส่วนค่าน้ำหนักหมวดคุณภาพอากาศ (%) (ภาวดี ธุววงศ์, 2560) ..... 10

รูปที่ 5 บริเวณที่มีความกดอากาศมากขึ้น และบริเวณที่เกิดความกดอากาศลดลง (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539) ..... 14

รูปที่ 6 ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดที่ส่งผลต่อปริมาณการไหลผ่านของอากาศภายในห้อง (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539) ..... 15

รูปที่ 7 การแลกเปลี่ยนความร้อนของ Energy Recovery Ventilator (โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2559) ..... 16

รูปที่ 8 ตัวอย่างเครื่อง Energy Recovery Ventilator สำหรับอาคารชุดพักอาศัย ..... 16

รูปที่ 9 การทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ..... 30

รูปที่ 10 ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงหลังการเปิดหน้าต่างภายในห้องนอน (Strøm-Tejsen P., Zukowska D., Wargocki P., and Wyon D. P., 2015) ..... 32

รูปที่ 11 ประสิทธิภาพของการทำงานวันถัดไปเปรียบเทียบระหว่างห้องนอนที่เปิดหน้าต่าง และปิดหน้าต่าง (Strøm-Tejsen P., Zukowska D., Wargocki P., and Wyon D. P., 2015) ..... 33

รูปที่ 12 ปริมาณการเติมอากาศบริสุทธิ์ภายในห้องนอน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานวันถัดไป (ดารณี จารีมิตร, พันธ์พิสุ จุลพันธ์วัฒนา และ จิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์, 2560) ..... 33

รูปที่ 13 การเปรียบเทียบห้องพักที่มีการระบายอากาศธรรมชาติ และห้องพักที่ติดระบบปรับอากาศ (Wong & Huang, 2004) ..... 34

รูปที่ 14 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงจากการเปิดประตู หรือหน้าต่าง (Fehkmann & Wanner, 1993) ..... 35

รูปที่ 15 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในห้องนอน และห้องรับแขก (Huang et al., 2015) ..... 35

รูปที่ 16 ระยะเวลาของการเปิดหน้าต่างกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (Huang et al., 2015) ..... 36

รูปที่ 17 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องที่มีอัตราการรั่วซึมอากาศที่แตกต่างกัน (ปาริณี ศรีสุวรรณ์, 2554) ..... 37

รูปที่ 18 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องที่มีการติดพัดลมระบายอากาศ และไม่ติดพัดลมระบายอากาศ (ภัทรวุฒิ วงษ์สุวรรณ์, 2555) ..... 38

รูปที่ 19 วิธีที่ใช้ในการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยวัดการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (อริสา กาญจนากระจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง, 2560) ..... 38

รูปที่ 20 การใช้เครื่อง Testo 535 ในการเก็บค่าคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน โดยในการเก็บข้อมูลนั้นได้ตั้งเครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 เมตร ..... 41

รูปที่ 21 ห้องนอนที่ 1 ย่านสุขุมวิท ..... 41

รูปที่ 22 ห้องนอนที่ 2 ย่านเอกมัย ..... 42

รูปที่ 23 ห้องนอนที่ 3 ย่านสุขุมวิท ..... 42

รูปที่ 24 ห้องนอนที่ 4 ย่านอโศก ..... 43

รูปที่ 25 ห้องนอนที่ 5 ย่านวงเวียนใหญ่ ..... 43

รูปที่ 26 ผังพื้นแสดงระยะ ตำแหน่งเครื่องวัดและตำแหน่งของช่องเปิดระบายอากาศภายในห้องนอน A ..... 45

รูปที่ 27 รูปด้านแสดงระยะและหน้าต่างของห้องนอน A ..... 45

รูปที่ 28 ภายในห้องนอน A ..... 45

รูปที่ 29 ผังพื้นแสดงระยะ ตำแหน่งเครื่องวัดและตำแหน่งของช่องเปิดระบายอากาศภายในห้องนอน B ..... 46

รูปที่ 30 รูปด้านแสดงระยะและหน้าต่างของห้องนอน B ..... 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 31 ภายในห้องนอน B..... 46

รูปที่ 32 กล่องทดลองเพื่อใช้วัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน..... 47

รูปที่ 33 กล่องทดลองทดลองเพื่อใช้วัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน..... 47

รูปที่ 34 ถังก๊าซ $CO_2$ และมาตรวัด $CO_2$..... 48

รูปที่ 35 เครื่อง HOBO MX $CO_2$ logger $CO_2$ sensor อุปกรณ์สำหรับการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 48

รูปที่ 36 เครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอากาศได้ รุ่น FV-04VE1 ที่ใช้สำหรับการคำนวณ..... 49

รูปที่ 37 แบบจำลองห้องนอน A ในโปรแกรม Visual DOE 4.1..... 51

รูปที่ 38 แบบจำลองห้องนอน B ในโปรแกรม Visual DOE 4.1..... 52

รูปที่ 39 ตารางการใช้งานอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.1..... 53

รูปที่ 40 ห้องนอนที่ 1 (ย่านสุขุมวิท) ขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม..... 60

รูปที่ 41 ห้องนอนที่ 2 (ย่านเอกมัย) ขนาดปริมาตร 35.00 ลบ.ม..... 60

รูปที่ 42 ภาพประตูห้องน้ำภายในห้องนอนที่ 2 (ย่านเอกมัย)..... 61

รูปที่ 43 เกล็ดระบายอากาศแบบหมุนปิด – เปิด ได้..... 94

รูปที่ 44 Performance louver ที่สามารถกันน้ำไหลเข้าสู่อาคารได้..... 95

รูปที่ 45 เกล็ดระบายอากาศกันเสียง (VAW System, 2019)..... 95

รูปที่ 46 ฟิลเตอร์กรองฝุ่นแบบแผ่น สามารถติดตั้งและเปลี่ยนเองได้..... 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญแผนภูมิ

**หน้า**

แผนภูมิที่ 1 กระบวนการวิจัย ..... 55
แผนภูมิที่ 2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 1 (ย่านสุขุมวิท)..... 57
แผนภูมิที่ 3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 2 (ย่านเอกมัย)..... 57
แผนภูมิที่ 4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 3 (ย่านสุขุมวิท)..... 58
แผนภูมิที่ 5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 4 (ย่านอโศก)..... 58
แผนภูมิที่ 6 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 5 (ย่านวงเวียนใหญ่) ..... 59
แผนภูมิที่ 7 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A (ปิด – เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) ..... 63
แผนภูมิที่ 8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.-700 ตร.ซม.)..... 63
แผนภูมิที่ 9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน B (ปิด – เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) ..... 64
แผนภูมิที่ 10 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม. - 700 ตร.ซม.)..... 64
แผนภูมิที่ 11 ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของปริมาณ CO2 ภายในห้องนอน A (ปิด - 700 ตร.ซม.) ..... 66
แผนภูมิที่ 12 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในแต่ละคืน ภายในห้องนอน A (ปิด - 700 ตร.ซม.)..... 66
แผนภูมิที่ 13 ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของปริมาณ CO2 ภายในห้องนอน B (ปิด - 700 ตร.ซม.) ..... 67
แผนภูมิที่ 14 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในแต่ละคืน ภายในห้องนอน B (ปิด - 700 ตร.ซม.)..... 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 15 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดภายในห้องนอน A และ B (ปิด -700 ตร.ซม.)..... 68

แผนภูมิที่ 16 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน A (ห้องนอนปิด – เปิดช่อง 350 ตร.ซม.)..... 69

แผนภูมิที่ 17 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน A (เปิดช่อง 400 ตร.ซม. – 700 ตร.ซม.)..... 70

แผนภูมิที่ 18 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน B (ห้องนอนปิด – เปิดช่อง 350 ตร.ซม.)..... 70

แผนภูมิที่ 19 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน B (เปิดช่อง 400 ตร.ซม. – 700 ตร.ซม.)..... 71

แผนภูมิที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $CO_2$ สูงสุด และ ACH ภายในห้องนอน A..... 72

แผนภูมิที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $CO_2$ สูงสุด และ ACH ภายในห้องนอน B..... 73

แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $CO_2$ สูงสุดและ ACH ภายในห้องนอน A และ B ..... 74

แผนภูมิที่ 23 อัตราการสลายตัวของ $CO_2$ ภายในกล่องทดลองขนาด 1.00 ลบ.ม. ..... 75

แผนภูมิที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิดและ ACH ภายในกล่องทดลองปริมาตร 1.00 $m^3$ ..... 76

แผนภูมิที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Air flow rate และช่องเปิดต่อปริมาตรของห้องนอนและกล่องทดลอง ..... 79

แผนภูมิที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่าง ACH และช่องเปิดต่อปริมาตรของห้องนอนและกล่องทดลอง.. 79

แผนภูมิที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Air change และร้อยละของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง ..... 80

แผนภูมิที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Air change และร้อยละของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง (ขยาย) ..... 80

แผนภูมิที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ และพลังงานที่ใช้กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ ภายในห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. ..... 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แผนภูมิที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ และพลังงานที่ใช้กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ ภายในห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. ..... 83

แผนภูมิที่ 31 ผลการสำรวจปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้ง 5 ห้องนอน..... 90



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมนุษย์อาศัยอยู่ภายในอาคารมากถึงร้อยละ 90 ของเวลาทั้งหมดในแต่ละวัน หรือคิดเป็น 22 ชั่วโมง/วัน ไม่ว่าจะเป็นการอาศัยอยู่ภายในอาคารพักอาศัย สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า สถาบันการศึกษาต่าง ๆ คุณภาพอากาศภายในอาคารจึงเป็นเรื่องสำคัญมาก (U.S. Environmental Protection Agency, 2016)

อาคารชุดพักอาศัย หรือคอนโดมิเนียมเป็นที่อยู่อาศัยที่คนรุ่นใหม่เลือกใช้พักอาศัยมากที่สุด ซึ่งมากถึงร้อยละ 59.50 ในกรุงเทพมหานคร ส่วนเขตเมืองทั่วไปอยู่ที่ร้อยละ 47.20 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2553) โดยห้องนอนในอาคารชุดมักติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ไม่มีระบบการเติมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้าสู่อาคาร นอกจากนั้นการออกแบบกรอบอาคารจะเน้นไม่ให้อากาศภายนอกเข้าเพื่อลดเสียงรบกวน ฝุ่นละออง และความร้อนไม่ให้เข้าสู่อาคาร ทำให้อากาศภายในห้องไม่มีการระบาย ในขณะที่โครงสร้างอาคาร วัสดุตกแต่งภายใน รวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องใช้ที่อยู่ภายในอาคารปลดปล่อยสารเคมี ก๊าซ ฝุ่นละอองออกมาตลอดเวลา ทำให้ผู้อยู่อาศัยต้องหายใจนำมลพิษดังกล่าวเข้าไป ผู้ที่สัมผัสกับมลพิษนี้อย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดอาการที่เรียกว่า “โรคจากอาคาร” (Sick Building Syndrome: SBS) และ “ความเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับอาคาร” (Building Related illness: BRI) เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ เกิดอาการวิงเวียนศีรษะ และเป็นภูมิแพ้ เป็นต้น (กรรณิกา แท่นคำ, 2554)

นอกจากนั้นกิจกรรมต่าง ๆ ของผู้อาศัยในอาคารเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารลดลง เพราะมนุษย์ต้องใช้พลังงานในการทำกิจกรรมจึงต้องหายใจออกซิเจนเข้าไปเพื่อสันดาปให้เกิดพลังงาน ยิ่งกิจกรรมมีมากเท่าไร ปริมาณออกซิเจนที่ใช้จะเพิ่มมากขึ้น ออกซิเจนที่หายใจเข้าไปจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงขึ้น คุณภาพของอากาศในห้องจึงต่ำลง ส่งผลกระทบตรงต่อสุขภาพของผู้อาศัยในอาคาร (ASHRAE, 2007)

ยิ่งปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากจะทำให้คุณภาพของการนอนหลับลดลง ส่งผลต่อสุขภาพ และความสามารถในการทำงานวันถัดไป (ดารณี จารีมิตร พันธ์พิสุ จุลพันธ์วัฒนา และจิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์, 2560) นอกจากนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้มข้นมากกว่า 1,500 ppm อาจส่งผลให้บางคนเกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียน และหมดแรง และหากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 1,500 – 4,000 ppm อาจทำให้เกิดอาการระคายทางคอ จมูก น้ำตาไหล และไอ ได้ (Myhrvold, 1996)

ห้องที่มีระดับการรั่วซึมของอากาศสูง จะมีค่าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำกว่าห้องที่มีระดับการรั่วซึมของอากาศต่ำ เพราะอากาศภายนอกที่รั่วซึมเข้ามาจะช่วยเจือจางระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ลดลง แต่การรั่วซึมของอากาศที่สูงมากจนเกินไปจะทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนัก ทำให้เปลืองพลังงานมากขึ้น (ปาริณี ศรีสุวรรณ์, 2554)

วิทยานิพนธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาหาวิธีการเพิ่มอัตราการระบายอากาศภายในอาคารชุดพักอาศัยโดยใช้การเปิดระบายอากาศแบบธรรมชาติ ที่ไม่ต้องใช้เครื่องกลสำหรับอาคารชุดพักอาศัย และพิสูจน์ว่าการใช้วิธีนี้จะสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศไม่มาก เป็นการนำเสนอวิธีการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องชุดพักอาศัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยส่งผลให้ลงทุนน้อย และไม่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าเพิ่มมากนัก แต่ได้อากาศที่มีคุณภาพคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่งผลให้ผู้อยู่อาศัยมีคุณภาพชีวิตที่ดี

## 1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารชุดพักอาศัยมีปริมาณมากเกินกว่ามาตรฐาน

1.2.2 ศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย ไม่ให้เกินเกณฑ์มาตรฐาน

1.2.3 ศึกษาการใช้ช่องระบายอากาศที่มีขนาดเหมาะสม เพื่อช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารชุดพักอาศัย โดยคำนึงถึงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.2.4 เสนอแนะแนวทางลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย

## 1.3. สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติ สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยได้

1.3.2 การเปิดช่องระบายอากาศแบบธรรมชาติ นั้นไม่เป็นภาระกับระบบปรับอากาศมากจนเกินไปเมื่อเทียบกับการเติมอากาศบริสุทธิ์จากระบบเครื่องกล

## 1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยเท่านั้น

1.4.2 ศึกษาเฉพาะห้องนอนที่ใช้พักอาศัยสำหรับ 2 คนเท่านั้น โดยห้องนอนจะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 8 ตร.ม.ตามกฎหมาย[1]

1.4.3 ห้องชุดพักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[1] ห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.72 ตร.ม. (ธนัญรัตน์ ผาตินาวิน, 2558)

## 1.5. ระเบียบวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการทดลอง เพื่อหาความคุ้มค่าในแง่การระบายอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน โดยผลการศึกษาครั้งนี้จะนำไปสู่การเลือกใช้ขนาดช่องระบายอากาศที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการระบายอากาศภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.5.1 การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 สำรวจห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย 5 แห่งเพื่อเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1.5.3 ทดลองการเปิดช่องระบายอากาศภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย จำนวน 2 แห่ง ที่มีปริมาตรต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องระบายอากาศและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

1.5.4 ทำการทดลองในกล่องทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องระบายอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

1.5.5 คำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ขณะทำการทดลอง

1.5.6 เปรียบเทียบกับห้องนอนที่ใช้ระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ ที่ได้ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัย

1.5.7 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทาง

## 1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ปัจจัยที่ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัยนั้นเกินเกณฑ์มาตรฐาน

1.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการและเปลี่ยนอากาศ และเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

1.6.3 ขนาดช่องระบายอากาศ ที่เหมาะสมสำหรับการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ตามมาตรฐาน

1.6.4 แนวทางการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการศึกษา และผลที่คาดว่าจะได้รับ

| 1.วัตถุประสงค์ | 2.วิธีการศึกษา | 3.ผลที่คาดว่าจะได้รับ |
|---|---|---|
| 1.1 ศึกษาปัจจัยที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอาคารชุดพักอาศัย ที่มีมากเกินมาตรฐาน | 2.1 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3.1 ปัจจัยที่ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน |
| | 2.2 ศึกษาเกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารชุดพักอาศัย | |
| | 2.3 เก็บข้อมูลวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย | |
| 1.2 ศึกษาขนาดช่องระบายอากาศที่เหมาะเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย ไม่ให้เกินเกณฑ์มาตรฐาน | 2.4 วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่มีการเปิดช่องระบายอากาศที่ขนาดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ | 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับขนาดช่องเปิดระบายอากาศ กับเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ |
| 1.3 ศึกษาอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารชุดพักอาศัย โดยคำนึงถึงภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ | 2.5 วัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอนที่มีการเปิดช่องระบายอากาศขนาดต่าง ๆ | 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอน เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน |
| | 2.6 ทดลองวัดปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในกล่องทดลองที่มีช่องระบายอากาศในขนาดต่าง ๆ | |
| | 2.7 คำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ขณะทำการทดลอง | 3.4 พลังงานในระบบปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติ |
| 1.4 เสนอแนะแนวทางลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย | 2.8 เปรียบเทียบกับห้องนอนที่ใช้ระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ ที่ได้ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัย | 3.5 ความแตกต่างระหว่างการใช้ช่องระบายอากาศธรรมชาติ และการใช้ระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ |
| | 2.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| 1.วัตถุประสงค์ | 2.วิธีการศึกษา | 3.ผลที่คาดว่าจะได้รับ |
|---|---|---|
| | 2.10 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทาง | 3.6 แนวทางการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้อง อาคารชุดพักอาศัย |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยที่กับระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอากาศ และภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ การศึกษาค้นทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

2.1 นิยาม และเกณฑ์ต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร
- 2.1.1 นิยามของ คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)
- 2.1.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารชุดพักอาศัย
- 2.1.3 เกณฑ์ต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศและระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.2 นิยาม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ
- 2.2.1 นิยามของ การระบายอากาศ (Ventilation)
- 2.2.2 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ
- 2.2.3 การระบายอากาศแบบเครื่องกล (Mechanical Ventilation)

2.3 นิยาม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ
- 2.3.1 นิยามของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ
- 2.3.2 การวัดและการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ
- 2.3.3 มาตรฐานหรือเกณฑ์ ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

2.4 ปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับการทำความเย็นภายในอาคารชุดพักอาศัย
- 2.4.1 ระบบการทำความเย็นภายในอาคารชุดพักอาศัย
- 2.4.2 การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้นจากการระบายอากาศ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 2.1. นิยาม และเกณฑ์มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

### 2.1.1. นิยามของ คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)

คุณภาพอากาศภายในอาคาร (IAQ: Indoor Air Quality) หมายถึง สภาพของอากาศภายในและโดยรอบอาคารที่ก่อให้เกิดความสุขสบาย และไม่ส่งผลกระต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร (นภดนัย อาชวาคม, 2554) นอกจากนั้นองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้แจ้งว่า ร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายใน ซึ่งในปัจจุบันนั้นการใช้ชีวิตของคนทั่วไปใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในอาคารไม่ว่าจะเป็นที่ทำงาน โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า บ้านพักอาศัย และอื่น ๆ ในขณะที่โครงสร้าง วัสดุตกแต่ง รวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องใช้ที่อยู่ภายในอาคารปลดปล่อยสารเคมี ก๊าซ ฝุ่นละอองออกมา ทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารต้องหายใจเอามลพิษดังกล่าวเข้าไป ผู้ที่สัมผัสกับมลพิษดังกล่าวอย่างต่อเนื่องอาจจะก่อให้เกิดกลุ่มอาการซึ่งเรียกว่าโรคจากอาคาร (Sick Building Syndrome: SBS) และความเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับอาคาร (Building Related illness: BRI) เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ อาการวิงเวียนศีรษะ ภูมิแพ้ เป็นต้น (กรรณิกา แท่นคำ, 2554)

#### 2.1.1.1. สารปนเปื้อนในอากาศ

สารปนเปื้อนในอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่สารปนเปื้อนในรูปแบบอนุภาคขนาดเล็ก และสารปนเปื้อนในรูปของก๊าซ (ASHRAE, 2005a) สารปนเปื้อนในรูปแบบของอนุภาคขนาดเล็ก มีขนาดตั้งแต่ระดับไมโครเมตร ถึงระดับนาโนเมตร อยู่ในรูปของของเหลว หรือของแข็ง โดยสารปนเปื้อนดังกล่าวที่มีความสัมพันธ์กับระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้แก่ ฝุ่นหรือควัน (dusts, fumes, smoke) เป็นจำพวกอนุภาคของของแข็งปะปนอยู่กับของเหลว หมอก (mists, fogs, smog) ลักษณะคล้ายฝุ่นแต่มีขนาดเล็กกว่า และจุลชีวขนาดเล็ก (bioaerosols) รวมถึงพวกไวรัส ซึ่งสารปนเปื้อนดังกล่าวหากพบในอากาศภายในอาคารจะก่อให้เกิดการแพ้ หรือเป็นพิษได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารปนเปื้อนในรูปแบบของก๊าซและไอระเหยต่าง ๆ (Gas and Vapor) ที่เจือปนอยู่ในอากาศ ซึ่งเป็นสารที่มีมลพิษนั้น ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxide of Nitrogen) จำพวก ไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ ($NO_2$), ออกไซด์ของซัลเฟอร์ (Oxide of Sulfur) ที่สำคัญมีสองชนิดคือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ($SO_2$) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ($SO_3$), รีดิวส์ซัลเฟอร์ (Reduced Sulfur) เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$), ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon), ออกซิแดนต์ (Oxidants) จำพวกก๊าซโอโซน, คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Cholorofluorocarbon: CFCs) จำพวกสารสังเคราะห์ต่าง ๆ และสุดท้ายคือก๊าซประเภท ออกไซด์ของคาร์บอน (Oxide of Carbon) ซึ่งมีสองชนิดได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งก๊าซและสารระเหยดังกล่าวนั้น ล้วนส่งผลทางตรงเกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยของมนุษย์ทั้งสิ้น

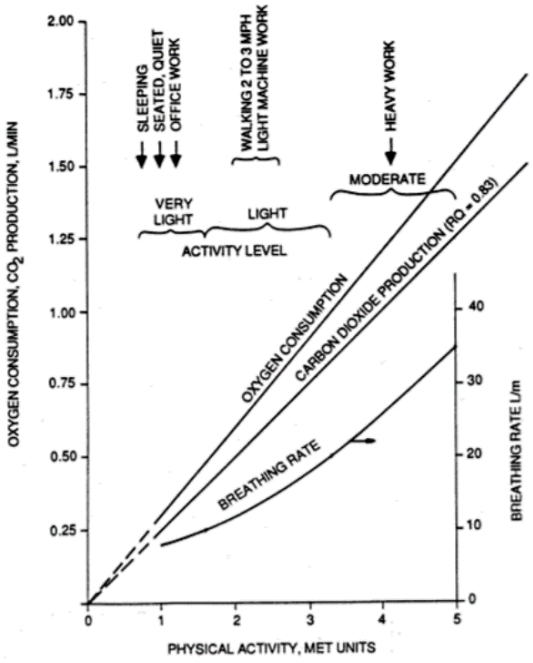
หนึ่งในสารที่ปนเปื้อนอยู่ภายในอากาศในรูปแบบของก๊าซที่กล่าวมานั้นคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มประเภทของสารอนินทรีย์เคมี (inorganic) โดยมีหน่วยการวัดเป็น ppm (parts per millions) หรือ

คือ ปริมาตรของสารปนเปื้อนหนึ่งหน่วยต่อปริมาตรของอากาศล้านหน่วย (ASHRAE, 2005a) ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นถือเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ใช้ในการทำการศึกษางานวิจัยครั้งนี้

### 2.1.2. ปัจจัยที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารชุดพักอาศัย

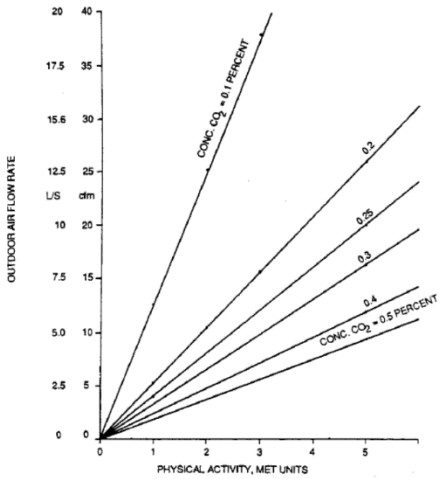
คาร์บอนไดออกไซด์นั้นอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีที่มาจากธาตุคาร์บอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีความสำคัญในองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ในหลายลักษณะ เช่น การหายใจของสิ่งมีชีวิต การสังเคราะห์แสงของพืช การเผาไหม้ ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติเช่น ภูเขาไฟระเบิด

หนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารชุดพักอาศัยคือ การหายใจของมนุษย์หรือผู้พักอาศัย โดยอัตราการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่มนุษย์ปฏิบัติ




รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมที่มนุษย์ทำต่ออัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ASHARE, 2007a)

โดยจากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรมที่มนุษย์กระทำแตกต่างกันออกไปนั้น ส่งผลต่อปริมาณก๊าซปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความแตกต่างกัน ยิ่งกิจกรรมมีความหนักมากต้องใช้พลังงานมากอัตราการภายใจก็จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในจำนวนที่มากขึ้น ลมหายใจออกของมนุษย์ 1 คนในภาวะปกติ (กิจกรรมแบบเบา) จะมีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 41,666 ppm ต่อนาทีต่อคน




รูปที่ 2 อัตราการระบายอากาศสำหรับใช้เจือจางระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากมนุษย์ (ASHARE, 2007a)

จากรูปที่ 2 พบว่าระดับของปริมาตรอากาศภายนอกที่ควรนำมาเติมภายในอาคารนั้น ขึ้นอยู่กับระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมที่มนุษย์กระทำ ยิ่งกิจกรรมที่ทำหนักมากขึ้นอัตราการเผาผลาญก็จะมากขึ้นตาม ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีมากขึ้นด้วยเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

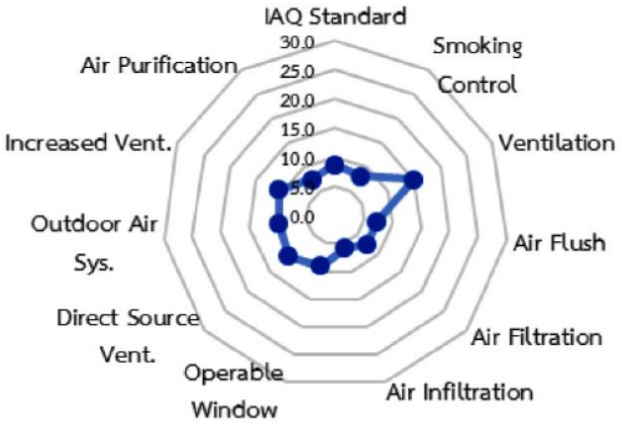
**2.1.3. เกณฑ์ต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศ**

เพื่อควบคุณให้คุณภาพอากาศภายในอาคารนั้นอยู่ในระดับที่ปลอดภัย และไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานอาคารจึงได้มีการจัดทำเกณฑ์ต่าง ๆ ขึ้นที่เกี่ยวข้องกับระดับคุณภาพอากาศภายในอาคารสำหรับอาคารพักอาศัย ได้แก่ LEED, WELL, Living Building Challenge, BREEAM, Home Quality Mark, CASEBEE และ Green Mark โดยงานวิจัยของ ภาวดี ธุววงศ์และคณะ, 2560 ได้ศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดต่าง ๆ ของเกณฑ์ดังกล่าวโดยแต่ละเกณฑ์มีข้อกำหนดและข้อบังคับเกี่ยวกับเรื่อง คุณภาพอากาศภายในอาคารพักอาศัยตามรูปที่ 3 ดังนี้

| เกณฑ์ในการประเมิน | US WELL | US WELL MFR Pilot | US LEED NC V4 | US LBC 3.0 | UK BREEAM 2016 | UK HQM Beta | JP CASBEE NC | JP CASBEE H(De) | SG GREEN MARK |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **หมวดที่ 1 คุณภาพอากาศ (Air Quality)** | | | | | | | | | |
| Indoor Air Quality standard | P | P | Pilot | O | O | - | O | O | O |
| Smoking control | P | P | P | O | O | - | - | - | - |
| Ventilation | P | P | O | O | O | O | O | O | O |
| Air flush | O | O | O | - | O | - | - | - | - |
| Air filtration | P | P | O | - | O | - | - | - | - |
| Air infiltration | O | O | O | - | - | O | - | - | - |
| Operable windows | O | P | - | O | O | - | O | O | - |
| Direct source ventilation | O | - | O | O | O | - | O | - | - |
| Outdoor air systems | O | O | - | - | - | - | O | - | - |
| Increased ventilation | O | O | O | - | - | O | O | - | - |
| Air purification | O | O | - | - | - | - | - | - | - |

รูปที่ 3 เกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับคุณภาพอากาศในอาคารพักอาศัย (ภาวดี ธุววงศ์, 2560)

นอกจากนั้นจากยังมีข้อมูลอีกว่าในประเทศไทยหัวข้อที่ได้รับความสนใจมากที่สุดเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ คือ การระบายอากาศ ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารชุดพักอาศัย โดยมีสัดส่วนแสดงให้เห็นในรูปที่ 4 ดังนี้ (ภาวดี ธุววงศ์, 2560)




รูปที่ 4 สัดส่วนค่าน้ำหนักหมวดคุณภาพอากาศ (%) (ภาวดี ธุววงศ์, 2560)

### 2.1.3.1. เกณฑ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร

ตัวอย่างเกณฑ์ในประเทศต่าง ๆ ที่ได้มีการตั้งกำหนดเกณฑ์ขึ้น เพื่อกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารไม่ให้มีปริมาณที่มากจนเกิดความอันตรายหรือส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งานภายในอาคารแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ระดับสูงสุดภายในอาคาร ในแต่ละประเทศ (Greg Lowitz, 2017)

| $CO_2$ Exposure Limits for Selected Countries | | | |
|---|---|---|---|
| Country | Agency/Standard | Maximum Level | Notes |
| America (USA) | ASHRAE 62.1-2013 Appendix C | 700 ppm above outside levels | This is a measure of occupant discomfort, not an absolute health guideline. The ASHRAE 1,000 ppm guideline has since been redacted. |
| | Occupational Safety and Health Administration (OSHA) | 5,000 ppm (PEL-TWA)<br>30,000 ppm (STEL) (CAL/OSHA) | TWA=Time-weighted over five 8-hour work day average for industrial environments |
| | CDC/NIOSH | 5,000 ppm (REL-TWA)<br>30,000 ppm (STEL)<br>[15 min] | Non-narcotic central nervous system effects (eye flickering, psychomotor excitation, myoclonic twitching, headache, dizziness, dyspnea, sweating, restlessness) |
| | ACGIH | 5,000 ppm<br>30,000 ppm [15 min] | |
| Australia | Safe Work Australia; Workplace Exposure Standards for Airborne Contaminants (2011) | 5,000 ppm (TWA)<br>30,000 ppm (STEL) | 12,500 ppm TWA allowable in coal mines with 30,000 STEL |
| Canada | Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health | 3,500 ppm (ALTER) | Exposure guidelines for residential indoor-air quality |
| Germany | Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) | 5,000 ppm (MAK) | 8-hour work day average |
| | DIN 1946-6<br>DIN 1946-2 | 1,000 ppm (recommended)<br>1,500 ppm (upper limit) | Recommended Outside Air: 30m³/h per person;<br>Minimum 20m³/h per person |
| Japan | Japan Society for Occupational Health (2004) | 1,500 ppm | |
| New Zealand | Ministry of Business, Innovation and Employment | 5,000 ppm (TWA)<br>30,000 ppm (STEL) | Workplace Exposure Standards and Biological Exposure Indices 7th Edition (2013) |
| Sweden | Occupational Exposure Limit Values, AFS 2011:18 | 5,000 ppm (LLV)<br>10,000 ppm (STV) | Sweden sets a Short-Term Value (STV) 3x below most nations |
| UK | Health and Safety Commission (HSE) – UK | 5,000 ppm (LTEL)<br>15,000 ppm (STEL)<br>[15 min] | Industrial environments per EH40/2005 Work-place Exposure Limits |
| | UK Building Bulletin 101 | 1,500 ppm | School average levels for full day not to exceed (UK) |

#### 2.1.3.1.1. ASHRAE standard 62.2-2016

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) เป็นองค์กรเอกชนระหว่างประเทศที่มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาระบบทำความร้อน ระบบระบายอากาศ ระบบปรับอากาศ และระบบทำความเย็นประกอบอาคาร ซึ่งเป็นองค์กรที่มุ่งเน้นไปในการสร้างมาตรฐานให้มีประสิทธิภาพและมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

ASHRAE 62.2-2016 กำหนดให้ภายในอาคาร จะต้องมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 700 ppm เมื่อบวกเพิ่มจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร ซึ่งหมายความว่าหากข้างนอกมีค่า 500 ppm ข้างในสามารถมีค่าได้ถึง 1,200 ppm ซึ่ง $CO_2$ 700 ppm ที่เพิ่มขึ้นมานี้มาจากการหายใจของคนที่ถูกระบายออกไปด้วยค่าการระบายอากาศที่เพียงพอค่าหนึ่ง ๆ (ASHRAE, 2016) นอกจากนั้นมาตรฐานของ ASHRAE 62.2-2016 ยังถูกใช้เป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารประหยัดพลังงานในเกณฑ์มาตรฐาน LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) (U.S. Green Building Council, 2014) อีกด้วย

#### 2.1.3.1.2. EN 13779

EN (European Standard) เป็นมาตรฐานของยุโรป โดยเป็นมาตรฐานบังคับเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด

ตารางที่ 3 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ตามมาตรฐาน EN13779

| Indoor Air Quality (EN13779) | | | |
|---|---|---|---|
| Quality | CO2 above outdoor air (ppm) | Default value (ppm) | Fresh Air Rate (l/s/person) |
| สูง | ≤400 | 350 | >15 |
| ปานกลาง | 400 – 600 | 500 | 10-15 |
| มาตรฐาน | 600 – 1,000 | 800 | 6-10 |
| ต่ำ | >1,000 | 1200 | <6 |

EN 13779 กำหนดให้ภายในอาคารคุณภาพระดับกลาง จะต้องมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 600-1000 ppm เมื่อบวกเพิ่มจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอาคาร

#### 2.1.3.1.3. WELL Building Standard v.1

Well Building Standard คือ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ให้ความสำคัญกับคุณภาพของผู้อยู่อาศัยและผู้ใช้อาคาร โดยเกณฑ์ Well นั้นเป็นการประเมินให้คะแนนกลุ่มอาคารที่มีคุณสมบัติด้านการบริหารจัดการอาคารเพื่อสุขภาวะที่ดีของผู้ใช้อาคาร ผ่านเกณฑ์ประเมินทั้ง 7 ข้อด้วยกันได้แก่ Air, Water, Nourishment, Light, Fitness, Comfort และ Mind โดยหนึ่งในเรื่องของคุณภาพอากาศนั้นได้กล่าวถึงอัตราการระบายอากาศภายในอาคารอีกด้วย โดยเกณฑ์ Well Building Standard v.1 - Multifamily Residential ได้กล่าวถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับไม่เกิน 800 ppm โดยวัดที่ระดับ 1.10 – 1.70 เมตรจากพื้น (IWBI, 2015)

#### 2.1.3.1.4. WELL Building Standard v.2

ในปี 2018 ได้มีการพัฒนาเกณฑ์ WELL Building Standard v.2 - Multifamily Residential โดยได้กำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องพักไว้ดังนี้

ตารางที่ 4 เกณฑ์ WELL Building Standard v.2

| ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm) | คะแนน |
|---|---|
| 900 ppm | 1 |
| 750 ppm | 2 |
| 600 ppm | 3 |

WELL V.2 กำหนดให้ภายในห้องพักอาคารชุดพักอาศัย จะต้องมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 900 ppm, 750 ppm และ 600 ppm โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนเป็น 1, 2 และ 3 คะแนนตามลำดับ (IWBI, 2018)

ตารางสรุปเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำหนดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย แสดงให้เห็นในตารางที่ 5 ซึ่งเกณฑ์ที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้อ้างอิงเป็นหลักคือ ข้อกำหนดจาก ASHRAE 62.2-2016 และ WELL Building Standards V.2

ตารางที่ 5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารชุดพักอาศัยตามเกณฑ์ต่างๆ

| เกณฑ์ | ปริมาณ $CO_2$ ในอาคารชุดพักอาศัยไม่เกิน (ppm) |
|---|---|
| ASHRAE 62.2-2016 / LEED | 700 ppm (จากปริมาณ $CO_2$ ภายนอก) |
| EN 13779 | 600 - 1000 ppm (จากปริมาณ $CO_2$ ภายนอก) |
| WELL v.1 | 800 ppm (วัดภายในห้อง) |
| WELL v.2 | 900 ppm (วัดภายในห้อง)<br>750 ppm (วัดภายในห้อง)<br>600 ppm (วัดภายในห้อง) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 2.2. นิยาม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ

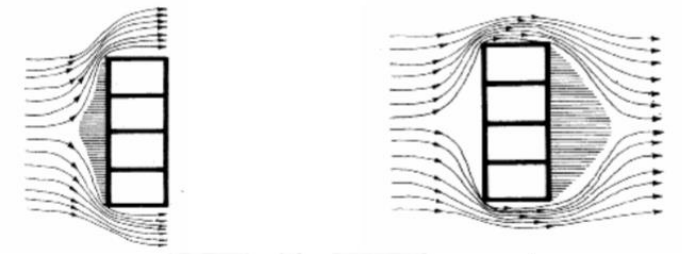
### 2.2.1. นิยามของ การระบายอากาศ (Ventilation)

การระบายอากาศ หมายถึง การทำให้อากาศเกิดการไหลเวียนและถ่ายเทภายในอาคาร เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายแก่ผู้ใช้งานอาคาร นอกจากนั้นยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเจือจางระดับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ภายใน เพื่อให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้หรือตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้การระบายอากาศสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทได้แก่ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation) และการระบายอากาศแบบเครื่องกล (mechanical ventilation) โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.2. การระบายอากาศแบบธรรมชาติ

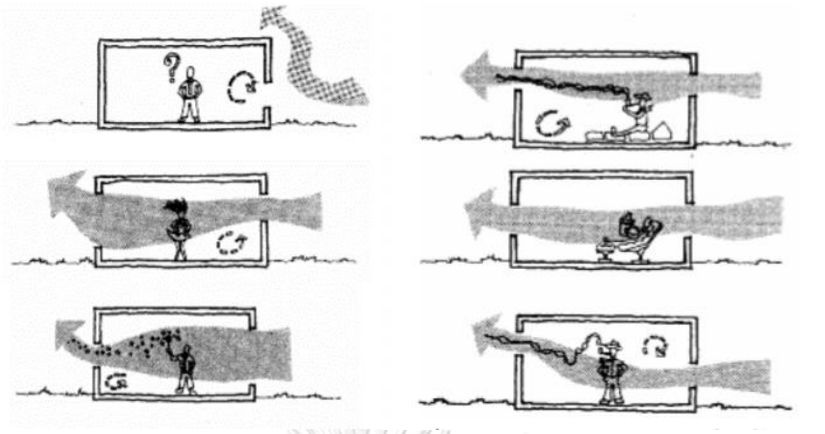
การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติหมายถึง วิธีการออกแบบอาคารที่อาศัยสภาพภูมิอากาศและทรัพยากรพลังงานทางธรรมชาติ แสงธรรมชาติ ลม และการลอยตัวของอากาศร้อน ตามธรรมชาติ เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่มีความสบายเพื่อรลดใช้พลังงานและลดการพึ่งพาระบบระบายอากาศเชิงกล โดยกระแสลมจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนของอาคารซึ่งหลักการพื้นฐานในการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ลมจะพัดได้ด้วยแรงขับเคลื่อน 2 ประเภท ได้แก่ ความแตกต่างของอากาศ (Pressure Differential) และ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature Differential)

กระแสลม เมื่อพัดผ่านอาคาร ผนังอาคารด้านที่มีการปะทะลมโดยตรงจะเกิดความกดอากาศ (Pressure) ที่มีมากกว่าปกติ (Positive Pressure) และในขณะเดียวกันด้านหลังของอาคาร บริเวณนั้นจะถูกดูดออก ทำให้เกิดความกดอากาศลดลง (Negative Pressure) ทั้งบริเวณผิวข้างและด้านบนของอาคาร ดังนั้นการออกแบบอาคารจึงจำเป็นจะต้องคำนึงถึงความกดอากาศ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทของอากาศที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายสูงสุด



รูปที่ 5 บริเวณที่มีความกดอากาศมากขึ้น และบริเวณที่เกิดความกดอากาศลดลง (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539)

นอกจากนั้นการระบายอากาศเพื่อให้ได้ประสิทธิภายสูงสุดนั้นคือ Cross Ventilation ซึ่งประกอบไปด้วยช่องสำหรับให้ลมพัดเข้า (Inlet) และช่องสำหรับให้อากาศไหลออกไป (Outlet) ซึ่งจะต้องอยู่ในตำแหน่งตรงกันข้ามกันของห้อง โดยหากช่อง Outlet มีขนาดใหญ่กว่า Inlet จะทำให้ลมในห้องพัดแรง แต่หากช่อง Inlet นั้นมีขนาดใหญ่กว่า ช่อง Outlet จะทำให้ลมในห้องพัดเบา นอกจากนั้นตำแหน่งของช่องทั้ง Inlet และ Outlet ยังส่งผลต่อทิศทางของลมที่จะพัดผ่านภายในห้องอีกด้วย

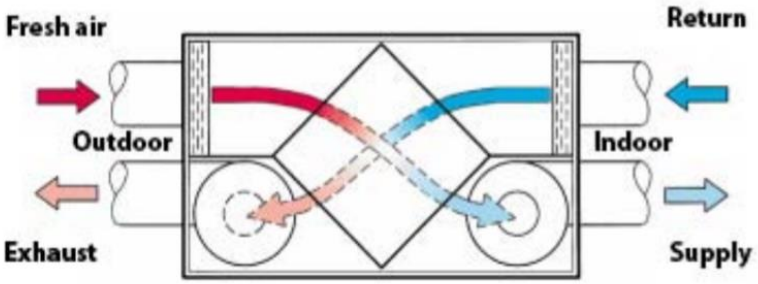


รูปที่ 6 ขนาดและตำแหน่งของช่องเปิดที่ส่งผลต่อปริมาณการไหลผ่านของอากาศภายในห้อง (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539)

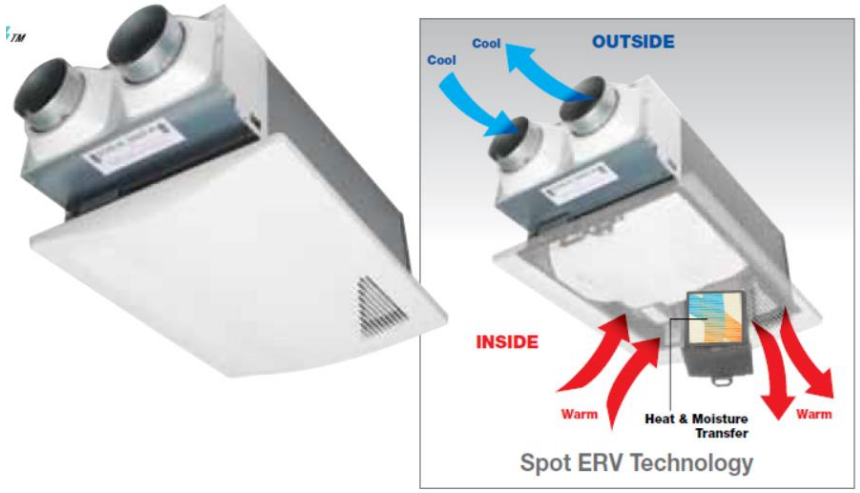
### 2.2.3. การระบายอากาศแบบเครื่องกล

ระบบระบายอากาศแบบเครื่องกล (Mechanical Ventilation) เป็นการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าและออกจากห้องหรืออาคาร โดยการใช้พัดลมดูดอากาศ การระบายอากาศแบบเครื่องกลนี้จะถูกออกแบบให้นำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอก (Fresh air) เข้าไปเจือจางมลภาวะอากาศภายในอาคารทั้งที่เกิดจากระบบหายใจของมนุษย์ และจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

อุปกรณ์ที่ใช้เพื่อการระบายอากาศแบบเครื่องกลที่เป็นที่นิยมสำหรับอาคารชุดพักอาศัยนั้นคือ Energy Recovery Ventilator (ERV) (รูปที่ 7) เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศ (Air-to-Air Heat Exchanger) แบบ Plate ที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างอากาศภายในอาคาร และอากาศภายนอกอาคาร ซึ่งการทำงานของระบบระบายอากาศดังกล่าวนี้จะมีลักษณะพิเศษ คือการใช้พัดลม 2 เครื่องพัดลม เครื่องแรกดูดอากาศบริสุทธิ์เติมเข้ามาจากภายนอก และขณะเดียวกันพัดลมอีกเครื่องดูดอากาศเย็นที่ใช้แล้วจากภายในห้อง โดยอากาศที่ทั้งดูดเข้าและออกจะไหลผ่านแผ่นกรองอากาศเพื่อถ่ายเทความร้อน และกรองสิ่งเจือปนของกระแสลมที่เข้าและออก ดังนั้นอากาศที่เข้ามาภายในอาคารจะไม่มีสิ่งเจือปนใด ๆ (โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2559)




รูปที่ 7 การแลกเปลี่ยนความร้อนของ Energy Recovery Ventilator (โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2559)




รูปที่ 8 ตัวอย่างเครื่อง Energy Recovery Ventilator สำหรับอาคารชุดพักอาศัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุปกรณ์ ERV นั้นช่วยให้การแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างอากาศภายในและภายนอกอาคารนั้นเปลืองพลังงานน้อยลง เนื่องจากอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกปรับให้มีอุณหภูมิลดลงเมื่อเข้ามาภายในเครื่องและถูกแลกเปลี่ยนกับ Exhaust Air จากในห้อง ระบบปรับอากาศที่ใช้จึงทำงานน้อยลง และยังมีระบบควบคุมที่สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้ามาตามลักษณะการใช้งานของอาคารได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย (โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

## 2.3. นิยาม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

### 2.3.1. นิยามของ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในหนึ่งชั่วโมง หมายถึง ปริมาตรของการถ่ายเทอากาศคิดเป็นจำนวนเท่าของปริมาตรห้องภายในหนึ่งชั่วโมง (ปริมาตรต่อชม.) ซึ่งจำนวนครั้งของการแลกเปลี่ยนอากาศในหนึ่งชั่วโมงขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลากหลายอย่างได้แก่ (Thumann & Mehta, 2008)

- จำนวนและขนาดของช่องเปิดตามเปลือกอาคาร เช่นช่องเปิดประตู หน้าต่าง
- ความเร็วลมเฉลี่ยของลมที่พัดมายังอาคาร
- จำนวนและขนาดของปล่องไฟ ช่องระบายอากาศ พัดลมดูดอากาศ และความถี่ในการเปิดใช้งานเครื่องดังกล่าว
- จำนวนครั้งของการเปิดประตูหรือหน้าต่าง
- ลักษณะการใช้งานของห้อง

การคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในหนึ่งชั่วโมงสามารถคำนวณได้จากสูตรการคำนวณดังนี้ (ASHRAE, 2005b)

$$ACH = \frac{Q_{sa} \times 60}{V} \quad (1)$$

โดย ACH คือ Air change rate per hour หรือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในห้องปรับอากาศ (ปริมาตรต่อชม.)

$Q_{sa}$ คือ อัตราการไหลของปริมาตรลมจ่ายที่ไหลเข้ามายังพื้นที่ปรับอากาศ (ลบ.ม. ต่อวินาที)

V คือ ปริมาตรห้อง (ลบ.ม.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 2.3.2. การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

การวัดปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีได้แก่ การวัดโดยใช้พัดลมอัดอากาศเพื่อคำนวณหาอัตราแลกเปลี่ยนอากาศจากความดันที่เปลี่ยนไป และการใช้ก๊าซโดยคำนวณจากอัตราการสลายตัวของก๊าซเพื่อหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

#### 2.3.2.1. การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจากการใช้พัดลมอัดอากาศ

การใช้พัดลมอัดอากาศในการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องจากมาตรฐาน ASTM E779-03 - Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization คือ การใช้แรงดันเป็นการทดสอบ โดยเป็นการเป่าลมเข้าไปทางประตูห้องเพื่อตรวจสอบความดันอากาศ โดยวัดความดันที่แตกต่างระหว่างอากาศภายในห้องกับอากาศภายนอก สร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราการไหลของลม (CFM) และค่าความดันอากาศแตกต่าง (Pascal) เพื่อหาอัตราการรั่วไหลของอากาศที่ส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้อง (ASTM, American Society for Testing and Materials 2017)

การคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศทำได้โดย การหาค่าความเปลี่ยนแปลงของอากาศที่ค่าความดัน 50 Pa ($ACH_{50}$) และหารด้วย 20 โดยสามารถกำหนดค่า $ACH_{50}$ ได้จากสูตร (Sherman, 1987)

$$ACH_{nat} = \frac{ACH_{50}}{20} \quad (2)$$

$$ACH_{50} = \frac{Q_{50} \times 60}{V_{zone}} \quad (3)$$

โดย $Q_{50}$ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ ($Q_i$) และความแตกต่างระหว่างความดัน ($dP_i$) โดย dP เกิดขึ้นที่ความเร็วลม 50 Pa ($dP_{50}$) ซึ่งสามาตรหาได้จากสูตร

$ACH_{50}$ คือ ค่ามาตรฐานทางอุตสาหกรรม เพื่อใช้เปรียบเทียบค่ารั่วซึมอากาศ โดยเกิดขึ้นที่ความกดอากาศ 50 Pa ($h^{-1}$)

$ACH_{nat}$ คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ยต่อปี ($h^{-1}$)

$V_{zone}$ คือ ปริมาตรของห้อง ($m^3$)

$$P = 0.5\rho V_{50Pa}^2 \quad (4)$$

$$Q_{fan} = C(dP_{50})^n \quad (5)$$

โดย $dP_{50}$ คือ หาได้จากอัตราการไหลของอากาศ (Qfan: $m^3/s$) โดยเกิดจากพัดลมที่มีแรงดัน 50 Pa ($V_{50pa}$)

P คือ ค่าความกดอากาศ ในที่นี้คือ 50 Pascal หรือเท่ากับ 5.0985 $kg/m^3$

$\rho$ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.164 $kg/m^3$

$V_{50pa}$ คือ ความเร็วลมโดยมีค่า 2.959 m/s

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$Q_{fan}$ คือ ค่าการไหลของอากาศโดยมีค่าเท่ากับ 0.6779 $m^3/s$

ค่า C และค่า n นั้นสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างค่าการไหลของอากาศและความแตกต่างของความดัน โดยพล็อตกราฟตามสูตรดังนี้

$$x_i = In(dP_i) \quad (6)$$

$$y_i = In(Q_i) \quad (7)$$

จากนั้นใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ สำหรับสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าตัวแปรดังกล่าว ดังสมการด้านล่าง

$$y = In(C) + nx \quad (8)$$

ทำการแทนค่าในสมการเพื่อหาค่า $Q_{50}$ และนำแทนค่าลงในสูตรสำหรับการหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้นภายในห้องหรืออาคารที่ใช้ในการทำการทดลอง

#### 2.3.2.2. การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจากการสลายตัวของก๊าซ

การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยการสลายตัวของก๊าซนั้นเป็นการวัดอัตราการไหลของอากาศผ่านช่องว่างและรอยรั่วซึมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ซึ่งในปัจจุบันนี้มาตรฐาน ASTM E741 - 11(2017) Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution, ASTM E1185- Standard Practices for Air Leakage Site Detection in Building Envelopes and Air Barrier Systems และมาตรฐาน ISO 12569 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวกับการตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงของอากาศด้วยการใช้การวัดอัตราการสลายความเข้มข้นของก๊าซ ซึ่งวิธีดังกล่าวจะทำโดยมีการปล่อยก๊าซเข้ามาภายในห้องโดยวิธีการฉีดที่มีความเข้มข้นคงที่อย่างต่อเนื่อง จากนั้นวัดอัตราการสลายตัวของก๊าซชนิดนั้นๆและแทนค่าลงในสูตร (ASTM, American Society for Testing and Materials, 2017)

การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจากการสลายตัวของก๊าซมี 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยการสลายตัวของก๊าซที่ถูกปล่อยเข้ามา และวิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยการทดสอบความเข้มของก๊าซที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

#### 2.3.2.2.1. วิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยการสลายตัวของก๊าซที่ถูกปล่อยเข้ามา

การคำนวณจะเกิดขึ้นเมื่อปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนหนึ่งเข้าไปภายในห้อง และหยุดปล่อยก๊าซ จากนั้นวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ 6 ช่วงเวลาขั้นต่ำที่ใช้ในการทดลอง (ASTM E741 - 11(2017))

| Air Change Rate (1/h) | Minimum Duration of Test (h) |
|---|---|
| 0.25 | 4 |
| 0.5 | 2 |
| 1 | 1 |
| 2 | 0.50 |
| 4 | 0.25 |

$$A = [InC(t_2) - InC(t_1)]/(t_2 - t_1) \quad (9)$$

โดย A คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)

$C(t_1)$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซที่นาทีสุดท้ายก่อนหยุดปล่อยก๊าซ (ppm)

$C(t_2)$ คือ ความเข้มข้นของก๊าซที่เวลาใด ๆ (ppm)

$t_2 - t_1$ คือ เวลาที่ใช้ในการวัดหรือเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (h)

หรือสามารถเขียนสมการที่ (9) ได้ในอีกรูปแบบคือ

$$A = \left[In\left(\frac{C_{t1}}{C_{t2}}\right)\right]/T \quad (10)$$

โดย T คือ เวลาที่ใช้ในการวัดหรือเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (h)

ในกรณีที่การทดลองใช้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงมีความจำเป็นที่จะต้อง ลบค่าของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศออกไปด้วยเพื่อให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงยิ่งขึ้นโดยสมการจะเขียนดังนี้

$$A = \left[In\left(\frac{C_{t1}-C_a}{C_{t2}-C_a}\right)\right]/T \quad (11)$$

โดย $C_a$ คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระดับอากาศปกติซึ่งปกติจะอยู่ที่ระดับประมาณ 300 – 450 ppm ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน (ppm)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากนั้นยังสามารถเขียนในรูปแบบของสมการเส้นตรง เพื่อหาค่าของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ด้วยเช่นกัน

$$InC(t) = -At + InC(0) \quad (12)$$

$$y = aX + b \quad (13)$$

โดยวิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยก๊าซที่ถูกปล่อยเข้ามาจำนวนหนึ่งนั้นเป็นวิธีที่ถูกเลือกใช้สำหรับการทำการทดลองในวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

**2.3.2.2.2. วิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยการทดสอบความเข้มข้นของก๊าซที่ถูกผลิตอย่างต่อเนื่อง**

วัดปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัยจากการใช้สูตร (Cheng & Li, 2018)

$$F_{CO_2} + Qc_e = v_{zone}\frac{dc}{d\tau} + Qc \quad (14)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดย Q คือ ปริมาณการระบายอากาศ (m3/h)

$c_e$ คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก (ppm)

c คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน (ppm)

$V_{zone}$ คือ ปริมาตรของห้องที่ใช้ทำการทำลอง (m3)

โดย สมการสามารถเขียนในอีกรูปแบบหนึ่งดังนี้

$$\Delta c = \frac{\Delta\tau}{v_{zone}}(F_{CO_2} - Nv_{zone}(c_1 - c_e)) \quad (15)$$

โดย N คือ ปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ($h^{-1}$) หรือ Air change rate (AHU)

$\tau$ คือ เวลา ในการวัด (h)

$Fco_2$ คือ ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในห้องพัก จากผู้อยู่อาศัย (m3/h)

$C_1$ คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใหม่ที่คำนวณได้ (ppm)

$\Delta C$ คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนไปในการวัด

$$F_{CO_2} = \mathrm{RQBMR}M(T/P)0.000211 \quad (16)$$

โดย RQ คือ 0.85

BMR คือ ปริมาณการเผาผลาญของมนุษย์ ปริมาณ 3.00625 MJ/วัน โดยขึ้นอยู่กับส่วนสูง อายุ สามารถดูได้จากตารางที่ 7

M คือ ปริมาณการเผาผลาญ (1.2 ในกรณีนั่ง/ 0.95 ในกรณีนอนหลับ)

T คือ อุณหภูมิของห้อง (K)

P คือ ความดันภายในห้อง (kPa)

ตารางที่ 7 ปริมาณการเผาผลาญของคนในช่วงวัยต่าง ๆ

| Age (y) | Females | Males |
|---|---|---|
| 0-3 | 0.244 m -0.130 | 0.249 m -0.127 |
| 3-10 | 0.085 m + 2.033 | 0.095 m+2.110 |
| 10-18 | 0.056 m +2.898 | 0.074 m+2.754 |
| 18-30 | 0.062 m +2.036 | 0.063 m+2.896 |
| 30-60 | 0.034 m +3.538 | 0.048 m+3.653 |
| ≥60 | 0.038 m +2.755 | 0.049 m+2.459 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในกรณีที่ใช้ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาตรสำหรับวัดแรงดันจะมีหน่วยเป็นลิตร/นาที ใช้สูตรในการแปลงหน่วยดังนี้

1 Liter/Minute = 0.06 Cubic Meter/Hour (17)

### 2.3.3. มาตรฐานหรือเกณฑ์ ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

มาตรฐานหรือข้อกำหนดที่มีความเกี่ยวข้องกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air change rate) ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย

#### 2.3.3.1. ASHRAE 62.2-2016

ASHRAE 62.2-2016 เป็นมาตรฐานที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับ มาตรฐานการระบายอากาศและคุณภาพอากาศภายในอาคารพักอาศัย โดยข้อกำหนดการระบายอากาศในอาคารชุดพักอาศัยสามารถดูได้จากตารางที่ 8 โดยข้อกำหนดให้ดูที่จำนวนห้องนอนและพื้นที่ของห้องพัก

ตารางที่ 8 มาตรฐาน ASHRAE 62.2-2016 ข้อกำหนดการระบายอากาศ

**TABLE 4.1a (I-P) Ventilation Air Requirements, cfm**

| | Bedrooms | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Floor Area, $ft^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <500 | 30 | 38 | 45 | 53 | 60 |
| 501–1000 | 45 | 53 | 60 | 68 | 75 |
| 1001–1500 | 60 | 68 | 75 | 83 | 90 |
| 1501–2000 | 75 | 83 | 90 | 98 | 105 |
| 2001–2500 | 90 | 98 | 105 | 113 | 120 |
| 2501–3000 | 105 | 113 | 120 | 128 | 135 |
| 3001–3500 | 120 | 128 | 135 | 143 | 150 |
| 3501–4000 | 135 | 143 | 150 | 158 | 165 |
| 4001–4500 | 150 | 158 | 165 | 173 | 180 |
| 4501–5000 | 165 | 173 | 180 | 188 | 195 |

**TABLE 4.1b (SI) Ventilation Air Requirements, L/s**

| | Bedrooms | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Floor Area, $m^2$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <47 | 14 | 18 | 21 | 25 | 28 |
| 47–93 | 21 | 24 | 28 | 31 | 35 |
| 94–139 | 28 | 31 | 35 | 38 | 42 |
| 140–186 | 35 | 38 | 42 | 45 | 49 |
| 187–232 | 42 | 45 | 49 | 52 | 56 |
| 233–279 | 49 | 52 | 56 | 59 | 63 |
| 280–325 | 56 | 59 | 63 | 66 | 70 |
| 326–372 | 63 | 66 | 70 | 73 | 77 |
| 373–418 | 70 | 73 | 77 | 80 | 84 |
| 419–465 | 77 | 80 | 84 | 87 | 91 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ASHRAE 62.2-2016 กำหนดอัตราการระบายอากาศตามจำนวนห้องนอนที่มีในห้องพัก โดยหากมี 1 ห้องนอนและพื้นที่ไม่เกิน 500 ตารางฟุตจะต้องการอัตราการระบายอากาศภายในห้องพัก 30 CFM หรือ 14 ลิตรต่อวินาที

#### 2.3.3.2. CIBSE Guide B2 (2001)

CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) ซึ่งเป็นองค์กรที่เกี่ยวกับการก่อสร้างและงานวิศวกรรม โดยเป็นองค์กรที่ได้ตั้งมาตรฐานเกี่ยวกับงานก่อสร้างทางวิศวกรรมในระดับสากลซึ่งถูกนำมาใช้ใน สหราชอาณาจักร ยุโรป และประเทศอื่น ๆ อีกมากมาย โดย CIBSE Guide B2 นั้นเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการระบายอากาศ และการทำงานของท่อลมระบายอากาศ

ตารางที่ 9 มาตรฐาน CIBSE Guide B2 (2001)

| Building sector | Section number | Recommendations |
|---|---|---|
| **Animal husbandry** | **3.24.1** | See Table 3.20 |
| **Assembly halls** | **3.3** | See Table 3.6 |
| **Atria** | **3.4** | See section 3.4.3 |
| **Broadcasting studios** | **3.5** | 6 -10ACH (but heat gain should be assessed) |
| **Call centres** | **3.24.2** | 4 - 6 ACH (but heat gain should be assessed) |
| **Catering (inc. commercial kitchens)** | **3.6** | 30 - 40 ACH |
| **Cleanrooms** | **3.7** | See Tables 3.11 and 3.12 |
| **Communal residential buildings** | **3.8** | 0.5 - 1 ACH |
| **Computer rooms** | **3.9** | See Table 3.13 |
| **Court rooms** | **3.24.3** | As for typically naturally ventilated buildings |
| **Darkrooms (photographic)** | **3.24.4** | 6 - 10 ACH (but heat gain should be assessed) |
| **Dealing rooms** | **3.24.5** | As offices for ventilation (but heat gain should be assessed) |
| **Dwellings (inc. high-rise dwellings)** | **3.10** | 0.5 - 1 ACH |
| **Factories and warehouses** | **3.11** | See 3.11.1 for regulatory requirements |
| **High-rise (non-domestic) buildings** | **3.12** | 4 - 6 ACH for office areas; up to 10ACH for meeting space. |
| **Horticulture** | **3.24.6** | 30 - 50 litres/s/$m^2$ for greenhouses (45 - 60 ACH) |
| **Hospitals and health care buildings** | **3.13** | See Table 3.15 |
| **Hotels** | **3.14** | 10 - 15 ACH minimum for guest rooms with en-suite bathrooms |
| **Industrial ventilation** | **3.15** | Sufficient to minimise airborne contamination |
| **Laboratories** | **3.16** | 6 - 15 ACH (allowance must be made for fume cupboards) |

CIBSE Guide B2 กำหนดให้ ห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัยที่อยู่ในอาคารสูง จะต้องมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 0.5 – 1 ACH

### 2.3.3.3. DIN EN 15251

มาตรฐาน DIN EN 15251 นั้นเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับคุณภาพของสิ่งแวดล้อมและการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ คุณภาพอากาศ, อุณหภูมิ, แสง และเสียงภายในอาคาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 ประเภทอาคารตามมาตรฐาน DIN EN 15251

| Category | Explanation |
|---|---|
| I | High level of expectation and is recommended for spaces occupied by very sensitive and fragile persons with special requirements like handicapped, sick, very young children and elderly persons |
| II | Normal level of expectation and should be used for new buildings and renovations |
| III | An acceptable, moderate level of expectation and may be used for existing buildings |
| IV | Values outside the criteria for the above categories. This category should only be accepted for a limited part of the year |

Note: In other standards like EN13779 and EN ISO 7730 categories are also used; but may be named different ( A, B, C or 1, 2, 3 etc.)

ตารางที่ 11 การระบายอากาศตามมาตรฐาน DIN EN 15251

| Category | Air change rate [1] | | Living room and bedrooms, mainly outdoor air flow | | Exhaust air flow, l/s | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | l/s,m$^2$ (1) | ach | l/s, pers[2] (2) | l/s/m$^2$ (3) | Kitchen (4a) | Bathrooms (4b) | Toilets (4) |
| I | 0,49 | 0,7 | 10 | 1,4 | 28 | 20 | 14 |
| II | 0,42 | 0,6 | 7 | 1,0 | 20 | 15 | 10 |
| III | 0,35 | 0,5 | 4 | 0,6 | 14 | 10 | 7 |

[1] The air change rates expressed in l/sm$^2$ and ach correspond to each other when the ceiling height is 2,5 m

[2] The number of occupants in a residence can be estimated from the number of bedrooms. The assumptions made at national level have to be used when existing, they may vary for energy and for IAQ calculations.

DIN EN 15251 กำหนดให้ ห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัยระดับมาตรฐาน (อาคารประเภทที่ 2 จากตารางที่10) จะต้องมีปริมาณการระบายอากาศอยู่ที่ 7 ลิตร/วินาที/จำนวนห้องนอน เช่นหากมีห้องนอน 2 ห้องจะต้องการอัตราการระบายอากาศอยู่ที่ 14 ลิตร/วินาที เป็นต้น หรือหากคิดเป็น ตร.ม.จะอยู่ที่ 1.0 ลิตร/วินาที/ตร.ม.

### 2.3.3.4. กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537)

กฎกระทรวง ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 โดยหมวด 3 ได้กล่าวถึง ระบบการจัดแสงสว่างและการระบายอากาศภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งมีการแบ่งเกณฑ์การกำหนดอัตราการระบายอากาศจากประเภทการใช้งานของอาคาร โดยมีข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติหรือวิธีกลตามตารางที่ 12 ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติหรือวิธีกล (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537)

| ลำดับ | สถานที่ (ประเภทการใช้) | อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรต่อห้องใน 1 ชม. |
|---|---|---|
| 1 | ห้องน้ำ ห้องส้วมของที่พักอาศัยหรือสำนักงาน | 2 |
| 2 | ห้องน้ำ ห้องส้วมของอาคารสาธารณะ | 4 |
| 3 | ที่จอดรถที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน | 4 |
| 4 | โรงงาน | 4 |
| 5 | โรงมหรสพ | 4 |
| 6 | อาคารพาณิชย์ | 4 |
| 7 | ห้างสรรพสินค้า | 4 |

| ลำดับ | สถานที่ (ประเภทการใช้) | อัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรต่อห้องใน 1 ชม. |
|---|---|---|
| 8 | สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม | 7 |
| 9 | สำนักงาน | 7 |
| 10 | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด | 7 |
| 11 | ห้องครัวของที่พักอาศัย | 12 |
| 12 | ห้องครัวของสถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม | 24 |

กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) กำหนดให้ห้องพักในอาคารชุด จะต้องมีอัตราการระบายอากาศด้วยระบบวิธีธรรมชาติหรือวิธีกล ไม่น้อยกว่า 7 ACH

และมีการแบ่งเกณฑ์การกำหนดอัตราการระบายอากาศจากประเภทการใช้งานของอาคาร โดยมีข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับอากาศ ตามตารางที่ 13 ดังนี้

ตารางที่ 13 อัตราการระบายการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับภาวะอากาศ (กฎกระทรวงฉบับที่ 39, 2537)

| ลำดับ | สถานที่ | ลบ.ม. / ชั่วโมง / ตร.ม. |
|---|---|---|
| 1 | ห้างสรรพสินค้า (ทางเดินชมสินค้า) | 2 |
| 2 | โรงงาน | 2 |
| 3 | สำนักงาน | 2 |
| 4 | สถานอาบ อบ นวด | 2 |
| 5 | ชั้นติดต่อธุระกับธนาคาร | 2 |
| 6 | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด | 2 |
| 7 | ห้องปฏิบัติการ | 2 |
| 8 | ร้านตัดผม | 3 |
| 9 | สถานโบว์ลิ่ง | 4 |
| 10 | โรงมหรสพ (บริเวณที่นั่งสำหรับคนดู) | 4 |
| 11 | ห้องเรียน | 4 |
| 12 | สถานบริหารร่างกาย | 5 |
| 13 | ร้านเสริมสวย | 5 |
| 14 | ห้องประชุม | 6 |
| 15 | ห้องน้ำ ห้องส้วม | 10 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ลำดับ | สถานที่ | ลบ.ม. / ชั่วโมง / ตร.ม. |
|---|---|---|
| 16 | สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม | 10 |
| 17 | ไนต์คลับ บาร์ หรือสถานลีลาศ | 10 |
| 18 | ห้องครัว | 30 |
| 19 | โรงพยาบาล | |
| | - ห้องคนไข้ | 2 |
| | - ห้องผ่าตัดและห้องคลิด | 8 |
| | - ห้อง ไอ.ซี.ยู. | 5 |

กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) กำหนดให้ห้องพักในอาคารชุด จะต้องมีอัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับอากาศไม่น้อยกว่า 2 ACH

**2.3.3.5. วสท. 3003 – 40**

วสท. (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์) โดยมาตรฐาน วสท. 3003 - 40 นั้น กล่าวถึงมาตรฐานระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ โดยได้มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่ปรับภาวะอากาศหรือดูดอากาศจากภายในพื้นที่ปรับภาวะอากาศขับออกไปภายนอก จะต้องมีอัตราไม่น้อยกว่าตารางที่ 14 ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 14 อัตราการระบายอากาศตามข้อกำหนดของ วสท.3003 - 40

| ลำดับ | สถานที่ | $m^3$ / hr per $m^2$ | CFM / $m^2$ |
|---|---|---|---|
| 1 | ห้างสรรพสินค้า (ทางเดินชมสินค้า) | 2 | 1.2 |
| 2 | โรงงาน | 2 | 1.2 |
| 3 | สำนักงาน | 2 | 1.2 |
| 4 | สถานอาบ อบ นวด | 2 | .2 |
| 5 | ชั้นติดต่อธุระกับธนาคาร | 2 | 1.2 |
| 6 | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด | 2 | 1.2 |
| 7 | ห้องปฏิบัติการ | 2 | 1.2 |
| 8 | ร้านตัดผม | 3 | 1.8 |
| 9 | สถานโบว์ลิ่ง | 4 | 2.4 |
| 10 | โรงมหรสพ (บริเวณที่นั่งสำหรับคนดู) | 4 | 2.4 |
| 11 | ห้องเรียน | 4 | 2.4 |
| 12 | สถานบริหารร่างกาย | 5 | 3.0 |
| 13 | ร้านเสริมสวย | 5 | 3.0 |
| 14 | ห้องประชุม | 6 | 3.6 |
| 15 | ห้องน้ำ ห้องส้วม | 10 | 5.9* |
| 16 | สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม | 10 | 5.9 |
| 17 | ไนต์คลับ บาร์ หรือสถานลีลาศ | 10 | 5.9 |
| 18 | ห้องครัว | 30 | 17.7** |
| 19 | โรงพยาบาล | | |
| | - ห้องคนไข้ | 2 | 1.2 |
| | - ห้องผ่าตัดและห้องคลิด | 8 | 4.8 |
| | - ห้อง ไอ.ซี.ยู. | 5 | 3.0 |

* ไม่น้อยกว่า 50 CFM ต่อห้อง

**ไม่น้อยกว่า 100 CFM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากมาตรฐานทั้งหมด สามารถสรุปข้อบังคับของอัตราการระบายอากาศของห้องนอนภายในอาคารชุดพักอาศัยได้ตามตารางที่ 15 ดังนี้

ตารางที่ 15 สรุปข้อบังคับของอัตราการระบายอากาศในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย

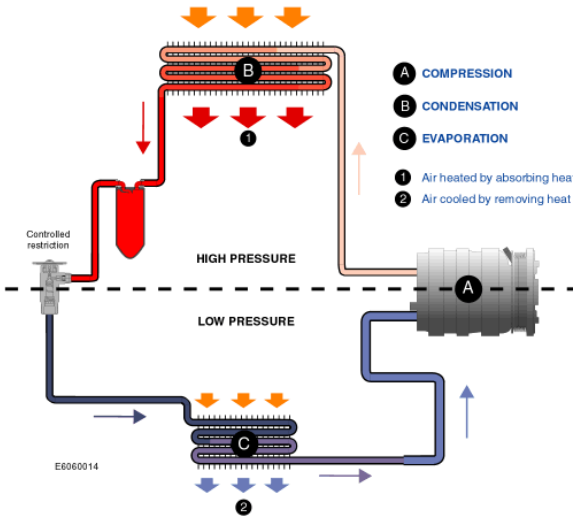
| มาตรฐาน | ข้อกำหนด | ปริมาณการระบายอากาศ | หน่วย |
|---|---|---|---|
| ASHARE 62.2-2016 | ห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัย | ตามพื้นที่ / จำนวนห้องนอน | CFM/$f^2$ |
| ASHARE 62.2-2016 | ห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัย | ตามพื้นที่ / จำนวนห้องนอน | L/s $m^2$ |
| CIBSE | ห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัย | 0.5-1 | ACH |
| DIN EN 15251 | ห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัยเดิม | 7 | L/s , (ต่อจำนวนห้องนอน) |
| DIN EN 15251 | ห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัยเดิม | 1.0 | L/s/$m^2$ |
| กฎกระทรวง 39 (2537) | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุดพักอาศัย ด้วยระบบวิธีธรรมชาติหรือวิธีกล | 7 | $m^3$ / hr per $m^2$ |
| กฎกระทรวง 39 (2537) | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุดพักอาศัย กรณีที่มีระบบปรับภาวะอากาศ | 2 | $m^3$ / hr per $m^2$ |
| วสท. 3003 – 40 | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุดพักอาศัย กรณีที่มีระบบปรับภาวะอากาศ | 2 | $m^3$ / hr per $m^2$ |
| วสท. 3003 – 40 | ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุดพักอาศัย กรณีที่มีระบบปรับภาวะอากาศ | 1.2 | CFM / $m^2$ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 2.4. ปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับการทำความเย็นภายในอาคารชุดพักอาศัย

### 2.4.1. ระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารชุดพักอาศัย

ในปัจจุบันอาคารชุดพักอาศัยส่วนใหญ่ ใช้ระบบปรับอากาศเป็นระบบแยกส่วน ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศชนิดระบบปิด ไม่มีการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาเติม




รูปที่ 9 การทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากรูปที่ 9 พบว่า การทำความเย็นในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นเป็นการทำความเย็นโดยใช้หลักการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็น โดยการใช้เครื่องคอมเพรสเซอร์ในการอัดหรือเพิ่มความดันให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากไออุณหภูมิสูง และมีความดันต่ำ ให้กลายเป็นสถานะไออุณหภูมิสูงและมีความดันสูง ซึ่งในกระบวนการนี้สารทำความเย็นจะมีการคายความร้อนออกมา ดังนั้นจึงต้องมีพัดลมเป่าเพื่อระบายความร้อนออกไป จากนั้นสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ที่มีอุณหภูมิสูงและความดันสูง ไหลผ่านอุปกรณ์ลดความดัน ทำให้อุณหภูมิลดลงและความดันต่ำลง จากนั้นสารทำความเย็นนี้จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ทำความเย็นเพื่อทำความเย็นให้แก่อากาศภายในห้อง จากนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็น ทำให้เกิดการระเหยเปลี่ยนเป็นไออุณหภูมิสูงที่มีความดันต่ำ จากนั้นเข้าสู่เครื่องคอมเพรสเซอร์และเกิดกระบวนการดังกล่าวอีกครั้ง เป็นวงจรในการทำความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศระบบ Split type ที่ใช้กันในอาคารชุดพักอาศัยปัจจุบัน

จากกระบวนการการทำความเย็นดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การใช้ระบบปรับอากาศแบบนี้ เป็นระบบการทำความเย็นแบบปิด ไม่มีการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาเติมในอาคารจะเห็นได้ว่า อากาศนั้นไหลหมุนเวียนอยู่แต่ภายในห้องเท่านั้น

**2.4.2. การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการระบายอากาศ**

**2.4.2.1. สูตรการคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ**

$$Q = 1.08 \times CFM \times \Delta t \qquad (18)$$

โดย Q คือ ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (BTU/ชม.)

CFM คือ อัตราการรั่วซึมอากาศ (ลบ.ฟุต/นาที)

$\Delta t$ คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (°F)

**2.4.2.2. สูตรการคำนวณปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการระบายอากาศ**

$$q_s = 1200 \times Q \times \Delta t \qquad (19)$$

โดย $q_s$ คือ ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการระบายอากาศ (SI Units: วัตต์)

1200 คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ

Q คือ อัตราการระบายอากาศ (SI Units: ลบ.ม.ต่อวินาที)

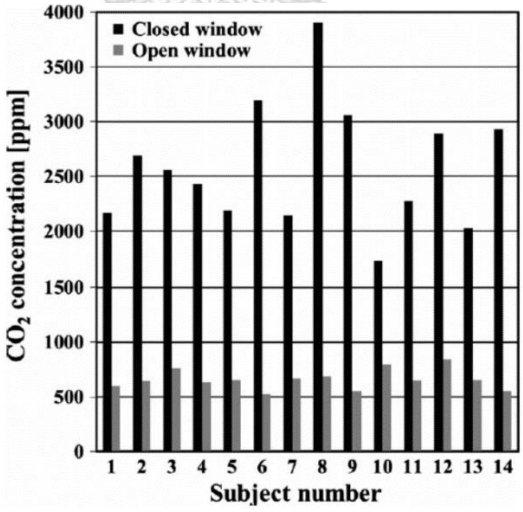
$\Delta t$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคาร และภายนอกอาคาร (SI Units: เคลวิน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณภาพอากาศภายในส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์จึงทำให้มีงานวิจัยต่าง ๆ จำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว โดยจากงานวิจัยของ Michael R. Irwin (2014) ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การนอนหลับสำคัญอย่างไรกับร่างกาย โดยจากการวิจัยนั้นพบว่า การนอนหลับอย่างเพียงพอและเต็มประสิทธิภาพนั้นช่วยปรับภูมิคุ้มกันภายในร่างการ ลดความเสี่ยงจากการติดเชื้อไวรัส แบคทีเรีย การอักเสบ และโรคที่มีภาวะเรื้อรังได้ นอกจากนั้นทางการแพทย์ได้ระบุว่าการนอนหลับไม่เพียงพอหรือนอนหลับไม่สนิท ยังส่งผลต่อกลไกทางชีวภาพของมนุษย์อีกด้วย การนอนหลับจึงถือเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ (Irwin, 2015)

P. Strøm-Tejsen, D. Zukowska, P. Wargocki, และ D. P. Wyon (2015) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการนอนหลับของผู้ใช้งานอาคาร โดยทำการทดสอบให้ผู้อยู่อาศัยนอนในห้องที่มีการเปิดหน้าต่างเพื่อระบายอากาศโดยมีค่าระดับของคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 660-880 ppm จากนั้นทำการทดลองครั้งที่สองในห้องนอนที่ไม่มีการระบายอากาศ พบว่าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ 1780 – 3950 ppm จากนั้นทำการเก็บข้อมูลจากนาฬิกาข้อมือที่บันทึกพฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารไว้ รวมถึงการทำแบบสอบถามเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของวันถัดไปที่เกิดขึ้น พบว่าคุณภาพการนอนหลับ ความรู้สึกสดชื่นหลังการตื่นนอน และประสิทธิภาพของการทำงานนั้นดีขึ้น เมื่อระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอากาศนั้นลดลง (Strøm-Tejsen, Zukowska, Wargocki, & Wyon, 2015)




รูปที่ 10 ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงหลังการเปิดหน้าต่างภายในห้องนอน (Strøm-Tejsen P., Zukowska D., Wargocki P., and Wyon D. P., 2015)

| Variable | Freshness of air ($P < 0.0010$) | | Air movement ($P < 0.0555$) | | Ability to fall asleep ($P < 0.0303$) | | Next-day sleepiness ($P < 0.0516$) | | Nasal dryness ($P < 0.0480$) | | Lip dryness ($P < 0.0413$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Scale endpoint values | 100: Fresh air<br>0: Stuffy air | | 100: Draughty<br>0: Stagnant | | 100: Very easy<br>0: Very difficult | | 100: Sleepy<br>0: Fresh | | 100: Nose dry<br>0: Nose running | | 100: Lips dry<br>0: Lips not dry | |
| Condition | Window closed | Window open | Window closed | Window open | Window closed | Window open | Window closed | Window open | Window closed | Window open | Window closed | Window open |
| 75% quartile | 40.3 | 71.3 | 49.8 | 68.6 | 72.4 | 84.6 | 56.6 | 42.3 | 72.6 | 65.7 | 70.1 | 71.0 |
| Median | 34.5 | 67.5 | 46.3 | 54.0 | 60.5 | 74.8 | 45.4 | 38.9 | 66.5 | 55.6 | 61.0 | 66.5 |
| 25% quartile | 27.1 | 58.6 | 34.6 | 49.6 | 51.8 | 61.8 | 30.9 | 28.4 | 58.4 | 50.8 | 49.7 | 60.2 |

รูปที่ 11 ประสิทธิภาพของการทำงานวันถัดไปเปรียบเทียบระหว่างห้องนอนที่เปิดหน้าต่าง และปิดหน้าต่าง (Strøm-Tejsen P., Zukowska D., Wargocki P., and Wyon D. P., 2015)

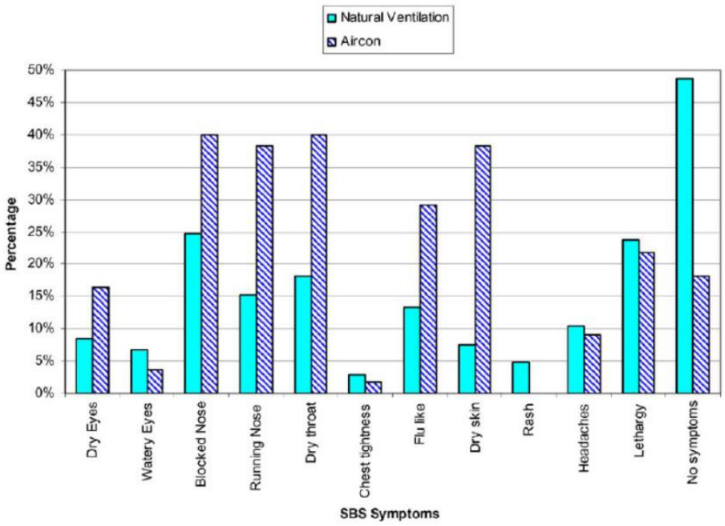
นอกจากงานวิจัยในต่างประเทศที่มีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนแล้วนั้น งานวิจัยภายในประเทศไทยก็ได้มีการศึกษาเรื่องนี้เช่นด้วยกัน โดย ดารณี จารีมิตร, พันธ์พิสุ จุลพันธ์วัฒนา และจิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์ (2560) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพในการนอนหลับและประสิทธิภาพการทำงาน ที่เกิดจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน โดยทำการติดตั้งเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์แบบแลกเปลี่ยนพลังงาน (Energy recovery ventilator) ภายในห้องนอน ปรับเปลี่ยนอัตราการเติมอากาศที่ 0 40 และ 60 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง จากนั้นทำการเก็บข้อมูล พบว่ายิ่งมีการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้ามาภายในห้องนอนมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนั้นลดลง รวมถึงคุณภาพในการนอนหลับและประสิทธิภาพในการทำงานมีสูงขึ้น ทำให้เห็นว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือตัวแปรที่ช่วยทำให้ผู้อยู่อาศัยภายในอาคารมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (ดารณี จารีมิตร พันธ์พิสุ จุลพันธ์วัฒนา และจิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์, 2560)

| Occupant's satisfaction | | Before bedtime | | After waking up | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 40vent | 60vent | 40vent | 60vent |
| Air cleanliness | Occupant 1 | 3% | 7% | 13% | 15% |
| | Occupant 2 | 15% | 19% | 22% | 24% |
| Air movement | Occupant 1 | 3% | 12% | 7% | 11% |
| | Occupant 2 | 12% | 7% | 24% | 22% |
| Noise level | Occupant 1 | 0% | 5% | 0% | 0% |
| | Occupant 2 | 8% | 1% | 2% | 1% |
| Lighting quality | Occupant 1 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Occupant 2 | -4% | -4% | -2% | -3% |

รูปที่ 12 ปริมาณการเติมอากาศบริสุทธิ์ภายในห้องนอน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานวันถัดไป (ดารณี จารีมิตร, พันธ์พิสุ จุลพันธ์วัฒนา และ จิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์, 2560)

นอกจากนี้ยังได้มีงานวิจัยของ Nyuk Hien Wong และ Bernard Huang (2004) ซึ่งได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารชุดพักอาศัยของประเทศสิงคโปร์ และการศึกษาเกี่ยวกับการเสี่ยงที่จะเป็นโรค SBS หรือ Sick Building Syndrome ที่เกิดขึ้นจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยหลัง

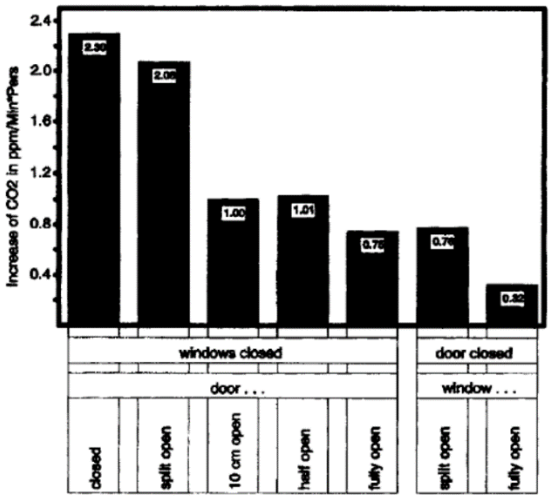
การศึกษาพบว่าห้องพักที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งไม่มีการเติมอากาศบริสุทธิ์เข้ามาภายในมีการตรวจพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่สูงมากกว่า 1000 ppm ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานของ ASHRAE Standard ต่างกับห้องพักที่มีการเปิดหน้าต่างซึ่งใช้ลมธรรมชาติในการระบายอากาศ ซึ่งมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่า 1000 ppm ทำให้เห็นว่าการระบายอากาศทางธรรมชาติเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องพัก นอกจากนั้นจากผลการศึกษายังพบว่า ผู้ที่อาศัยอยู่ในห้องพักที่ติดระบบปรับอากาศนั้นมีความเสี่ยงที่จะเป็นโรค SBS มากกว่า (Wong & Huang, 2004)




รูปที่ 13 การเปรียบเทียบห้องพักที่มีการระบายอากาศธรรมชาติ และห้องพักที่ติดระบบปรับอากาศ (Wong & Huang, 2004)

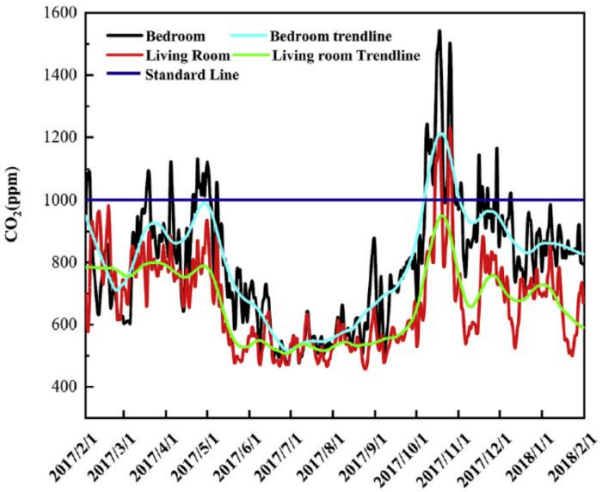
จากงานวิจัยดังกล่าวจะเห็นได้ว่า อาคารที่มีการระบายอากาศนั้นทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารดีขึ้น อีกหนึ่งงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องนี้คือ งานวิจัยของ J. Fehkmann และ H.U. Wanner (1993) ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคารพักอาศัยในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยศึกษาปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในห้องพัก จากการทดสอบพบว่าห้องนอนที่ถูกปิดประตูและหน้าต่างสนิทนั้นมีอัตราการระบายเพียง 0.01-0.5 ACH เท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อทำการวัดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีความสูงมากถึง 4,300 ppm โดยจากการทดลองได้ทำการเปิดประตูหรือหน้าต่างด้วยระยะความกว้างเพียง 10 ซม.[2] ก็มีส่วนช่วยให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดต่ำลงได้เหลือเพียง 1,500 ppm ซึ่งอยู่ในปริมาณที่ไม่มากจนเกินไป แสดงให้เห็นว่าการเปิดช่องระบายอากาศเพียงเล็กน้อย นั้นสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Fehkmann & Wanner, 1993)

[2] มีการทำการทดลองในห้องนอนหลายห้องจึงไม่ได้มีการระบุขนาดของช่องเปิดในงานวิจัยชิ้นนี้ ระบุเพียงระยะของหน้าต่างที่ถูกเปิดไว้

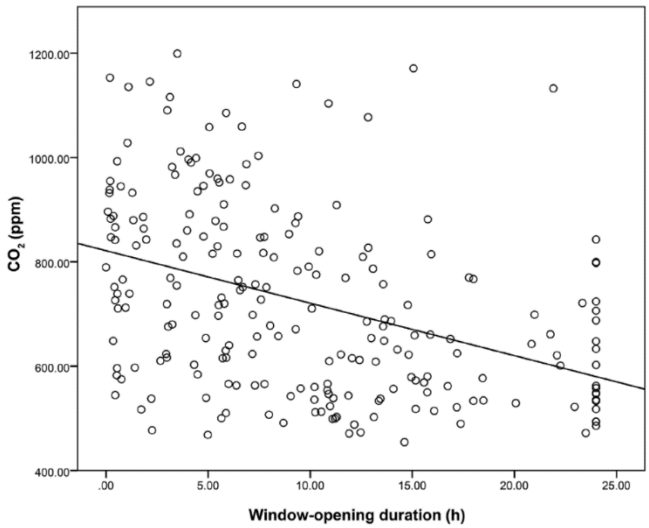



รูปที่ 14 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงจากการเปิดประตู หรือหน้าต่าง (Fehkmann & Wanner, 1993)

ในประเทศแถบภูมิภาคเอเชีย ก็มีงานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีการวิเคราะห์ถึงภูมิอากาศและลักษณะการใช้ชีวิตของผู้ใช้งานอาคารอีกด้วย โดยเป็นงานวิจัยของ Kailiang Huang, Jiasen Song, Guohui Feng, Qunpeng Chang, Bian Jiang, Jun Wang, Wen Sun, Huixing Li, Jinming Wang และ Xianshi Fang (2018) ซึ่งได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคารชุดพักอาศัยของประเทศจีน โดยพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนนั้นมีค่าสูงสุด เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ถูกใช้เป็นเวลานาน และจากการวัดพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในฤดูหนาวนั้นมีค่าสูงกว่าในฤดูร้อน เนื่องจากในช่วงฤดูหนาวอากาศภายในมีความเย็นสูงทำให้ผู้คนเลือกที่จะปิดหน้าต่าง แตกต่างกับในช่วงฤดูร้อนที่คนมักจะเปิดหน้าต่างมากกว่า




รูปที่ 15 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในห้องนอน และห้องรับแขก (Huang et al., 2015)

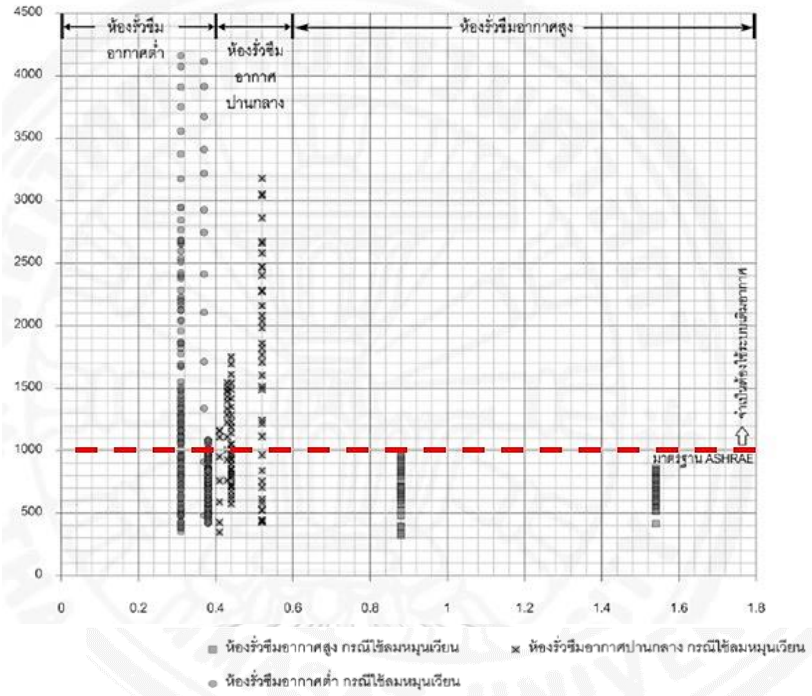



รูปที่ 16 ระยะเวลาของการเปิดหน้าต่างกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (Huang et al., 2015)

งานวิจัยดังกล่าวยังได้ศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาของการเปิดหน้าต่างอีกด้วย โดยยิ่งมีระยะเวลาการเปิดหน้าต่างมากเท่าใด ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะมีปริมาณลดลงมากขึ้นเท่านั้น ตามผลการทดลองจากรูปที่ 16

ด้านงานวิจัยในประเทศไทยที่มีความเกี่ยวข้องเกี่ยวกับอัตราการระบายอากาศภายในอาคารนั้นมีหลากหลายงานวิจัยด้วยกันทั้งการศึกษาในอาคารสาธารณะ และอาคารพักอาศัย ซึ่งงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเปิดช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาตินั้นได้แก่งานวิจัยของ ปาริณี ศรีสุวรรณ์ (2554) ได้ทำการศึกษาวิจัยภายในห้องเรียนพบว่าในห้องที่มีระดับการรั่วซึมอากาศสูง พบว่ามีระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า ห้องที่มีระดับการรั่วซึมของอากาศต่ำ เพราะอากาศภายนอกที่รั่วเข้ามาช่วยเจือจางระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้น้อยลง การใช้พัดลมหมุนเวียนเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ตามมาตรฐานนั้นจึงสามารถทำได้ในห้องที่มีระดับการรั่วซึมสูง แต่ไม่เพียงพอสำหรับห้องที่มีการรั่วซึมอากาศต่ำ ดังรูปที่ 17

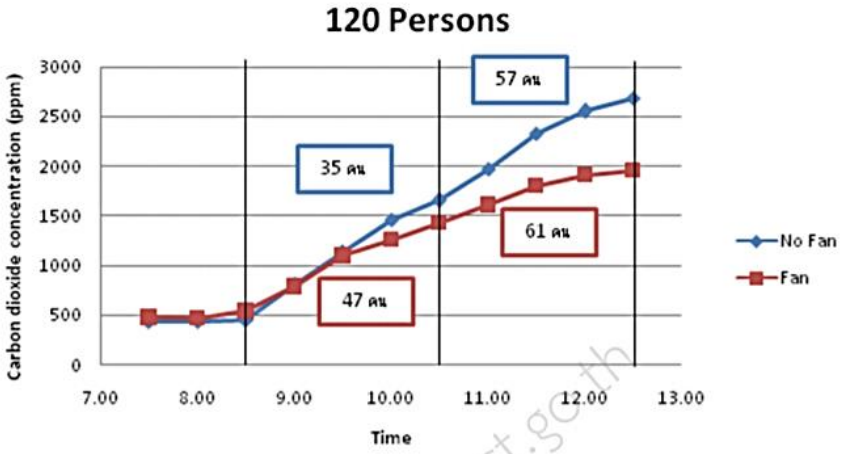
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




รูปที่ 17 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องที่มีอัตราการรั่วซึมอากาศที่แตกต่างกัน (ปาริณี ศรีสุวรรณ์, 2554)

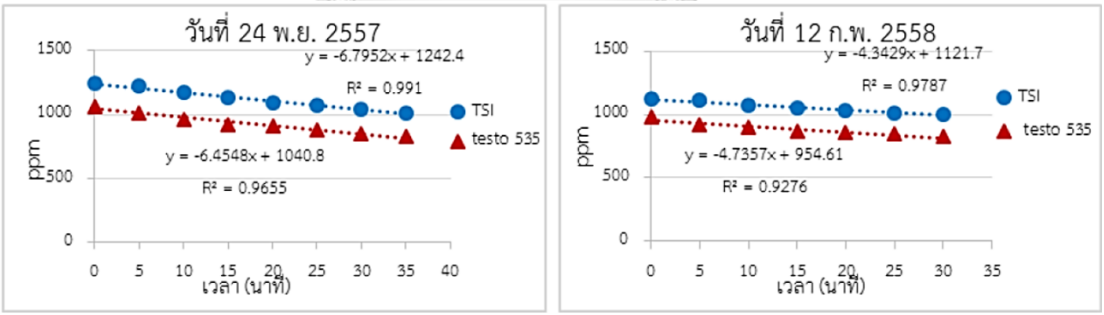
จากการศึกษาผลว่า ห้องที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงนั้นทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักและเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังนั้นการใช้เครื่อง ERV ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อาจไม่คุ้มเพราะจะทำให้เครื่องทำงานหนักและสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากจะมีอากาศไหลรั่วซึมอยู่ตลอดเวลา ห้องดังกล่าวจึงเหมาะแก่การใช้วิธีการระบายอากาศแบบธรรมชาติมากกว่า

อีกหนึ่งงานวิจัยในประเทศที่เกี่ยวกับการระบายอากาศธรรมชาติภายในห้องเรียน คืองานวิจัยของ ภัทรวุฒิ วงษ์สุวรรณ์ (2555) ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการระบายอากาศ ภายในห้องเรียนซึ่งมีขนาดแตกต่างกันไป โดยมีเป้าหมายไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์เกิน 1000 ppm. ตามมาตรฐาน ซึ่งจากการทดลองโดยใช้พัดลมระบายอากาศพบว่าการติดพัดลมระบายอากาศติดทางเดินภายในอาคารสามารถลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้มากถึง 60% เมื่อเปรียบเทียบกับการระบายอากาศโดยใช้อากาศจากภายนอกอาคาร เนื่องด้วยอุณหภูมิของอากาศที่อยู่บริเวณทางเดินภายในอาคารนั้นต่ำกว่าอากาศบริเวณภายนอกอาคาร เครื่องปรับอากาศจึงทำงานหนักน้อยลงเมื่อนำอากาศบริเวณทางเดินเข้ามาใช้ภายในห้องเรียน




รูปที่ 18 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องที่มีการติดพัดลมระบายอากาศ และไม่ติดพัดลมระบายอากาศ (ภัทรวุฒิ วงษ์สุวรรณ์, 2555)

งานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเรียน และมีการคำนวณของปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยคือ งานวิจัยของ อริสา กาญจนากระจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง (2560) งานวิจัยดังกล่าวเป็นการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องเรียนจากนั้นทำการหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยใช้วิธีการปล่อยนักเรียนออกจากห้องเรียน แล้วเริ่มวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องเรียนที่ค่อย ๆ สลายตัวไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณ พบว่าภายในห้องเรียนที่ทำการทดลองนั้นล้วนมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินมาตรฐาน และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ไม่เพียงพอทั้งสิ้น โดยวิธีการหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศดังกล่าว เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้




รูปที่ 19 วิธีที่ใช้ในการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยวัดการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (อริสา กาญจนากระจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง, 2560)

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยในประเทศที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการระบายอากาศภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย โดยเป็นงานวิจัยของ พิมพ์พรรณ จิโรจน์วงศ์, ชมพูนุท แสงกาญจนวนิช, อรรจน์ เศรษฐบุตร, สฤกกา พงษ์สุวรรณ และจิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์ (2561) ที่ได้ศึกษาการวัดค่าการระบายอากาศของห้องพักอาศัยคอนโดมิเนียมโดยวิธีการสลายของแก๊ส และการอัดอากาศ โดยพบว่าการทดลองทั้งสองวิธีนั้นสามารถวัดค่าการระบายอากาศได้ใกล้เคียงกัน (พิมพ์พรรณ จิโรจน์วงศ์, 2561)

จากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยนั้นพบว่าหากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงจะยิ่งส่งผลกระทบต่อการนอนหลับของผู้พักอาศัยภายในอาคารมากเท่านั้น นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบไปสู่ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้อยู่อาศัยในเวลาเช้าวันถัดไปอีกด้วย โดยห้องนอนที่มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงนั้นเป็นเหตุให้เช้าวันถัดไปไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เกิดความเพลียและอ่อนล้า (P. Strøm-Tejsen, D. Zukowska, P. Wargocki, and D. P. Wyon, 2005) การเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องโดยเพิ่มปริมาณอากาศบริสุทธิ์เข้ามานั้นทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องมีปริมาณลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการนอนหลับและการทำงานในวันถัดไปมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (ดารณี จารีมิตร, พันธ์พิสุ จุลพันธ์วัฒนาม และ จิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์, 2560) การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นอกจากจะช่วยให้ผู้พักอาศัยมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นแล้ว การเพิ่มการระบายอากาศยังมีส่วนช่วยให้สุขภาพของผู้อยู่อาศัยดีขึ้นด้วย ลดความเสี่ยงในการเกิดโรค SBS หรือ Sick Building Syndrome อีกด้วย (Nyuk Hien Wong และ Bernard Huang, 2004) วิธีหนึ่งที่ใช้ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องพักคือ การเปิดหน้าต่างหรือประตูเพื่อเพิ่มอัตราการไหลเวียนอากาศและการระบายอากาศก็สามารถช่วยลดได้เช่นกัน แม้จะเปิดเพียงเล็กน้อย (Fehkmann และ H.U. Wanner, 1993) ระยะเวลาในการเปิดหน้าต่างก็เป็นอีกปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวกับการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องพักเช่นกัน ระยะเวลาเปิดมากก็ส่งผลให้คาร์บอนไดออกไซด์ลดลงมาก (Kailiang Huang, Jiasen Song, Guohui Feng, Qunpeng Chang, Bian Jiang, Jun Wang, Wen Sun, Huixing Li, Jinming Wang และ Xianshi Fang, 2018)

นอกจากนี้งานวิจัยภายในประเทศไทย ได้มีการทำการศึกษาในอาคารสาธารณะอย่างห้องเรียน ซึ่งมีการตรวจสอบอัตราการระบายอากาศภายในห้องเรียนพบว่าห้องเรียนส่วนมาก มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงเกินมาตรฐาน และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องที่ไม่เพียงพอ (อริสา กาญจนากระจ่าง, 2560) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาห้องเรียนโดยเป็นการทดสอบในห้องที่มีอัตราการรั่วซึมไม่เท่ากัน ซึ่งจากการทดสอบพบว่าห้องที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงมากจนเกินไปนั้นทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักและเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังนั้นจึงไม่ควรใช้เครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเปิดช่องระบายอากาศหรือใช้พัดลมระบายอากาศจึงเหมาะสมมากกว่า (ปาริณี ศรีสุวรรณ์, 2554) การติดตั้งพัดลมระบายอากาศโดยนำอากาศบริสุทธิ์จากทางเดินภายในอาคารเข้ามาเติมในห้องนั้น ช่วยลดพลังงานของเครื่องปรับอากาศมากกว่าการนำอากาศบริสุทธิ์จากบริเวณภายนอกเข้ามาในอาคาร (ภัทรวุฒิ วงษ์สุวรรณ์, 2555)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยต่าง ๆ เหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) กับ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงาน ความสิ้นเปลือง และความคุ่มค่าต่อการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติ ของห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยแบบไทย การศึกษาเพื่อให้ได้แนวทางการออกแบบการระบายอากาศด้วยการใช้ช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติที่ควบคุมอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกให้เหมาะสมต่อคุณภาพอากาศภายใน และการใช้พลังงาน จึงเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยที่มีส่วนประกอบของการทดลองแบบปฏิบัติการ และรวมถึงการคำนวณ เพื่อหาความคุ้มค่าในแง่การระบายอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน โดยผลการศึกษาครั้งนี้จะนำไปสู่การเลือกใช้ขนาดช่องระบายอากาศที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการระบายอากาศภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ส่วนแรกคือ การสำรวจปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัยเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 5 แห่ง โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASHRAE 62.2-2016 และ WELL Building Standards เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ก่อนเริ่มทำการทดลอง

ส่วนที่สองคือ การทำการทดลองโดยการเก็บข้อมูลภายในห้องนอนที่ถูกเลือก 2 ห้อง ซึ่งมีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. และ 31.10 ลบ.ม. โดยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่มีการเปิดช่องระบายอากาศขนาดแตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และขนาดช่องระบายอากาศ จากนำทำการวัดอัตราการไหลของอากาศเพื่อนำมาคำนวณในกลายเป็นอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ รวมถึงการทำการทดลองโดยใช้กล่อง เจาะช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน เก็บค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกล่องทดลอง แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่าจากห้องนอน

ส่วนสุดท้ายคือการนำข้อมูลที่ได้จากการทำการทดลองมาประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยการใช้โปรแกรม VisualDoe 4.1 หาความสิ้นเปลืองพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศ เปรียบเทียบกับข้อมูลการคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจากระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ (Energy recovery ventilator) แล้วสรุปผลการทดลอง

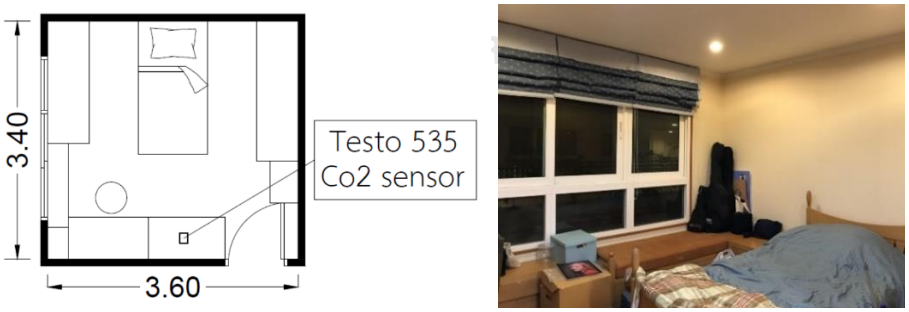
Chulalongkorn University

## 3.1. การสำรวจห้องนอน อาคารชุดพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร

โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทำการวัดคือ Testo 535[3] เป็นเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสำหรับงานปรับอากาศ ช่วงการวัด 0 ถึง 9,999 ppm $CO_2$ เซนเซอร์ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน ±(50 ppm +2% ของค่าที่วัดได้) โดยทำการวัดในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย ทั้งหมด 5 ห้องที่มีขนาดที่แตกต่างกัน เก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 20:00 น. – 08:00 น. มีผู้เข้าใช้งานห้องพักจำนวน 2 คน โดยเข้าห้องนอนตั้งแต่เวลา 20:00 น. และออกจากห้องนอนเวลา 06:00 น. ในตอนเช้า จากนั้นบันทึกค่าของก๊าซ $CO_2$ จนถึงระยะเวลา 8:00 น.

รูปที่ 20 การใช้เครื่อง Testo 535 ในการเก็บค่าคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน โดยในการเก็บข้อมูลนั้นได้ตั้งเครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในตำแหน่งสูงจากพื้น 1.20 เมตร[4]

3.1.1. ห้องนอนที่ 1 ขนาด 11.00 ตร.ม. สูง 2.5 เมตร มีปริมาตรทั้งหมด 27.50 ลบ.ม. ผู้ใช้งานจำนวน 2 คน อยู่ชั้น 4 โดยใช้เครื่องปรับอากาศระบบแยกส่วน ขนาด 8,000 BTU./hr. โดยเก็บเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 20:00 น. – 8:00 น. เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง ทุกๆ 1ชั่วโมง เก็บข้อมูลในวันที่ 1-2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561



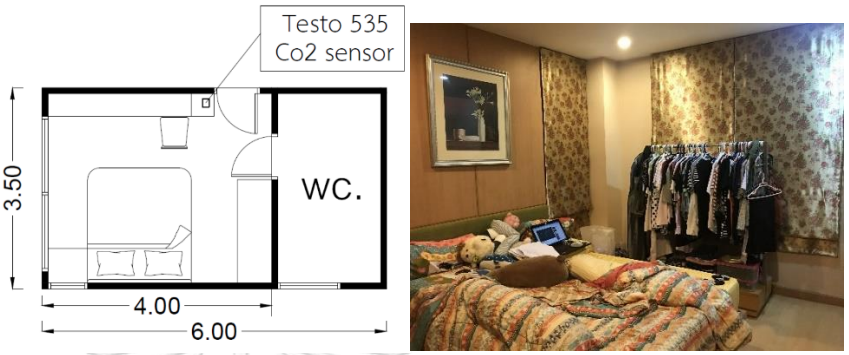

รูปที่ 21 ห้องนอนที่ 1 ย่านสุขุมวิท

---

[3] เครื่องมือ Testo 535 เป็นเครื่องมือที่ไม่มีระบบบันทึกข้อมูล วิธีการวัดต้องใช้การเปิดเครื่องและอ่านค่าด้วยมือตามเวลาที่กำหนดจึงส่งผลให้ข้อมูลปริมาณก๊าซ $CO_2$ ที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าเครื่องมือที่สามารถบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติได้

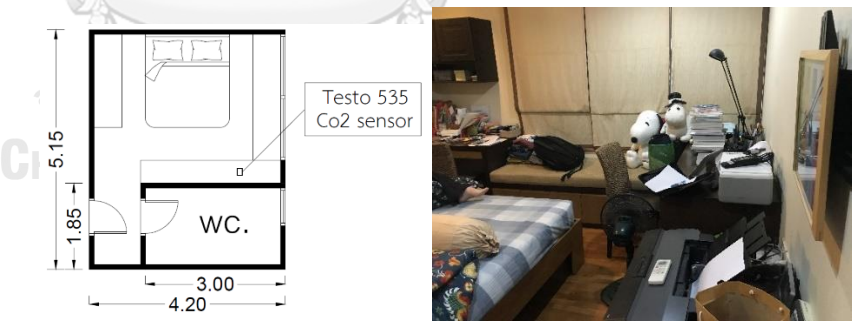
[4] ตามมาตรฐานเกณฑ์ WELL Building Standards กำหนดให้การวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้วัดในตำแหน่งสูงจากพื้น 1.10 -1.70 เมตร

3.1.2. ห้องนอนที่ 2 ขนาด 14.00 ตร.ม. สูง 2.50 เมตร มีปริมาตรทั้งหมด 35.00 ลบ.ม. ผู้ใช้งาน 2 คน อยู่ชั้น 3 โดยใช้เครื่องปรับอากาศระบบแยกส่วน ขนาด 8,000 BTU/hr โดยเก็บเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 20:00 น. – 8:00 น. เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง เก็บทุก ๆ 1 ชั่วโมง เก็บข้อมูลในวันที่ 5-6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561




รูปที่ 22 ห้องนอนที่ 2 ย่านเอกมัย

3.1.3. ห้องนอนที่ 3 ขนาด 14.80 ตร.ม. สูง 2.50 เมตร มีปริมาตรทั้งหมด 37.00 ลบ.ม. ผู้ใช้งาน 2 คน อยู่ชั้น 4 โดยใช้เครื่องปรับอากาศระบบแยกส่วน ขนาด 12,500 BTU./hr. โดยเก็บเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 20:00 น. – 8:00 น. เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง เก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง เก็บข้อมูลในวันที่ 30-31 ตุลาคม พ.ศ. 2561

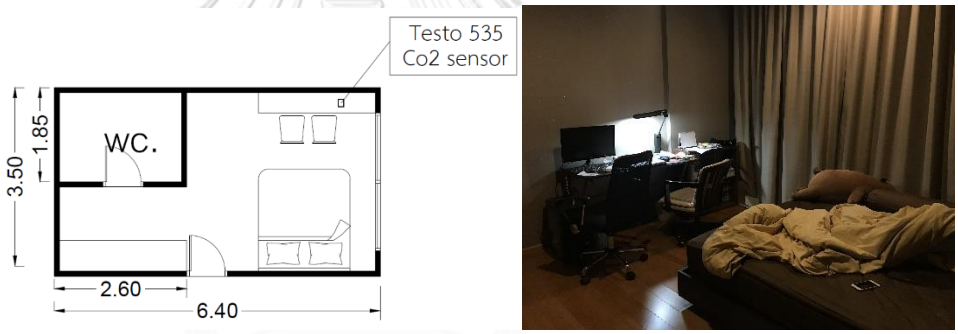



รูปที่ 23 ห้องนอนที่ 3 ย่านสุขุมวิท

3.1.4. ห้องนอนที่ 4 ขนาด 15.48 ตร.ม. สูง 2.7 เมตร มีปริมาตรทั้งหมด 41.80 ลบ.ม. ผู้ใช้งาน 2 คน อยู่ชั้น 37 โดยใช้เครื่องปรับอากาศระบบแยกส่วน ขนาด 12,500 BTU/hr. โดยเก็บเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 20:00 น. – 8:00 น. เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง เก็บทุก ๆ 1 ชั่วโมง เก็บข้อมูลในวันที่ 2-3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

รูปที่ 24 ห้องนอนที่ 4 ย่านอโศก

3.1.5. ห้องนอนที่ 5 ขนาด 17.5 ตร.ม. สูง 2.4 เมตร มีปริมาตรทั้งหมด 42.00 ลบ.ม. ผู้ใช้งาน 2 คน อยู่ชั้น 8 โดยใช้เครื่องปรับอากาศระบบแยกส่วนขนาด 12,500 BTU/hr. โดยเก็บเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ 20:00 น. – 8:00 น. เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง เก็บทุก ๆ 1 ชั่วโมง เก็บข้อมูลในวันที่ 7-8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561




รูปที่ 25 ห้องนอนที่ 5 ย่านวงเวียนใหญ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หลังจากการสำรวจห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย 5 แห่งในเขตกรุงเทพมหานครแล้ว ได้ทำการเลือกห้องนอนจำนวน 2 ห้อง สำหรับงานวิจัยในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นการทดลองแบบปฏิบัติการ และการคำนวณ โดยมีการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ และกำหนดลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการทำงานวิจัยดังนี้

## 3.2. ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

### 3.2.1. ตัวแปรต้น

3.2.1.1. ขนาดช่องระบายอากาศโดยมีขนาดตั้งแต่ 0 ตร.ซม. – 700 ตร.ซม. (เพิ่มขึ้นทีละ 50 ตร.ซม.)

### 3.2.2. ตัวแปรควบคุม

3.2.2.1. ลักษณะและขนาดของห้องนอนที่ใช้ในการวิจัย โดยมีขนาดอยู่ระหว่าง 8 – 18 ตร.ม. โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.72 ตร.ม.[5]

3.2.2.2. ลักษณะและขนาดของกล่องทดลอง6ที่ใช้ในการวิจัย โดยมีขนาดอยู่ที่ 1.00 x 1.00 x 1.00 เมตร มีปริมาตร 1.00 ลบ.ม.

3.2.2.3. จำนวนผู้ใช้งานภายในห้องนอนอยู่ที่จำนวน 2 คน

3.2.2.4. ช่วงเวลาที่ใช้ในการทำการทดลอง เฉพาะช่วงเวลาที่มีคนใช้งานภายในห้องนอนเท่านั้น

### 3.2.3. ตัวแปรตาม

3.2.3.1. ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.2.3.2. อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน

## 3.3. กำหนดลักษณะของห้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

### 3.3.1. ลักษณะของห้องนอนที่ใช้ในการทำวิจัย

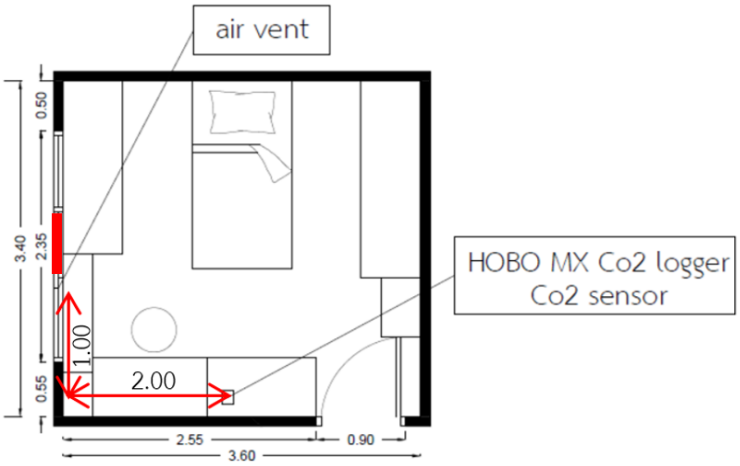
ห้องนอนที่ใช้สำหรับการทดลองมี 2 ห้องได้แก่ห้องนอน A และ B โดยทั้ง 2 ห้องอยู่ในอาคารชุดพักอาศัยเดียวกันและอยู่ในชั้น 4 ซึ่งเป็นชั้นเดียวกัน เพื่อให้สภาพแวดล้อมของทั้ง 2 ห้องนอนมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยมีการเปิดหน้าต่างและซีลปิดสนิทด้วยแผ่นพลาสติกลูกฟู จากนั้นเจาะช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกันไปบนแผ่นพลาสติกลูกฟูกตั้งแต่ขนาด 50 – 700 ตร.ซม. (เพิ่มขึ้นทีละ 50 ตร.ซม.) ตำแหน่งที่เจาะอยู่ในระดับสูงจากพื้น 1.20 ม. และอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของห้องนอนที่ใช้ทำการทดลองทั้ง 2 ห้อง เครื่องวัด $CO_2$ ที่ระดับสูงจากพื้น 1.20 เมตรและมีระยะห่าง 2.00 เมตรจากตำแหน่งของช่องระบายอากาศที่เปิด

ห้องนอน A มีขนาดความกว้าง 3.10 เมตร ยาว 3.40 เมตร ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 2.50 เมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 11.00 ตร.ม. และมีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. ดังรูปที่ 26 โดยเป็นห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยย่านสุขุมวิท

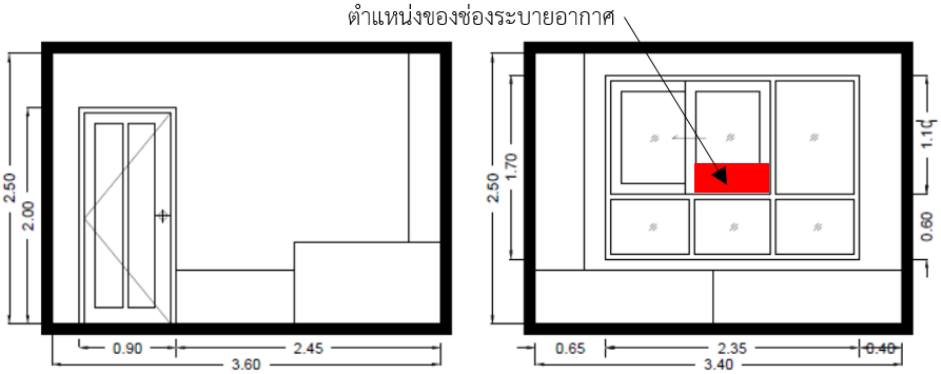
---

[5] ห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยมีขนาดประมาณ 8-18 ตารางเมตร ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.72 ตารางเมตร (ธนัญรัตน์ ผาตินาวิน, 2558)

[6] ขนาดกล่องทดลองอ้างอิงจากงานวิจัยของ Hua-Yan Deng, Feng Zhuangbo และ Shi-Jie Cao (2017)




รูปที่ 26 ผังพื้นแสดงระยะ ตำแหน่งเครื่องวัดและตำแหน่งของช่องเปิดระบายอากาศภายในห้องนอน A

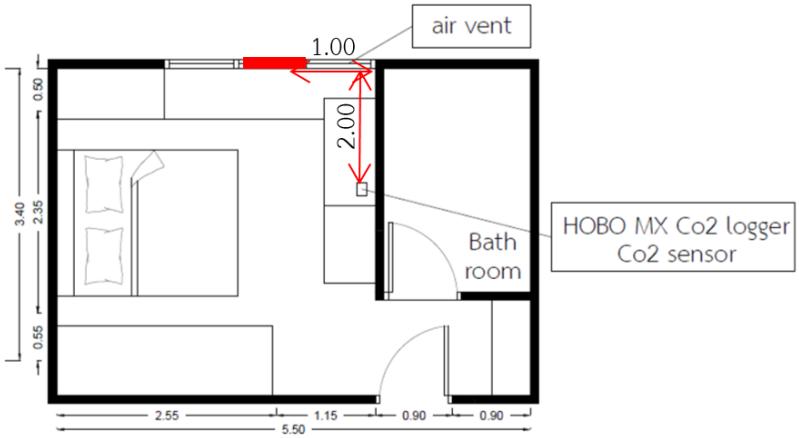



รูปที่ 27 รูปด้านแสดงระยะและหน้าต่างของห้องนอน A

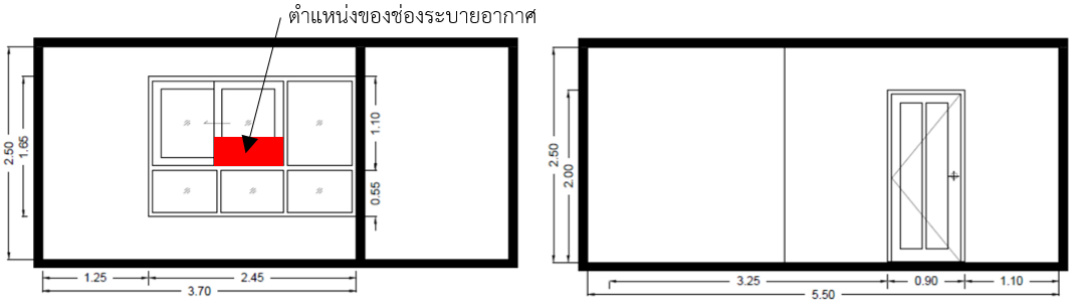
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 28 ภายในห้องนอน A

ห้องนอน B มีขนาดความกว้าง 3.40 เมตร ยาว 5.50 เมตร ความสูงจากพื้นถึงฝ้า 2.50 เมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 14.80 ตร.ม. และมีปริมาตร 31.10 ลบ.ม.ดังรูปที่ 29 โดยเป็นห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยย่านสุขุมวิท วางเครื่องวัด $CO_2$ ที่ระดับสูงจากพื้น 1.20 เมตรและมีระยะห่างจากตำแหน่งของช่องระบายอากาศที่เปิด 2.00 เมตรในแนวราบ

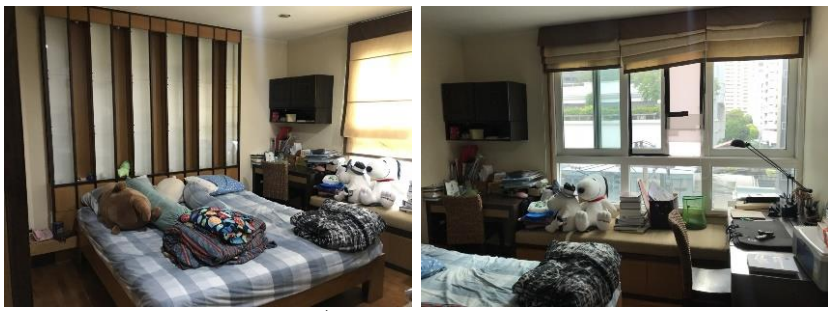



รูปที่ 29 ผังพื้นแสดงระยะ ตำแหน่งเครื่องวัดและตำแหน่งของช่องเปิดระบายอากาศภายในห้องนอน B




รูปที่ 30 รูปด้านแสดงระยะและหน้าต่างของห้องนอน B

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

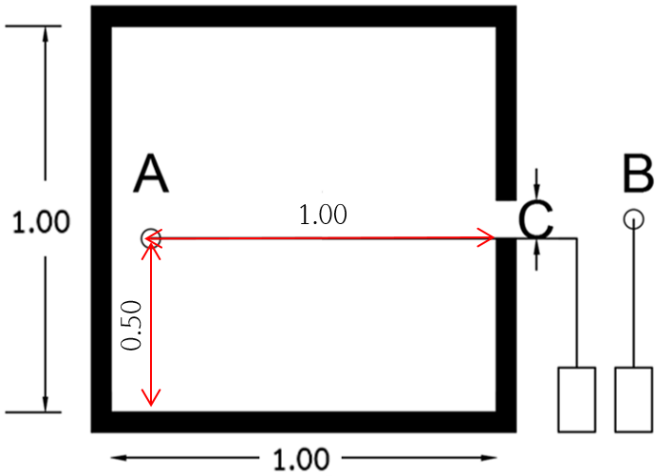


รูปที่ 31 ภายในห้องนอน B

### 3.3.2. ลักษณะของกล่องทดลองที่ใช้ในการทำวิจัย

กล่องทดลองที่ใช้ในการวิจัยมีขนาดความกว้าง 1.00 เมตร ยาว 1.00 เมตร สูง 1.00 เมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 1.00 ตร.ม. และมีปริมาตร 1.00 ลบ.ม. ผนึกกล่องให้ปิดสนิทด้วยพลาสติกใส ดังรูปที่ 32 โดยมีการเจาะช่องระบายอากาศที่ด้านข้างของกล่องทดลองในขนาดตั้งแต่ 1 ตร.ซม. และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ตร.ซม. จนถึงขนาดใหญ่สุด 10 ตร.ซม. แสดงตำแหน่งเครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์ และช่องระบายอากาศตามรูปที่ 33 ทำการทดลองภายในอาคาร

รูปที่ 32 กล่องทดลองเพื่อใช้วัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน




รูปที่ 33 กล่องทดลองทดลองเพื่อใช้วัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน

A คือ ตำแหน่งในการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่อง

B คือ ตำแหน่งในการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอก

C คือ ขนาดของช่องระบายอากาศ ที่จะมีขนาดแตกต่างกันไปในการวัดแต่ละครั้ง

### 3.3.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการวิจัย

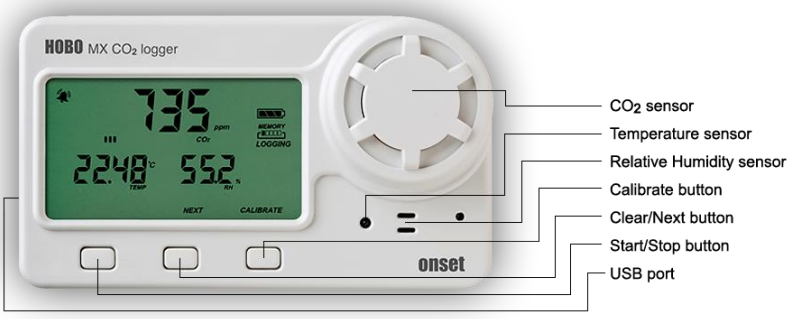
รูปที่ 34 ถังก๊าซ $CO_2$ และมาตรวัด $CO_2$

ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 1.5 คิว หรือ 1,500 ลิตร เพื่อใช้สำหรับการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air changes per hour: ACH) และมาตรวัดแรงดันสำหรับปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสามารถจ่ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 1-25 ลิตร/นาที หรือ 0.0.6-1.5 ลบ.ม./ชั่วโมง

### 3.3.4. อุปกรณ์การวัดค่า

ในการศึกษาวิจัยหาขนาดช่องระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับ ห้องนอนของอาคารชุดพักอาศัยเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในมาตรฐาน โดยใช้อุปกรณ์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ เครื่อง HOBO MX $CO_2$ logger $CO_2$ sensor ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถวัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 0 – 5000 ppm ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ±(50 ppm +5% ของค่าที่วัดได้)

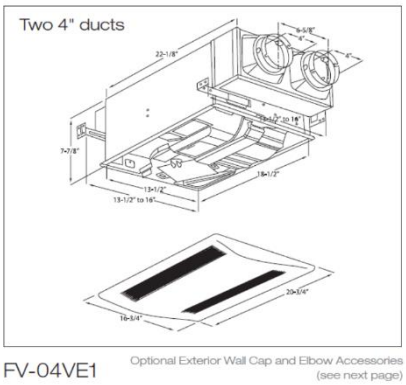
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




รูปที่ 35 เครื่อง HOBO MX $CO_2$ logger $CO_2$ sensor อุปกรณ์สำหรับการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

### 3.3.5. เครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ที่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอากาศได้ (Energy Recovery Ventilator) ที่ใช้สำหรับการคำนวณ

ในการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างห้องนอนที่เปิดช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติและห้องนอนที่ใช้ระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ โดยใช้เครื่อง ERV รุ่น FV-04VE1 สำหรับห้องพักภายในอาคารชุดพักอาศัยสำหรับการคำนวณ (รูปที่ 36) ซึ่งมีข้อมูลการใช้งานตามตารางที่ 16 สามารถจ่ายลมได้ต่ำสุด 10 CFM และสูงสุดอยู่ที่ 40 CFM




รูปที่ 36 เครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอากาศได้ รุ่น FV-04VE1 ที่ใช้สำหรับการคำนวณ

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพของเครื่อง FV-04VE1 และปริมาณพลังงานที่ใช้

| Specifications: **WhisperComfort** FV-04VE1 | | | |
|---|---|---|---|
| Air Volume Setting | 40 CFM | 20 CFM | 10 CFM |
| Static Pressure in inches w. g. | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Exhaust Air Volume (CFM) | 40 | 20 | 10 |
| Supply Air Volume (CFM) | 30 | 20 | 10 |
| Noise (sones) | 0.8 | <0.3 | N/A |
| Power Consumption (watts) | 23 | 21 | 17 |
| Speed (RPM) | 1479 | 1292 | 1095 |
| Current (amps) | 0.15 | 0.10 | 0.09 |
| Power Rating (V/Hz) | 120/60 | | |
| Apparent Sensible Effectiveness for Heating | 66% at 30 CFM and 32°F (0°C) | | |
| Total Recovery Efficiency for Cooling | 36% at 29 CFM and 95°F (35°C) | | |

## 3.4. วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยการเปิดช่องระบายอากาศ ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร ในการศึกษาสามารถจำแนกรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

**3.4.1. การศึกษาทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

**3.4.2. สำรวจ เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย จำนวน 5 แห่งในเขตกรุงเทพมหานคร**

**3.4.3. เก็บข้อมูลวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละคืน ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย จำนวน 2 แห่งโดยมีการเปิดช่องระบายอากาศขนาดต่าง ๆ**

การเก็บข้อมูลในห้องนอน 2 ห้องที่มีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. และ 31.10 ลบ.ม. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับขนาดของช่องระบายอากาศทางธรรมชาติเก็บข้อมูลด้วยเครื่องวัด HOBO MX $CO_2$ logger (เก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที) ตั้งแต่ระยะเวลา 23:30 น. – 07:00 น. เป็นเวลาทั้งสิ้น 7 ชั่วโมง 30 นาที มีการเปิดช่องระบายอากาศ ขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กสุด 50 ตร.ซม. แล้วเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 ตร.ซม. จนถึงขนาดใหญ่สุดเท่ากับ 700 ตร.ซม. เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระว่าง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และขนาดของช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติ

**3.4.4. เก็บข้อมูลวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้น จากห้องนอนที่มีการเปิดช่องระบายอากาศขนาดต่าง ๆ**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน โดยวัดอัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องช่วงเวลาหนึ่ง ๆ (จากสมการที่ 9) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)

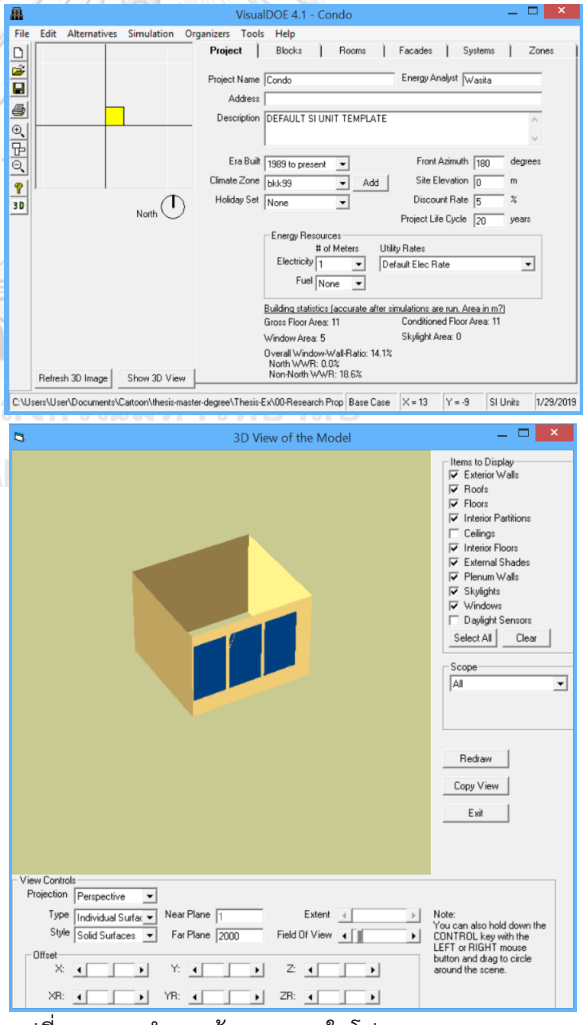
**3.4.5. ทำการทดลองในกล่องทดลอง เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลจากการทำการทดลองในห้องนอน**

การทดลองโดยใช้กล่องที่มีขนาด 1 เมตร X 1 เมตร X 1 เมตร ทำด้วยกระดาษลังผนึกด้วยพลาสติก เพื่อปิดให้สนิท ทำการเจาะช่องระบายอากาศที่มีขนาดตั้งแต่ 1 ตร.ซม. และเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ตร.ซม. จนถึงขนาดใหญ่สุด 10 ตร.ซม. เก็บค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในกล่องทดลอง หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศ (Air flow rate) และขนาดของช่องเปิดระบายอากาศ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าความสัมพันธ์ของอัตรา

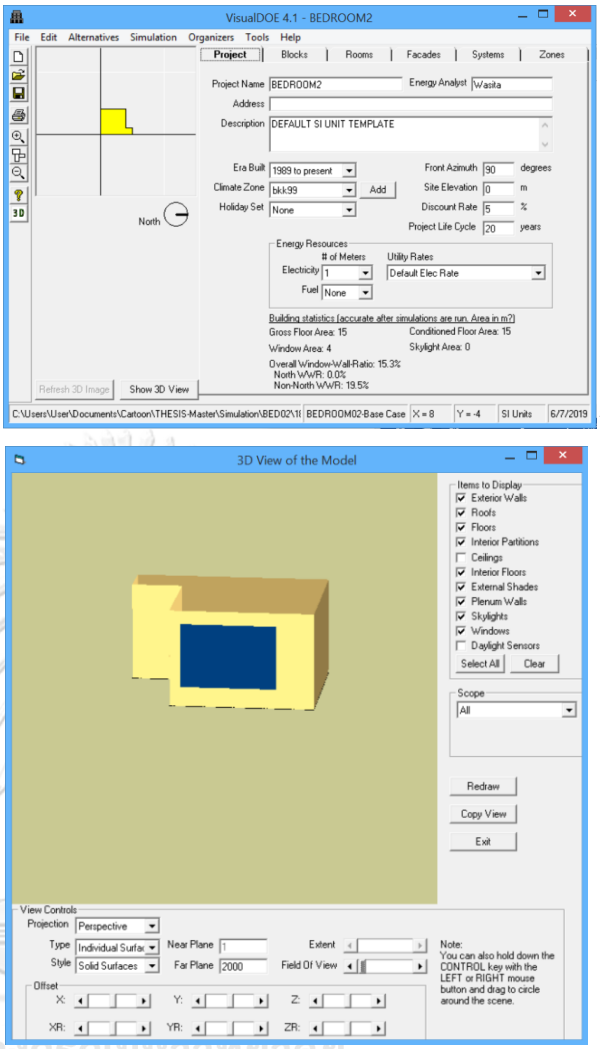
แลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) และขนาดของช่องเปิดระบายอากาศ มาเปรียบเทียบกับค่าจากห้องนอน

**3.4.6. คำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ขณะทำการทดลองโดยการใช้โปรแกรม Visual DOE 4.1 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของเครื่องปรับอากาศ และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดจากช่องเปิดระบายอากาศ**

สร้างห้องนอนที่มีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. (รูปที่ 37) และ 31.10 ลบ.ม. (รูปที่ 38) ตั้งค่าสภาพอากาศให้เป็นกรุงเทพฯ ประเทศไทย ทิศทางใช้ตามตำแหน่งห้องจริง โดยตั้งให้เปิดระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 22:00 น. – 07:00 น. และตั้งให้มีการเปิดช่องระบายอากาศเฉพาะเวลาที่มีคนเข้าไปใช้งานเท่านั้น (โดยตั้งเป็นการรั่วซึมอาคารหรือ infilltration) แสดงให้เห็นในรูปที่ 39 และนำผลในเดือนเมษายน (เดือนที่ประเทศไทยมีความร้อนสูงสุด) มาใช้ในการคำนวณพลังงาน

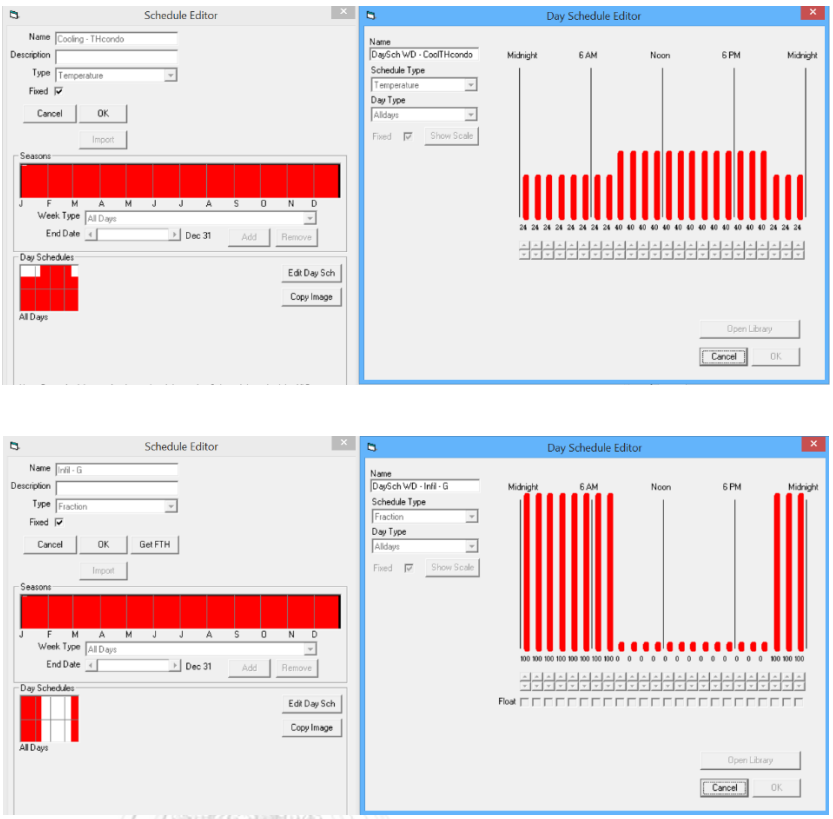



รูปที่ 37 แบบจำลองห้องนอน A ในโปรแกรม Visual DOE 4.1




รูปที่ 38 แบบจำลองห้องนอน B ในโปรแกรม Visual DOE 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




รูปที่ 39 ตารางการใช้งานอาคารในโปรแกรม Visual DOE 4.1

**3.4.7. เปรียบเทียบกับห้องนอนที่ใช้ระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ ที่ได้ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัย ทำการคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1**

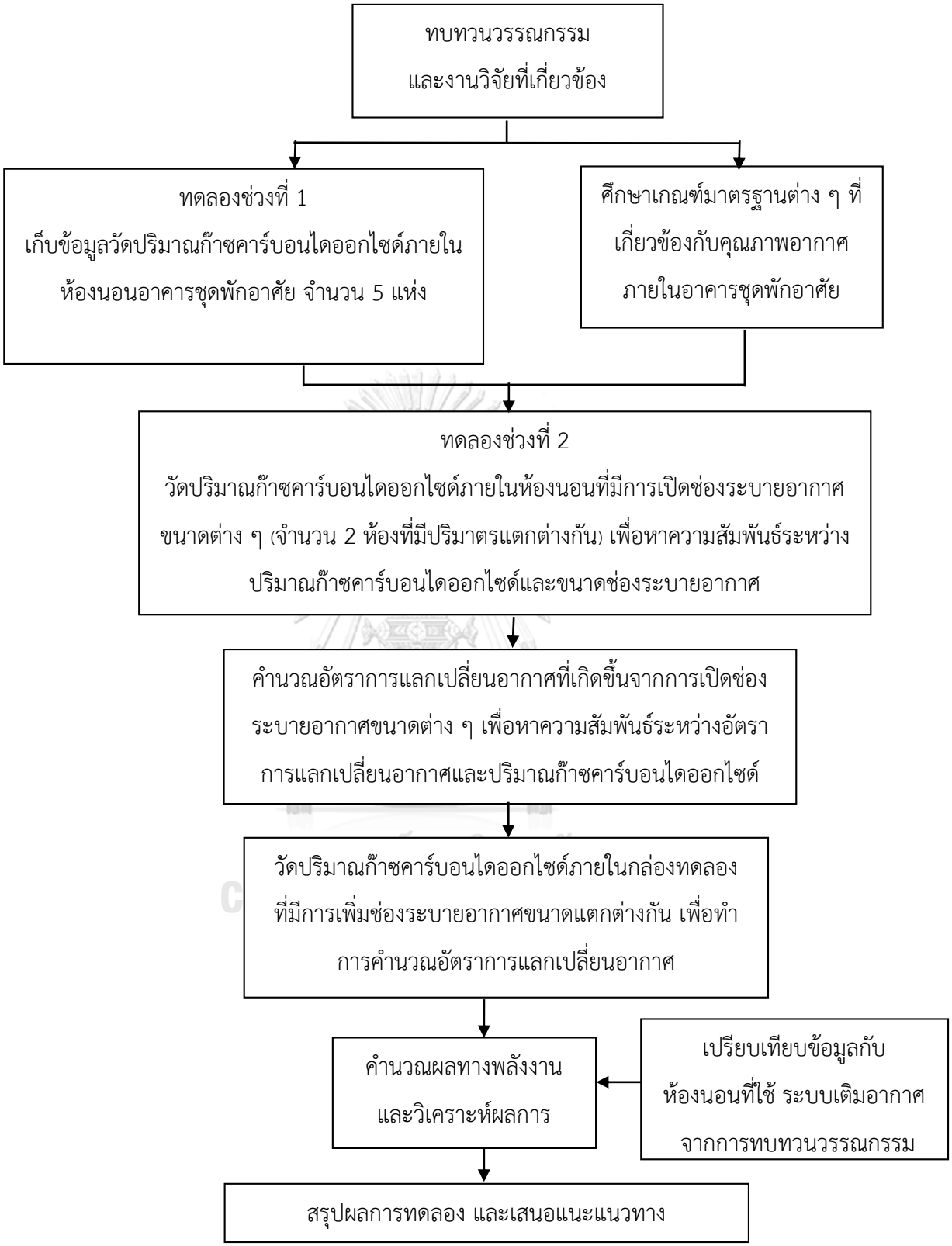
**3.4.8. สรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทาง**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่างานวิจัยนั้นแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกคือการสำรวจเก็บข้อมูลภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 5 แห่ง เพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย ส่วนที่สองคือ การเก็บข้อมูลภายในห้องนอนที่ถูกเลือกจำนวน 2 ห้อง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และขนาดช่องระบายอากาศ รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และทำการทดลองภายในกล่องทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิดระบายอากาศกับอัตราการไหลของอากาศ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในห้องนอน และส่วนสุดท้ายคือการประเมินประสิทธิภาพของพลังงานที่เพิ่มขึ้นของเครื่องปรับอากาศจากการใช้ช่องเปิดระบายอากาศแบบธรรมชาติ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงโดยยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่าง การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศภายในห้องนอนที่เปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติกับการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องนอนที่ติดเครื่องปรับอากาศและเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ โดยการใช้โปรแกรม Visual DOE 4.1 ในการคำนวณ

ผลที่ได้จากการดำเนินการวิจัยดังกล่าวคือ 1.ผลสำรวจของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย 2.ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และขนาดช่องเปิดระบายอากาศ 3.ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 4.พลังงานที่เพิ่มขึ้นของระบบเครื่องปรับอากาศจากการใช้ช่องเปิดระบายอากาศแบบธรรมชาติ 5.ผลการเปรียบเทียบพลังงานระหว่างการใช้ช่องระบายอากาศธรรมชาติกับระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ 6.ขนาดช่องเปิดระบายอากาศที่มีความเหมาะสมในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในระดับมาตรฐาน ASHRAE และ WELL Building Standards

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




แผนภูมิที่ 1 กระบวนการวิจัย

# บทที่ 4
# ผลการศึกษา

ผลการวิจัยแบ่งออกไป 4 ส่วน คือการสำรวจข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยขนาดต่าง ๆ ส่วนที่สองคือการทำการทดลองในห้องนอนจริงโดยเก็บค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่เปิดช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน ถัดมาคือการคำนวณค่าการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบปรับอากาศรวมถึงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของห้องนอนที่ติดระบบ ERV และส่วนสุดท้ายคือสรุปผลการศึกษา

## 4.1. ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย

จากการสำรวจห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย ในกรุงเทพมหานครจำนวน 5 ห้อง (ตารางที่ 4.1) ในเวลากลางคืนช่วงระหว่าง 20:00 น. – 08:00 น. รวม 12 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องมือ Testo 535[7] ซึ่งเป็นเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสำหรับระบบปรับอากาศ ช่วงการวัด 0 ถึง 9,999 ppm $CO_2$ มีค่าความคลาดเคลื่อน ±(50 ppm +2% ของค่าที่วัดได้) เก็บค่าทุก ๆ 1 ชั่วโมง โดยมีผู้พักอาศัยทั้งหมด 2 คน (คนเดิมทั้ง 5 ห้องนอน) เข้าห้องนอนตั้งแต่เวลา 20:00 น. และออกจากห้องนอนเวลา 06:00 น. ในตอนเช้า จากนั้นบันทึกค่าของก๊าซ $CO_2$ จนถึงระยะเวลา 08:00 น. โดยอธิบายลักษณะของห้องนอนทั้ง 5 ในตารางที่ 17

พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องพักทั้ง 5 ห้อง นั้นมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ทุกห้องคือ 1,000-1,100 ppm ตามมาตรฐาน ASHRAE 62.2-2016 (ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอยู่ที่ 300 – 400 ppm) และ 900, 750, 600 ppm ตามมาตรฐาน WELL Building standard V.2 ตามลำดับ โดยสรุปผลการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตารางที่ 18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

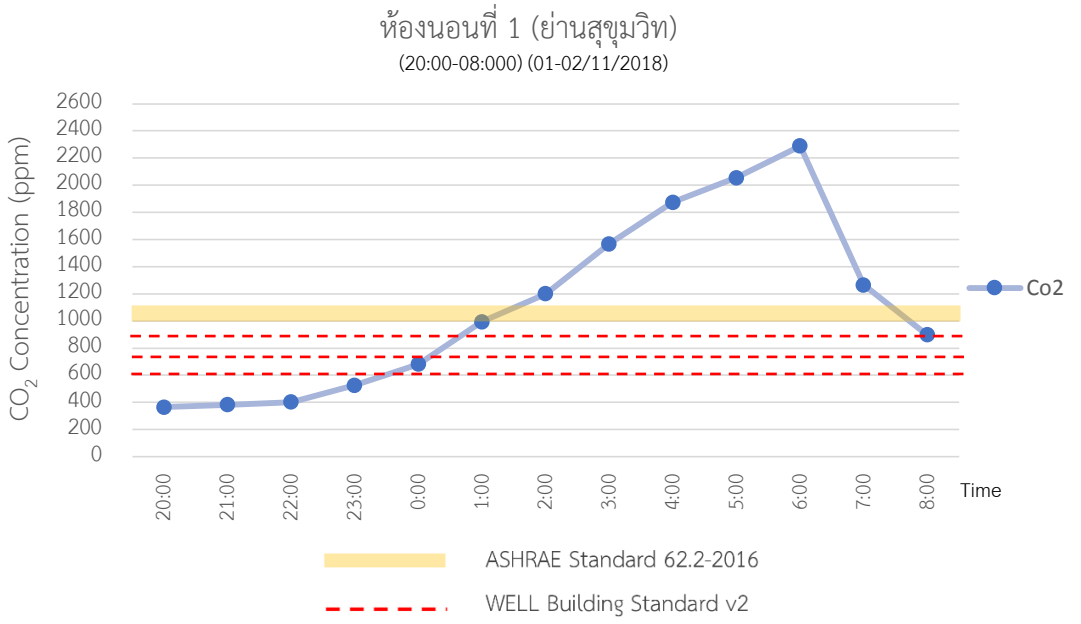
ตารางที่ 17 ลักษณะของห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยทั้ง 5 แห่ง

| อาคาร (ห้องนอน) | ชั้น | ขนาดห้อง (ตร.ม.) | ปริมาตรห้อง (ลบ.ม.) | เส้นที่รอยรั่วซึม[8] (ม.) | ขนาดระบบปรับอากาศที่ใช้ (BTU/hr) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.คอนโดย่านสุขุมวิท | 4 | 11.50 | 27.50 | 18.55 | 8,000 |
| 2.คอนโดย่านเอกมัย | 3 | 14.00 | 35.00 | 34.65[9] | 8,000 |
| 3.คอนโดย่านสุขุมวิท | 4 | 14.80 | 35.10 | 25.00 | 12,500 |
| 4.คอนโดย่านอโศก | 37 | 15.45 | 41.80 | 27.45 | 12,500 |
| 5.คอนโดย่านวงเวียนใหญ่ | 8 | 17.50 | 42.00 | 26.10 | 12,500 |

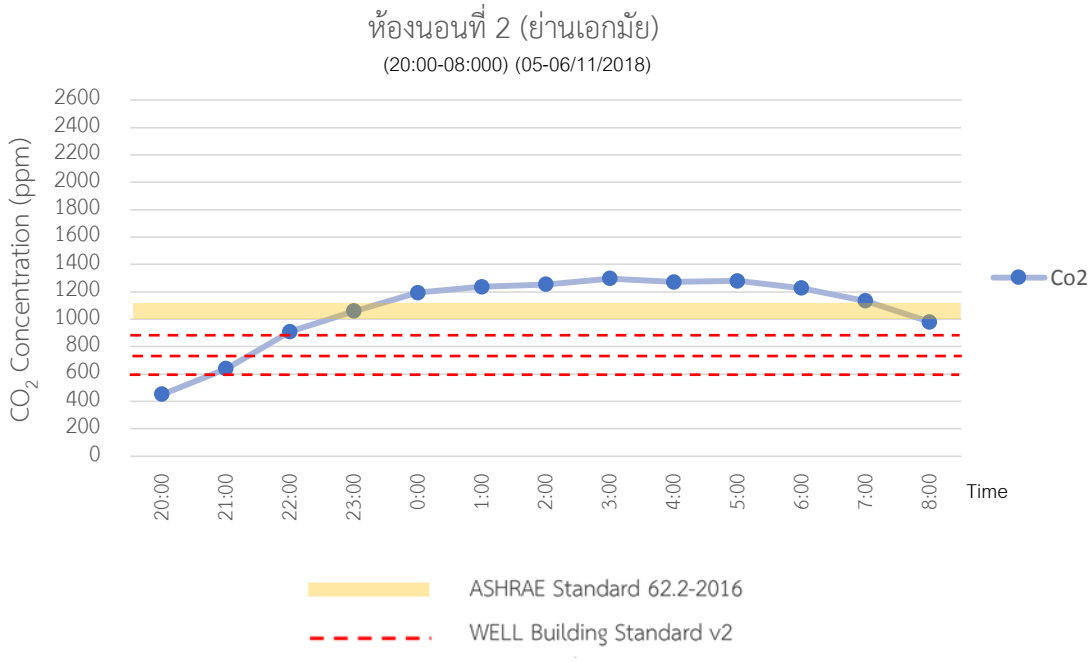
[7] เครื่องมือ Testo 535 เป็นเครื่องมือที่ไม่มีระบบบันทึกข้อมูล วิธีการวัดต้องใช้การเปิดเครื่องและอ่านค่าด้วยมือตามเวลาที่กำหนดจึงส่งผลให้ข้อมูลปริมาณก๊าซ $CO_2$ ที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าเครื่องมือที่สามารถบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติได้

[8] เส้นรอยรั่วซึมคือความยาวของรอยรั่วของหน้าต่างและประตูนั้นๆ (กูสกานา กูบาฮา และสุทธิพงศ์ เนื่องเยาว์, 2550)

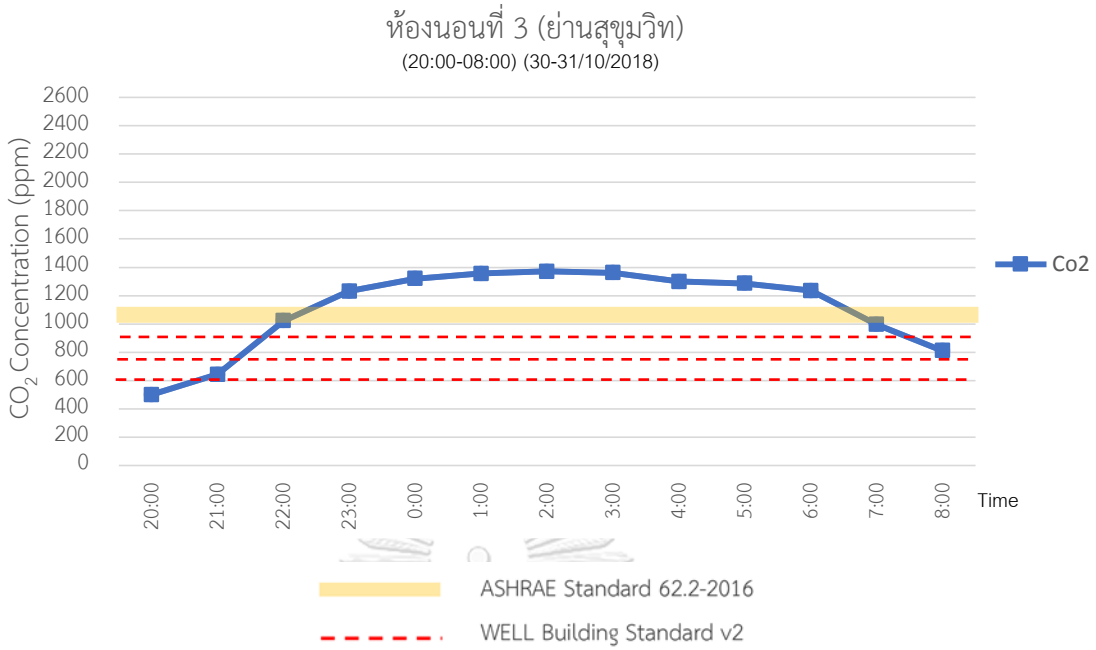
[9] เนื่องจากห้องนอนย่านเอกมัยมีช่องระบายอากาศรวมอยู่ด้วยขนาด 0.01 x 0.46 เมตร จำนวน 22 ช่อง (คิดเป็นเส้นรอยรั่วซึมยาว 10.12 เมตร)



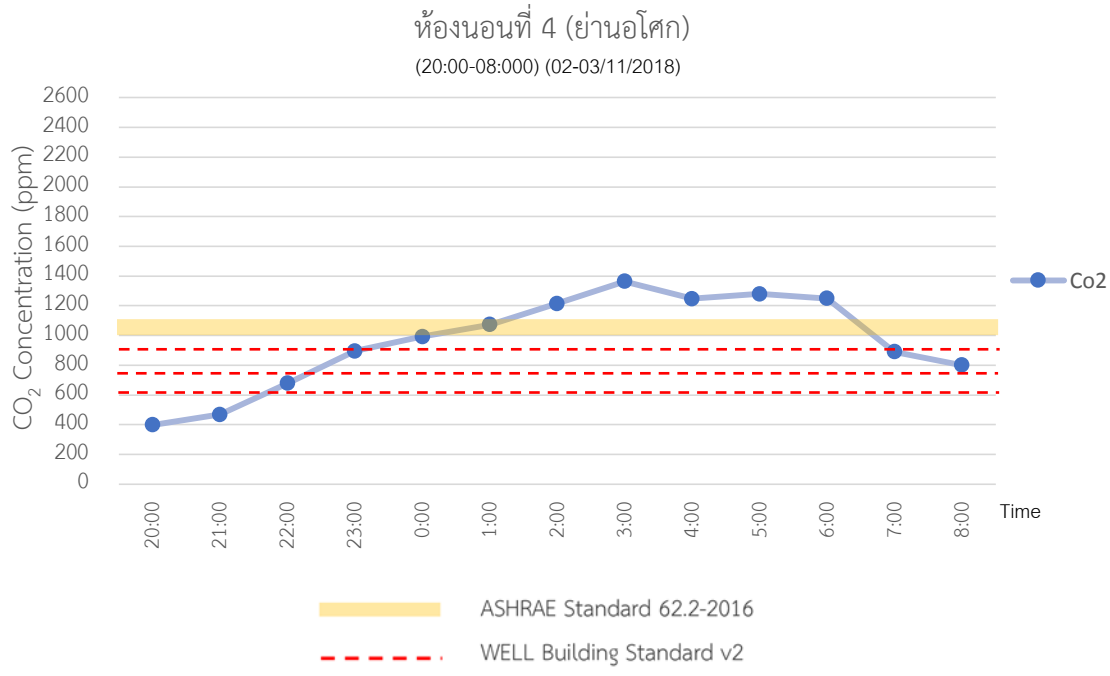

แผนภูมิที่ 2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 1 (ย่านสุขุมวิท)



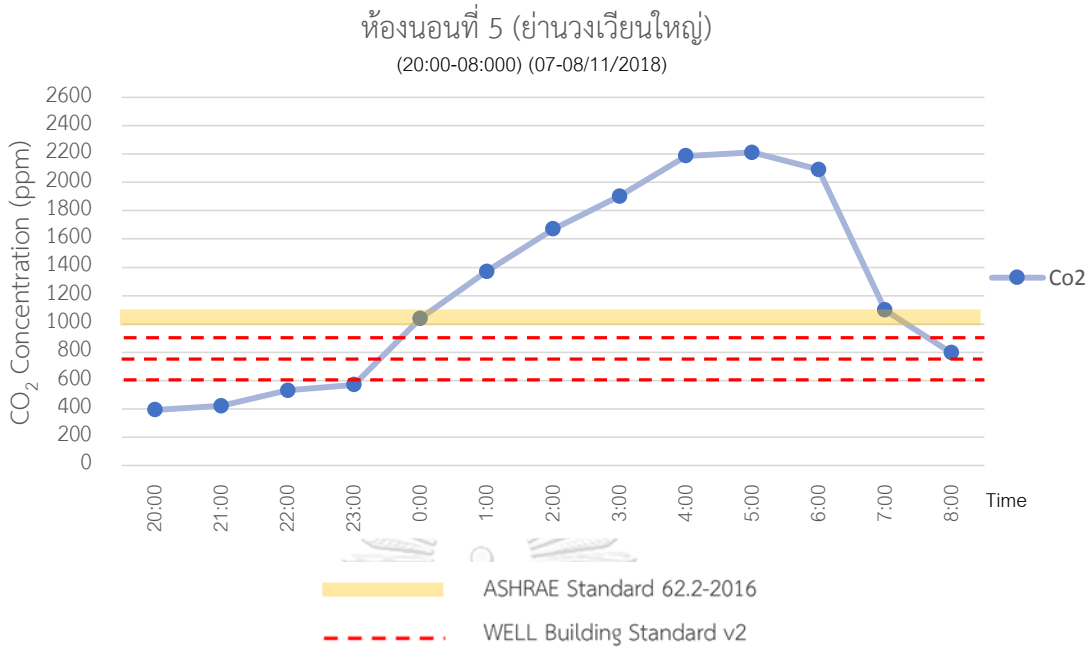

แผนภูมิที่ 3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 2 (ย่านเอกมัย)




แผนภูมิที่ 4 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 3 (ย่านสุขุมวิท)




แผนภูมิที่ 5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 4 (ย่านอโศก)



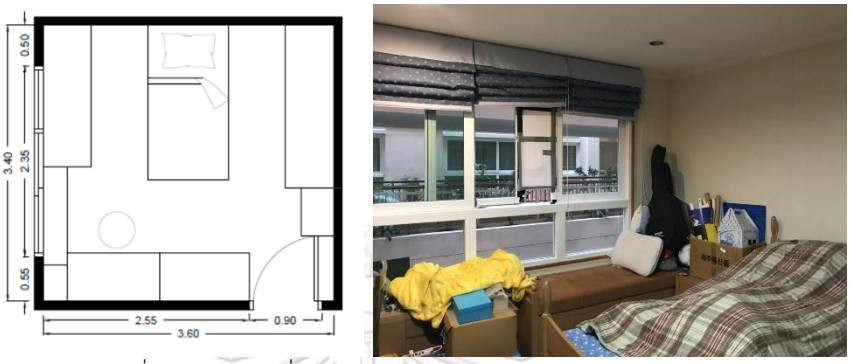

แผนภูมิที่ 6 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่ 5 (ย่านวงเวียนใหญ่)

ตารางที่ 18 ผลการวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm) ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย

| อาคาร (ห้องนอน) | ปริมาตรห้อง (ลบ.ม.) | $CO_2$ Average (ppm) | Peak $CO_2$ (ppm) | Lowest $CO_2$ (ppm) |
|---|---|---|---|---|
| 1.คอนโดย่านสุขุมวิท | 27.50 | 1115.23 | 2288 | 364 |
| 2.คอนโดย่านเอกมัย | 35.00 | 1071.69 | 1297 | 452 |
| 3.คอนโดย่านสุขุมวิท | 35.10 | 1109.92 | 1371 | 499 |
| 4.คอนโดย่านอโศก | 41.80 | 965.54 | 1365 | 398 |
| 5.คอนโดย่านวงเวียนใหญ่ | 42.00 | 1252.00 | 2212 | 391 |

จากการเก็บข้อมูลโดยมีผู้เข้าใช้งานห้องนอนเป็นจำนวน 2 คน เริ่มเข้าใช้ห้องนอนตั้งแต่เวลา 20:00 น. และออกจากห้องนอนในเวลา 06:00 น. จากนั้นวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไปจนถึงเวลา 08:00 น. การปิด-เปิดประตูห้องนอนในช่วงเวลาระหว่าง 06:00 น. – 08:00 น. จึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามภาพ จากข้อมูลพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละคืนจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่มีผู้ใช้งานเข้ามาภายในห้อง จนกว่าจะมีการเปิดประตูหรือหน้าต่างในตอนเช้าให้อากาศภายในห้องไหลออกไปได้

จากการเก็บข้อมูลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนทั้ง 5 ห้องพบว่าห้องนอนที่ 1 (แผนภูมิที่ 2) นั้นมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเนื่องจากเป็นห้องที่มีปริมาตรเล็กและอยู่ติดหน้าต่างเพียงด้านเดียว รวมถึงมีประตูเข้าออกเพียง 1 ทางเท่านั้นการรั่วซึมภายในห้องจึงมีน้อยกว่าห้องนอนห้องอื่น ๆ แสดงให้เห็นในรูปที่ 40




รูปที่ 40 ห้องนอนที่ 1 (ย่านสุขุมวิท) ขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม.

ห้องนอนที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดคือห้องนอนที่ 2 (แผนภูมิที่ 3) เนื่องจากเป็นห้องนอนที่มีห้องน้ำอยู่ภายในห้องนอน และนอกจากนั้นบริเวณประตูห้องน้ำยังมีช่องระบายอากาศเชื่อมต่อกับห้องนอน และยังมีรอยรั่วซึมสูงถึง 34.65 เมตร (ภาพที่ 42) โดยภายในห้องน้ำมีหน้าต่างที่เปิดเชื่อมต่อกับพื้นที่บริเวณด้านนอกอาคารได้ ห้องนอนดังกล่าวจึงมีการรั่วซึมอากาศสูงกว่าห้องนอนในทุก ๆ ห้องที่ได้เข้าไปทำการสำรวจ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จึงต่ำกว่าห้องอื่น ๆ จะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 3 ว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนั้นสูงกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสูงสุดอยู่ที่ช่วง 04:00 น. – 06:00 น.

รูปที่ 41 ห้องนอนที่ 2 (ย่านเอกมัย) ขนาดปริมาตร 35.00 ลบ.ม.

รูปที่ 42 ภาพประตูห้องน้ำภายในห้องนอนที่ 2 (ย่านเอกมัย)

จากการสำรวจห้องนอนทั้ง 5 ห้องนั้นพบว่าปัจจัยที่ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในแต่ละห้องนอนนั้นไม่เท่ากันนั้นคือ ปริมาตรของห้องพักยิ่งมีปริมาตรมากความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องจะน้อยลง (เจือจางกว่า) และอีกปัจจัยที่สำคัญคือการรั่วซึมภายในห้องพักที่เกิดจากรอยรั่วต่าง ๆ เช่น หน้าต่าง, ประตู หรือช่องระบายอากาศ หากยิ่งมีรอยรั่วซึมมากอากาศสามารถไหลออกไปด้านนอกได้มาก ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องพักก็จะต่ำกว่าห้องพักที่มีอัตราการรั่วซึมอากาศต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

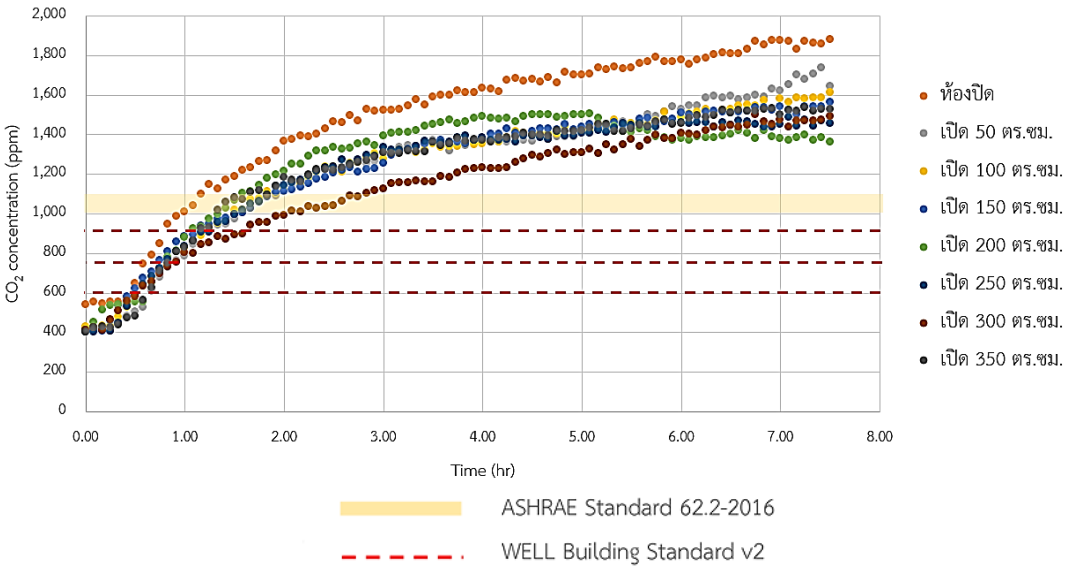
## 4.2. ผลการทดลองจากห้องนอนที่ถูกเลือก 2 ห้อง และผลการทดลองจากกล่องทดลอง

ผลการทดลองถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ ผลการเก็บปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับขนาดของช่องระบายอากาศทางธรรมชาติ ส่วนที่สองคือผลการหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการวัดค่าการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั้งสองส่วนนี้คือการเก็บข้อมูลจากห้องนอนที่ถูกเลือกคือห้องนอน A (1) ที่มีขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม. (รูปที่ 40) และห้องนอน B (3) ที่มีขนาดปริมาตร 31.10 ลบ.ม. (รูปที่ 41) ส่วนที่สามเป็นผลจากกล่องทดลองคือการหาความสัมพันธ์ระหว่างช่องระบายอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และส่วนสุดท้ายคือการนำข้อมูลที่ได้จากห้องนอนและกล่องทดลองมาเปรียบเทียบกัน

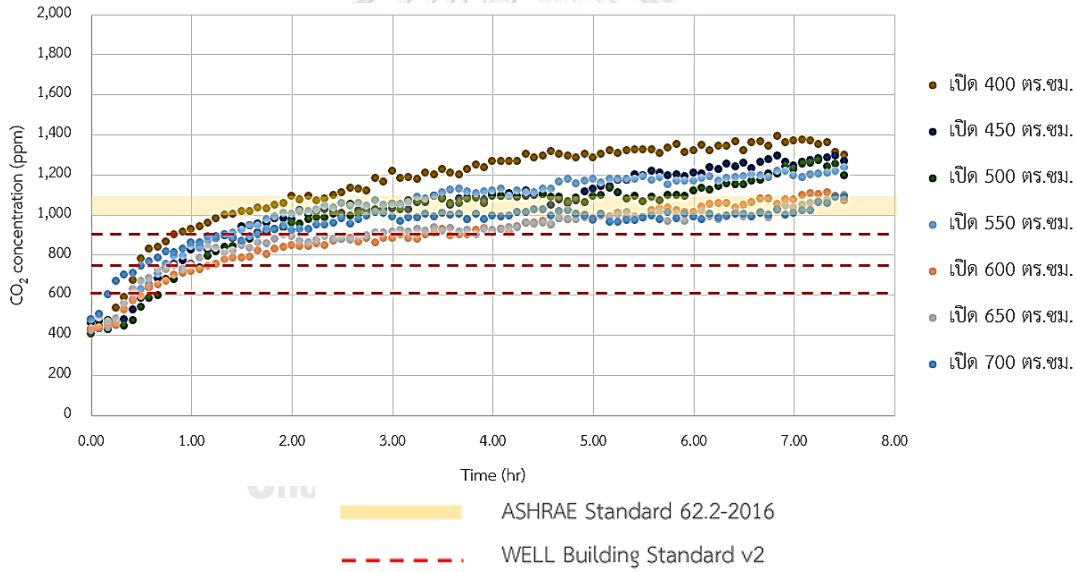
### 4.2.1. ผลการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอน A และ B

การเก็บข้อมูลในห้องนอน 2 ห้องคือห้องนอน A ที่มีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. และห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. เก็บข้อมูลด้วยเครื่องวัด HOBO MX CO2 logger (เก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที) ตั้งแต่ระยะเวลา 23:30 น. – 7:00 น. เป็นเวลาทั้งสิ้น 7 ชั่วโมง 30 นาที โดยมีการเปิดหน้าต่างและผนึกปิดสนิทด้วยแผ่นพลาสติกลูกฟูก จากนั้นเจาะช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกันไปบนแผ่นพลาสติกลูกฟูกตั้งแต่ขนาด 50 – 700 ตร.ซม. (เพิ่มขึ้นทีละ 50 ตร.ซม.) ตำแหน่งที่เจาะอยู่ในระดับสูงจากพื้น 1.20 เมตร และอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของห้องนอนที่ใช้ทำการทดลองทั้ง 2 ห้อง เครื่องวัด $CO_2$ ที่ระดับสูงจากพื้น 1.20 เมตร และมีระยะห่าง 2.00 เมตรจากตำแหน่งของช่องระบายอากาศที่เปิด (รูปที่ 26 และ 27) โดยคาร์บอนออกไซด์ภายนอกอยู่ที่ระดับประมาณ 300 – 400 ppm ทำให้เกณฑ์ ASHRAE 62.2-2016 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในระดับ 1,000 – 1,100 ppm ส่วนเกณฑ์ WELL Buildings Standard อยู่ที่ 900, 750 และ 600 ppm ตามลำดับ

ผลการเก็บข้อมูลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของห้องนอนที่ A (แผนภูมิที่ 7 และแผนภูมิที่ 8) โดยจะเห็นว่ายิ่งมีการเปิดช่องระบายอากาศมากขึ้นเท่าใด ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนก็จะยิ่งมีค่าต่ำลง และจากการเก็บข้อมูลพบว่าช่วงแรกจากห้องนอนปิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดอยู่ที่ 1,850 ppm แต่เมื่อเปิดช่องระบายอากาศขนาด 50 ตร.ซม. พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างรวดเร็วอยู่ที่ 1,700 ppm (แผนภูมิที่ 7) แต่เมื่อเปิดช่องระบายอากาศขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าแนวโน้มของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นลดลงช้าลง จะเห็นได้ในช่วงเปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม. – 700 ตร.ซม. ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทั้งสามคืนนั้น มีความใกล้เคียงกันอย่างมาก (แผนภูมิที่ 8)

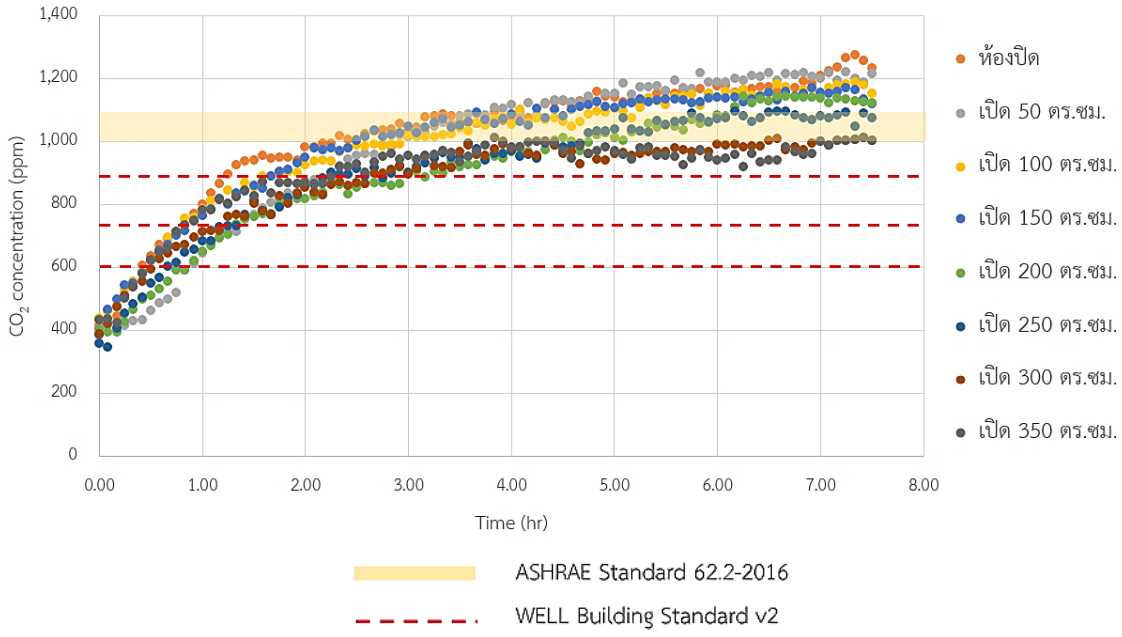



แผนภูมิที่ 7 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A (ปิด – เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.)

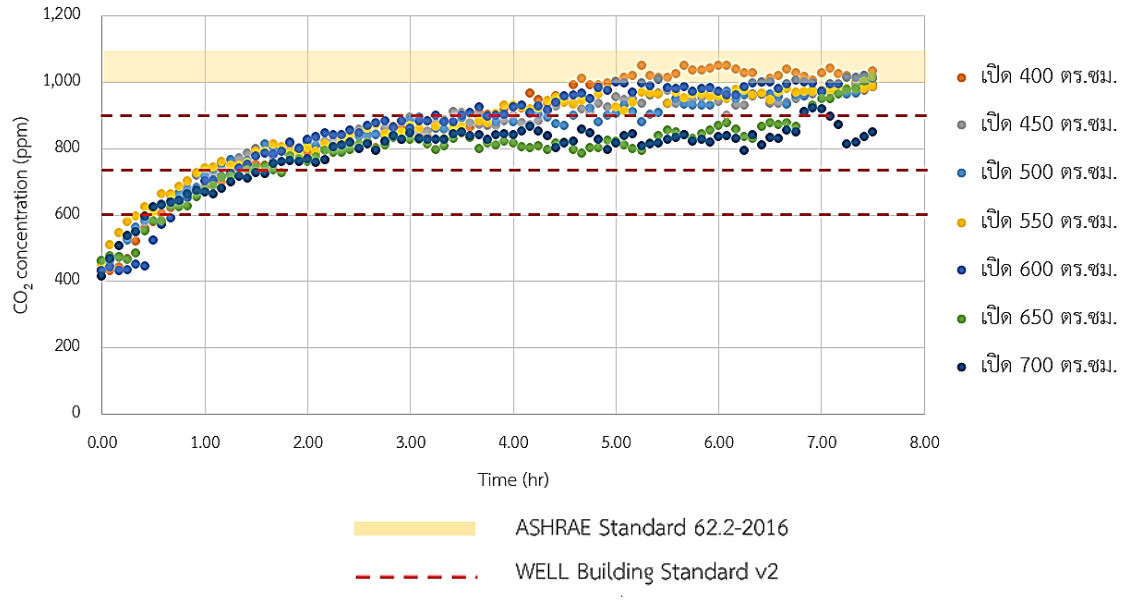



แผนภูมิที่ 8 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.-700 ตร.ซม.)

ผลการเก็บข้อมูลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของห้องนอน B (แผนภูมิที่ 9 และแผนภูมิที่ 10) เนื่องจากปริมาตรของห้องนอน B นั้นมีมากกว่าห้องนอน A ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละค่ำคืนนั้นอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า และจากการเก็บข้อมูลพบว่าการเปิดช่องเปิดในแต่ละคืนนั้นทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอย่างช้า ๆ ไม่มากเท่ากับการลดลงของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอน A




แผนภูมิที่ 9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน B (ปิด – เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.)




แผนภูมิที่ 10 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม. - 700 ตร.ซม.)

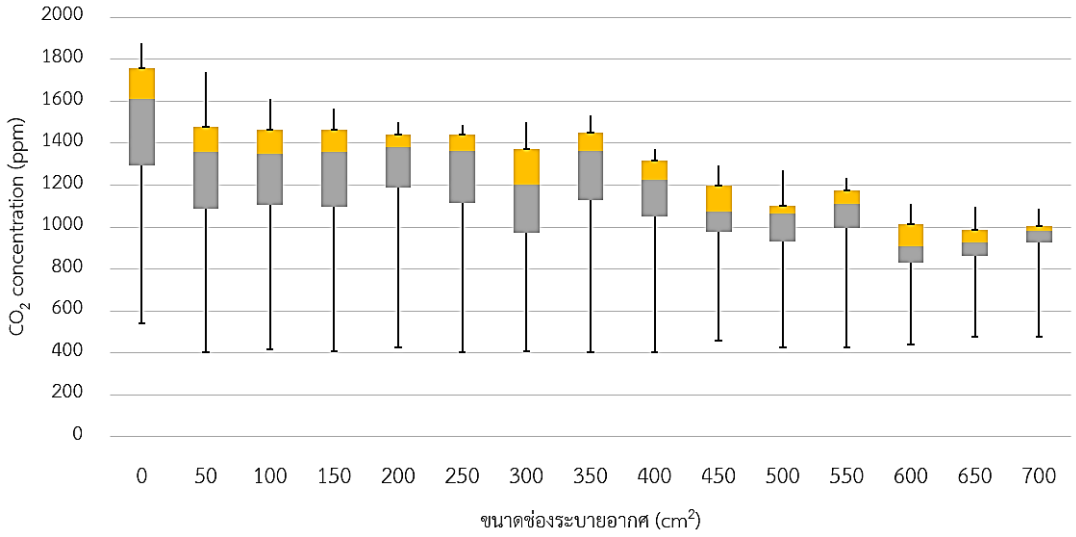
ผลสรุปจากการเก็บข้อมูลของห้องนอน A (ตารางที่ 19) และห้องนอน B (ตารางที่ 20) จะเห็นได้ว่า การเปิดช่องระบายอากาศตามธรรมชาตินั้นสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้จริง และช่วยให้อัตราการเพิ่มของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในห้องเพิ่มช้าขึ้นด้วยเช่นกัน ค่าเฉลี่ยและค่าการกระจายตัวของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A (แผนภูมิที่ 11) และภายในห้องนอน B (แผนภูมิที่ 13) จากนั้นนำค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในแต่ละคืนมาสร้างเป็นแผนภูมิ โดยจากข้อมูลพบว่าการลดลงของก๊าซนั้นมีแนวโน้มเป็นกราฟเส้นโค้ง หากเปรียบเทียบกันจะพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A (แผนภูมิที่ 12) ที่มีขนาดเล็กนั้นมีแนวโน้มลดลงเร็วกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน B (แผนภูมิที่ 14)

จากเกณฑ์ ASHRAE และเกณฑ์ WELL standard จะพบว่าห้องนอนทั้งสองห้องนั้น จากการทดลองเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ถึงเกณฑ์ ASHRAE ที่กำหนดไว้ในระดับประมาณ 1,000 – 1,100 ppm. แต่ยังไม่สามารถทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงถึงเกณฑ์ WELL Standard ที่ตั้งไว้ในระดับ 900, 750 และ 600 ppm ได้

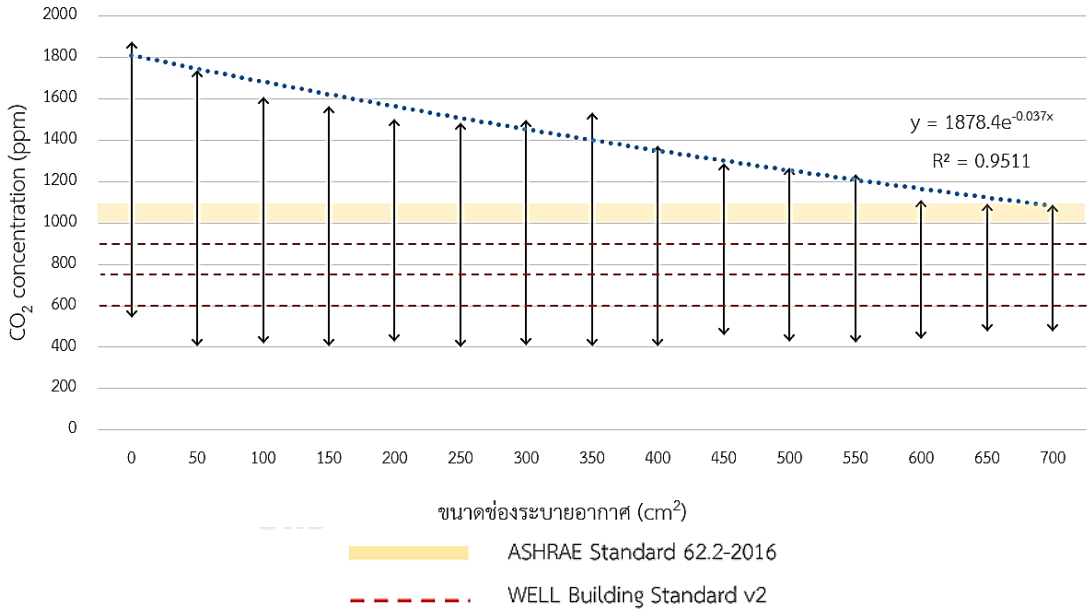
ตารางที่ 19 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน A ขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม.

| ห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ขนาดช่องเปิด (ตร.ซม.) | high (ppm) | low (ppm) | average (ppm) | $CO_2$ > 1,100 ppm at Hr. | $CO_2$ > 900 ppm at Hr. |
| 0 | 1879 | 542 | 1475 | 3.12 | 6.48 |
| 50 | 1739 | 405 | 1246 | 3.44 | 6.08 |
| 100 | 1612 | 417 | 1241 | 2.40 | 6.08 |
| 150 | 1565 | 406 | 1239 | 3.04 | 6.16 |
| 200 | 1502 | 425 | 1253 | 1.36 | 6.24 |
| 250 | 1488 | 401 | 1220 | 0.00 | 6.16 |
| 300 | 1499 | 409 | 1134 | 0.00 | 5.68 |
| 350 | 1534 | 403 | 1233 | 0.00 | 6.16 |
| 400 | 1374 | 403 | 1153 | 0.00 | 6.48 |
| 450 | 1292 | 458 | 1032 | 0.00 | 5.84 |
| 500 | 1269 | 425 | 991 | 0.00 | 5.68 |
| 550 | 1235 | 424 | 1035 | 0.00 | 5.92 |
| 600 | 1112 | 442 | 892 | 0.00 | 3.84 |
| 650 | 1095 | 476 | 900 | 0.00 | 4.54 |
| 700 | 1088 | 477 | 943 | 0.00 | 4.96 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




แผนภูมิที่ 11 ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของปริมาณ CO2 ภายในห้องนอน A (ปิด - 700 ตร.ซม.)

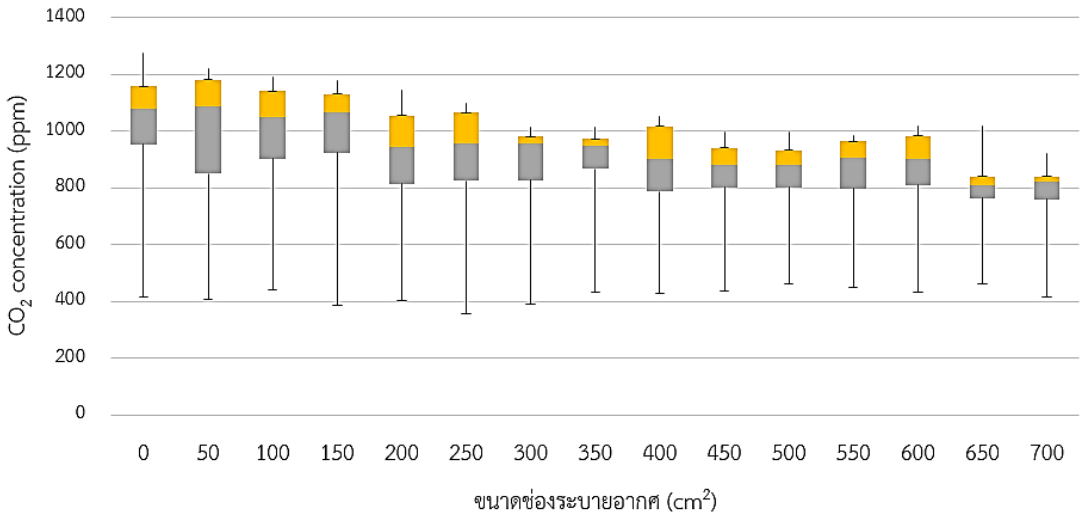



แผนภูมิที่ 12 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในแต่ละคืน ภายในห้องนอน A (ปิด - 700 ตร.ซม.)

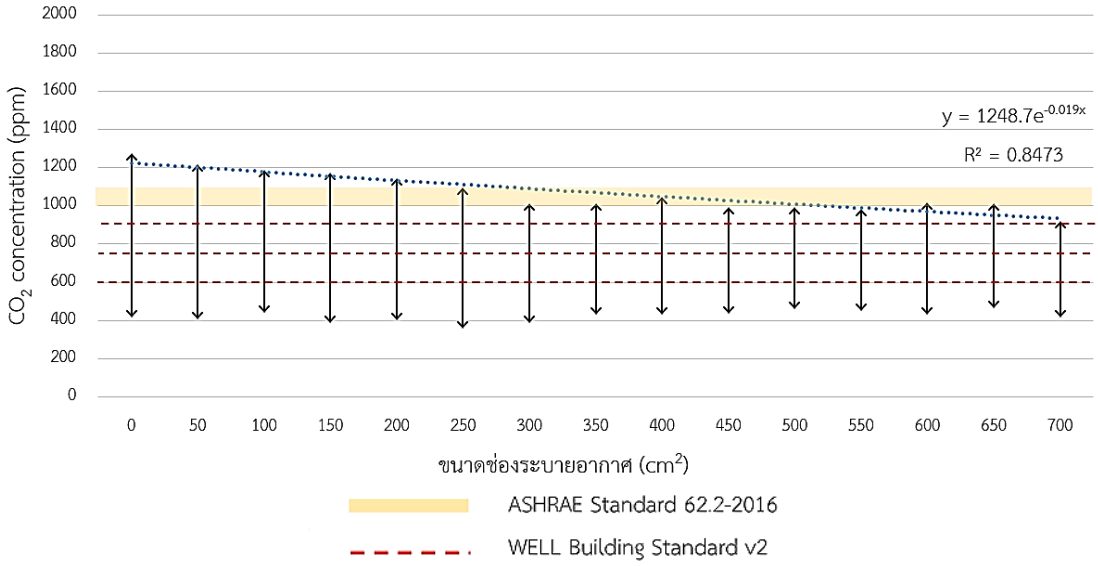
ตารางที่ 20 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน B ขนาดปริมาตร 31.10 ลบ.ม.

| ห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ขนาดช่องเปิด (ตร.ซม.) | high (ppm) | low (ppm) | average (ppm) | $CO_2$ > 1,100 ppm at Hr. | $CO_2$ > 900 ppm at Hr. |
| 0 | 1275 | 415 | 1021 | 3.12 | 6.00 |
| 50 | 1220 | 405 | 981 | 3.44 | 5.04 |
| 100 | 1190 | 439 | 983 | 2.40 | 5.52 |

| ห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ขนาดช่องเปิด (ตร.ซม.) | high (ppm) | low (ppm) | average (ppm) | $CO_2$ > 1,100 ppm at Hr. | $CO_2$ > 900 ppm at Hr. |
| 150 | 1175 | 385 | 994 | 3.04 | 5.60 |
| 200 | 1143 | 403 | 901 | 1.36 | 4.16 |
| 250 | 1097 | 358 | 907 | 0.00 | 4.72 |
| 300 | 1012 | 388 | 878 | 0.00 | 4.48 |
| 350 | 1014 | 432 | 894 | 0.00 | 5.04 |
| 400 | 1050 | 429 | 871 | 0.00 | 3.68 |
| 450 | 995 | 437 | 830 | 0.00 | 3.20 |
| 500 | 996 | 460 | 846 | 0.00 | 2.96 |
| 550 | 985 | 450 | 861 | 0.00 | 3.68 |
| 600 | 1019 | 431 | 862 | 0.00 | 2.96 |
| 650 | 1016 | 463 | 788 | 0.00 | 0.72 |
| 700 | 921 | 416 | 781 | 0.00 | 0.24 |

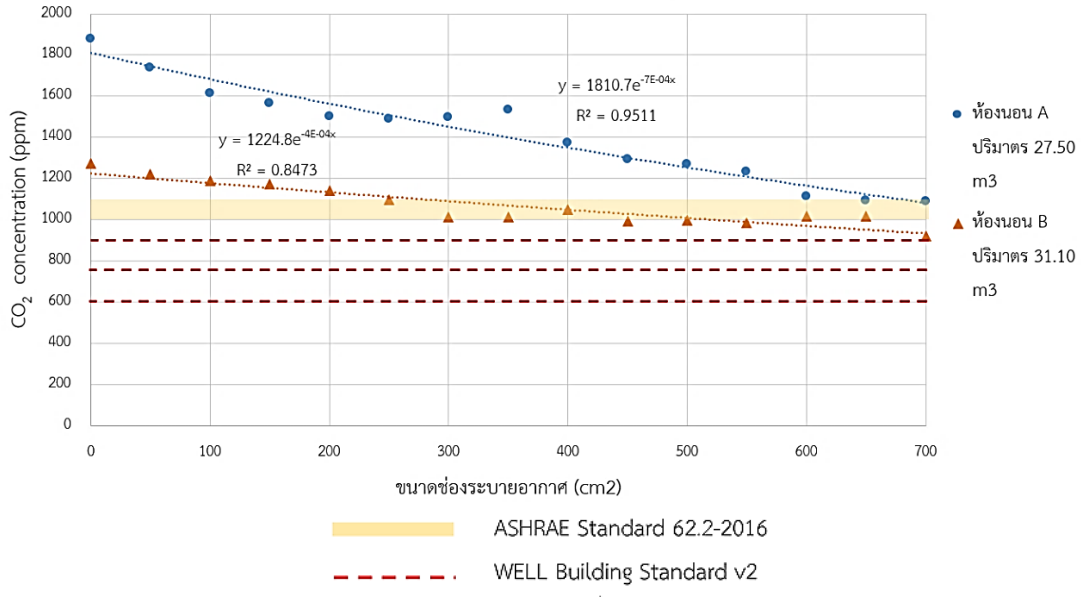



แผนภูมิที่ 13 ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของปริมาณ CO2 ภายในห้องนอน B (ปิด - 700 ตร.ซม.)




แผนภูมิที่ 14 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในแต่ละคืน ภายในห้องนอน B (ปิด - 700 ตร.ซม.)

ผลการเปรียบเทียบกันพบว่าห้องนอนขนาดเล็ก (A) จะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าห้องนอนขนาดใหญ่ (B) และห้องนอน A มีแนวโน้มที่จะสามารถลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เร็วกว่าห้องนอน B (แผนภูมิที่ 15) จากเกณฑ์ ASHRAE และเกณฑ์ WELL standard จะพบว่าห้องนอนทั้งสองห้องนั้น จากการทดลองเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติสามารถช่วยลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ถึงเกณฑ์ ASHRAE ที่กำหนดไว้ในระดับประมาณ 1,000 – 1,100 ppm แต่ยังไม่สามารถทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงถึงเกณฑ์ WELL Building Standard V.2 ที่ตั้งไว้ในระดับ 900, 750 และ 600 ppm ได้

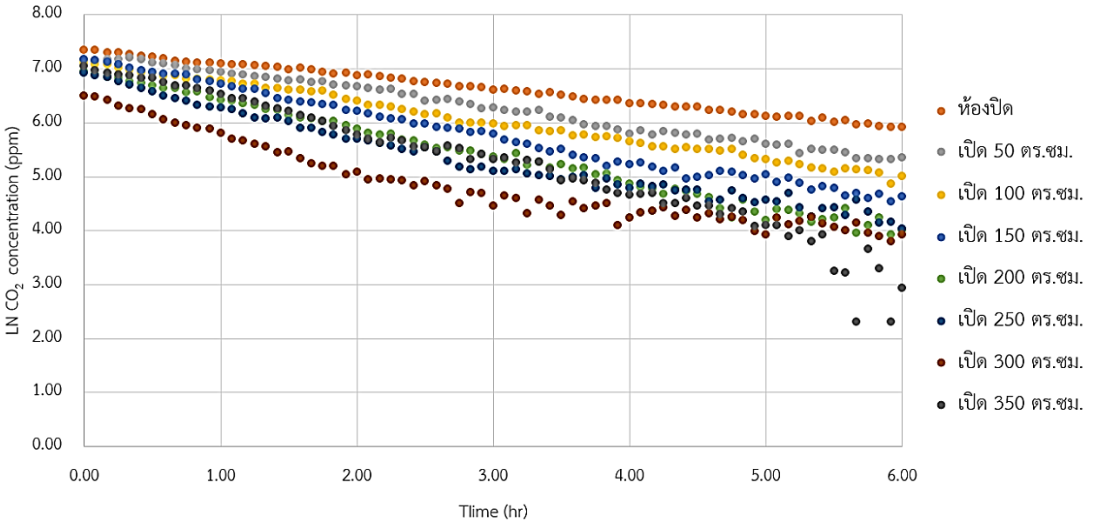



แผนภูมิที่ 15 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดภายในห้องนอน A และ B (ปิด -700 ตร.ซม.)

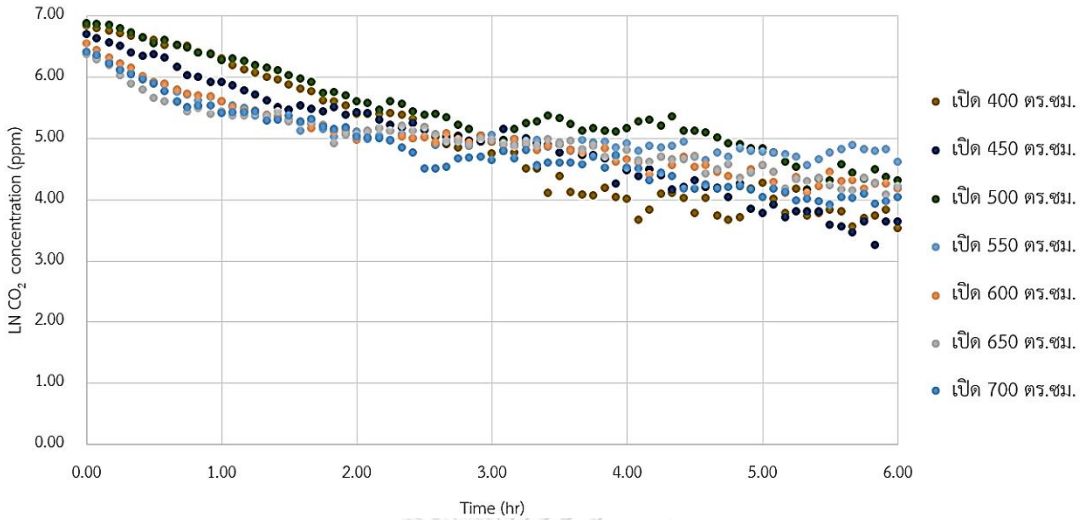
**4.2.2. ผลการเก็บข้อมูลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน A และ B**

จากนั้นทำการวัดหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน โดยใช้วิธีการวัดอัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้วิธีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปภายในห้องนอนและหยุดปล่อย จากนั้นวัดค่าปริมาณก๊าซที่ค่อย ๆ ลดลงในระยะเวลา 6 ชม. เก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีแล้วนำมาคำนวณตามสูตร โดยแผนภูมิที่ออกมานั้นเกิดจากการใส่ ล็อคการิทึมเข้าไปในค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้เพื่อลดค่าความแปรปรวนของข้อมูล

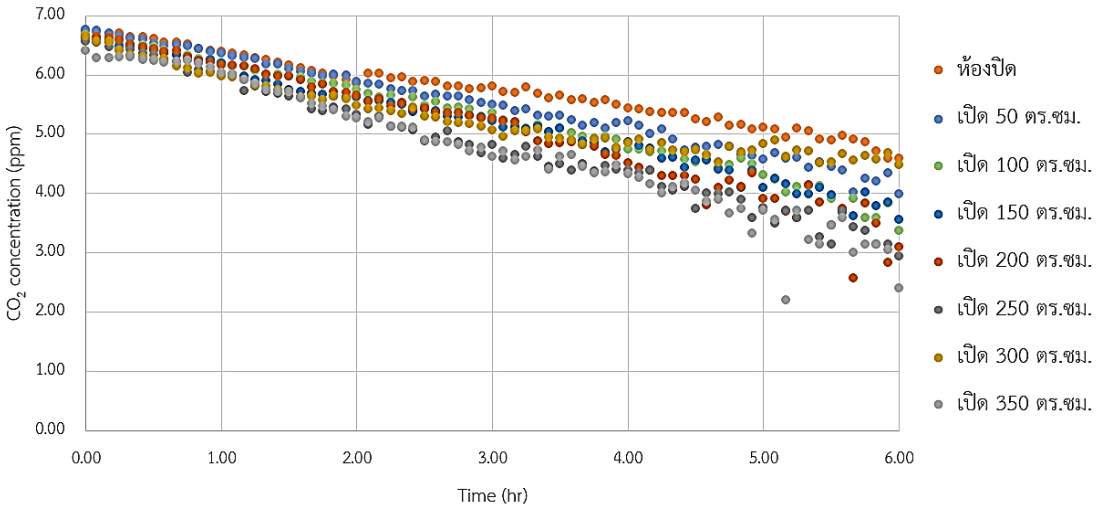
ผลการเก็บข้อมูลของห้องนอน A และ B ตามแผนภูมิที่ 16, 17, 18 และ 19 แสดงให้เห็นว่าช่วงแรกของกราฟ ระยะเวลาตั้งแต่ 0 – 2 ชม. นั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องลักษณะกราฟเป็นเส้นตรง แต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเห็นได้ว่าค่าที่วัดได้นั้นค่อนข้างกระจายตัวเนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้อยู่ในระดับที่เริ่มใกล้เคียงกับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้านนอกอาคารซึ่งอยู่ที่ประมาณ 300 – 400 ppm ดังนั้นข้อมูลที่ใช้สำหรับการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารจึงเป็นข้อมูลช่วง 0 – 2 ชม. แรกเท่านั้น



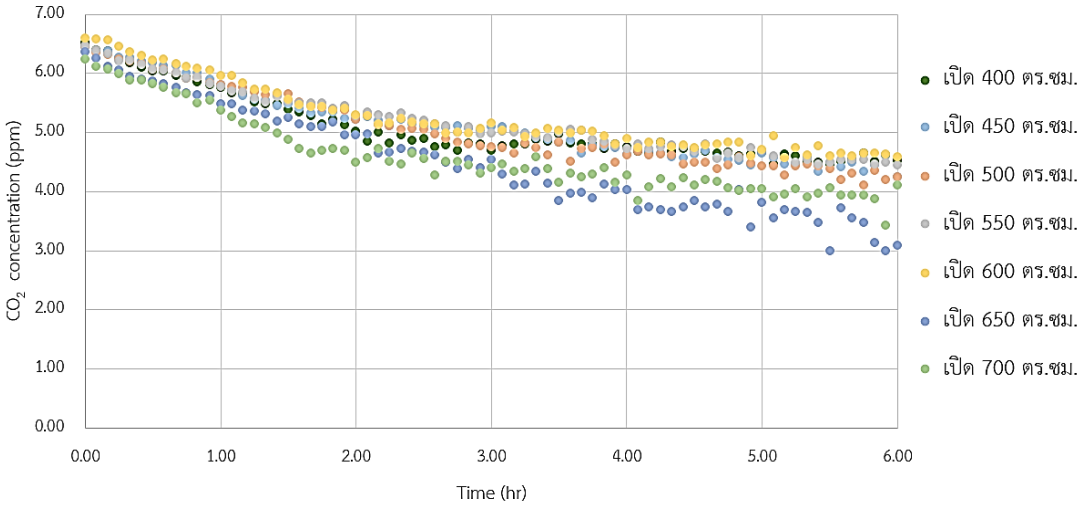

แผนภูมิที่ 16 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน A (ห้องนอนปิด – เปิดช่อง 350 ตร.ซม.)




แผนภูมิที่ 17 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน A (เปิดช่อง 400 ตร.ซม. – 700 ตร.ซม.)




แผนภูมิที่ 18 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน B (ห้องนอนปิด – เปิดช่อง 350 ตร.ซม.)



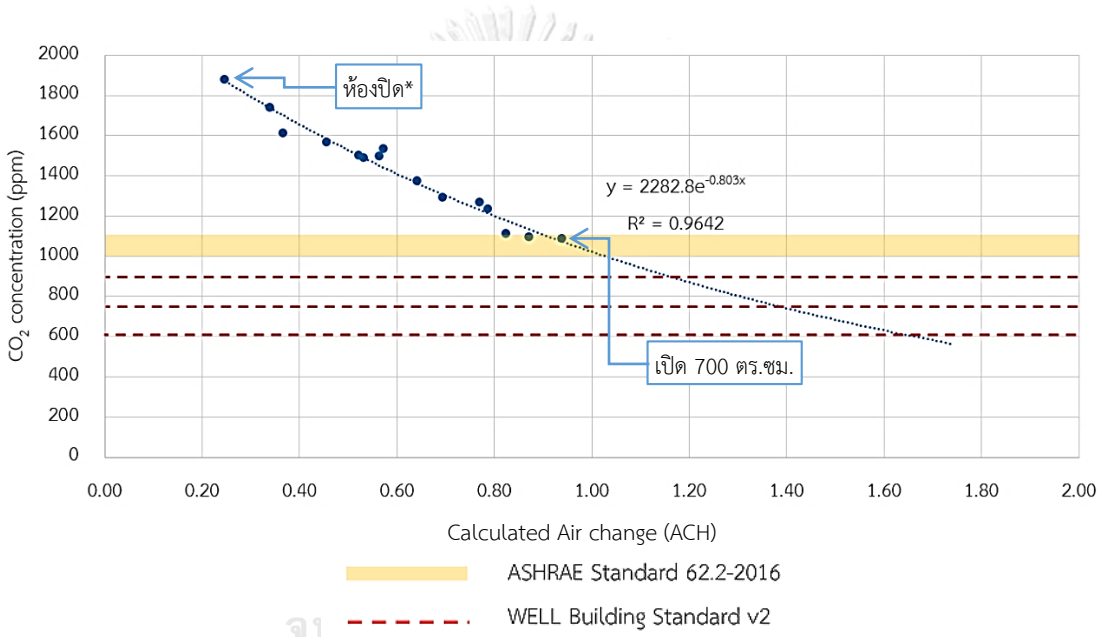

แผนภูมิที่ 19 อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ห้องนอน B (เปิดช่อง 400 ตร.ซม. – 700 ตร.ซม.)

ผลจากการคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน A (ตารางที่ 21) และ B (ตารางที่ 22) สรุปเป็นแผนภูมิที่ 20 และ 21 ตามลำดับ โดยแสดงให้เห็นถึงปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละคืน ที่สัมพันธ์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ของในแต่ละคืนนั้น ๆ ยิ่งห้องมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มมากขึ้นปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะลดลงตามลำดับ จากการเก็บข้อมูลและคำนวณพบว่า กราฟมีแนวโน้มลดลงเป็นเส้นโค้งคือยิ่งปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำลงแล้วก็จะยิ่งต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม

ตารางที่ 21 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน A ขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม.

| ห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. | | |
|---|---|---|
| ACH | ช่องระบาย (ตร.ซม.) | $CO_2$ สูงสุด (ppm) |
| 0.246 | 0 | 1879 |
| 0.339 | 50 | 1739 |
| 0.366 | 100 | 1612 |
| 0.457 | 150 | 1565 |
| 0.521 | 200 | 1502 |
| 0.531 | 250 | 1488 |
| 0.565 | 300 | 1499 |
| 0.573 | 350 | 1534 |
| 0.642 | 400 | 1374 |

| ห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. | | |
|---|---|---|
| ACH | ช่องระบาย (ตร.ซม.) | $CO_2$ สูงสุด (ppm) |
| 0.694 | 450 | 1292 |
| 0.770 | 500 | 1269 |
| 0.787 | 550 | 1235 |
| 0.824 | 600 | 1112 |
| 0.872 | 650 | 1095 |
| 0.938 | 700 | 1088 |



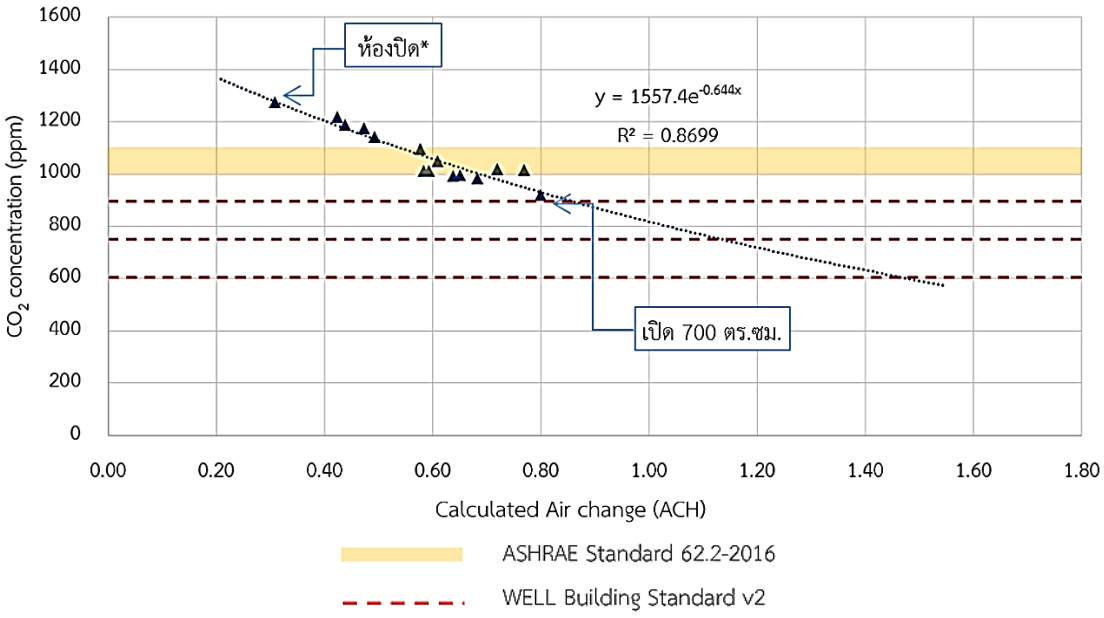

แผนภูมิที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $CO_2$ สูงสุด และ ACH ภายในห้องนอน A

*ห้องปิดคือ ห้องนอนที่ไม่มีการเปิดช่องระบายอากาศ แต่อาจมีการรั่วซึม (infiltration) ของห้องอยู่แล้วตั้งแต่ต้น

ตารางที่ 22 ผลสรุปปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอน B ขนาดปริมาตร 31.10 ลบ.ม.

| ห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | |
|---|---|---|
| ACH | ช่องระบาย (ตร.ซม.) | $CO_2$ สูงสุด (ppm) |
| 0.309 | 0 | 1275 |
| 0.424 | 50 | 1220 |
| 0.437 | 100 | 1190 |

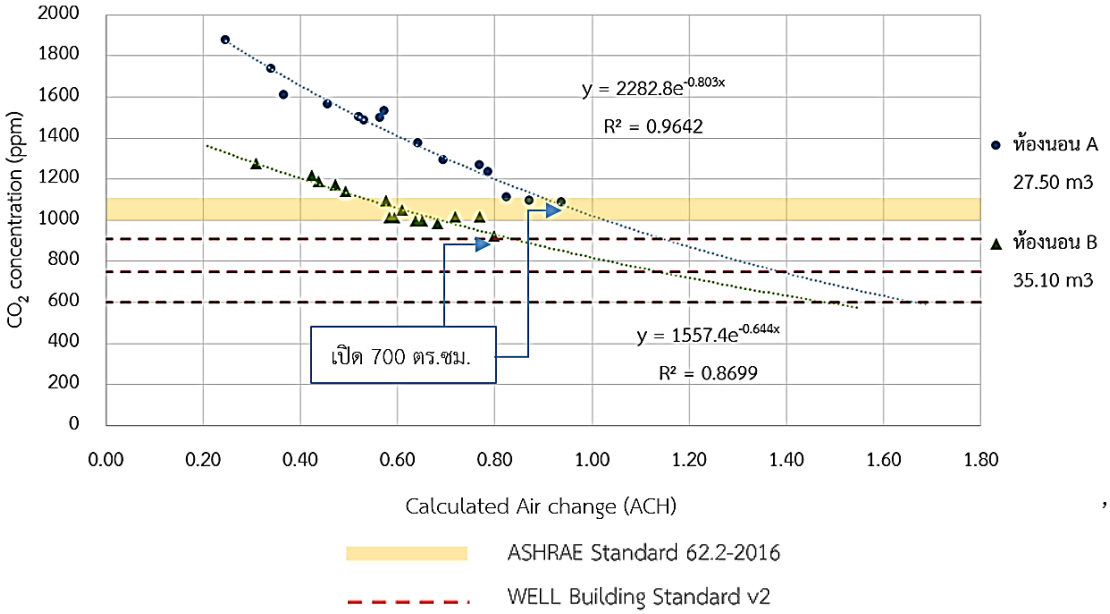
| ห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | |
|---|---|---|
| ACH | ช่องระบาย (ตร.ซม.) | $CO_2$ สูงสุด (ppm) |
| 0.473 | 150 | 1175 |
| 0.493 | 200 | 1143 |
| 0.577 | 250 | 1096 |
| 0.583 | 300 | 1012 |
| 0.593 | 350 | 1014 |
| 0.609 | 400 | 1050 |
| 0.638 | 450 | 995 |
| 0.650 | 500 | 996 |
| 0.682 | 550 | 985 |
| 0.719 | 600 | 1019 |
| 0.769 | 650 | 1016 |
| 0.799 | 700 | 921 |




แผนภูมิที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $CO_2$ สูงสุด และ ACH ภายในห้องนอน B

*ห้องปิดคือ ห้องนอนที่ไม่มีการเปิดช่องระบายอากาศ แต่อาจมีการรั่วซึม (infiltration) ของห้องอยู่แล้วตั้งแต่ต้น

จากนั้นนำผลการคำนวณทั้ง 2 ห้องนอนมาเปรียบเทียบกันจะพบว่าแสดงให้เห็นว่าห้องนอนขนาดใหญ่นั้นต้องการปริมาณอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่น้อยกว่าห้องนอนขนาดเล็ก เพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น แต่จะเห็นได้ว่าการเปิดช่องระบายอากาศที่มีขนาดเท่า ๆ กันในทั้ง 2 ห้องนอนนั้น พบว่า การเปิดช่องระบายอากาศในห้องนอน B นั้นส่งผลกระทบน้อยกว่าห้องนอน A ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในห้องนอน B นั้นเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า แสดงให้เห็นในแผนภูมิที่ 22



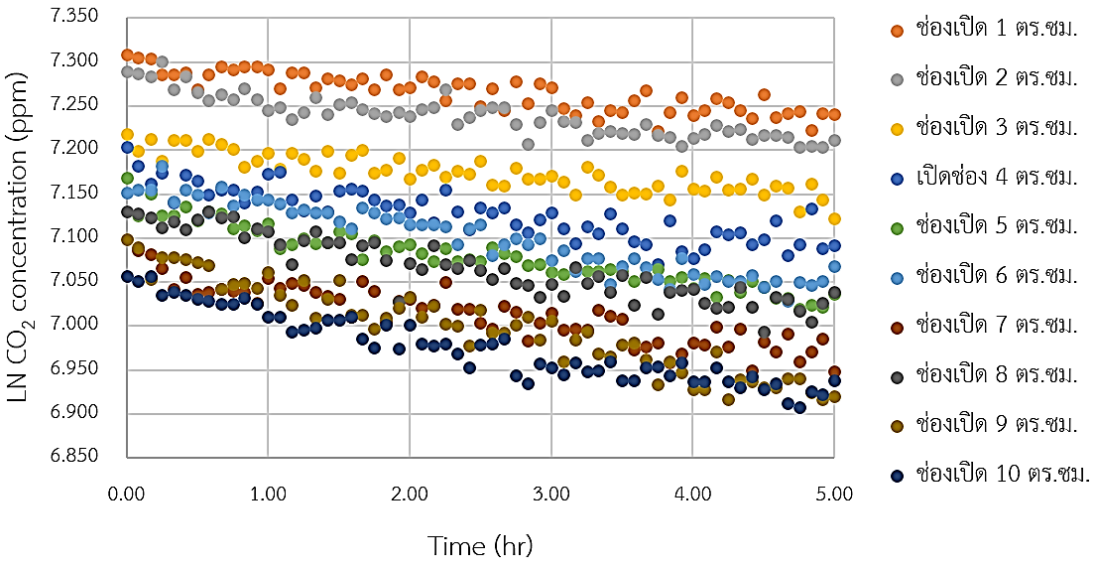

แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ $CO_2$ สูงสุดและ ACH ภายในห้องนอน A และ B

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**4.2.3. ผลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจากกล่องทดลอง**

การทำการทดลองในกล่องทดลองที่มีขนาด 1 x 1 x 1 เมตร หาอัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกล่องทดลองดังกล่าวโดยทำการเจาะช่องระบายอากาศตั้งแต่ขนาด 1 ตร.ซม. เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 ตร.ซม. จนถึงขนาด 10 ตร.ซม. จากนั้นปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแล้วปิดก๊าซ วัดอัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้นจากช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน

ผลการเก็บข้อมูลอัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นำค่าที่ได้จากการวัดมาใส่ ล็อคการิทึมเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูล จากการทดลองพบว่าหากยิ่งช่องเปิดที่เจาะมีขนาดใหญ่มากขึ้น อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะยิ่งเร็วมากขึ้นด้วยเช่นกันแสดงให้เห็นตามแผนภูมิที่ 23




แผนภูมิที่ 23 อัตราการสลายตัวของ $CO_2$ ภายในกล่องทดลองขนาด 1.00 ลบ.ม.

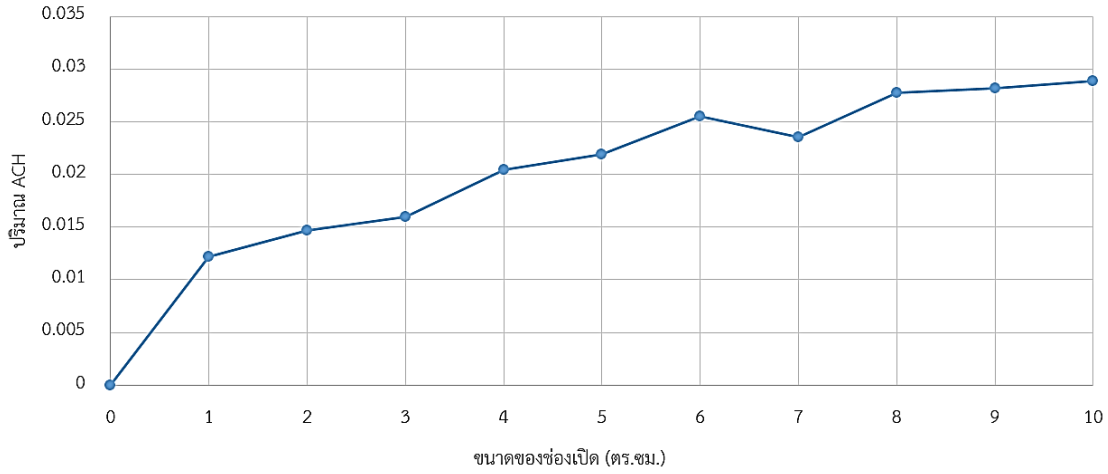
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในกล่องทดลอง ขนาดปริมาตร 1.00 ลบ.ม.

| กล่องทดลอง 1.00 ลบ.ม. | | |
|---|---|---|
| ปริมาตร ($m^3$) | ช่องเปิดระบายอากาศ ($cm^2$) | ACH |
| 1 | 0 | 0.000 |
| | 1 | 0.0122 |
| | 2 | 0.0147 |
| | 3 | 0.0160 |
| | 4 | 0.02050 |
| | 5 | 0.0219 |
| | 6 | 0.0255 |

| กล่องทดลอง 1.00 ลบ.ม. | | |
|---|---|---|
| ปริมาตร ($m^3$) | ช่องเปิดระบายอากาศ ($cm^2$) | ACH |
| | 7 | 0.0236 |
| | 8 | 0.0277 |
| | 9 | 0.0281 |
| | 10 | 0.0289 |
| | 11 | 0.0306 |
| | 12 | 0.0304 |

หลังจากนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้น แสดงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างขนาดช่องเปิดและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ดังแผนภูมิที่ 24 โดยแนวโน้มของกราฟเป็นเส้นโค้ง คือเมื่อเจาะช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ การเพิ่มตัวของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศก็จะเพิ่มขึ้นช้าลงเรื่อย ๆ




แผนภูมิที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิดและ ACH ภายในกล่องทดลองปริมาตร 1.00 $m^3$

**4.2.4. ผลเปรียบเทียบระหว่างห้องนอน 2 ห้องและกล่องทดลอง**

นำผลการศึกษาที่ได้มาเปรียบเทียบกันทั้งสองห้องนอน โดยมีการคำนวณให้ค่าเริ่มต้นของการทดลองเป็นห้องนอนทั้ง A และ B ที่ปิดสนิท มีอัตราการรั่วซึมของอากาศเท่ากับ 0 (ตารางที่ 24 และตารางที่ 25 ตามลำดับ) เพื่อนำผลจากการเก็บข้อมูลที่ได้ในห้องนอนทั้งสองห้องมารวมกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากกล่องทดลอง (ตารางที่ 23) (เนื่องจากภายในห้องนอนก่อนทำการเปิดช่องระบายอากาศนั้นมีการรั่วซึมอยู่แล้ว จึงจำเป็นต้องคำนวณให้ค่าเริ่มต้นเป็น 0 เพื่อเปรียบเทียบกับกล่องทดลองที่มีการผนึกสนิทแต่ตั้งต้น) จากนั้นนำค่าที่ได้มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องระบายอากาศและอัตราการไหลของอากาศ Air flow rate (ลบ.ม./ชม.) ในแผนภูมิที่ 25 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเจาะรูที่มีขนาดเท่ากันในกล่องหรือห้องที่มีปริมาตรต่างกันยิ่งมีปริมาตรเล็ก อัตราการไหลที่เกิดขึ้นจะเร็วกว่าในห้องที่มีปริมาตรใหญ่ และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่องระบายอากาศและอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH) ใน แผนภูมิที่ 26

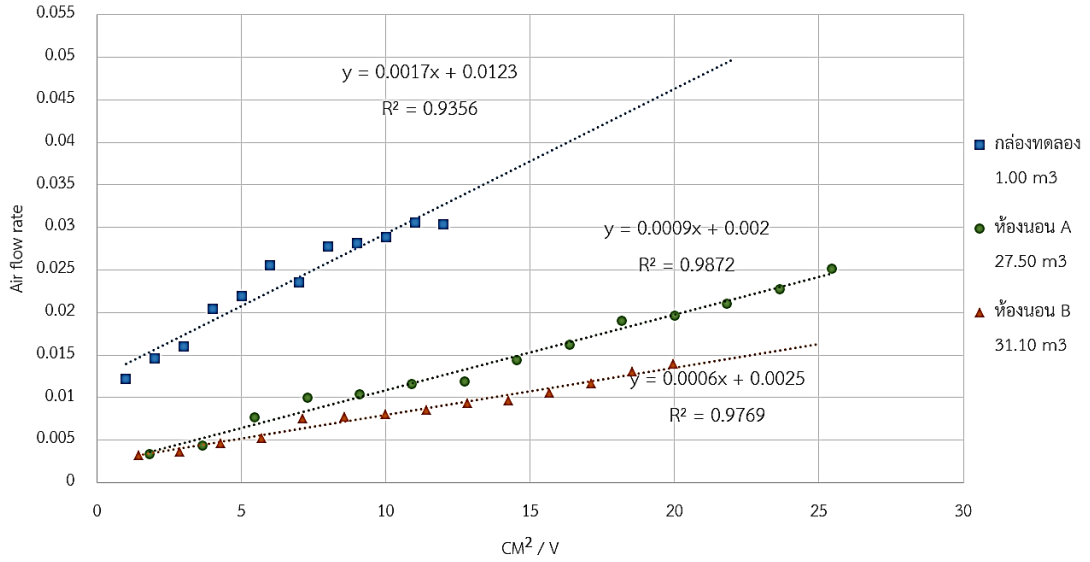
ตารางที่ 24 ผลการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 และสัดส่วนของช่องเปิดระบายอากาศต่อปริมาตร ของในห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม.

| ห้องนอนA ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ปริมาตร (m3) | ช่องเปิดระบายอากาศ ($cm^2$) | ช่องเปิดต่อปริมาตร ($cm^2$/V) | พื้นที่ช่องเปิดต่อปริมาตร (%) | พื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง (%) | ACH | ACH0 (SET = 0) | ACH0/V (SET = 0) |
| 27.50 | 0 | 0.00 | - | - | 0.246 | 0.000 | 0.000 |
| | 50 | 1.82 | 0.02% | 0.04% | 0.339 | 0.093 | 0.003 |
| | 100 | 3.64 | 0.04% | 0.09% | 0.366 | 0.119 | 0.004 |
| | 150 | 5.45 | 0.05% | 0.13% | 0.457 | 0.210 | 0.008 |
| | 200 | 7.27 | 0.07% | 0.17% | 0.521 | 0.275 | 0.010 |
| | 250 | 9.09 | 0.09% | 0.22% | 0.531 | 0.285 | 0.010 |
| | 300 | 10.91 | 0.11% | 0.26% | 0.565 | 0.318 | 0.012 |
| | 350 | 12.73 | 0.13% | 0.30% | 0.573 | 0.326 | 0.012 |
| | 400 | 14.55 | 0.15% | 0.35% | 0.642 | 0.396 | 0.014 |
| | 450 | 16.36 | 0.16% | 0.39% | 0.694 | 0.447 | 0.016 |
| | 500 | 18.18 | 0.18% | 0.43% | 0.770 | 0.523 | 0.019 |
| | 550 | 20.00 | 0.20% | 0.48% | 0.787 | 0.540 | 0.020 |
| | 600 | 21.82 | 0.22% | 0.52% | 0.824 | 0.577 | 0.021 |
| | 650 | 23.64 | 0.24% | 0.57% | 0.872 | 0.625 | 0.023 |
| | 700 | 25.45 | 0.25% | 0.61% | 0.938 | 0.692 | 0.025 |

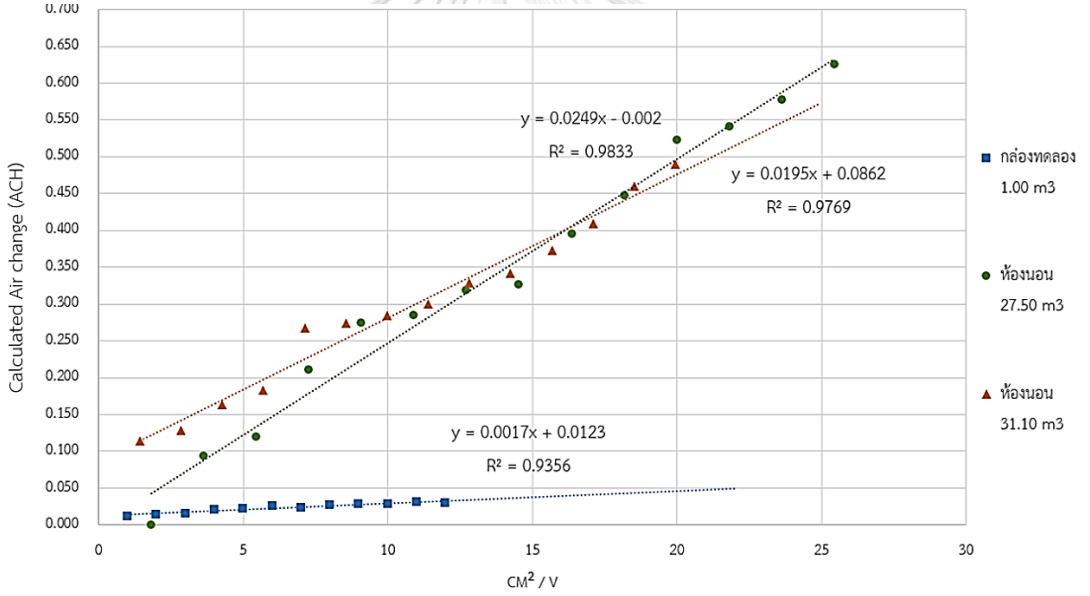
ตารางที่ 25 ผลการคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 และสัดส่วนของช่องเปิดระบายอากาศต่อปริมาตร ของในห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม.

| ห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ปริมาตร ($m^3$) | ช่องเปิดระบายอากาศ ($cm^2$) | ช่องเปิดต่อปริมาตร ($cm^2/V$) | พื้นที่ช่องเปิดต่อปริมาตร (%) | พื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง (%) | ACH | ACH0 (SET = 0) | ACH0/V (SET = 0) |
| 35.10 | 0 | 0.00 | - | - | 0.309 | 0.000 | 0.000 |
| | 50 | 1.42 | 0.01% | 0.03% | 0.424 | 0.115 | 0.003 |
| | 100 | 2.85 | 0.03% | 0.07% | 0.437 | 0.128 | 0.004 |
| | 150 | 4.27 | 0.04% | 0.10% | 0.473 | 0.164 | 0.005 |
| | 200 | 5.70 | 0.06% | 0.14% | 0.493 | 0.184 | 0.005 |
| | 250 | 7.12 | 0.07% | 0.17% | 0.577 | 0.268 | 0.008 |
| | 300 | 8.55 | 0.09% | 0.20% | 0.583 | 0.274 | 0.008 |
| | 350 | 9.97 | 0.10% | 0.24% | 0.593 | 0.285 | 0.008 |
| | 400 | 11.40 | 0.11% | 0.27% | 0.609 | 0.300 | 0.009 |
| | 450 | 12.82 | 0.13% | 0.30% | 0.638 | 0.329 | 0.009 |
| | 500 | 14.25 | 0.14% | 0.34% | 0.650 | 0.341 | 0.010 |
| | 550 | 15.67 | 0.16% | 0.37% | 0.682 | 0.373 | 0.011 |
| | 600 | 17.09 | 0.17% | 0.41% | 0.719 | 0.410 | 0.012 |
| | 650 | 18.52 | 0.19% | 0.44% | 0.769 | 0.460 | 0.013 |
| | 700 | 19.94 | 0.20% | 0.47% | 0.799 | 0.490 | 0.014 |

CHULALONGKORN UNIVERSITY

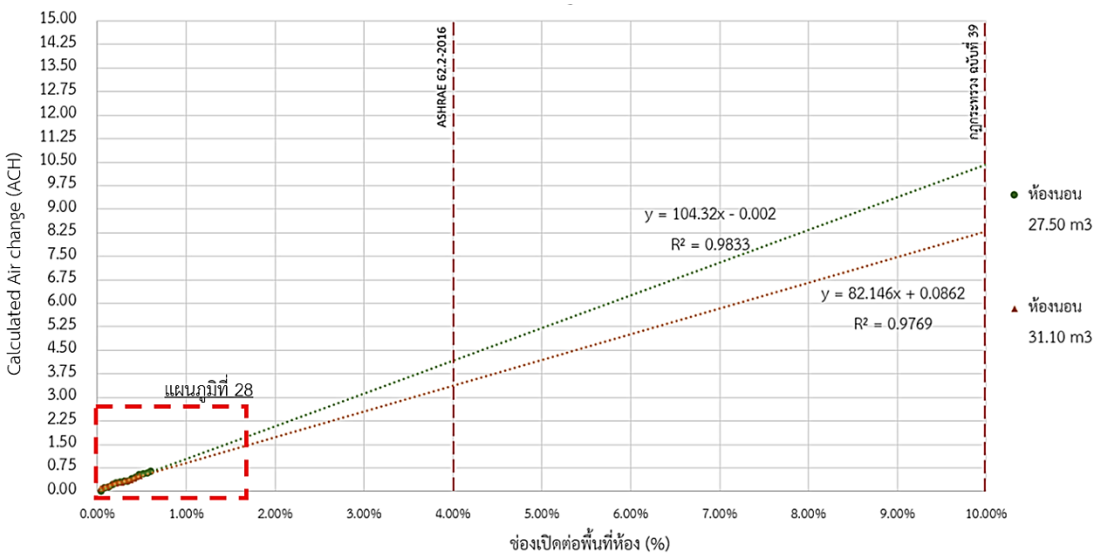



แผนภูมิที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่าง Air flow rate และช่องเปิดต่อปริมาตรของห้องนอนและกล่องทดลอง

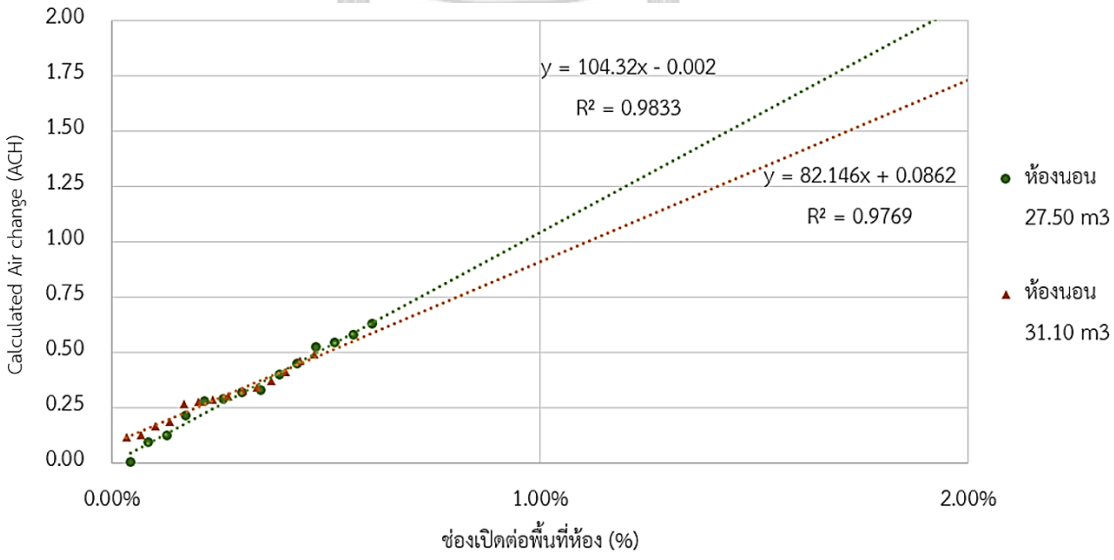



แผนภูมิที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่าง ACH และช่องเปิดต่อปริมาตรของห้องนอนและกล่องทดลอง

นำข้อมูลของห้องนอน A และ ห้องนอน B ที่ได้มาเปรียบเทียบเป็น อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ กับร้อยละของช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง แสดงให้เห็นในแผนภูมิที่ 27 (สามารถดูส่วนขยายของแผนภูมิได้ใน แผนภูมิที่ 28) จะเห็นได้ว่าจากการทดลองนั้น เปิดช่องเปิดถึงเพียงแค่ร้อยละ 0.61 เท่านั้นโดยตามเกณฑ์ ASHRAE 62.2-2016 กำหนดให้เปิดช่องเปิดถึงร้อยละ 4 ส่วนกฎกระทรวงฉบับที่ 39 นั้นกำหนดให้มีช่องเปิดถึงร้อยละ 10 และจะเห็นได้ว่ายิ่งมีร้อยละของช่องเปิดมากขึ้นจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มากขึ้น




แผนภูมิที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่าง Air change และร้อยละของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง




แผนภูมิที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่าง Air change และร้อยละของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง (ขยาย)

## 4.3. ผลการคำนวณค่าพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

ผลการคำนวณค่าพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบ่งเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกคือผลการคำนวณการสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่เกิดขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศภายในห้องนอน ส่วนที่สองคือการคำนวณการใช้พลังงานของระบบเติมอากาศบริสุทธิ์ (Energy Recovery Ventilator) สำหรับห้องนอน A และห้องนอน B ส่วนสุดท้ายคือการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นระหว่างการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติกับการใช้ระบบเครื่องกลในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด

### 4.3.1. ผลการคำนวณปริมาณการสิ้นเปลืองพลังงานจากการเปิดช่องระบายอากาศภายในห้องนอน A และห้องนอน B

นำผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณอัตราการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศ โดยนำค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ได้มาคำนวณด้วยการจำลองพลังงานในโปรแกรม Visual Doe 4.1 ทั้งห้องนอน A (ตารางที่ 26) และห้องนอน B (ตารางที่ 27) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประเมินผลความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ รวมถึงความสัมพันธ์อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกับพลังงานที่เพิ่มขึ้นในระบบเครื่องปรับอากาศระยะเวลารวม 1 เดือน ของห้องนอน A ขนาดปริมาตร 27.50 ลบ.ม. (แผนภูมิที่ 29) และห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. (แผนภูมิที่ 30) โดยเดือนที่เลือกใช้ในการคำนวณคือเดือน เมษายน ซึ่งเป็นหน้าร้อนของประเทศไทย

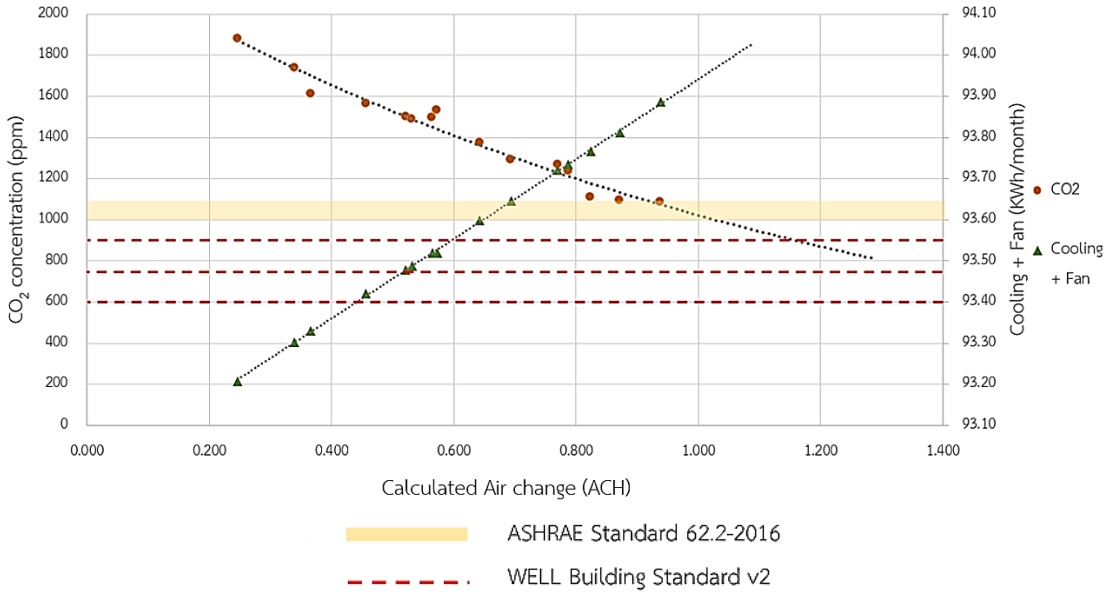
ตารางที่ 26 ผลการพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศ ภายในห้องนอน A ขนาดปริมาตร 27.50 $m^3$

| ห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ (ppm) | ช่องเปิด (ตร.ซม.) | ACH | Cooling (KWh/month) | Fan (KWh/month) | Cooling + Fan (KWh/month) | Cooling + Fan (%) |
| 1879 | 0 | 0.25 | 67.13 | 26.08 | 93.21 | 0.00% |
| 1739 | 50 | 0.34 | 67.20 | 26.10 | 93.30 | 0.10% |
| 1612 | 100 | 0.37 | 67.23 | 26.10 | 93.33 | 0.13% |
| 1565 | 150 | 0.46 | 67.31 | 26.12 | 93.42 | 0.23% |
| 1502 | 200 | 0.52 | 67.35 | 26.13 | 93.48 | 0.29% |
| 1488 | 250 | 0.53 | 67.36 | 26.13 | 93.49 | 0.30% |
| 1499 | 300 | 0.56 | 67.39 | 26.13 | 93.52 | 0.33% |
| 1534 | 350 | 0.57 | 67.39 | 26.13 | 93.52 | 0.33% |
| 1374 | 400 | 0.64 | 67.45 | 26.15 | 93.60 | 0.42% |
| 1292 | 450 | 0.69 | 67.49 | 26.16 | 93.65 | 0.47% |
| 1269 | 500 | 0.77 | 67.55 | 26.17 | 93.72 | 0.55% |

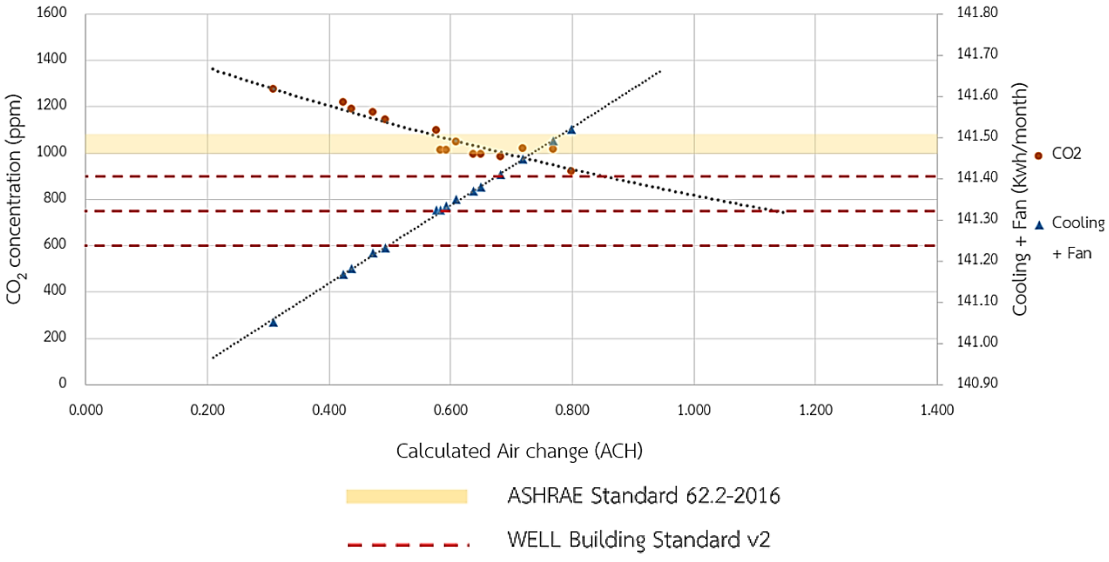
| ห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ (ppm) | ช่องเปิด (ตร.ซม.) | ACH | Cooling (KWh/month) | Fan (KWh/month) | Cooling + Fan (KWh/month) | Cooling + Fan (%) |
| 1235 | 550 | 0.79 | 67.57 | 26.17 | 93.74 | 0.57% |
| 1112 | 600 | 0.82 | 67.59 | 26.17 | 93.77 | 0.60% |
| 1095 | 650 | 0.87 | 67.63 | 26.18 | 93.81 | 0.65% |
| 1088 | 700 | 0.95 | 67.69 | 26.20 | 93.89 | 0.77% |

ตารางที่ 27 ผลการพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากการเปิดช่องระบายอากาศ ภายในห้องนอน B ขนาดปริมาตร 31.10 ลบ.ม.

| ห้องนอนปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ (ppm) | ช่องเปิด (ตร.ซม.) | ACH | Cooling (KWh/month) | Fan (KWh /month) | Cooling + Fan (KWh/month) | Cooling + Fan (%) |
| 1275 | 0 | 0.31 | 99.19 | 41.87 | 141.05 | 0.00% |
| 1220 | 50 | 0.42 | 99.28 | 41.89 | 141.17 | 0.08% |
| 1190 | 100 | 0.44 | 99.29 | 41.89 | 141.18 | 0.09% |
| 1175 | 150 | 0.47 | 99.32 | 41.90 | 141.22 | 0.12% |
| 1143 | 200 | 0.49 | 99.34 | 41.90 | 141.23 | 0.13% |
| 1097 | 250 | 0.58 | 99.41 | 41.91 | 141.32 | 0.19% |
| 1012 | 300 | 0.58 | 99.41 | 41.91 | 141.32 | 0.19% |
| 1014 | 350 | 0.59 | 99.42 | 41.91 | 141.33 | 0.20% |
| 1050 | 400 | 0.61 | 99.44 | 41.91 | 141.35 | 0.21% |
| 995 | 450 | 0.64 | 99.46 | 41.92 | 141.37 | 0.23% |
| 996 | 500 | 0.65 | 99.46 | 41.92 | 141.38 | 0.23% |
| 985 | 550 | 0.68 | 99.49 | 41.92 | 141.41 | 0.25% |
| 1019 | 600 | 0.72 | 99.52 | 41.93 | 141.45 | 0.28% |
| 1016 | 650 | 0.77 | 99.55 | 41.94 | 141.49 | 0.31% |
| 921 | 700 | 0.805 | 99.58 | 41.94 | 141.52 | 0.33% |




แผนภูมิที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ และพลังงานที่ใช้กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ ภายในห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม.




แผนภูมิที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ และพลังงานที่ใช้กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ ภายในห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม.

ตารางที่ 28 ผลสรุปคำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศของห้องนอน A และห้องนอน B

| ขนาดห้อง ($m^2$) | ปริมาตรห้อง ($m^3$) | ปริมาตรห้อง ($ft^3$) | $CO_2$ (ppm) | ACH | CFM ($ft^3$/min) | ช่องเปิด ($m^2$) | ช่องเปิดต่อพื้นที่ห้อง (%) | Cooling +Fan +Vent (KWh /month) | Cooling +Fan +Vent (%) | ทดลอง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11.50 | 27.50 | 964.10 | 1,879 | 0.25 | 3.98 | - | - | 93.21 | - | การวัด |
| | | | 1,000-1,100 | 1.00 | 16.90 | 0.07 | 0.61 | 93.99 | 0.77% | การวัด |
| | | | 900 | 1.15 | 18.61 | 0.09 | 0.78 | 94.09 | 0.94% | คาดคะเน |
| | | | 750 | 1.40 | 22.66 | 0.12 | 1.00 | 94.31 | 1.18% | คาดคะเน |
| | | | 600 | 1.65 | 26.71 | 0.13 | 1.13 | 94.54 | 1.43% | คาดคะเน |
| 14.80 | 31.10 | 1098.30 | 1,275 | 0.31 | 5.66 | - | - | 141.05 | - | การวัด |
| | | | 1,000-1,100 | 0.80 | 14.63 | 0.06 | 0.41 | 141.52 | 0.33% | การวัด |
| | | | 900 | 0.85 | 15.56 | 0.08 | 0.54 | 141.57 | 0.36% | คาดคะเน |
| | | | 750 | 1.15 | 21.05 | 0.13 | 0.88 | 141.84 | 0.56% | คาดคะเน |
| | | | 600 | 1.45 | 26.54 | 0.18 | 1.22 | 142.12 | 0.76% | คาดคะเน |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลคำนวณจะเห็นได้ว่าการเปิดช่องระบายอากาศนั้นสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยได้จริง แต่การลดได้จนถึงเกณฑ์มาตรฐานนั้นขึ้นอยู่กับปริมาตรของห้องนั้น ๆ โดยจากผลการศึกษาพบว่า ห้องนอนปริมาตร 27.50 ลบ.ม. และ 31.10 ลบ.ม. สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามเกณฑ์ ASHRAE ซึ่งกำหนดไว้ที่ 1,000 – 1,100 ppm โดยผลการคำนวณพลังงานของเครื่องปรับอากาศนั้นเพิ่มขึ้นที่ประมาณ 0.77% - 0.33% ตามลำดับ (ห้องนอนที่มีปริมาตรเล็กกว่าจะมีพลังงานที่เพิ่มขึ้นเยอะกว่า เนื่องจากต้องการอัตราการระบายอากาศมากกว่า) ขึ้นอยู่กับพื้นที่และปริมาตรของห้องนอน รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเปิดเครื่องปรับอากาศ

### 4.3.2. ผลการคำนวณการใช้พลังงานจากเครื่องกล (Energy Recovery Ventilation)

จากการเก็บข้อมูลและการคำนวณในข้างต้นแล้ว พบว่าหากต้องการให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนั้นอยู่ระหว่าง 1,000 – 1,100 ppm ตามเกณฑ์ ASHRAE แล้วนั้นจะต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ที่ประมาณ 14 – 17 CFM ($ft^3$/min) ขึ้นอยู่กับปริมาตรของห้องนอนนั้น ๆ โดยหากต้องการใช้เครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ (Energy Recovery Ventilator) นั้นจึงจำเป็นจะต้องเติมอากาศเข้ามาไม่น้อยกว่าปริมาณดังกล่าว

การคำนวณการใช้พลังงานจากเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ (Energy Recovery Ventilator) จึงเลือกใช้เครื่อง Panasonic Ventilation Fan รุ่น FV-04VE1 เข้ามาใช้ในการคำนวณซึ่งสามารถจ่ายอากาศบริสุทธิ์เข้ามาภายในห้องได้ 3 ระดับคือ 10 CFM, 20 CFM และ 40 CFM ตามลำดับ โดยคำนวณพลังงานที่เพิ่มขึ้นภายใน 1 เดือน หากติดเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์เพิ่ม ผลการคำนวณสำหรับห้องนอน A (ตารางที่ 29) และห้องนอน B (ตารางที่ 30) จะต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นประมาณ 5.41% และ 3.57% ตามลำดับ

ตารางที่ 29 ผลคำนวณพลังงานในหนึ่งเดือนจากการใช้เครื่องกลสำหรับห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม.

| ห้องนอน A ปริมาตร 27.50 ลบ.ม. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ERV | CFM (ft3/min) | ERV (Watt) | ERV (KWh) | ชม. การใช้งานต่อวัน | ชม. การใช้งานต่อเดือน | ERV Load (KWh/month) | Cooling+Fan (KWh/month) | ERV+Cooling+Fan (KWh/month) | ERV+Cooling+Fan (%) |
| FV-04VE1 | 10 | 17 | 0.017 | 8 | 240 | 4.08 | 93.21 | 97.29 | 4.38% |
| | 20 | 21 | 0.021 | 8 | 240 | 5.04 | 93.21 | 98.25 | 5.41% |
| | 40 | 23 | 0.023 | 8 | 240 | 5.52 | 93.21 | 98.73 | 5.92% |

ตารางที่ 30 ผลคำนวณพลังงานในหนึ่งเดือนจากการใช้เครื่องกลสำหรับห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม.

| ห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ERV | CFM (ft3/min) | ERV (Watt) | ERV (KWh) | ชม. การใช้งานต่อวัน | ชม. การใช้งานต่อเดือน | ERV Load (KWh/month) | Cooling+Fan (KWh/month) | ERV+Cooling+Fan (KWh/month) | ERV+Cooling+Fan (%) |
| | 10 | 17 | 0.017 | 8 | 240 | 4.08 | 141.05 | 145.13 | 2.89% |

| ห้องนอน B ปริมาตร 31.10 ลบ.ม. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ERV | CFM (ft3/ min) | ERV (Watt) | ERV (KWh) | ชม. การใช้งาน ต่อวัน | ชม. การใช้งาน ต่อเดือน | ERV Load (KWh /month) | Cooling +Fan (KWh/ month) | ERV+ Cooling +Fan (KWh/ month) | ERV+ Cooling+ Fan (%) |
| FV-04VE1 | 20 | 21 | 0.021 | 8 | 240 | 5.04 | 141.05 | 146.09 | 3.57% |
| | 40 | 23 | 0.023 | 8 | 240 | 5.52 | 141.05 | 146.57 | 3.91% |

### 4.3.3. เปรียบเทียบค่าการเปลืองพลังงานระหว่างการเปิดช่องระบายอากาศ และการใช้ระบบเครื่องกลสำหรับเติมอากาศบริสุทธิ์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย

ผลการคำนวณเปรียบการใช้พลังงานระหว่างห้องนอนที่เปิดช่องระบายอากาศ และห้องนอนที่ใช้ระบบเครื่องกลสำหรับเติมอากาศบริสุทธิ์ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองและการคำนวณมาประเมินผล (ตารางที่ 30) พบว่าห้องนอนที่มีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. และ 31.10 ลบ.ม. หากต้องการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนให้อยู่ในระดับ 1,000 – 1,100 ppm ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASHRAE นั้น สามารถทำได้โดยการเปิดช่องระบายอากาศ โดยสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้นจากห้องที่ไม่มีการเปิดช่องระบายอากาศประมาณ 0.77 – 0.33% เท่านั้น เมื่อเทียบกับเครื่อง Energy Recovery Ventilator (ERV) ที่ต้องใช้พลังงานถึง 5.41 – 3.57% (ตามลำดับโดยห้องนอนปริมาตรเล็กจะใช้พลังงานมากกว่าห้องนอนปริมาตรใหญ่) แต่จากการทดลองนั้นยังไม่สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ถึงระดับ 900, 750 และ 600 ppm ตามเกณฑ์ WELL Standard Building V.2 ได้ จึงทำได้เพียงการคาดคะเนจากแผนภูมิที่ 29 (ห้องนอน A) และแผนภูมิที่ 30 (ห้องนอน B) เท่านั้น หากต้องการให้ลดถึงระดับดังกล่าวจึงมีความจำเป็นจะต้องติดระบบเติมอากาศบริสุทธิ์เพิ่มซึ่งจะเพิ่มปริมาณของพลังงานที่ใช้ประมาณ 5.92 – 3.91% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับขนาดและปริมาตรของห้องพัก ค่าผลการคำนวณพลังงานที่เพิ่มขึ้นของห้องนอน A และห้องนอน B แสดงให้เห็นในตารางที่ 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 31 ผลการคำนวณพลังงานที่เพิ่มขึ้นของห้องนอน A และห้องนอน B

| เปรียบเทียบค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้น | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ห้องนอน | ปริมาตร ($m^3$) | Cooling +Fan (Kwh /month) | CO2 (ppm) | ระบบที่ใช้ | CFM ($ft^3$/min) | Cooling +Fan +Vent (Kwh/ month) | Cooling +Fan+ Vent (%) | ทดลอง |
| A | 27.50 | 93.21 | 1,100-1,000 | เปิดช่องระบายอากาศ | 16.90 | 93.99 | 0.77% | ทดลองจริง |
| | | | 900 | | 18.61 | 94.09 | 0.94% | คาดคะเน |
| | | | 750 | | 22.66 | 94.31 | 1.18% | คาดคะเน |
| | | | 600 | | 26.71 | 94.54 | 1.43% | คาดคะเน |
| | | | 1,100-1,000 | ติดเครื่อง ERV | 20 | 98.20 | 5.41% | คำนวณ |
| | | | 900 - 600 | | 40 | 98.80 | 5.92% | คำนวณ |
| B | 31.10 | 141.05 | 1,100-1,000 | เปิดช่องระบายอากาศ | 14.63 | 141.52 | 0.33% | ทดลองจริง |
| | | | 900 | | 15.56 | 141.57 | 0.36% | คาดคะเน |
| | | | 750 | | 21.05 | 141.84 | 0.56% | คาดคะเน |
| | | | 600 | | 26.54 | 142.12 | 0.76% | คาดคะเน |
| | | | 1,100-1,000 | ติดเครื่อง ERV | 20 | 146.10 | 3.57% | คำนวณ |
| | | | 900-600 | | 40 | 146.60 | 3.91% | คำนวณ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 4.4. สรุปผลการศึกษา

จากที่กล่าวในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ผลการศึกษาข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การสำรวจข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัยขนาดต่าง ๆ ส่วนที่สองคือการทำการทดลองในห้องนอนจริงโดยเก็บค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่เปิดช่องระบายอากาศที่มีขนาดแตกต่างกัน และส่วนสุดท้ายคือการคำนวณค่าการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบปรับอากาศ

ผลการสำรวจข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอน อาคารชุดพักอาศัย เขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 5 แห่งพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นภายในห้องนั้นล้วนเกินค่ามาตรฐานตาม ASHRAE 62.2-2016 ที่กำหนดไว้ที่ 1,000 – 1,100 ppm ทั้งสิ้น (ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอยู่ในระดับประมาณ 300 – 400 ppm) โดยปัจจัยที่ทำให้แต่ละห้องนอนมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เท่ากันคือปริมาตร และการรั่วซึมของห้องนอนในแต่ละห้อง

ผลการทดลองพบว่าการเปิดช่องระบายอากาศสามารถลดปริมาณก๊าซได้จริงแต่ได้ โดยพบว่าห้องนอนปริมาตร 27.50 ลบ.ม. และ 31.10 ลบ.ม. นั้นต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศประมาณ 1.00 ACH – 0.80 ACH ตามลำดับขึ้นอยู่กับปริมาตรของห้องพัก (โดยห้องนอนที่มีปริมาตรเล็กกว่าจะต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเยอะกว่าเนื่องจากมีระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า) เพื่อให้ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในเกณฑ์ ASHRAE ได้แต่ยังไม่สามารถลดให้ถึงมาตรฐานเกณฑ์ WELL Building Standards ได้

ผลการคำนวณค่าเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศ สิ้นเปลืองพลังงานภายในระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นเพียง 0.77% – 0.33% ตามลำดับจากห้องนอนที่ไม่ได้มีการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติ ส่วนการใช้ระบบเครื่องกลเพื่อเติมอากาศบริสุทธิ์แบบ Energy Recovery Ventilator (ERV) จะเพิ่มพลังงานที่ใช้อยู่ที่ประมาณ 5.40% – 3.60% ตามลำดับจากห้องนอนที่ไม่ได้มีการติดระบบเติมอากาศบริสุทธิ์แบบ ERV (โดยห้องนอนปริมาตรเล็กจะใช้พลังงานมากกว่าห้องนอนปริมาตรใหญ่) แต่หากต้องการให้ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ระดับต่ำกว่า 900, 750 และ 600 ppm ตามมาตรฐาน WELL Building Standards นั้น คาดว่าจำเป็นจะต้องใช้ระบบเครื่องกลเข้ามาช่วยเนื่องด้วยในการทดลองนั้นยังไม่สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ถึงระดับนั้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยที่เกิดจากอัตราการระบายอากาศไม่เพียงพอ เพราะไม่มีข้อกฎหมายบังคับเกี่ยวกับอัตราการระบายอากาศของห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย โดยมีข้อกำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 39 พ.ศ. 2537 ออกตามความพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 กำหนดให้ห้องในอาคารทุกประเภทต้องมีประตู หน้าต่าง หรือช่องระบายอากาศด้านติดกับภายนอกมีพื้นที่รวมกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ของห้อง และมีข้อกำหนดอัตราการระบายอากาศสำหรับห้องพักภายในอาคารชุดโดยรวมเท่านั้น ไม่มีข้อกำหนดอัตราการระบายอากาศสำหรับห้องนอนแต่อย่างใด (กฎกระทรวง, 2537)

ถึงแม้ว่าการออกแบบห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยต้องออกแบบให้มี ประตู หรือหน้าต่างตามข้อกำหนดของกฎหมาย แต่การใช้งานจริงห้องนอนที่ใช้ระบบปรับอากาศมักปิดประตู-หน้าต่างเป็นเรื่องปกติ ทำให้ไม่มีการระบายอากาศภายในห้องเลย

ส่วนการออกแบบระบบระบายอากาศในห้องชุดเพื่อให้เป็นไปตามกฎหมาย ส่วนใหญ่จะใช้พัดลมดูดอากาศที่ห้องน้ำ และระบบดูดควันที่ห้องครัวดูดอากาศออกไปทิ้งนอกห้องแล้วให้อากาศไหลเข้าแทนที่ ส่วนห้องนอนและห้องอื่น ๆ ในอาคารชุดพักอาศัยที่ไม่ได้อยู่ติดห้องน้ำหรือห้องครัวจะไม่มีการระบายอากาศเลย

นอกจากนั้นอาคารชุดพักอาศัยปัจจุบันมีข้อจำกัดมากมายที่ทำให้ไม่มีการระบายอากาศที่เพียงพอ เช่น มีหน้าต่างติดภายนอกพียงด้านเดียว มีฝ้าเพดานต่ำทำให้เดินท่อดูด-เป่าลมหรือเครื่องเติมอากาศทำได้ยากหรือทำไม่ได้เลย จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัยไม่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ได้มาตรฐาน

ปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่ยังเชื่อว่าอาคารต้องผนึกให้สนิท เกิดการรั่วซึมอากาศน้อยที่สุด เพื่อลดความสิ้นเปลืองในระบบปรับอากาศ แต่จากงานวิจัยเรื่องผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย ได้ผลสรุปว่าในเรือนไทยที่มีอัตราการรั่วซึมอาคารสูงกว่า บ้านร่วมสมัยนั้นสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมาก โดยเฉพาะอาคารที่อยู่ในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย สิ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงานได้มากกว่า การลดการรั่วซึมของอากาศคือ การออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี เช่น การบังแดด การใช้วัสดุที่ไม่ดูดซับความร้อนเป็นต้น (คำรน สุทธิ, 2554)

นอกจากนั้นมีงานวิจัยของ J. Fehkmann และ H.U. Wanner (1993) ที่ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพอากาศภายในอาคารพักอาศัยที่ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ พบว่าห้องนอนที่ถูกปิดประตูและหน้าต่างสนิทนั้นมีอัตราการระบายเพียง 0.01-0.5 ACH เท่านั้น และเมื่อทำการวัดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีความสูงมากถึง 4,300 ppm เมื่อทดลองเปิดหน้าต่างที่ความกว้างเพียง 10 ซม. สามารถลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลงเหลือเพียง 1,500 ppm เท่านั้น

งานวิจัยชิ้นนี้จึงต้องการศึกษาเกี่ยวกับการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยโดยใช้ช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติ เพื่อเพิ่มอัตราแลกเปลี่ยนอากาศและการระบายอากาศภายในห้องพัก ต่อยอดจากงานวิจัยข้างต้น ให้ได้ผลอย่างเป็นรูปธรรมและได้คุณภาพอากาศตามมาตรฐานอ้างอิง

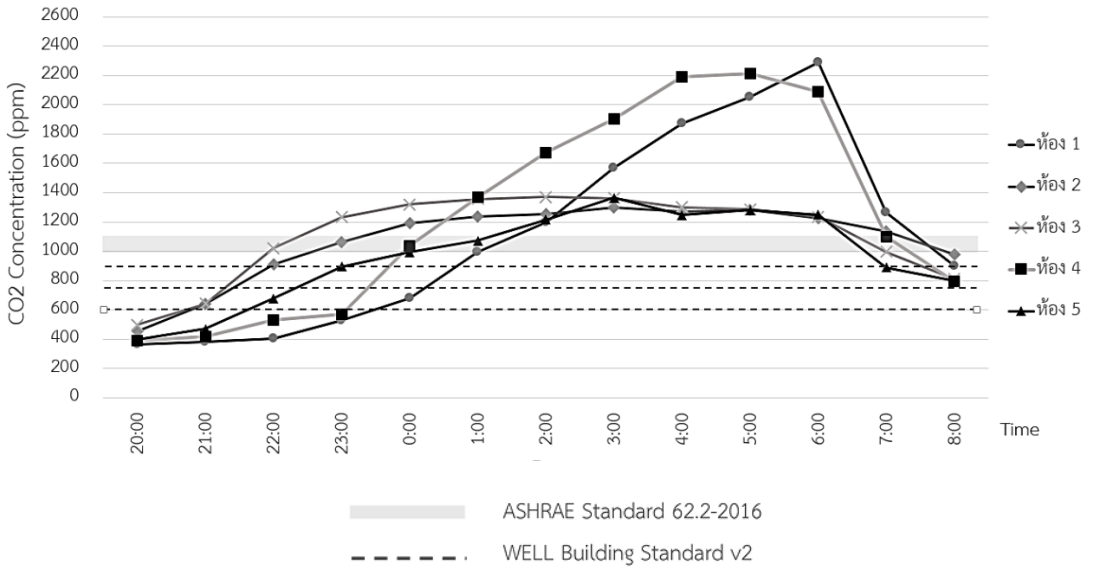
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 5.1. สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือ การศึกษาวิธีออกแบบช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติ เพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้หรือไม่ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอ้างอิงมาตรฐาน 2 เกณฑ์คือ ASHRAE 62.2-2016 ซึ่งกำหนดให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารไม่ควรมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของอากาศภายนอกเกินกว่า 700 ppm (ซึ่งปกติค่าคาร์บอนไดออกไซด์ภายนอกอยู่ที่ 300 ppm – 400 ppm) หรือควรอยู่ในระดับประมาณ 1,000 ppm – 1,100 ppm

และเกณฑ์ WELL กำหนดให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารควรน้อยกว่า 900, 750 และ 600 ppm โดยกำหนดว่าหากลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในระดับดังกล่าวจะได้คะแนนอยู่ที่ 1, 2 และ 3 คะแนน ตามลำดับ

หลังจากทำการเก็บข้อมูลห้องนอนในอาคารชุดพักอาศัย เขตกรุงเทพมหานครจำนวน 5 แห่ง พบว่าห้องนอนทุกแห่ง มีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินกว่ามาตรฐานทั้งหมด (แผนภูมิที่ 31) และยังพบอีกว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องนอนที่มีจำนวนผู้อยู่อาศัยเหมือนกันและมีระยะเวลาการใช้งานเท่ากัน ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาตรและการรั่วซึมของห้องนั้น เมื่อยิ่งห้องมีขนาดใหญ่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะน้อย ห้องขนาดเล็กปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสูง และถ้าห้องพักมีการรั่วซึมมากจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องพักน้อยลงเพราะอากาศภายนอกรั่วเข้ามาในห้องได้มาก




แผนภูมิที่ 31 ผลการสำรวจปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้ง 5 ห้องนอน

ในการทดลองเปิดช่องระบายอากาศภายนั้น ได้ดำเนินการกับห้องนอน 2 แห่งที่มีขนาดไม่เท่ากัน ห้องแรก (A) มีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. ห้องที่ 2 (B) มีปริมาตร 31.10 ลบ.ม. โดยวัดค่าในช่วงเวลา 23:30 น. – 7:00 น. รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 7 ชั่วโมง 30 นาทีต่อคืน เก็บข้อมูล 15 วันต่อห้อง เปิดช่องระบายอากาศ เริ่มจากขนาดเล็กสุดที่ 50 ตร.ซม. แล้วเพิ่มขนาดขึ้นครั้งละ 50 ตร.ซม. จนถึงขนาดใหญ่สุดคือ 700 ตร.ซม. พบว่าการเปิดช่องนี้สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้จริง แล้วยังทำให้อัตราการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากการหายใจของผู้อยู่อาศัยเพิ่มช้าอีกด้วย โดยผลจากการทดสองพบว่าช่องเปิดระบายอากาศนั้นสามารถลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามเกณฑ์ ASHRAE ในระดับไม่เกิน 1,000 ppm – 1,100 ppm แต่ไม่สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้น้อยกว่า 900 ppm ตามข้อกำหนดของ WELL Building Standards v.2 ได้

นอกจากนั้นยังพบว่า อัตราการเพิ่มของความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ละคืนนั้นเพิ่มขึ้นช้าลง พิจารณาได้จากจำนวนชั่วโมงที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงกว่า 1,100 ppm และ 900 ppm จากตารางที่ 18 และตารางที่ 19 จะพบว่ายิ่งมีช่องระบายอากาศใหญ่ขึ้นเท่าใดจำนวนชั่วโมงที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกินกว่าเกณฑ์นั้นจะน้อยลงไปด้วย

จากนั้นหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอนที่เกิดจากการเปิดช่องระบายอากาศขนาดต่าง ๆ โดยวิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยการสลายตัวของก๊าซที่ปล่อยเข้ามาในห้อง หลังจากหยุดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องทุก 5 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำค่าที่ได้แทนลงในสูตร (11) เพื่อหาค่าอัตราการแลกเลี่ยนอากาศ พบว่ายิ่งมีการเปิดช่องระบายอากาศใหญ่ขึ้นอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องจะสูงขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง แต่เมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงใกล้จุดต่ำสุด การเพิ่มขึ้นของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกลับมีผลที่จะลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง ทำให้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งนั้นเอง (แผนภูมิที่ 15)

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างช่องระบายอากาศและการแลกเปลี่ยนอากาศนั้น พบว่าการเปิดช่องระบายอากาศในห้องนอนขนาดใหญ่จะส่งผลกับอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศน้อยกว่าห้องนอนขนาดเล็กหากต้องการให้ทั้งสองห้องนอนมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เท่ากันห้องนอนที่มีปริมาตรมากกว่าจะต้องการช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่กว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แต่ในทางกลับกันความสัมพันธ์ระหว่างช่องระบายอากาศกับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น จะพบว่าเพื่อลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ตามเกณฑ์ ห้องนอนขนาดใหญ่กลับต้องการช่องเปิดน้อยกว่าห้องนอนขนาดเล็ก เพราะความเข้มข้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนใหญ่เข้มข้นน้อยกว่าหรือมีความเจือจางกว่าห้องนอนเล็ก หรือกล่าวอีกแง่คือห้องนอนใหญ่ต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศน้อยกว่าห้องนอนขนาดเล็ก

ผลจากการทดลองพบว่าห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยปริมาตรระหว่าง 27.50 ลบ.ม. และ 31.10 ลบ.ม. นั้นต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ที่ประมาณ 1.00 ACH – 0.80 ACH ตามลำดับ (โดยห้องนอนที่มีปริมาตรเล็กกว่าต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนที่มากกว่า เนื่องจากมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า) ขึ้นอยู่กับปริมาตรของห้องนอนนั้น ๆ โดยมีขนาดช่องเปิดประมาณร้อยละ 0.61 – ร้อยละ 0.41 ตามลำดับจากพื้นที่ห้อง (ตร.ม.) (ตารางที่ 28) เพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงให้ต่ำกว่า 1,000 ppm – 1,100 ppm ค่านี้มาจากการทดลองจริง (แผนภูมิที่ 15) พบว่าหากต้องการให้ความเข้มข้นของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า 900 ppm จะต้องการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ที่ 1.15 ACH – 0.85 ACH ตามลำดับ (ตารางที่ 27) ซึ่งเป็นการคาดคะเนโดยวิธีการคำนวณเท่านั้น จึงไม่สามารถชี้วัดได้จริงว่าอัตราการแลกเปลี่ยนดังกล่าวสามารถลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามเกณฑ์นี้จริงหรือไม่

ผลการคำนวณความสิ้นเปลืองพลังงานพบว่าการเปิดช่องระบายอากาศเพื่อให้ห้องนอนมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกิน 1,000 ppm – 1,100 ppm ต้องใช้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ที่ 1.00 ACH – 0.80 ACH (หรือ 16.90 CFM – 14.60 CFM) เมื่อเปิดระบบปรับอากาศช่วงเวลา 23:00 น. – 07:00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อคืน คำนวณในช่วงเดือนเมษายนที่คาดว่าอุณหภูมิจะสูงที่สุดของปี ผลที่ได้พบว่าระบบปรับอากาศใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 0.77 – ร้อยละ 0.33 ตามลำดับจากห้องนอนที่ไม่มีการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับการติดเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ ERV (Energy Recovery Ventilator) พบว่าระบบนี้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอยู่ที่ ร้อยละ 5.40 – ร้อยละ 3.60 ตามลำดับ

หลังจากการทดลองพบว่าไม่สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ต่ำกว่า 900 ppm 750 ppm และ 600 ppm ด้วยวิธีเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติได้ หากต้องการลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในระดับนี้ได้จึงจำเป็นต้องติดระบบเครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ช่วย ซึ่งจะทำให้ใช้พลังงานสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 5.91 – ร้อยละ 3.91 ตามลำดับทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของห้องนอนและระยะเวลาเปิดใช้งาน

โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้ผลสรุปเป็นในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ J. Fehkmann และ H.U. Wanner (1993) ซึ่งได้ทำการทดลองได้ทำการเปิดประตูหรือหน้าต่างด้วยระยะความกว้างเพียง 10 เซนติเมตร[10] ก็มีส่วนช่วยให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดต่ำลงได้ แสดงให้เห็นว่าการเปิดช่องระบายอากาศเพียงเล็กน้อย นั้นสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับการเปิดช่องระบายอากาศในงานวิจัยครั้งนี้ซึ่งเปิดช่องเพียงร้อยละ 0.61 – ร้อยละ 0.41 ตามลำดับ คิดจากขนาดของห้องพัก (ตร.ม.) ก็สามารถลดประมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ต่ำกว่าเกณฑ์ ASHRAE ได้

ผลการวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่าการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติ ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัยปริมาตร 27.50 ลบ.ม. - 31.10 ลบ.ม. เพียงด้านเดียว สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามเกณฑ์ ASHRAE ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 ppm – 1,100 ppm ได้จริง และจากการจำลองค่าพลังงานพบว่าสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้นจากห้องนอนที่ไม่ได้มีการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติเพียง ร้อยละ 0.77 ถึง ร้อยละ 0.33 ตามลำดับ

แต่การเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติเพียงด้านเดียวไม่สามารถลดปริมาณ ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตาม เกณฑ์ WELL Building Standards ที่กำหนดให้ไม่เกิน 900 ppm 750 ppm และ 600 ppm รวมทั้งไม่สามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ตามเกณฑ์ ASHRAE 62.2-2016 ที่กำหนดว่าสำหรับห้องพัก 1 ห้องนอนที่มีขนาดน้อยกว่า 46.50 ตร.ม. ต้องมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศไม่น้อยกว่า 30 CFM โดยผลจากการทดลองทำได้เพียง 16.90 CFM และ 14.60 CFM เท่านั้น

---

[10] มีการทำการทดลองในห้องนอนหลายห้องจึงไม่ได้มีการระบุขนาดของช่องเปิดในงานวิจัยชิ้นนี้ ระบุเพียงระยะของหน้าต่างที่ถูกเปิดไว้

## 5.2. แนวทางเพื่อการประยุกต์ใช้

ผลการศึกษาพบว่า การเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติสามารถช่วยลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนของอาคารชุดพักอาศัยได้ และสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องพักได้อีกด้วย การประยุกต์ผลการศึกษานี้เพื่อมาใช้ในการออกแบบอาคารชุดพักอาศัยในอนาคตคือห้องนอนในอาคารพักอาศัยควรติดตั้งช่องระบายอากาศที่เปิด-ปิดได้ เพื่อเพิ่มการระบายอากาศและลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาการใช้งานของห้องพักไม่ให้มีค่าเกินค่ามาตรฐานของ ASHRAE

โดยจากการศึกษาพบว่า ห้องนอนที่มีปริมาตร 27.50 ลบ.ม. (11.00 ตร.ม.) ถึง 31.10 ลบ.ม. (14.00 ตร.ม.) หากต้องการลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในระดับไม่เกิน 1,000 ppm – 1,100 ppm นั้นทำได้ด้วยการเปิดช่องระบายอากาศขนาดประมาณร้อยละ 0.61 – ร้อยละ 0.41 ตามลำดับ คิดจากขนาดของห้องพัก (ตร.ม.) ซึ่งการเปิดช่องระบายอากาศตามธรรมชาตินี้ ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบเครื่องปรับอากาศเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ในอนาคตการออกแบบห้องนอนภายในอาคารชุดพักอาศัยจึงควรออกแบบให้มีการเจาะช่องระบายอากาศไว้ตั้งแต่แรก และควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปซึ่งสามารถทำเป็นช่องระบายอากาศ โดยมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้การใช้งานสมบูรณ์ เช่น มีเกล็ดระบายอากาศซึ่งสามารถเปิด-ปิด และควบคุมขนาดของช่องระบายอากาศได้ตามต้องการ ติดตั้งระบบกรองฝุ่นและป้องกันแมลงที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ วิธีนี้เป็นการลงทุนต่ำกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่าการติดตั้งระบบเครื่องกลเพื่อเพิ่มอากาศจากภายนอกเข้าภายใน

จึงถือได้ว่าจากผลการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ช่องระบายอากาศธรรมชาติเพื่อใช้ติดตั้งในห้องนอนของห้องชุดพักอาศัย ทำให้คุณภาพของอากาศภายในห้องนอนนั้นดีขึ้น จากการลดความเข้มข้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพียงพอโดยไม่สร้างภาระการใช้พลังงานระบบปรับอากาศมาก สิ่งนี้จะช่วงส่งเสริมให้อาคารชุดยุคใหม่มีคุณภาพสูงขึ้น เป็นประโยชน์กับผู้อยู่อาศัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 5.3. ข้อเสนอแนะ

### 4.3.1 ข้อเสนอแนะในการออกแบบเพื่อผู้อยู่อาศัยที่ดี

งานวิจัยในอดีตพบว่ายิ่งมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากจะทำให้คุณภาพของการนอนหลับลดลง ส่งผลต่อสุขภาพ และความสามารถในการทำงานของวันถัดไป (ดารณี จารีมิตร และคณะ, 2017) นอกจากนั้นความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่า 1,500 ppm จะก่อให้เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียน และหมดแรง และหากปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีมากถึงระดับ 1,500 – 4,000 ppm จะเกิดอาการระคายทางคอ จมูก น้ำตาไหล และไอ ที่เป็นอาการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ (Myhrvold, A.N., Olsen, E. and Lauridsen, 1996)

จากข้อมูลนี้ทำให้เห็นว่าการระบายอากาศเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพชีวิตของคนในอาคารจึงมีข้อเสนอแนะว่าการออกแบบห้องนอน ของอาคารชุดพักอาศัยต้อวออกแบบให้ห้องนอนมีอัตราการระบายอากาศที่เพียงพอ โดยการติดตั้งช่องระบายอากาศธรรมชาติเพิ่มเติมจากหน้าต่างปกติ เพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในโดยเป็นแนวคิดหลักของงานวิจัยชิ้นนี้นั่นเอง

หากไม่สามารถออกแบบให้ห้องนอนมีการติดช่องระบายอากาศธรรมชาติได้ หรือต้องการลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงให้ต่ำกว่า 1,000 ppm หรือต่ำกว่า 900, 750 และ 600 ppm ตามเกณฑ์ของ WELL Building Standards V.2 ซึ่งจากงานวิจัยอื่นพบว่าจะต้องใช้อัตราแลกเปลี่ยนอากาศปริมาณถึง 2.30 ACH นั้น (ดารณี จารีมิตร และคณะ, 2017) จำเป็นต้องใช้วิธีติดตั้งระบบเครื่องกลเพิ่มเติม เช่น พัดลมระบายอากาศ, เครื่องเติมอากาศบริสุทธิ์ (Fresh air intake) หรือระบบเติมอากาศบริสุทธิ์แบบ ERV (Energy Recovery Ventilator) ซึ่งมีระบบการช่วยกู้คืนพลังงาน จึงจะสามารถเพิ่มอากาศภายนอกที่มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ เข้ามาเจือจางปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารได้มากขึ้น วิธีนี้จึงจะสามารถลดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ต่ำลงตามที่ต้องการนั้นเอง

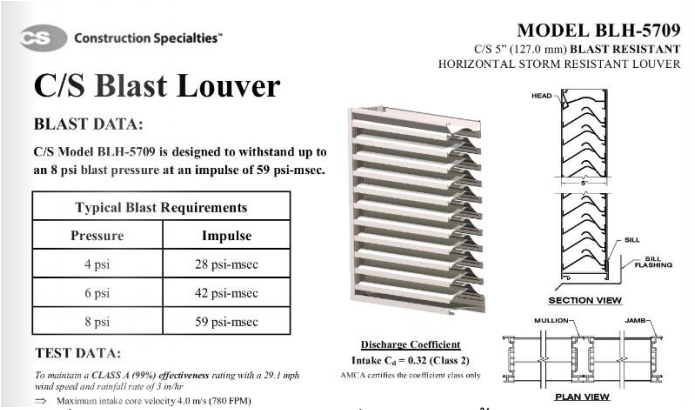
### 4.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำวิจัยไปต่อยอด

จากการวิจัยเรื่อง ช่องเปิดระบายอากาศเพื่อลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการต่อยอดงานวิจัยดังนี้

1. เสนอให้มีการนำปัจจัย ความเร็วลมภายนอกมาเป็นองค์ประกอบในการศึกษาในขั้นต่อไปด้วย เนื่องจากพบว่าอาคารชุดพักอาศัยที่อยู่บริเวณที่มีความเร็วลมต่างกันส่งผลต่อขนาดของช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติที่ใช้ รวมถึงระดับความสูงของห้องพักหากห้องพักที่ตั้งอยู่ในระดับสูงย่อมมีลมพัดที่แรงกว่าห้องพักที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ต่ำกว่า
2. เสนอให้ศึกษาต่อเรื่องการออกแบบช่องระบายอากาศธรรมชาติที่สามารถป้องกัน ฝุ่น, แมลง, เสียง และความชื้น เช่นการออกแบบช่องเปิดที่ติดบานหน้าต่างหรือเกล็ดระบายอากาศที่สามารถเปิด-ปิดได้ (รูปที่ 43) ทำให้สามารถควบคุมขนาดของช่องเปิดได้ตามความเหมาะสม หรือติดตั้งเกล็ดระบายอากาศแบบ Performance Louver ที่มีการป้องกันน้ำไหลเข้าสู่อาคาร (รูปที่ 44) หรือการติด อคูสติคบานเกล็ด (Acoustic Louver) ที่ป้องกันเสียงภายนอกแต่ยังสามารถให้มีอากาศภายเทเข้าออกได้เนื่องจากภายในห้องนอนอาจต้องการความเงียบ (รูปที่ 45)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 43 เกล็ดระบายอากาศแบบหมุนปิด – เปิด ได้




รูปที่ 44 Performance louver ที่สามารถกันน้ำไหลเข้าสู่อาคารได้

รูปที่ 45 เกล็ดระบายอากาศกันเสียง (VAW System, 2019)

ส่วนเรื่องการป้องกันฝุ่นโดยเฉพาะ ฝุ่น PM 2.5 เสนอให้ติดตั้งฟิลเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติด้วย (รูปที่ 46) การติดฟิลเตอร์กรองฝุ่นอาจส่งผลต่อขนาดช่องระบายอากาศของห้องพัก โดยเสนอให้ศึกษาผลของฟิลเตอร์แต่ละชนิดเพิ่มเติมด้วย

รูปที่ 46 ฟิลเตอร์กรองฝุ่นแบบแผ่น สามารถติดตั้งและเปลี่ยนเองได้

3. เสนอให้วิจัยเรื่องผลของตำแหน่งของการเปิดช่องระบายอากาศธรรมชาติว่า ตำแหน่งของช่องเปิดบริเวณใดจะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น
4. เสนอให้วิจัยและศึกษาต่อเรื่องของรูปร่างของช่องเปิดระบายอากาศธรรมชาติว่าควรมีลักษณะและรูปร่างแบบใดจึงเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดอีกด้วย

# บรรณานุกรม


ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2016). ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2016. Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, GA: Author.

ASTM, American Society for Testing and Materials. (2017). Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution. ASTM E*741-11*. USA: Author.

ASTM, American Society for Testing and Materials (2017). Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization. ASTM *E*779-10. USA: Author.

Cheng, P. L., & Li, X. (2018). Air infiltration rates in the bedroom of 202 residences and estimated parametric infiltration rate distribution in Guangzhou China. Building and Environment, 164, 219-225.

Fehkmann, J., & Wanner, H. U. (1993). Indoor Climate and Indoor Air Quality in Residential Buildings. Indoor Air, 3, 41-50.

Huang, K., Song, J., Feng, G., Chang, Q., Jiang, B., Wang, J., and Fang, X. (2015). Indoor air quality analysis of residential buildings in northeast China based on field measurements and longtime monitoring. Building and Environment, 144, 171-183.

Irwin, M. (2015). Why Sleep Is Important for Health: A Psychoneuroimmunology Perspective. Annu Rev Psychol, 66, 143-172.

IWBI, International WELL Building Institue. (2015). The WELL Multifamily Residential Pilot Addendum Version A - June 2015. New York: Delos Living LLC.

IWBI, International WELL Building Institue. (2018). The WELL Building Standard v2 pilot. New York: Delos Living LLC.

Myhrvold, A. N., Olsen, E., and Lauridsen, Ø. (1996). Indoor environment in schools - pupils health and performance in regard to CO2 concentrations. Indoor Air' *96:* the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 369-374.

Strøm-Tejsen, P., Zukowska, D., Wargocki, P., & Wyon, D. (2015). The effects of bedroom air quality on sleep and next-day Performance. Indoor Air, 26, 679-689.

Thumann, A., & Mehta, D. P. (2008). *Handbook of Energy Engineering*. GA: USA.

U.S. Environmental Protection Agency. (2016). The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality [Online]. Available from : https://www.epa.gov/indoor-air-qualityiaq/inside-story-guide-indoor-air-quality [2016, December 6]

U.S. Green Building Council. (2014). LEED V4 for Building Design and Construction. In. Washington DC, USA.


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wong, N. H., & Huang, B. (2004). Comparative study of the indoor air quality of naturally ventilated and air-conditioned bedrooms of residential buildings in Singapore. Building and Environment, 39, 1115-1123.

กรรณิกา แท่นคำ. (2554). โครงการศึกษาคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะในเขตกรุงเทพมหานคร. ใน โครงการศึกษาคุณภาพอากาศในอาคารสาธารณะ เพื่อจัดทาหลักเกณฑ์ แนะนาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะสาหรับประชาชน, ณ ห้องประชุมสานักอนามัย 1 อาคารสานักการโยธา ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร 2.

กูสกานา กูบาฮา และสุทธิพงศ์ เนื่องเยาว์. (2550). การศึกษาลักษณะการรั่วซึมอากาศของหน้าต่างและประตู. ใน การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมใบหยกสกาย จังหวัดกรุงเทพฯ.

คำรน สุทธิ. (2554). ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดารณี จารีมิตร พันธ์พิสุ จุลพันธ์วัฒนา และจิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์. (2560). ผลกระทบของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องต่อคุณภาพ ในการนอนหลับและการทำงานในวันรุ่งขึ้นจากการใช้เครื่องเติมอากาศ แบบแลกเปลี่ยนพลังงาน. JARS, 14(1), 21-32.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ธนัญรัตน์ ผาตินาวิน. (2558). แนวโน้มการออกแบบโครงการอาคารชุดพักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครที่ตอบสนองกับพฤติกรรมของกลุ่มคนเจเนอเรชั่นวาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

นภดนัย อาชวาคม. (2554). คุณภาพอากาศภายในอาคาร [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.eng.chula.ac.th/files/larngearforum/download/larngearforum2554/20110319/Nopdanai_AirQuality.pdf [30 พฤษภาคม 2562]

ปาริณี ศรีสุวรรณ์. (2554). คุณภาพอากาศภายในอาคารที่มีการรั่วซึมของอากาศสูงเมื่อมีการใช้ระบบเติมอากาศภายนอก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พิมพ์พรรณ จิโรจน์วงศ์, ชมพูนุท แสงกาญจนวนิช อรรจน์ เศรษฐบุตร สฤกกา พงษ์สุวรรณ และจิตพัต ฉอเรืองวิวัฒน์. (2561). การศึกษาเปรียบเทียบการระบายอากาศของห้องพักคอนโดมิเนียมโดยวิธีการสลายของแก๊ส และการอัดอากาศ. JARS, 15(1), 127-134.

ภัทรวุฒิ วงษ์สุวรรณ์. (2555). การศึกษาอัตราระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคารและการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาวดี ธุววงศ์. (2560). แนวทางการพัฒนาเกณฑ์อาคารที่พักอาศัยเพื่อสุขภาวะในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2553). สำมะโนประชากรและการเคหะ พ.ศ. 2553 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.nso.go.th/sites/2014/Documents/pop/2553/Results_report2553.pdf [30 พฤษภาคม 2562]

อริสา กาญจนากระจ่าง และภารดี ช่วยบำรุง. (2560). การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องเรียน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(6), 962-947.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ก ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารชุดพักอาศัยจำนวน 5 แห่ง

| ห้องนอนที่ 1 ย่านสุขุมวิท | |
|---|---|
| เวลา | $CO_2$ (ppm) |
| 20:00 | 364 |
| 21:00 | 382 |
| 22:00 | 402 |
| 23:00 | 526 |
| 0:00 | 682 |
| 1:00 | 994 |
| 2:00 | 1200 |
| 3:00 | 1568 |
| 4:00 | 1875 |
| 5:00 | 2055 |
| 6:00 | 2288 |
| 7:00 | 1265 |
| 8:00 | 897 |
| Average | 1115.231 |

| ห้องนอนที่ 2 ย่านเอกมัย | |
|---|---|
| เวลา | $CO_2$ (ppm) |
| 20:00 | 452 |
| 21:00 | 639 |
| 22:00 | 909 |
| 23:00 | 1060 |
| 0:00 | 1193 |
| 1:00 | 1236 |
| 2:00 | 1255 |
| 3:00 | 1297 |
| 4:00 | 1271 |
| 5:00 | 1280 |
| 6:00 | 1227 |
| 7:00 | 1133 |
| 8:00 | 980 |
| Average | 1071.692 |

| ห้องนอนที่ 3 ย่านสุขุมวิท | |
|---|---|
| เวลา | $CO_2$ (ppm) |
| 20:00 | 499 |
| 21:00 | 643 |
| 22:00 | 1022 |
| 23:00 | 1231 |
| 0:00 | 1320 |
| 1:00 | 1355 |
| 2:00 | 1371 |
| 3:00 | 1362 |
| 4:00 | 1300 |
| 5:00 | 1285 |
| 6:00 | 1235 |
| 7:00 | 995 |
| 8:00 | 811 |
| Average | 1109.923 |

| ห้องนอนที่ 4 ย่านอโศก | |
|---|---|
| เวลา | $CO_2$ (ppm) |
| 20:00 | 391 |
| 21:00 | 420 |
| 22:00 | 530 |
| 23:00 | 570 |
| 0:00 | 1039 |
| 1:00 | 1371 |
| 2:00 | 1670 |
| 3:00 | 1902 |
| 4:00 | 2188 |
| 5:00 | 2212 |
| 6:00 | 2091 |
| 7:00 | 1097 |
| 8:00 | 795 |
| Average | 1252 |

| ห้องนอนที่ 5 วงเวียนใหญ่ | |
|---|---|
| เวลา | $CO_2$ (ppm) |
| 20:00 | 398 |
| 21:00 | 469 |
| 22:00 | 678 |
| 23:00 | 896 |
| 0:00 | 992 |
| 1:00 | 1073 |
| 2:00 | 1215 |
| 3:00 | 1365 |
| 4:00 | 1247 |
| 5:00 | 1279 |
| 6:00 | 1250 |
| 7:00 | 890 |
| 8:00 | 800 |
| Average | 965.5385 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 23:30 | 0.00 | 542 |
| 23:35 | 0.08 | 553 |
| 23:40 | 0.17 | 543 |
| 23:45 | 0.25 | 554 |
| 23:50 | 0.33 | 556 |
| 23:55 | 0.42 | 575 |
| 0:00 | 0.50 | 649 |
| 0:05 | 0.58 | 747 |
| 0:10 | 0.67 | 790 |
| 0:15 | 0.75 | 850 |
| 0:20 | 0.83 | 946 |
| 0:25 | 0.92 | 985 |
| 0:30 | 1.00 | 1,008 |
| 0:35 | 1.08 | 1,041 |
| 0:40 | 1.17 | 1,098 |
| 0:45 | 1.25 | 1,146 |
| 0:50 | 1.33 | 1,125 |
| 0:55 | 1.42 | 1,171 |
| 1:00 | 1.50 | 1,187 |
| 1:05 | 1.58 | 1,218 |
| 1:10 | 1.67 | 1,233 |
| 1:15 | 1.75 | 1,265 |
| 1:20 | 1.83 | 1,267 |
| 1:25 | 1.92 | 1,318 |
| 1:30 | 2.00 | 1,365 |
| 1:35 | 2.08 | 1,377 |
| 1:40 | 2.17 | 1,394 |
| 1:45 | 2.25 | 1,390 |
| 1:50 | 2.33 | 1,404 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 1:55 | 2.42 | 1,428 |
| 2:00 | 2.50 | 1,464 |
| 2:05 | 2.58 | 1,462 |
| 2:10 | 2.67 | 1,495 |
| 2:15 | 2.75 | 1,470 |
| 2:20 | 2.83 | 1,527 |
| 2:25 | 2.92 | 1,518 |
| 2:30 | 3.00 | 1,521 |
| 2:35 | 3.08 | 1,523 |
| 2:40 | 3.17 | 1,527 |
| 2:45 | 3.25 | 1,546 |
| 2:50 | 3.33 | 1,578 |
| 2:55 | 3.42 | 1,551 |
| 3:00 | 3.50 | 1,591 |
| 3:05 | 3.58 | 1,600 |
| 3:10 | 3.67 | 1,600 |
| 3:15 | 3.75 | 1,620 |
| 3:20 | 3.83 | 1,613 |
| 3:25 | 3.92 | 1,611 |
| 3:30 | 4.00 | 1,633 |
| 3:35 | 4.08 | 1,629 |
| 3:40 | 4.17 | 1,618 |
| 3:45 | 4.25 | 1,676 |
| 3:50 | 4.33 | 1,685 |
| 3:55 | 4.42 | 1,671 |
| 4:00 | 4.50 | 1,680 |
| 4:05 | 4.58 | 1,665 |
| 4:10 | 4.67 | 1,689 |
| 4:15 | 4.75 | 1,659 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 4:20 | 4.83 | 1,714 |
| 4:25 | 4.92 | 1,700 |
| 4:30 | 5.00 | 1,701 |
| 4:35 | 5.08 | 1,704 |
| 4:40 | 5.17 | 1,739 |
| 4:45 | 5.25 | 1,729 |
| 4:50 | 5.33 | 1,743 |
| 4:55 | 5.42 | 1,734 |
| 5:00 | 5.50 | 1,738 |
| 5:05 | 5.58 | 1,761 |
| 5:10 | 5.67 | 1,770 |
| 5:15 | 5.75 | 1,791 |
| 5:20 | 5.83 | 1,770 |
| 5:25 | 5.92 | 1,766 |
| 5:30 | 6.00 | 1,775 |
| 5:35 | 6.08 | 1,756 |
| 5:40 | 6.17 | 1,777 |
| 5:45 | 6.25 | 1,784 |
| 5:50 | 6.33 | 1,803 |
| 5:55 | 6.42 | 1,812 |
| 6:00 | 6.50 | 1,810 |
| 6:05 | 6.58 | 1,807 |
| 6:10 | 6.67 | 1,832 |
| 6:15 | 6.75 | 1,870 |
| 6:20 | 6.83 | 1,851 |
| 6:25 | 6.92 | 1,876 |
| 6:30 | 7.00 | 1,877 |
| 6:35 | 7.08 | 1,869 |
| 6:40 | 7.17 | 1,830 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 6:45 | 7.25 | 1,869 |
| 6:50 | 7.33 | 1,862 |
| 6:55 | 7.42 | 1,859 |
| 7:00 | 7.50 | 1,879 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 424 |
| 23:35 | 0.08 | 431 |
| 23:40 | 0.17 | 410 |
| 23:45 | 0.25 | 405 |
| 23:50 | 0.33 | 456 |
| 23:55 | 0.42 | 482 |
| 0:00 | 0.50 | 506 |
| 0:05 | 0.58 | 528 |
| 0:10 | 0.67 | 608 |
| 0:15 | 0.75 | 681 |
| 0:20 | 0.83 | 726 |
| 0:25 | 0.92 | 762 |
| 0:30 | 1.00 | 788 |
| 0:35 | 1.08 | 842 |
| 0:40 | 1.17 | 900 |
| 0:45 | 1.25 | 913 |
| 0:50 | 1.33 | 943 |
| 0:55 | 1.42 | 947 |
| 1:00 | 1.50 | 974 |
| 1:05 | 1.58 | 1,004 |
| 1:10 | 1.67 | 1,029 |
| 1:15 | 1.75 | 1,068 |
| 1:20 | 1.83 | 1,088 |
| 1:25 | 1.92 | 1,091 |
| 1:30 | 2.00 | 1,137 |
| 1:35 | 2.08 | 1,139 |
| 1:40 | 2.17 | 1,156 |
| 1:45 | 2.25 | 1,169 |
| 1:50 | 2.33 | 1,179 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,217 |
| 2:00 | 2.50 | 1,213 |
| 2:05 | 2.58 | 1,223 |
| 2:10 | 2.67 | 1,236 |
| 2:15 | 2.75 | 1,261 |
| 2:20 | 2.83 | 1,249 |
| 2:25 | 2.92 | 1,264 |
| 2:30 | 3.00 | 1,307 |
| 2:35 | 3.08 | 1,317 |
| 2:40 | 3.17 | 1,334 |
| 2:45 | 3.25 | 1,346 |
| 2:50 | 3.33 | 1,340 |
| 2:55 | 3.42 | 1,348 |
| 3:00 | 3.50 | 1,370 |
| 3:05 | 3.58 | 1,364 |
| 3:10 | 3.67 | 1,319 |
| 3:15 | 3.75 | 1,346 |
| 3:20 | 3.83 | 1,346 |
| 3:25 | 3.92 | 1,356 |
| 3:30 | 4.00 | 1,368 |
| 3:35 | 4.08 | 1,379 |
| 3:40 | 4.17 | 1,362 |
| 3:45 | 4.25 | 1,364 |
| 3:50 | 4.33 | 1,387 |
| 3:55 | 4.42 | 1,370 |
| 4:00 | 4.50 | 1,368 |
| 4:05 | 4.58 | 1,387 |
| 4:10 | 4.67 | 1,376 |
| 4:15 | 4.75 | 1,389 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,389 |
| 4:25 | 4.92 | 1,387 |
| 4:30 | 5.00 | 1,425 |
| 4:35 | 5.08 | 1,418 |
| 4:40 | 5.17 | 1,425 |
| 4:45 | 5.25 | 1,420 |
| 4:50 | 5.33 | 1,435 |
| 4:55 | 5.42 | 1,463 |
| 5:00 | 5.50 | 1,457 |
| 5:05 | 5.58 | 1,469 |
| 5:10 | 5.67 | 1,500 |
| 5:15 | 5.75 | 1,490 |
| 5:20 | 5.83 | 1,513 |
| 5:25 | 5.92 | 1,541 |
| 5:30 | 6.00 | 1,526 |
| 5:35 | 6.08 | 1,543 |
| 5:40 | 6.17 | 1,545 |
| 5:45 | 6.25 | 1,585 |
| 5:50 | 6.33 | 1,594 |
| 5:55 | 6.42 | 1,583 |
| 6:00 | 6.50 | 1,596 |
| 6:05 | 6.58 | 1,574 |
| 6:10 | 6.67 | 1,585 |
| 6:15 | 6.75 | 1,598 |
| 6:20 | 6.83 | 1,589 |
| 6:25 | 6.92 | 1,631 |
| 6:30 | 7.00 | 1,622 |
| 6:35 | 7.08 | 1,650 |
| 6:40 | 7.17 | 1,701 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,679 |
| 6:50 | 7.33 | 1,705 |
| 6:55 | 7.42 | 1,739 |
| 7:00 | 7.50 | 1,644 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 428 |
| 23:35 | 0.08 | 417 |
| 23:40 | 0.17 | 434 |
| 23:45 | 0.25 | 434 |
| 23:50 | 0.33 | 479 |
| 23:55 | 0.42 | 526 |
| 0:00 | 0.50 | 586 |
| 0:05 | 0.58 | 632 |
| 0:10 | 0.67 | 679 |
| 0:15 | 0.75 | 721 |
| 0:20 | 0.83 | 746 |
| 0:25 | 0.92 | 807 |
| 0:30 | 1.00 | 827 |
| 0:35 | 1.08 | 860 |
| 0:40 | 1.17 | 890 |
| 0:45 | 1.25 | 928 |
| 0:50 | 1.33 | 949 |
| 0:55 | 1.42 | 963 |
| 1:00 | 1.50 | 1,019 |
| 1:05 | 1.58 | 1,017 |
| 1:10 | 1.67 | 1,072 |
| 1:15 | 1.75 | 1,075 |
| 1:20 | 1.83 | 1,110 |
| 1:25 | 1.92 | 1,105 |
| 1:30 | 2.00 | 1,122 |
| 1:35 | 2.08 | 1,159 |
| 1:40 | 2.17 | 1,146 |
| 1:45 | 2.25 | 1,185 |
| 1:50 | 2.33 | 1,208 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,239 |
| 2:00 | 2.50 | 1,237 |
| 2:05 | 2.58 | 1,210 |
| 2:10 | 2.67 | 1,254 |
| 2:15 | 2.75 | 1,260 |
| 2:20 | 2.83 | 1,281 |
| 2:25 | 2.92 | 1,306 |
| 2:30 | 3.00 | 1,277 |
| 2:35 | 3.08 | 1,316 |
| 2:40 | 3.17 | 1,322 |
| 2:45 | 3.25 | 1,326 |
| 2:50 | 3.33 | 1,308 |
| 2:55 | 3.42 | 1,320 |
| 3:00 | 3.50 | 1,351 |
| 3:05 | 3.58 | 1,337 |
| 3:10 | 3.67 | 1,341 |
| 3:15 | 3.75 | 1,339 |
| 3:20 | 3.83 | 1,353 |
| 3:25 | 3.92 | 1,347 |
| 3:30 | 4.00 | 1,351 |
| 3:35 | 4.08 | 1,367 |
| 3:40 | 4.17 | 1,363 |
| 3:45 | 4.25 | 1,382 |
| 3:50 | 4.33 | 1,415 |
| 3:55 | 4.42 | 1,406 |
| 4:00 | 4.50 | 1,396 |
| 4:05 | 4.58 | 1,408 |
| 4:10 | 4.67 | 1,406 |
| 4:15 | 4.75 | 1,404 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,437 |
| 4:25 | 4.92 | 1,422 |
| 4:30 | 5.00 | 1,431 |
| 4:35 | 5.08 | 1,422 |
| 4:40 | 5.17 | 1,449 |
| 4:45 | 5.25 | 1,432 |
| 4:50 | 5.33 | 1,474 |
| 4:55 | 5.42 | 1,452 |
| 5:00 | 5.50 | 1,454 |
| 5:05 | 5.58 | 1,460 |
| 5:10 | 5.67 | 1,449 |
| 5:15 | 5.75 | 1,468 |
| 5:20 | 5.83 | 1,512 |
| 5:25 | 5.92 | 1,474 |
| 5:30 | 6.00 | 1,489 |
| 5:35 | 6.08 | 1,506 |
| 5:40 | 6.17 | 1,514 |
| 5:45 | 6.25 | 1,527 |
| 5:50 | 6.33 | 1,510 |
| 5:55 | 6.42 | 1,521 |
| 6:00 | 6.50 | 1,525 |
| 6:05 | 6.58 | 1,544 |
| 6:10 | 6.67 | 1,550 |
| 6:15 | 6.75 | 1,544 |
| 6:20 | 6.83 | 1,572 |
| 6:25 | 6.92 | 1,527 |
| 6:30 | 7.00 | 1,582 |
| 6:35 | 7.08 | 1,564 |
| 6:40 | 7.17 | 1,586 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,582 |
| 6:50 | 7.33 | 1,586 |
| 6:55 | 7.42 | 1,584 |
| 7:00 | 7.50 | 1,612 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 409 |
| 23:35 | 0.08 | 413 |
| 23:40 | 0.17 | 408 |
| 23:45 | 0.25 | 461 |
| 23:50 | 0.33 | 538 |
| 23:55 | 0.42 | 579 |
| 0:00 | 0.50 | 619 |
| 0:05 | 0.58 | 676 |
| 0:10 | 0.67 | 705 |
| 0:15 | 0.75 | 765 |
| 0:20 | 0.83 | 809 |
| 0:25 | 0.92 | 856 |
| 0:30 | 1.00 | 885 |
| 0:35 | 1.08 | 895 |
| 0:40 | 1.17 | 938 |
| 0:45 | 1.25 | 945 |
| 0:50 | 1.33 | 975 |
| 0:55 | 1.42 | 979 |
| 1:00 | 1.50 | 998 |
| 1:05 | 1.58 | 1,004 |
| 1:10 | 1.67 | 1,027 |
| 1:15 | 1.75 | 1,058 |
| 1:20 | 1.83 | 1,085 |
| 1:25 | 1.92 | 1,107 |
| 1:30 | 2.00 | 1,112 |
| 1:35 | 2.08 | 1,120 |
| 1:40 | 2.17 | 1,134 |
| 1:45 | 2.25 | 1,151 |
| 1:50 | 2.33 | 1,176 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,183 |
| 2:00 | 2.50 | 1,206 |
| 2:05 | 2.58 | 1,220 |
| 2:10 | 2.67 | 1,234 |
| 2:15 | 2.75 | 1,210 |
| 2:20 | 2.83 | 1,222 |
| 2:25 | 2.92 | 1,230 |
| 2:30 | 3.00 | 1,256 |
| 2:35 | 3.08 | 1,295 |
| 2:40 | 3.17 | 1,314 |
| 2:45 | 3.25 | 1,328 |
| 2:50 | 3.33 | 1,341 |
| 2:55 | 3.42 | 1,351 |
| 3:00 | 3.50 | 1,360 |
| 3:05 | 3.58 | 1,372 |
| 3:10 | 3.67 | 1,351 |
| 3:15 | 3.75 | 1,360 |
| 3:20 | 3.83 | 1,351 |
| 3:25 | 3.92 | 1,372 |
| 3:30 | 4.00 | 1,381 |
| 3:35 | 4.08 | 1,402 |
| 3:40 | 4.17 | 1,404 |
| 3:45 | 4.25 | 1,429 |
| 3:50 | 4.33 | 1,408 |
| 3:55 | 4.42 | 1,402 |
| 4:00 | 4.50 | 1,415 |
| 4:05 | 4.58 | 1,427 |
| 4:10 | 4.67 | 1,427 |
| 4:15 | 4.75 | 1,426 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,449 |
| 4:25 | 4.92 | 1,424 |
| 4:30 | 5.00 | 1,438 |
| 4:35 | 5.08 | 1,449 |
| 4:40 | 5.17 | 1,432 |
| 4:45 | 5.25 | 1,441 |
| 4:50 | 5.33 | 1,462 |
| 4:55 | 5.42 | 1,445 |
| 5:00 | 5.50 | 1,436 |
| 5:05 | 5.58 | 1,476 |
| 5:10 | 5.67 | 1,482 |
| 5:15 | 5.75 | 1,457 |
| 5:20 | 5.83 | 1,466 |
| 5:25 | 5.92 | 1,480 |
| 5:30 | 6.00 | 1,508 |
| 5:35 | 6.08 | 1,501 |
| 5:40 | 6.17 | 1,493 |
| 5:45 | 6.25 | 1,514 |
| 5:50 | 6.33 | 1,516 |
| 5:55 | 6.42 | 1,512 |
| 6:00 | 6.50 | 1,508 |
| 6:05 | 6.58 | 1,514 |
| 6:10 | 6.67 | 1,517 |
| 6:15 | 6.75 | 1,538 |
| 6:20 | 6.83 | 1,534 |
| 6:25 | 6.92 | 1,522 |
| 6:30 | 7.00 | 1,539 |
| 6:35 | 7.08 | 1,523 |
| 6:40 | 7.17 | 1,500 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,540 |
| 6:50 | 7.33 | 1,539 |
| 6:55 | 7.42 | 1,542 |
| 7:00 | 7.50 | 1,565 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 412 |
| 23:35 | 0.08 | 450 |
| 23:40 | 0.17 | 513 |
| 23:45 | 0.25 | 537 |
| 23:50 | 0.33 | 540 |
| 23:55 | 0.42 | 545 |
| 0:00 | 0.50 | 552 |
| 0:05 | 0.58 | 556 |
| 0:10 | 0.67 | 653 |
| 0:15 | 0.75 | 723 |
| 0:20 | 0.83 | 783 |
| 0:25 | 0.92 | 812 |
| 0:30 | 1.00 | 880 |
| 0:35 | 1.08 | 926 |
| 0:40 | 1.17 | 935 |
| 0:45 | 1.25 | 975 |
| 0:50 | 1.33 | 995 |
| 0:55 | 1.42 | 1,027 |
| 1:00 | 1.50 | 1,065 |
| 1:05 | 1.58 | 1,101 |
| 1:10 | 1.67 | 1,111 |
| 1:15 | 1.75 | 1,143 |
| 1:20 | 1.83 | 1,181 |
| 1:25 | 1.92 | 1,195 |
| 1:30 | 2.00 | 1,213 |
| 1:35 | 2.08 | 1,249 |
| 1:40 | 2.17 | 1,249 |
| 1:45 | 2.25 | 1,292 |
| 1:50 | 2.33 | 1,316 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,316 |
| 2:00 | 2.50 | 1,337 |
| 2:05 | 2.58 | 1,327 |
| 2:10 | 2.67 | 1,331 |
| 2:15 | 2.75 | 1,354 |
| 2:20 | 2.83 | 1,362 |
| 2:25 | 2.92 | 1,344 |
| 2:30 | 3.00 | 1,392 |
| 2:35 | 3.08 | 1,408 |
| 2:40 | 3.17 | 1,412 |
| 2:45 | 3.25 | 1,410 |
| 2:50 | 3.33 | 1,422 |
| 2:55 | 3.42 | 1,442 |
| 3:00 | 3.50 | 1,449 |
| 3:05 | 3.58 | 1,462 |
| 3:10 | 3.67 | 1,475 |
| 3:15 | 3.75 | 1,454 |
| 3:20 | 3.83 | 1,463 |
| 3:25 | 3.92 | 1,484 |
| 3:30 | 4.00 | 1,491 |
| 3:35 | 4.08 | 1,484 |
| 3:40 | 4.17 | 1,480 |
| 3:45 | 4.25 | 1,484 |
| 3:50 | 4.33 | 1,465 |
| 3:55 | 4.42 | 1,493 |
| 4:00 | 4.50 | 1,502 |
| 4:05 | 4.58 | 1,500 |
| 4:10 | 4.67 | 1,501 |
| 4:15 | 4.75 | 1,486 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,493 |
| 4:25 | 4.92 | 1,499 |
| 4:30 | 5.00 | 1,501 |
| 4:35 | 5.08 | 1,503 |
| 4:40 | 5.17 | 1,482 |
| 4:45 | 5.25 | 1,449 |
| 4:50 | 5.33 | 1,442 |
| 4:55 | 5.42 | 1,417 |
| 5:00 | 5.50 | 1,412 |
| 5:05 | 5.58 | 1,431 |
| 5:10 | 5.67 | 1,422 |
| 5:15 | 5.75 | 1,390 |
| 5:20 | 5.83 | 1,384 |
| 5:25 | 5.92 | 1,372 |
| 5:30 | 6.00 | 1,381 |
| 5:35 | 6.08 | 1,372 |
| 5:40 | 6.17 | 1,389 |
| 5:45 | 6.25 | 1,384 |
| 5:50 | 6.33 | 1,383 |
| 5:55 | 6.42 | 1,391 |
| 6:00 | 6.50 | 1,402 |
| 6:05 | 6.58 | 1,419 |
| 6:10 | 6.67 | 1,408 |
| 6:15 | 6.75 | 1,380 |
| 6:20 | 6.83 | 1,419 |
| 6:25 | 6.92 | 1,390 |
| 6:30 | 7.00 | 1,378 |
| 6:35 | 7.08 | 1,371 |
| 6:40 | 7.17 | 1,384 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,398 |
| 6:50 | 7.33 | 1,369 |
| 6:55 | 7.42 | 1,382 |
| 7:00 | 7.50 | 1,364 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 402 |
| 23:35 | 0.08 | 401 |
| 23:40 | 0.17 | 413 |
| 23:45 | 0.25 | 407 |
| 23:50 | 0.33 | 448 |
| 23:55 | 0.42 | 533 |
| 0:00 | 0.50 | 589 |
| 0:05 | 0.58 | 643 |
| 0:10 | 0.67 | 684 |
| 0:15 | 0.75 | 723 |
| 0:20 | 0.83 | 768 |
| 0:25 | 0.92 | 810 |
| 0:30 | 1.00 | 834 |
| 0:35 | 1.08 | 863 |
| 0:40 | 1.17 | 908 |
| 0:45 | 1.25 | 908 |
| 0:50 | 1.33 | 957 |
| 0:55 | 1.42 | 962 |
| 1:00 | 1.50 | 998 |
| 1:05 | 1.58 | 1,020 |
| 1:10 | 1.67 | 1,048 |
| 1:15 | 1.75 | 1,062 |
| 1:20 | 1.83 | 1,096 |
| 1:25 | 1.92 | 1,137 |
| 1:30 | 2.00 | 1,141 |
| 1:35 | 2.08 | 1,158 |
| 1:40 | 2.17 | 1,169 |
| 1:45 | 2.25 | 1,192 |
| 1:50 | 2.33 | 1,215 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,234 |
| 2:00 | 2.50 | 1,238 |
| 2:05 | 2.58 | 1,273 |
| 2:10 | 2.67 | 1,250 |
| 2:15 | 2.75 | 1,273 |
| 2:20 | 2.83 | 1,294 |
| 2:25 | 2.92 | 1,292 |
| 2:30 | 3.00 | 1,333 |
| 2:35 | 3.08 | 1,320 |
| 2:40 | 3.17 | 1,320 |
| 2:45 | 3.25 | 1,322 |
| 2:50 | 3.33 | 1,341 |
| 2:55 | 3.42 | 1,365 |
| 3:00 | 3.50 | 1,360 |
| 3:05 | 3.58 | 1,356 |
| 3:10 | 3.67 | 1,364 |
| 3:15 | 3.75 | 1,383 |
| 3:20 | 3.83 | 1,393 |
| 3:25 | 3.92 | 1,372 |
| 3:30 | 4.00 | 1,383 |
| 3:35 | 4.08 | 1,370 |
| 3:40 | 4.17 | 1,370 |
| 3:45 | 4.25 | 1,376 |
| 3:50 | 4.33 | 1,364 |
| 3:55 | 4.42 | 1,393 |
| 4:00 | 4.50 | 1,395 |
| 4:05 | 4.58 | 1,383 |
| 4:10 | 4.67 | 1,374 |
| 4:15 | 4.75 | 1,416 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,391 |
| 4:25 | 4.92 | 1,391 |
| 4:30 | 5.00 | 1,405 |
| 4:35 | 5.08 | 1,405 |
| 4:40 | 5.17 | 1,418 |
| 4:45 | 5.25 | 1,412 |
| 4:50 | 5.33 | 1,432 |
| 4:55 | 5.42 | 1,457 |
| 5:00 | 5.50 | 1,445 |
| 5:05 | 5.58 | 1,455 |
| 5:10 | 5.67 | 1,438 |
| 5:15 | 5.75 | 1,440 |
| 5:20 | 5.83 | 1,475 |
| 5:25 | 5.92 | 1,457 |
| 5:30 | 6.00 | 1,458 |
| 5:35 | 6.08 | 1,455 |
| 5:40 | 6.17 | 1,458 |
| 5:45 | 6.25 | 1,461 |
| 5:50 | 6.33 | 1,440 |
| 5:55 | 6.42 | 1,458 |
| 6:00 | 6.50 | 1,446 |
| 6:05 | 6.58 | 1,467 |
| 6:10 | 6.67 | 1,463 |
| 6:15 | 6.75 | 1,450 |
| 6:20 | 6.83 | 1,440 |
| 6:25 | 6.92 | 1,437 |
| 6:30 | 7.00 | 1,450 |
| 6:35 | 7.08 | 1,488 |
| 6:40 | 7.17 | 1,444 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,475 |
| 6:50 | 7.33 | 1,444 |
| 6:55 | 7.42 | 1,467 |
| 7:00 | 7.50 | 1,456 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 412 |
| 23:35 | 0.08 | 423 |
| 23:40 | 0.17 | 409 |
| 23:45 | 0.25 | 465 |
| 23:50 | 0.33 | 508 |
| 23:55 | 0.42 | 558 |
| 0:00 | 0.50 | 582 |
| 0:05 | 0.58 | 632 |
| 0:10 | 0.67 | 655 |
| 0:15 | 0.75 | 695 |
| 0:20 | 0.83 | 732 |
| 0:25 | 0.92 | 754 |
| 0:30 | 1.00 | 802 |
| 0:35 | 1.08 | 801 |
| 0:40 | 1.17 | 846 |
| 0:45 | 1.25 | 853 |
| 0:50 | 1.33 | 886 |
| 0:55 | 1.42 | 873 |
| 1:00 | 1.50 | 895 |
| 1:05 | 1.58 | 899 |
| 1:10 | 1.67 | 944 |
| 1:15 | 1.75 | 956 |
| 1:20 | 1.83 | 954 |
| 1:25 | 1.92 | 985 |
| 1:30 | 2.00 | 992 |
| 1:35 | 2.08 | 1,013 |
| 1:40 | 2.17 | 1,009 |
| 1:45 | 2.25 | 1,036 |
| 1:50 | 2.33 | 1,026 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,037 |
| 2:00 | 2.50 | 1,041 |
| 2:05 | 2.58 | 1,064 |
| 2:10 | 2.67 | 1,090 |
| 2:15 | 2.75 | 1,087 |
| 2:20 | 2.83 | 1,103 |
| 2:25 | 2.92 | 1,116 |
| 2:30 | 3.00 | 1,125 |
| 2:35 | 3.08 | 1,150 |
| 2:40 | 3.17 | 1,155 |
| 2:45 | 3.25 | 1,155 |
| 2:50 | 3.33 | 1,166 |
| 2:55 | 3.42 | 1,163 |
| 3:00 | 3.50 | 1,161 |
| 3:05 | 3.58 | 1,189 |
| 3:10 | 3.67 | 1,183 |
| 3:15 | 3.75 | 1,204 |
| 3:20 | 3.83 | 1,223 |
| 3:25 | 3.92 | 1,228 |
| 3:30 | 4.00 | 1,234 |
| 3:35 | 4.08 | 1,228 |
| 3:40 | 4.17 | 1,228 |
| 3:45 | 4.25 | 1,232 |
| 3:50 | 4.33 | 1,257 |
| 3:55 | 4.42 | 1,275 |
| 4:00 | 4.50 | 1,294 |
| 4:05 | 4.58 | 1,287 |
| 4:10 | 4.67 | 1,306 |
| 4:15 | 4.75 | 1,320 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,301 |
| 4:25 | 4.92 | 1,310 |
| 4:30 | 5.00 | 1,309 |
| 4:35 | 5.08 | 1,324 |
| 4:40 | 5.17 | 1,303 |
| 4:45 | 5.25 | 1,348 |
| 4:50 | 5.33 | 1,321 |
| 4:55 | 5.42 | 1,348 |
| 5:00 | 5.50 | 1,375 |
| 5:05 | 5.58 | 1,338 |
| 5:10 | 5.67 | 1,372 |
| 5:15 | 5.75 | 1,396 |
| 5:20 | 5.83 | 1,379 |
| 5:25 | 5.92 | 1,379 |
| 5:30 | 6.00 | 1,405 |
| 5:35 | 6.08 | 1,403 |
| 5:40 | 6.17 | 1,399 |
| 5:45 | 6.25 | 1,422 |
| 5:50 | 6.33 | 1,439 |
| 5:55 | 6.42 | 1,432 |
| 6:00 | 6.50 | 1,447 |
| 6:05 | 6.58 | 1,437 |
| 6:10 | 6.67 | 1,447 |
| 6:15 | 6.75 | 1,499 |
| 6:20 | 6.83 | 1,465 |
| 6:25 | 6.92 | 1,449 |
| 6:30 | 7.00 | 1,472 |
| 6:35 | 7.08 | 1,440 |
| 6:40 | 7.17 | 1,467 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,471 |
| 6:50 | 7.33 | 1,471 |
| 6:55 | 7.42 | 1,474 |
| 7:00 | 7.50 | 1,493 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 403 |
| 23:35 | 0.08 | 424 |
| 23:40 | 0.17 | 431 |
| 23:45 | 0.25 | 426 |
| 23:50 | 0.33 | 436 |
| 23:55 | 0.42 | 473 |
| 0:00 | 0.50 | 481 |
| 0:05 | 0.58 | 562 |
| 0:10 | 0.67 | 624 |
| 0:15 | 0.75 | 709 |
| 0:20 | 0.83 | 749 |
| 0:25 | 0.92 | 807 |
| 0:30 | 1.00 | 831 |
| 0:35 | 1.08 | 863 |
| 0:40 | 1.17 | 923 |
| 0:45 | 1.25 | 930 |
| 0:50 | 1.33 | 1,017 |
| 0:55 | 1.42 | 1,059 |
| 1:00 | 1.50 | 1,081 |
| 1:05 | 1.58 | 1,072 |
| 1:10 | 1.67 | 1,107 |
| 1:15 | 1.75 | 1,116 |
| 1:20 | 1.83 | 1,094 |
| 1:25 | 1.92 | 1,140 |
| 1:30 | 2.00 | 1,185 |
| 1:35 | 2.08 | 1,168 |
| 1:40 | 2.17 | 1,162 |
| 1:45 | 2.25 | 1,195 |
| 1:50 | 2.33 | 1,222 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,225 |
| 2:00 | 2.50 | 1,217 |
| 2:05 | 2.58 | 1,234 |
| 2:10 | 2.67 | 1,247 |
| 2:15 | 2.75 | 1,257 |
| 2:20 | 2.83 | 1,270 |
| 2:25 | 2.92 | 1,285 |
| 2:30 | 3.00 | 1,308 |
| 2:35 | 3.08 | 1,303 |
| 2:40 | 3.17 | 1,303 |
| 2:45 | 3.25 | 1,317 |
| 2:50 | 3.33 | 1,315 |
| 2:55 | 3.42 | 1,313 |
| 3:00 | 3.50 | 1,364 |
| 3:05 | 3.58 | 1,342 |
| 3:10 | 3.67 | 1,352 |
| 3:15 | 3.75 | 1,379 |
| 3:20 | 3.83 | 1,366 |
| 3:25 | 3.92 | 1,375 |
| 3:30 | 4.00 | 1,372 |
| 3:35 | 4.08 | 1,362 |
| 3:40 | 4.17 | 1,385 |
| 3:45 | 4.25 | 1,384 |
| 3:50 | 4.33 | 1,388 |
| 3:55 | 4.42 | 1,405 |
| 4:00 | 4.50 | 1,399 |
| 4:05 | 4.58 | 1,399 |
| 4:10 | 4.67 | 1,395 |
| 4:15 | 4.75 | 1,419 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,416 |
| 4:25 | 4.92 | 1,415 |
| 4:30 | 5.00 | 1,421 |
| 4:35 | 5.08 | 1,433 |
| 4:40 | 5.17 | 1,450 |
| 4:45 | 5.25 | 1,452 |
| 4:50 | 5.33 | 1,417 |
| 4:55 | 5.42 | 1,414 |
| 5:00 | 5.50 | 1,429 |
| 5:05 | 5.58 | 1,448 |
| 5:10 | 5.67 | 1,444 |
| 5:15 | 5.75 | 1,463 |
| 5:20 | 5.83 | 1,473 |
| 5:25 | 5.92 | 1,450 |
| 5:30 | 6.00 | 1,454 |
| 5:35 | 6.08 | 1,484 |
| 5:40 | 6.17 | 1,494 |
| 5:45 | 6.25 | 1,488 |
| 5:50 | 6.33 | 1,495 |
| 5:55 | 6.42 | 1,521 |
| 6:00 | 6.50 | 1,508 |
| 6:05 | 6.58 | 1,523 |
| 6:10 | 6.67 | 1,519 |
| 6:15 | 6.75 | 1,517 |
| 6:20 | 6.83 | 1,526 |
| 6:25 | 6.92 | 1,532 |
| 6:30 | 7.00 | 1,500 |
| 6:35 | 7.08 | 1,521 |
| 6:40 | 7.17 | 1,519 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,534 |
| 6:50 | 7.33 | 1,517 |
| 6:55 | 7.42 | 1,529 |
| 7:00 | 7.50 | 1,528 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 403 |
| 23:35 | 0.08 | 444 |
| 23:40 | 0.17 | 464 |
| 23:45 | 0.25 | 535 |
| 23:50 | 0.33 | 589 |
| 23:55 | 0.42 | 673 |
| 0:00 | 0.50 | 779 |
| 0:05 | 0.58 | 827 |
| 0:10 | 0.67 | 839 |
| 0:15 | 0.75 | 866 |
| 0:20 | 0.83 | 902 |
| 0:25 | 0.92 | 913 |
| 0:30 | 1.00 | 928 |
| 0:35 | 1.08 | 942 |
| 0:40 | 1.17 | 957 |
| 0:45 | 1.25 | 982 |
| 0:50 | 1.33 | 1,000 |
| 0:55 | 1.42 | 1,005 |
| 1:00 | 1.50 | 1,014 |
| 1:05 | 1.58 | 1,016 |
| 1:10 | 1.67 | 1,032 |
| 1:15 | 1.75 | 1,030 |
| 1:20 | 1.83 | 1,046 |
| 1:25 | 1.92 | 1,055 |
| 1:30 | 2.00 | 1,090 |
| 1:35 | 2.08 | 1,076 |
| 1:40 | 2.17 | 1,093 |
| 1:45 | 2.25 | 1,069 |
| 1:50 | 2.33 | 1,080 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,097 |
| 2:00 | 2.50 | 1,109 |
| 2:05 | 2.58 | 1,132 |
| 2:10 | 2.67 | 1,128 |
| 2:15 | 2.75 | 1,120 |
| 2:20 | 2.83 | 1,181 |
| 2:25 | 2.92 | 1,162 |
| 2:30 | 3.00 | 1,217 |
| 2:35 | 3.08 | 1,180 |
| 2:40 | 3.17 | 1,188 |
| 2:45 | 3.25 | 1,177 |
| 2:50 | 3.33 | 1,209 |
| 2:55 | 3.42 | 1,201 |
| 3:00 | 3.50 | 1,224 |
| 3:05 | 3.58 | 1,210 |
| 3:10 | 3.67 | 1,199 |
| 3:15 | 3.75 | 1,227 |
| 3:20 | 3.83 | 1,248 |
| 3:25 | 3.92 | 1,233 |
| 3:30 | 4.00 | 1,266 |
| 3:35 | 4.08 | 1,268 |
| 3:40 | 4.17 | 1,264 |
| 3:45 | 4.25 | 1,268 |
| 3:50 | 4.33 | 1,301 |
| 3:55 | 4.42 | 1,285 |
| 4:00 | 4.50 | 1,291 |
| 4:05 | 4.58 | 1,315 |
| 4:10 | 4.67 | 1,303 |
| 4:15 | 4.75 | 1,295 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,285 |
| 4:25 | 4.92 | 1,301 |
| 4:30 | 5.00 | 1,283 |
| 4:35 | 5.08 | 1,301 |
| 4:40 | 5.17 | 1,321 |
| 4:45 | 5.25 | 1,305 |
| 4:50 | 5.33 | 1,321 |
| 4:55 | 5.42 | 1,325 |
| 5:00 | 5.50 | 1,325 |
| 5:05 | 5.58 | 1,323 |
| 5:10 | 5.67 | 1,308 |
| 5:15 | 5.75 | 1,334 |
| 5:20 | 5.83 | 1,351 |
| 5:25 | 5.92 | 1,309 |
| 5:30 | 6.00 | 1,318 |
| 5:35 | 6.08 | 1,348 |
| 5:40 | 6.17 | 1,320 |
| 5:45 | 6.25 | 1,341 |
| 5:50 | 6.33 | 1,344 |
| 5:55 | 6.42 | 1,365 |
| 6:00 | 6.50 | 1,321 |
| 6:05 | 6.58 | 1,359 |
| 6:10 | 6.67 | 1,365 |
| 6:15 | 6.75 | 1,343 |
| 6:20 | 6.83 | 1,390 |
| 6:25 | 6.92 | 1,358 |
| 6:30 | 7.00 | 1,369 |
| 6:35 | 7.08 | 1,374 |
| 6:40 | 7.17 | 1,367 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,351 |
| 6:50 | 7.33 | 1,360 |
| 6:55 | 7.42 | 1,312 |
| 7:00 | 7.50 | 1,299 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 458 |
| 23:35 | 0.08 | 469 |
| 23:40 | 0.17 | 471 |
| 23:45 | 0.25 | 469 |
| 23:50 | 0.33 | 475 |
| 23:55 | 0.42 | 526 |
| 0:00 | 0.50 | 583 |
| 0:05 | 0.58 | 638 |
| 0:10 | 0.67 | 681 |
| 0:15 | 0.75 | 732 |
| 0:20 | 0.83 | 752 |
| 0:25 | 0.92 | 771 |
| 0:30 | 1.00 | 822 |
| 0:35 | 1.08 | 837 |
| 0:40 | 1.17 | 825 |
| 0:45 | 1.25 | 881 |
| 0:50 | 1.33 | 897 |
| 0:55 | 1.42 | 881 |
| 1:00 | 1.50 | 940 |
| 1:05 | 1.58 | 945 |
| 1:10 | 1.67 | 955 |
| 1:15 | 1.75 | 960 |
| 1:20 | 1.83 | 981 |
| 1:25 | 1.92 | 980 |
| 1:30 | 2.00 | 978 |
| 1:35 | 2.08 | 1,020 |
| 1:40 | 2.17 | 997 |
| 1:45 | 2.25 | 1,015 |
| 1:50 | 2.33 | 1,024 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,017 |
| 2:00 | 2.50 | 1,006 |
| 2:05 | 2.58 | 1,052 |
| 2:10 | 2.67 | 1,022 |
| 2:15 | 2.75 | 1,026 |
| 2:20 | 2.83 | 1,022 |
| 2:25 | 2.92 | 1,024 |
| 2:30 | 3.00 | 1,029 |
| 2:35 | 3.08 | 1,047 |
| 2:40 | 3.17 | 1,026 |
| 2:45 | 3.25 | 1,061 |
| 2:50 | 3.33 | 1,070 |
| 2:55 | 3.42 | 1,094 |
| 3:00 | 3.50 | 1,077 |
| 3:05 | 3.58 | 1,048 |
| 3:10 | 3.67 | 1,077 |
| 3:15 | 3.75 | 1,082 |
| 3:20 | 3.83 | 1,086 |
| 3:25 | 3.92 | 1,075 |
| 3:30 | 4.00 | 1,092 |
| 3:35 | 4.08 | 1,092 |
| 3:40 | 4.17 | 1,105 |
| 3:45 | 4.25 | 1,087 |
| 3:50 | 4.33 | 1,092 |
| 3:55 | 4.42 | 1,098 |
| 4:00 | 4.50 | 1,103 |
| 4:05 | 4.58 | 1,049 |
| 4:10 | 4.67 | 1,075 |
| 4:15 | 4.75 | 1,055 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,071 |
| 4:25 | 4.92 | 1,116 |
| 4:30 | 5.00 | 1,129 |
| 4:35 | 5.08 | 1,142 |
| 4:40 | 5.17 | 1,142 |
| 4:45 | 5.25 | 1,172 |
| 4:50 | 5.33 | 1,172 |
| 4:55 | 5.42 | 1,200 |
| 5:00 | 5.50 | 1,193 |
| 5:05 | 5.58 | 1,219 |
| 5:10 | 5.67 | 1,208 |
| 5:15 | 5.75 | 1,196 |
| 5:20 | 5.83 | 1,198 |
| 5:25 | 5.92 | 1,191 |
| 5:30 | 6.00 | 1,208 |
| 5:35 | 6.08 | 1,203 |
| 5:40 | 6.17 | 1,236 |
| 5:45 | 6.25 | 1,226 |
| 5:50 | 6.33 | 1,251 |
| 5:55 | 6.42 | 1,238 |
| 6:00 | 6.50 | 1,259 |
| 6:05 | 6.58 | 1,232 |
| 6:10 | 6.67 | 1,261 |
| 6:15 | 6.75 | 1,275 |
| 6:20 | 6.83 | 1,292 |
| 6:25 | 6.92 | 1,263 |
| 6:30 | 7.00 | 1,245 |
| 6:35 | 7.08 | 1,263 |
| 6:40 | 7.17 | 1,269 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,280 |
| 6:50 | 7.33 | 1,282 |
| 6:55 | 7.42 | 1,292 |
| 7:00 | 7.50 | 1,267 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 425 |
| 23:35 | 0.08 | 430 |
| 23:40 | 0.17 | 428 |
| 23:45 | 0.25 | 449 |
| 23:50 | 0.33 | 446 |
| 23:55 | 0.42 | 472 |
| 0:00 | 0.50 | 540 |
| 0:05 | 0.58 | 582 |
| 0:10 | 0.67 | 598 |
| 0:15 | 0.75 | 675 |
| 0:20 | 0.83 | 675 |
| 0:25 | 0.92 | 727 |
| 0:30 | 1.00 | 755 |
| 0:35 | 1.08 | 736 |
| 0:40 | 1.17 | 792 |
| 0:45 | 1.25 | 814 |
| 0:50 | 1.33 | 836 |
| 0:55 | 1.42 | 841 |
| 1:00 | 1.50 | 853 |
| 1:05 | 1.58 | 876 |
| 1:10 | 1.67 | 909 |
| 1:15 | 1.75 | 914 |
| 1:20 | 1.83 | 929 |
| 1:25 | 1.92 | 934 |
| 1:30 | 2.00 | 960 |
| 1:35 | 2.08 | 952 |
| 1:40 | 2.17 | 976 |
| 1:45 | 2.25 | 983 |
| 1:50 | 2.33 | 985 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,002 |
| 2:00 | 2.50 | 995 |
| 2:05 | 2.58 | 995 |
| 2:10 | 2.67 | 1,004 |
| 2:15 | 2.75 | 1,006 |
| 2:20 | 2.83 | 1,026 |
| 2:25 | 2.92 | 1,027 |
| 2:30 | 3.00 | 1,050 |
| 2:35 | 3.08 | 1,026 |
| 2:40 | 3.17 | 1,072 |
| 2:45 | 3.25 | 1,065 |
| 2:50 | 3.33 | 1,061 |
| 2:55 | 3.42 | 1,092 |
| 3:00 | 3.50 | 1,081 |
| 3:05 | 3.58 | 1,058 |
| 3:10 | 3.67 | 1,058 |
| 3:15 | 3.75 | 1,078 |
| 3:20 | 3.83 | 1,081 |
| 3:25 | 3.92 | 1,058 |
| 3:30 | 4.00 | 1,105 |
| 3:35 | 4.08 | 1,092 |
| 3:40 | 4.17 | 1,092 |
| 3:45 | 4.25 | 1,092 |
| 3:50 | 4.33 | 1,121 |
| 3:55 | 4.42 | 1,099 |
| 4:00 | 4.50 | 1,101 |
| 4:05 | 4.58 | 1,087 |
| 4:10 | 4.67 | 1,086 |
| 4:15 | 4.75 | 1,064 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,082 |
| 4:25 | 4.92 | 1,060 |
| 4:30 | 5.00 | 1,094 |
| 4:35 | 5.08 | 1,098 |
| 4:40 | 5.17 | 1,131 |
| 4:45 | 5.25 | 1,110 |
| 4:50 | 5.33 | 1,080 |
| 4:55 | 5.42 | 1,092 |
| 5:00 | 5.50 | 1,066 |
| 5:05 | 5.58 | 1,086 |
| 5:10 | 5.67 | 1,069 |
| 5:15 | 5.75 | 1,098 |
| 5:20 | 5.83 | 1,098 |
| 5:25 | 5.92 | 1,092 |
| 5:30 | 6.00 | 1,118 |
| 5:35 | 6.08 | 1,133 |
| 5:40 | 6.17 | 1,125 |
| 5:45 | 6.25 | 1,141 |
| 5:50 | 6.33 | 1,155 |
| 5:55 | 6.42 | 1,149 |
| 6:00 | 6.50 | 1,150 |
| 6:05 | 6.58 | 1,169 |
| 6:10 | 6.67 | 1,171 |
| 6:15 | 6.75 | 1,203 |
| 6:20 | 6.83 | 1,203 |
| 6:25 | 6.92 | 1,240 |
| 6:30 | 7.00 | 1,228 |
| 6:35 | 7.08 | 1,255 |
| 6:40 | 7.17 | 1,257 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,269 |
| 6:50 | 7.33 | 1,240 |
| 6:55 | 7.42 | 1,253 |
| 7:00 | 7.50 | 1,194 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 424 |
| 23:35 | 0.08 | 432 |
| 23:40 | 0.17 | 435 |
| 23:45 | 0.25 | 462 |
| 23:50 | 0.33 | 528 |
| 23:55 | 0.42 | 579 |
| 0:00 | 0.50 | 628 |
| 0:05 | 0.58 | 654 |
| 0:10 | 0.67 | 703 |
| 0:15 | 0.75 | 751 |
| 0:20 | 0.83 | 793 |
| 0:25 | 0.92 | 795 |
| 0:30 | 1.00 | 844 |
| 0:35 | 1.08 | 835 |
| 0:40 | 1.17 | 867 |
| 0:45 | 1.25 | 884 |
| 0:50 | 1.33 | 900 |
| 0:55 | 1.42 | 911 |
| 1:00 | 1.50 | 924 |
| 1:05 | 1.58 | 945 |
| 1:10 | 1.67 | 945 |
| 1:15 | 1.75 | 978 |
| 1:20 | 1.83 | 991 |
| 1:25 | 1.92 | 1,009 |
| 1:30 | 2.00 | 1,003 |
| 1:35 | 2.08 | 1,018 |
| 1:40 | 2.17 | 1,014 |
| 1:45 | 2.25 | 1,025 |
| 1:50 | 2.33 | 1,041 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,036 |
| 2:00 | 2.50 | 1,058 |
| 2:05 | 2.58 | 1,041 |
| 2:10 | 2.67 | 1,056 |
| 2:15 | 2.75 | 1,044 |
| 2:20 | 2.83 | 1,070 |
| 2:25 | 2.92 | 1,046 |
| 2:30 | 3.00 | 1,054 |
| 2:35 | 3.08 | 1,050 |
| 2:40 | 3.17 | 1,059 |
| 2:45 | 3.25 | 1,087 |
| 2:50 | 3.33 | 1,078 |
| 2:55 | 3.42 | 1,093 |
| 3:00 | 3.50 | 1,110 |
| 3:05 | 3.58 | 1,125 |
| 3:10 | 3.67 | 1,126 |
| 3:15 | 3.75 | 1,115 |
| 3:20 | 3.83 | 1,106 |
| 3:25 | 3.92 | 1,113 |
| 3:30 | 4.00 | 1,119 |
| 3:35 | 4.08 | 1,126 |
| 3:40 | 4.17 | 1,093 |
| 3:45 | 4.25 | 1,119 |
| 3:50 | 4.33 | 1,110 |
| 3:55 | 4.42 | 1,110 |
| 4:00 | 4.50 | 1,130 |
| 4:05 | 4.58 | 1,130 |
| 4:10 | 4.67 | 1,162 |
| 4:15 | 4.75 | 1,177 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,155 |
| 4:25 | 4.92 | 1,167 |
| 4:30 | 5.00 | 1,175 |
| 4:35 | 5.08 | 1,159 |
| 4:40 | 5.17 | 1,177 |
| 4:45 | 5.25 | 1,175 |
| 4:50 | 5.33 | 1,179 |
| 4:55 | 5.42 | 1,175 |
| 5:00 | 5.50 | 1,192 |
| 5:05 | 5.58 | 1,173 |
| 5:10 | 5.67 | 1,184 |
| 5:15 | 5.75 | 1,152 |
| 5:20 | 5.83 | 1,170 |
| 5:25 | 5.92 | 1,166 |
| 5:30 | 6.00 | 1,167 |
| 5:35 | 6.08 | 1,180 |
| 5:40 | 6.17 | 1,192 |
| 5:45 | 6.25 | 1,168 |
| 5:50 | 6.33 | 1,181 |
| 5:55 | 6.42 | 1,186 |
| 6:00 | 6.50 | 1,190 |
| 6:05 | 6.58 | 1,198 |
| 6:10 | 6.67 | 1,194 |
| 6:15 | 6.75 | 1,184 |
| 6:20 | 6.83 | 1,218 |
| 6:25 | 6.92 | 1,218 |
| 6:30 | 7.00 | 1,196 |
| 6:35 | 7.08 | 1,188 |
| 6:40 | 7.17 | 1,201 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,205 |
| 6:50 | 7.33 | 1,209 |
| 6:55 | 7.42 | 1,215 |
| 7:00 | 7.50 | 1,235 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 433 |
| 23:35 | 0.08 | 435 |
| 23:40 | 0.17 | 451 |
| 23:45 | 0.25 | 447 |
| 23:50 | 0.33 | 524 |
| 23:55 | 0.42 | 570 |
| 0:00 | 0.50 | 590 |
| 0:05 | 0.58 | 638 |
| 0:10 | 0.67 | 651 |
| 0:15 | 0.75 | 666 |
| 0:20 | 0.83 | 701 |
| 0:25 | 0.92 | 706 |
| 0:30 | 1.00 | 715 |
| 0:35 | 1.08 | 725 |
| 0:40 | 1.17 | 742 |
| 0:45 | 1.25 | 751 |
| 0:50 | 1.33 | 777 |
| 0:55 | 1.42 | 785 |
| 1:00 | 1.50 | 784 |
| 1:05 | 1.58 | 790 |
| 1:10 | 1.67 | 820 |
| 1:15 | 1.75 | 800 |
| 1:20 | 1.83 | 827 |
| 1:25 | 1.92 | 836 |
| 1:30 | 2.00 | 848 |
| 1:35 | 2.08 | 840 |
| 1:40 | 2.17 | 842 |
| 1:45 | 2.25 | 855 |
| 1:50 | 2.33 | 848 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 870 |
| 2:00 | 2.50 | 877 |
| 2:05 | 2.58 | 884 |
| 2:10 | 2.67 | 863 |
| 2:15 | 2.75 | 883 |
| 2:20 | 2.83 | 862 |
| 2:25 | 2.92 | 883 |
| 2:30 | 3.00 | 884 |
| 2:35 | 3.08 | 899 |
| 2:40 | 3.17 | 881 |
| 2:45 | 3.25 | 880 |
| 2:50 | 3.33 | 900 |
| 2:55 | 3.42 | 909 |
| 3:00 | 3.50 | 925 |
| 3:05 | 3.58 | 897 |
| 3:10 | 3.67 | 900 |
| 3:15 | 3.75 | 902 |
| 3:20 | 3.83 | 924 |
| 3:25 | 3.92 | 931 |
| 3:30 | 4.00 | 908 |
| 3:35 | 4.08 | 927 |
| 3:40 | 4.17 | 915 |
| 3:45 | 4.25 | 939 |
| 3:50 | 4.33 | 957 |
| 3:55 | 4.42 | 960 |
| 4:00 | 4.50 | 966 |
| 4:05 | 4.58 | 951 |
| 4:10 | 4.67 | 982 |
| 4:15 | 4.75 | 976 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,000 |
| 4:25 | 4.92 | 997 |
| 4:30 | 5.00 | 970 |
| 4:35 | 5.08 | 996 |
| 4:40 | 5.17 | 990 |
| 4:45 | 5.25 | 1,007 |
| 4:50 | 5.33 | 983 |
| 4:55 | 5.42 | 980 |
| 5:00 | 5.50 | 985 |
| 5:05 | 5.58 | 1,021 |
| 5:10 | 5.67 | 1,029 |
| 5:15 | 5.75 | 1,032 |
| 5:20 | 5.83 | 1,022 |
| 5:25 | 5.92 | 1,012 |
| 5:30 | 6.00 | 1,012 |
| 5:35 | 6.08 | 1,037 |
| 5:40 | 6.17 | 1,052 |
| 5:45 | 6.25 | 1,055 |
| 5:50 | 6.33 | 1,056 |
| 5:55 | 6.42 | 1,036 |
| 6:00 | 6.50 | 1,048 |
| 6:05 | 6.58 | 1,060 |
| 6:10 | 6.67 | 1,080 |
| 6:15 | 6.75 | 1,077 |
| 6:20 | 6.83 | 1,051 |
| 6:25 | 6.92 | 1,073 |
| 6:30 | 7.00 | 1,075 |
| 6:35 | 7.08 | 1,095 |
| 6:40 | 7.17 | 1,104 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,099 |
| 6:50 | 7.33 | 1,112 |
| 6:55 | 7.42 | 1,090 |
| 7:00 | 7.50 | 1,069 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 476 |
| 23:35 | 0.08 | 485 |
| 23:40 | 0.17 | 465 |
| 23:45 | 0.25 | 482 |
| 23:50 | 0.33 | 555 |
| 23:55 | 0.42 | 628 |
| 0:00 | 0.50 | 668 |
| 0:05 | 0.58 | 682 |
| 0:10 | 0.67 | 725 |
| 0:15 | 0.75 | 725 |
| 0:20 | 0.83 | 742 |
| 0:25 | 0.92 | 728 |
| 0:30 | 1.00 | 747 |
| 0:35 | 1.08 | 782 |
| 0:40 | 1.17 | 837 |
| 0:45 | 1.25 | 831 |
| 0:50 | 1.33 | 809 |
| 0:55 | 1.42 | 821 |
| 1:00 | 1.50 | 848 |
| 1:05 | 1.58 | 835 |
| 1:10 | 1.67 | 859 |
| 1:15 | 1.75 | 854 |
| 1:20 | 1.83 | 880 |
| 1:25 | 1.92 | 902 |
| 1:30 | 2.00 | 889 |
| 1:35 | 2.08 | 870 |
| 1:40 | 2.17 | 859 |
| 1:45 | 2.25 | 875 |
| 1:50 | 2.33 | 889 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 877 |
| 2:00 | 2.50 | 880 |
| 2:05 | 2.58 | 874 |
| 2:10 | 2.67 | 893 |
| 2:15 | 2.75 | 895 |
| 2:20 | 2.83 | 909 |
| 2:25 | 2.92 | 907 |
| 2:30 | 3.00 | 912 |
| 2:35 | 3.08 | 924 |
| 2:40 | 3.17 | 914 |
| 2:45 | 3.25 | 927 |
| 2:50 | 3.33 | 917 |
| 2:55 | 3.42 | 934 |
| 3:00 | 3.50 | 917 |
| 3:05 | 3.58 | 932 |
| 3:10 | 3.67 | 914 |
| 3:15 | 3.75 | 924 |
| 3:20 | 3.83 | 900 |
| 3:25 | 3.92 | 927 |
| 3:30 | 4.00 | 922 |
| 3:35 | 4.08 | 929 |
| 3:40 | 4.17 | 938 |
| 3:45 | 4.25 | 937 |
| 3:50 | 4.33 | 956 |
| 3:55 | 4.42 | 954 |
| 4:00 | 4.50 | 958 |
| 4:05 | 4.58 | 954 |
| 4:10 | 4.67 | 980 |
| 4:15 | 4.75 | 974 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 974 |
| 4:25 | 4.92 | 984 |
| 4:30 | 5.00 | 983 |
| 4:35 | 5.08 | 994 |
| 4:40 | 5.17 | 983 |
| 4:45 | 5.25 | 999 |
| 4:50 | 5.33 | 1,011 |
| 4:55 | 5.42 | 990 |
| 5:00 | 5.50 | 986 |
| 5:05 | 5.58 | 1,004 |
| 5:10 | 5.67 | 1,010 |
| 5:15 | 5.75 | 966 |
| 5:20 | 5.83 | 1,002 |
| 5:25 | 5.92 | 968 |
| 5:30 | 6.00 | 988 |
| 5:35 | 6.08 | 1,016 |
| 5:40 | 6.17 | 988 |
| 5:45 | 6.25 | 978 |
| 5:50 | 6.33 | 990 |
| 5:55 | 6.42 | 1,011 |
| 6:00 | 6.50 | 988 |
| 6:05 | 6.58 | 993 |
| 6:10 | 6.67 | 1,011 |
| 6:15 | 6.75 | 986 |
| 6:20 | 6.83 | 1,022 |
| 6:25 | 6.92 | 1,045 |
| 6:30 | 7.00 | 1,036 |
| 6:35 | 7.08 | 1,049 |
| 6:40 | 7.17 | 1,058 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,067 |
| 6:50 | 7.33 | 1,076 |
| 6:55 | 7.42 | 1,086 |
| 7:00 | 7.50 | 1,095 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 477 |
| 23:35 | 0.08 | 503 |
| 23:40 | 0.17 | 602 |
| 23:45 | 0.25 | 667 |
| 23:50 | 0.33 | 698 |
| 23:55 | 0.42 | 710 |
| 0:00 | 0.50 | 742 |
| 0:05 | 0.58 | 764 |
| 0:10 | 0.67 | 782 |
| 0:15 | 0.75 | 817 |
| 0:20 | 0.83 | 810 |
| 0:25 | 0.92 | 828 |
| 0:30 | 1.00 | 858 |
| 0:35 | 1.08 | 861 |
| 0:40 | 1.17 | 891 |
| 0:45 | 1.25 | 889 |
| 0:50 | 1.33 | 899 |
| 0:55 | 1.42 | 885 |
| 1:00 | 1.50 | 870 |
| 1:05 | 1.58 | 890 |
| 1:10 | 1.67 | 902 |
| 1:15 | 1.75 | 927 |
| 1:20 | 1.83 | 929 |
| 1:25 | 1.92 | 943 |
| 1:30 | 2.00 | 922 |
| 1:35 | 2.08 | 927 |
| 1:40 | 2.17 | 927 |
| 1:45 | 2.25 | 948 |
| 1:50 | 2.33 | 948 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 960 |
| 2:00 | 2.50 | 979 |
| 2:05 | 2.58 | 954 |
| 2:10 | 2.67 | 974 |
| 2:15 | 2.75 | 996 |
| 2:20 | 2.83 | 1,012 |
| 2:25 | 2.92 | 1,008 |
| 2:30 | 3.00 | 990 |
| 2:35 | 3.08 | 969 |
| 2:40 | 3.17 | 983 |
| 2:45 | 3.25 | 987 |
| 2:50 | 3.33 | 1,003 |
| 2:55 | 3.42 | 990 |
| 3:00 | 3.50 | 1,008 |
| 3:05 | 3.58 | 1,000 |
| 3:10 | 3.67 | 1,005 |
| 3:15 | 3.75 | 978 |
| 3:20 | 3.83 | 1,004 |
| 3:25 | 3.92 | 978 |
| 3:30 | 4.00 | 992 |
| 3:35 | 4.08 | 989 |
| 3:40 | 4.17 | 995 |
| 3:45 | 4.25 | 1,012 |
| 3:50 | 4.33 | 1,011 |
| 3:55 | 4.42 | 1,027 |
| 4:00 | 4.50 | 1,026 |
| 4:05 | 4.58 | 993 |
| 4:10 | 4.67 | 1,015 |
| 4:15 | 4.75 | 1,020 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,004 |
| 4:25 | 4.92 | 992 |
| 4:30 | 5.00 | 978 |
| 4:35 | 5.08 | 1,002 |
| 4:40 | 5.17 | 964 |
| 4:45 | 5.25 | 964 |
| 4:50 | 5.33 | 973 |
| 4:55 | 5.42 | 973 |
| 5:00 | 5.50 | 986 |
| 5:05 | 5.58 | 992 |
| 5:10 | 5.67 | 976 |
| 5:15 | 5.75 | 1,011 |
| 5:20 | 5.83 | 981 |
| 5:25 | 5.92 | 1,004 |
| 5:30 | 6.00 | 988 |
| 5:35 | 6.08 | 978 |
| 5:40 | 6.17 | 1,002 |
| 5:45 | 6.25 | 983 |
| 5:50 | 6.33 | 993 |
| 5:55 | 6.42 | 1,004 |
| 6:00 | 6.50 | 1,004 |
| 6:05 | 6.58 | 990 |
| 6:10 | 6.67 | 1,009 |
| 6:15 | 6.75 | 999 |
| 6:20 | 6.83 | 1,024 |
| 6:25 | 6.92 | 997 |
| 6:30 | 7.00 | 1,009 |
| 6:35 | 7.08 | 1,020 |
| 6:40 | 7.17 | 1,020 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,063 |
| 6:50 | 7.33 | 1,057 |
| 6:55 | 7.42 | 1,088 |
| 7:00 | 7.50 | 1,086 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน B (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 415 |
| 23:35 | 0.08 | 435 |
| 23:40 | 0.17 | 445 |
| 23:45 | 0.25 | 505 |
| 23:50 | 0.33 | 541 |
| 23:55 | 0.42 | 605 |
| 0:00 | 0.50 | 637 |
| 0:05 | 0.58 | 672 |
| 0:10 | 0.67 | 691 |
| 0:15 | 0.75 | 711 |
| 0:20 | 0.83 | 734 |
| 0:25 | 0.92 | 772 |
| 0:30 | 1.00 | 801 |
| 0:35 | 1.08 | 835 |
| 0:40 | 1.17 | 865 |
| 0:45 | 1.25 | 897 |
| 0:50 | 1.33 | 925 |
| 0:55 | 1.42 | 937 |
| 1:00 | 1.50 | 942 |
| 1:05 | 1.58 | 955 |
| 1:10 | 1.67 | 948 |
| 1:15 | 1.75 | 949 |
| 1:20 | 1.83 | 951 |
| 1:25 | 1.92 | 941 |
| 1:30 | 2.00 | 982 |
| 1:35 | 2.08 | 983 |
| 1:40 | 2.17 | 994 |
| 1:45 | 2.25 | 994 |
| 1:50 | 2.33 | 1,019 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน B (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 1,006 |
| 2:00 | 2.50 | 1,006 |
| 2:05 | 2.58 | 1,025 |
| 2:10 | 2.67 | 1,033 |
| 2:15 | 2.75 | 1,035 |
| 2:20 | 2.83 | 1,039 |
| 2:25 | 2.92 | 1,057 |
| 2:30 | 3.00 | 1,034 |
| 2:35 | 3.08 | 1,045 |
| 2:40 | 3.17 | 1,079 |
| 2:45 | 3.25 | 1,082 |
| 2:50 | 3.33 | 1,087 |
| 2:55 | 3.42 | 1,080 |
| 3:00 | 3.50 | 1,061 |
| 3:05 | 3.58 | 1,059 |
| 3:10 | 3.67 | 1,057 |
| 3:15 | 3.75 | 1,072 |
| 3:20 | 3.83 | 1,092 |
| 3:25 | 3.92 | 1,067 |
| 3:30 | 4.00 | 1,078 |
| 3:35 | 4.08 | 1,088 |
| 3:40 | 4.17 | 1,074 |
| 3:45 | 4.25 | 1,075 |
| 3:50 | 4.33 | 1,119 |
| 3:55 | 4.42 | 1,127 |
| 4:00 | 4.50 | 1,128 |
| 4:05 | 4.58 | 1,117 |
| 4:10 | 4.67 | 1,129 |
| 4:15 | 4.75 | 1,139 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน B (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,158 |
| 4:25 | 4.92 | 1,143 |
| 4:30 | 5.00 | 1,142 |
| 4:35 | 5.08 | 1,125 |
| 4:40 | 5.17 | 1,129 |
| 4:45 | 5.25 | 1,120 |
| 4:50 | 5.33 | 1,137 |
| 4:55 | 5.42 | 1,153 |
| 5:00 | 5.50 | 1,158 |
| 5:05 | 5.58 | 1,153 |
| 5:10 | 5.67 | 1,163 |
| 5:15 | 5.75 | 1,163 |
| 5:20 | 5.83 | 1,167 |
| 5:25 | 5.92 | 1,153 |
| 5:30 | 6.00 | 1,177 |
| 5:35 | 6.08 | 1,181 |
| 5:40 | 6.17 | 1,157 |
| 5:45 | 6.25 | 1,165 |
| 5:50 | 6.33 | 1,169 |
| 5:55 | 6.42 | 1,173 |
| 6:00 | 6.50 | 1,175 |
| 6:05 | 6.58 | 1,158 |
| 6:10 | 6.67 | 1,157 |
| 6:15 | 6.75 | 1,171 |
| 6:20 | 6.83 | 1,191 |
| 6:25 | 6.92 | 1,187 |
| 6:30 | 7.00 | 1,209 |
| 6:35 | 7.08 | 1,224 |
| 6:40 | 7.17 | 1,236 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ห้องนอน B (ปิด) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,266 |
| 6:50 | 7.33 | 1,275 |
| 6:55 | 7.42 | 1,257 |
| 7:00 | 7.50 | 1,235 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 405 |
| 23:35 | 0.08 | 416 |
| 23:40 | 0.17 | 410 |
| 23:45 | 0.25 | 416 |
| 23:50 | 0.33 | 430 |
| 23:55 | 0.42 | 432 |
| 0:00 | 0.50 | 463 |
| 0:05 | 0.58 | 486 |
| 0:10 | 0.67 | 499 |
| 0:15 | 0.75 | 519 |
| 0:20 | 0.83 | 590 |
| 0:25 | 0.92 | 611 |
| 0:30 | 1.00 | 644 |
| 0:35 | 1.08 | 674 |
| 0:40 | 1.17 | 695 |
| 0:45 | 1.25 | 715 |
| 0:50 | 1.33 | 713 |
| 0:55 | 1.42 | 758 |
| 1:00 | 1.50 | 768 |
| 1:05 | 1.58 | 790 |
| 1:10 | 1.67 | 807 |
| 1:15 | 1.75 | 817 |
| 1:20 | 1.83 | 835 |
| 1:25 | 1.92 | 865 |
| 1:30 | 2.00 | 863 |
| 1:35 | 2.08 | 877 |
| 1:40 | 2.17 | 877 |
| 1:45 | 2.25 | 894 |
| 1:50 | 2.33 | 922 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 943 |
| 2:00 | 2.50 | 957 |
| 2:05 | 2.58 | 962 |
| 2:10 | 2.67 | 960 |
| 2:15 | 2.75 | 989 |
| 2:20 | 2.83 | 984 |
| 2:25 | 2.92 | 1,022 |
| 2:30 | 3.00 | 1,017 |
| 2:35 | 3.08 | 1,032 |
| 2:40 | 3.17 | 1,028 |
| 2:45 | 3.25 | 1,048 |
| 2:50 | 3.33 | 1,060 |
| 2:55 | 3.42 | 1,055 |
| 3:00 | 3.50 | 1,080 |
| 3:05 | 3.58 | 1,086 |
| 3:10 | 3.67 | 1,086 |
| 3:15 | 3.75 | 1,083 |
| 3:20 | 3.83 | 1,109 |
| 3:25 | 3.92 | 1,105 |
| 3:30 | 4.00 | 1,116 |
| 3:35 | 4.08 | 1,093 |
| 3:40 | 4.17 | 1,122 |
| 3:45 | 4.25 | 1,085 |
| 3:50 | 4.33 | 1,123 |
| 3:55 | 4.42 | 1,133 |
| 4:00 | 4.50 | 1,132 |
| 4:05 | 4.58 | 1,126 |
| 4:10 | 4.67 | 1,127 |
| 4:15 | 4.75 | 1,144 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,128 |
| 4:25 | 4.92 | 1,152 |
| 4:30 | 5.00 | 1,152 |
| 4:35 | 5.08 | 1,185 |
| 4:40 | 5.17 | 1,149 |
| 4:45 | 5.25 | 1,173 |
| 4:50 | 5.33 | 1,173 |
| 4:55 | 5.42 | 1,176 |
| 5:00 | 5.50 | 1,163 |
| 5:05 | 5.58 | 1,196 |
| 5:10 | 5.67 | 1,171 |
| 5:15 | 5.75 | 1,167 |
| 5:20 | 5.83 | 1,220 |
| 5:25 | 5.92 | 1,190 |
| 5:30 | 6.00 | 1,188 |
| 5:35 | 6.08 | 1,190 |
| 5:40 | 6.17 | 1,202 |
| 5:45 | 6.25 | 1,196 |
| 5:50 | 6.33 | 1,210 |
| 5:55 | 6.42 | 1,207 |
| 6:00 | 6.50 | 1,220 |
| 6:05 | 6.58 | 1,196 |
| 6:10 | 6.67 | 1,215 |
| 6:15 | 6.75 | 1,213 |
| 6:20 | 6.83 | 1,218 |
| 6:25 | 6.92 | 1,208 |
| 6:30 | 7.00 | 1,200 |
| 6:35 | 7.08 | 1,220 |
| 6:40 | 7.17 | 1,194 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,221 |
| 6:50 | 7.33 | 1,200 |
| 6:55 | 7.42 | 1,188 |
| 7:00 | 7.50 | 1,216 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 23:30 | 0.00 | 439 |
| 23:35 | 0.08 | 459 |
| 23:40 | 0.17 | 475 |
| 23:45 | 0.25 | 529 |
| 23:50 | 0.33 | 557 |
| 23:55 | 0.42 | 586 |
| 0:00 | 0.50 | 624 |
| 0:05 | 0.58 | 649 |
| 0:10 | 0.67 | 695 |
| 0:15 | 0.75 | 710 |
| 0:20 | 0.83 | 757 |
| 0:25 | 0.92 | 758 |
| 0:30 | 1.00 | 787 |
| 0:35 | 1.08 | 811 |
| 0:40 | 1.17 | 819 |
| 0:45 | 1.25 | 845 |
| 0:50 | 1.33 | 823 |
| 0:55 | 1.42 | 868 |
| 1:00 | 1.50 | 855 |
| 1:05 | 1.58 | 890 |
| 1:10 | 1.67 | 890 |
| 1:15 | 1.75 | 898 |
| 1:20 | 1.83 | 901 |
| 1:25 | 1.92 | 903 |
| 1:30 | 2.00 | 926 |
| 1:35 | 2.08 | 938 |
| 1:40 | 2.17 | 942 |
| 1:45 | 2.25 | 937 |
| 1:50 | 2.33 | 969 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 1:55 | 2.42 | 979 |
| 2:00 | 2.50 | 989 |
| 2:05 | 2.58 | 986 |
| 2:10 | 2.67 | 993 |
| 2:15 | 2.75 | 986 |
| 2:20 | 2.83 | 991 |
| 2:25 | 2.92 | 993 |
| 2:30 | 3.00 | 1,020 |
| 2:35 | 3.08 | 1,016 |
| 2:40 | 3.17 | 1,016 |
| 2:45 | 3.25 | 1,016 |
| 2:50 | 3.33 | 1,022 |
| 2:55 | 3.42 | 1,025 |
| 3:00 | 3.50 | 1,041 |
| 3:05 | 3.58 | 1,033 |
| 3:10 | 3.67 | 1,059 |
| 3:15 | 3.75 | 1,050 |
| 3:20 | 3.83 | 1,071 |
| 3:25 | 3.92 | 1,077 |
| 3:30 | 4.00 | 1,055 |
| 3:35 | 4.08 | 1,101 |
| 3:40 | 4.17 | 1,059 |
| 3:45 | 4.25 | 1,076 |
| 3:50 | 4.33 | 1,069 |
| 3:55 | 4.42 | 1,074 |
| 4:00 | 4.50 | 1,063 |
| 4:05 | 4.58 | 1,047 |
| 4:10 | 4.67 | 1,064 |
| 4:15 | 4.75 | 1,087 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 4:20 | 4.83 | 1,097 |
| 4:25 | 4.92 | 1,093 |
| 4:30 | 5.00 | 1,104 |
| 4:35 | 5.08 | 1,097 |
| 4:40 | 5.17 | 1,074 |
| 4:45 | 5.25 | 1,108 |
| 4:50 | 5.33 | 1,139 |
| 4:55 | 5.42 | 1,130 |
| 5:00 | 5.50 | 1,117 |
| 5:05 | 5.58 | 1,143 |
| 5:10 | 5.67 | 1,143 |
| 5:15 | 5.75 | 1,150 |
| 5:20 | 5.83 | 1,113 |
| 5:25 | 5.92 | 1,152 |
| 5:30 | 6.00 | 1,140 |
| 5:35 | 6.08 | 1,160 |
| 5:40 | 6.17 | 1,154 |
| 5:45 | 6.25 | 1,165 |
| 5:50 | 6.33 | 1,148 |
| 5:55 | 6.42 | 1,146 |
| 6:00 | 6.50 | 1,156 |
| 6:05 | 6.58 | 1,184 |
| 6:10 | 6.67 | 1,175 |
| 6:15 | 6.75 | 1,142 |
| 6:20 | 6.83 | 1,165 |
| 6:25 | 6.92 | 1,169 |
| 6:30 | 7.00 | 1,143 |
| 6:35 | 7.08 | 1,170 |
| 6:40 | 7.17 | 1,179 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 6:45 | 7.25 | 1,184 |
| 6:50 | 7.33 | 1,190 |
| 6:55 | 7.42 | 1,181 |
| 7:00 | 7.50 | 1,154 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 23:30 | 0.00 | 385 |
| 23:35 | 0.08 | 467 |
| 23:40 | 0.17 | 498 |
| 23:45 | 0.25 | 543 |
| 23:50 | 0.33 | 549 |
| 23:55 | 0.42 | 581 |
| 0:00 | 0.50 | 620 |
| 0:05 | 0.58 | 653 |
| 0:10 | 0.67 | 673 |
| 0:15 | 0.75 | 703 |
| 0:20 | 0.83 | 718 |
| 0:25 | 0.92 | 747 |
| 0:30 | 1.00 | 764 |
| 0:35 | 1.08 | 786 |
| 0:40 | 1.17 | 819 |
| 0:45 | 1.25 | 801 |
| 0:50 | 1.33 | 837 |
| 0:55 | 1.42 | 841 |
| 1:00 | 1.50 | 861 |
| 1:05 | 1.58 | 852 |
| 1:10 | 1.67 | 890 |
| 1:15 | 1.75 | 905 |
| 1:20 | 1.83 | 912 |
| 1:25 | 1.92 | 933 |
| 1:30 | 2.00 | 949 |
| 1:35 | 2.08 | 981 |
| 1:40 | 2.17 | 975 |
| 1:45 | 2.25 | 981 |
| 1:50 | 2.33 | 972 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 1:55 | 2.42 | 980 |
| 2:00 | 2.50 | 1,005 |
| 2:05 | 2.58 | 1,015 |
| 2:10 | 2.67 | 1,035 |
| 2:15 | 2.75 | 1,017 |
| 2:20 | 2.83 | 1,021 |
| 2:25 | 2.92 | 1,027 |
| 2:30 | 3.00 | 1,047 |
| 2:35 | 3.08 | 1,026 |
| 2:40 | 3.17 | 1,045 |
| 2:45 | 3.25 | 1,061 |
| 2:50 | 3.33 | 1,072 |
| 2:55 | 3.42 | 1,046 |
| 3:00 | 3.50 | 1,051 |
| 3:05 | 3.58 | 1,062 |
| 3:10 | 3.67 | 1,092 |
| 3:15 | 3.75 | 1,070 |
| 3:20 | 3.83 | 1,057 |
| 3:25 | 3.92 | 1,072 |
| 3:30 | 4.00 | 1,087 |
| 3:35 | 4.08 | 1,064 |
| 3:40 | 4.17 | 1,052 |
| 3:45 | 4.25 | 1,105 |
| 3:50 | 4.33 | 1,076 |
| 3:55 | 4.42 | 1,101 |
| 4:00 | 4.50 | 1,082 |
| 4:05 | 4.58 | 1,102 |
| 4:10 | 4.67 | 1,111 |
| 4:15 | 4.75 | 1,118 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 4:20 | 4.83 | 1,127 |
| 4:25 | 4.92 | 1,111 |
| 4:30 | 5.00 | 1,108 |
| 4:35 | 5.08 | 1,121 |
| 4:40 | 5.17 | 1,124 |
| 4:45 | 5.25 | 1,134 |
| 4:50 | 5.33 | 1,127 |
| 4:55 | 5.42 | 1,131 |
| 5:00 | 5.50 | 1,136 |
| 5:05 | 5.58 | 1,135 |
| 5:10 | 5.67 | 1,132 |
| 5:15 | 5.75 | 1,122 |
| 5:20 | 5.83 | 1,127 |
| 5:25 | 5.92 | 1,137 |
| 5:30 | 6.00 | 1,140 |
| 5:35 | 6.08 | 1,139 |
| 5:40 | 6.17 | 1,141 |
| 5:45 | 6.25 | 1,126 |
| 5:50 | 6.33 | 1,135 |
| 5:55 | 6.42 | 1,145 |
| 6:00 | 6.50 | 1,156 |
| 6:05 | 6.58 | 1,133 |
| 6:10 | 6.67 | 1,160 |
| 6:15 | 6.75 | 1,145 |
| 6:20 | 6.83 | 1,152 |
| 6:25 | 6.92 | 1,172 |
| 6:30 | 7.00 | 1,156 |
| 6:35 | 7.08 | 1,154 |
| 6:40 | 7.17 | 1,160 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | $CO_2$ |
| 6:45 | 7.25 | 1,170 |
| 6:50 | 7.33 | 1,165 |
| 6:55 | 7.42 | 1,134 |
| 7:00 | 7.50 | 1,120 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 403 |
| 23:35 | 0.08 | 395 |
| 23:40 | 0.17 | 395 |
| 23:45 | 0.25 | 428 |
| 23:50 | 0.33 | 466 |
| 23:55 | 0.42 | 500 |
| 0:00 | 0.50 | 512 |
| 0:05 | 0.58 | 533 |
| 0:10 | 0.67 | 555 |
| 0:15 | 0.75 | 590 |
| 0:20 | 0.83 | 592 |
| 0:25 | 0.92 | 622 |
| 0:30 | 1.00 | 651 |
| 0:35 | 1.08 | 670 |
| 0:40 | 1.17 | 692 |
| 0:45 | 1.25 | 705 |
| 0:50 | 1.33 | 739 |
| 0:55 | 1.42 | 754 |
| 1:00 | 1.50 | 763 |
| 1:05 | 1.58 | 772 |
| 1:10 | 1.67 | 772 |
| 1:15 | 1.75 | 800 |
| 1:20 | 1.83 | 810 |
| 1:25 | 1.92 | 819 |
| 1:30 | 2.00 | 819 |
| 1:35 | 2.08 | 827 |
| 1:40 | 2.17 | 840 |
| 1:45 | 2.25 | 865 |
| 1:50 | 2.33 | 862 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 834 |
| 2:00 | 2.50 | 853 |
| 2:05 | 2.58 | 866 |
| 2:10 | 2.67 | 869 |
| 2:15 | 2.75 | 869 |
| 2:20 | 2.83 | 861 |
| 2:25 | 2.92 | 866 |
| 2:30 | 3.00 | 898 |
| 2:35 | 3.08 | 904 |
| 2:40 | 3.17 | 888 |
| 2:45 | 3.25 | 906 |
| 2:50 | 3.33 | 900 |
| 2:55 | 3.42 | 936 |
| 3:00 | 3.50 | 919 |
| 3:05 | 3.58 | 927 |
| 3:10 | 3.67 | 927 |
| 3:15 | 3.75 | 943 |
| 3:20 | 3.83 | 953 |
| 3:25 | 3.92 | 948 |
| 3:30 | 4.00 | 968 |
| 3:35 | 4.08 | 969 |
| 3:40 | 4.17 | 969 |
| 3:45 | 4.25 | 951 |
| 3:50 | 4.33 | 973 |
| 3:55 | 4.42 | 1,004 |
| 4:00 | 4.50 | 1,012 |
| 4:05 | 4.58 | 1,000 |
| 4:10 | 4.67 | 970 |
| 4:15 | 4.75 | 999 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,022 |
| 4:25 | 4.92 | 1,028 |
| 4:30 | 5.00 | 1,012 |
| 4:35 | 5.08 | 1,004 |
| 4:40 | 5.17 | 1,029 |
| 4:45 | 5.25 | 1,032 |
| 4:50 | 5.33 | 1,058 |
| 4:55 | 5.42 | 1,044 |
| 5:00 | 5.50 | 1,050 |
| 5:05 | 5.58 | 1,047 |
| 5:10 | 5.67 | 1,035 |
| 5:15 | 5.75 | 1,069 |
| 5:20 | 5.83 | 1,056 |
| 5:25 | 5.92 | 1,061 |
| 5:30 | 6.00 | 1,083 |
| 5:35 | 6.08 | 1,082 |
| 5:40 | 6.17 | 1,111 |
| 5:45 | 6.25 | 1,143 |
| 5:50 | 6.33 | 1,122 |
| 5:55 | 6.42 | 1,135 |
| 6:00 | 6.50 | 1,130 |
| 6:05 | 6.58 | 1,143 |
| 6:10 | 6.67 | 1,143 |
| 6:15 | 6.75 | 1,142 |
| 6:20 | 6.83 | 1,140 |
| 6:25 | 6.92 | 1,141 |
| 6:30 | 7.00 | 1,139 |
| 6:35 | 7.08 | 1,124 |
| 6:40 | 7.17 | 1,137 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,135 |
| 6:50 | 7.33 | 1,129 |
| 6:55 | 7.42 | 1,127 |
| 7:00 | 7.50 | 1,124 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 358 |
| 23:35 | 0.08 | 346 |
| 23:40 | 0.17 | 407 |
| 23:45 | 0.25 | 453 |
| 23:50 | 0.33 | 483 |
| 23:55 | 0.42 | 505 |
| 0:00 | 0.50 | 550 |
| 0:05 | 0.58 | 569 |
| 0:10 | 0.67 | 604 |
| 0:15 | 0.75 | 615 |
| 0:20 | 0.83 | 648 |
| 0:25 | 0.92 | 658 |
| 0:30 | 1.00 | 684 |
| 0:35 | 1.08 | 684 |
| 0:40 | 1.17 | 728 |
| 0:45 | 1.25 | 731 |
| 0:50 | 1.33 | 731 |
| 0:55 | 1.42 | 769 |
| 1:00 | 1.50 | 812 |
| 1:05 | 1.58 | 780 |
| 1:10 | 1.67 | 768 |
| 1:15 | 1.75 | 792 |
| 1:20 | 1.83 | 820 |
| 1:25 | 1.92 | 830 |
| 1:30 | 2.00 | 856 |
| 1:35 | 2.08 | 862 |
| 1:40 | 2.17 | 885 |
| 1:45 | 2.25 | 902 |
| 1:50 | 2.33 | 896 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 895 |
| 2:00 | 2.50 | 915 |
| 2:05 | 2.58 | 890 |
| 2:10 | 2.67 | 916 |
| 2:15 | 2.75 | 885 |
| 2:20 | 2.83 | 900 |
| 2:25 | 2.92 | 922 |
| 2:30 | 3.00 | 902 |
| 2:35 | 3.08 | 919 |
| 2:40 | 3.17 | 932 |
| 2:45 | 3.25 | 948 |
| 2:50 | 3.33 | 964 |
| 2:55 | 3.42 | 949 |
| 3:00 | 3.50 | 950 |
| 3:05 | 3.58 | 994 |
| 3:10 | 3.67 | 977 |
| 3:15 | 3.75 | 942 |
| 3:20 | 3.83 | 962 |
| 3:25 | 3.92 | 963 |
| 3:30 | 4.00 | 970 |
| 3:35 | 4.08 | 954 |
| 3:40 | 4.17 | 958 |
| 3:45 | 4.25 | 948 |
| 3:50 | 4.33 | 994 |
| 3:55 | 4.42 | 990 |
| 4:00 | 4.50 | 984 |
| 4:05 | 4.58 | 987 |
| 4:10 | 4.67 | 994 |
| 4:15 | 4.75 | 1,028 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 1,032 |
| 4:25 | 4.92 | 1,032 |
| 4:30 | 5.00 | 1,039 |
| 4:35 | 5.08 | 1,075 |
| 4:40 | 5.17 | 1,039 |
| 4:45 | 5.25 | 1,032 |
| 4:50 | 5.33 | 1,029 |
| 4:55 | 5.42 | 1,065 |
| 5:00 | 5.50 | 1,053 |
| 5:05 | 5.58 | 1,064 |
| 5:10 | 5.67 | 1,065 |
| 5:15 | 5.75 | 1,091 |
| 5:20 | 5.83 | 1,075 |
| 5:25 | 5.92 | 1,064 |
| 5:30 | 6.00 | 1,071 |
| 5:35 | 6.08 | 1,074 |
| 5:40 | 6.17 | 1,095 |
| 5:45 | 6.25 | 1,082 |
| 5:50 | 6.33 | 1,064 |
| 5:55 | 6.42 | 1,076 |
| 6:00 | 6.50 | 1,092 |
| 6:05 | 6.58 | 1,096 |
| 6:10 | 6.67 | 1,096 |
| 6:15 | 6.75 | 1,085 |
| 6:20 | 6.83 | 1,075 |
| 6:25 | 6.92 | 1,069 |
| 6:30 | 7.00 | 1,082 |
| 6:35 | 7.08 | 1,074 |
| 6:40 | 7.17 | 1,083 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,094 |
| 6:50 | 7.33 | 1,048 |
| 6:55 | 7.42 | 1,090 |
| 7:00 | 7.50 | 1,075 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 388 |
| 23:35 | 0.08 | 420 |
| 23:40 | 0.17 | 475 |
| 23:45 | 0.25 | 511 |
| 23:50 | 0.33 | 538 |
| 23:55 | 0.42 | 555 |
| 0:00 | 0.50 | 594 |
| 0:05 | 0.58 | 628 |
| 0:10 | 0.67 | 644 |
| 0:15 | 0.75 | 667 |
| 0:20 | 0.83 | 671 |
| 0:25 | 0.92 | 695 |
| 0:30 | 1.00 | 713 |
| 0:35 | 1.08 | 717 |
| 0:40 | 1.17 | 716 |
| 0:45 | 1.25 | 763 |
| 0:50 | 1.33 | 768 |
| 0:55 | 1.42 | 761 |
| 1:00 | 1.50 | 803 |
| 1:05 | 1.58 | 781 |
| 1:10 | 1.67 | 769 |
| 1:15 | 1.75 | 826 |
| 1:20 | 1.83 | 803 |
| 1:25 | 1.92 | 837 |
| 1:30 | 2.00 | 855 |
| 1:35 | 2.08 | 840 |
| 1:40 | 2.17 | 829 |
| 1:45 | 2.25 | 862 |
| 1:50 | 2.33 | 871 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 860 |
| 2:00 | 2.50 | 869 |
| 2:05 | 2.58 | 866 |
| 2:10 | 2.67 | 900 |
| 2:15 | 2.75 | 898 |
| 2:20 | 2.83 | 912 |
| 2:25 | 2.92 | 919 |
| 2:30 | 3.00 | 897 |
| 2:35 | 3.08 | 914 |
| 2:40 | 3.17 | 952 |
| 2:45 | 3.25 | 922 |
| 2:50 | 3.33 | 920 |
| 2:55 | 3.42 | 918 |
| 3:00 | 3.50 | 969 |
| 3:05 | 3.58 | 989 |
| 3:10 | 3.67 | 960 |
| 3:15 | 3.75 | 957 |
| 3:20 | 3.83 | 978 |
| 3:25 | 3.92 | 992 |
| 3:30 | 4.00 | 979 |
| 3:35 | 4.08 | 983 |
| 3:40 | 4.17 | 962 |
| 3:45 | 4.25 | 957 |
| 3:50 | 4.33 | 1,002 |
| 3:55 | 4.42 | 989 |
| 4:00 | 4.50 | 962 |
| 4:05 | 4.58 | 967 |
| 4:10 | 4.67 | 930 |
| 4:15 | 4.75 | 961 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 944 |
| 4:25 | 4.92 | 940 |
| 4:30 | 5.00 | 962 |
| 4:35 | 5.08 | 964 |
| 4:40 | 5.17 | 955 |
| 4:45 | 5.25 | 963 |
| 4:50 | 5.33 | 968 |
| 4:55 | 5.42 | 967 |
| 5:00 | 5.50 | 968 |
| 5:05 | 5.58 | 980 |
| 5:10 | 5.67 | 974 |
| 5:15 | 5.75 | 968 |
| 5:20 | 5.83 | 972 |
| 5:25 | 5.92 | 967 |
| 5:30 | 6.00 | 993 |
| 5:35 | 6.08 | 990 |
| 5:40 | 6.17 | 993 |
| 5:45 | 6.25 | 983 |
| 5:50 | 6.33 | 985 |
| 5:55 | 6.42 | 987 |
| 6:00 | 6.50 | 1,004 |
| 6:05 | 6.58 | 1,009 |
| 6:10 | 6.67 | 973 |
| 6:15 | 6.75 | 984 |
| 6:20 | 6.83 | 974 |
| 6:25 | 6.92 | 995 |
| 6:30 | 7.00 | 1,002 |
| 6:35 | 7.08 | 988 |
| 6:40 | 7.17 | 1,005 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,004 |
| 6:50 | 7.33 | 1,007 |
| 6:55 | 7.42 | 1,012 |
| 7:00 | 7.50 | 1,005 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 432 |
| 23:35 | 0.08 | 435 |
| 23:40 | 0.17 | 425 |
| 23:45 | 0.25 | 501 |
| 23:50 | 0.33 | 541 |
| 23:55 | 0.42 | 579 |
| 0:00 | 0.50 | 623 |
| 0:05 | 0.58 | 648 |
| 0:10 | 0.67 | 664 |
| 0:15 | 0.75 | 714 |
| 0:20 | 0.83 | 735 |
| 0:25 | 0.92 | 750 |
| 0:30 | 1.00 | 784 |
| 0:35 | 1.08 | 783 |
| 0:40 | 1.17 | 814 |
| 0:45 | 1.25 | 804 |
| 0:50 | 1.33 | 825 |
| 0:55 | 1.42 | 845 |
| 1:00 | 1.50 | 828 |
| 1:05 | 1.58 | 872 |
| 1:10 | 1.67 | 837 |
| 1:15 | 1.75 | 868 |
| 1:20 | 1.83 | 870 |
| 1:25 | 1.92 | 867 |
| 1:30 | 2.00 | 872 |
| 1:35 | 2.08 | 866 |
| 1:40 | 2.17 | 866 |
| 1:45 | 2.25 | 887 |
| 1:50 | 2.33 | 920 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 920 |
| 2:00 | 2.50 | 930 |
| 2:05 | 2.58 | 903 |
| 2:10 | 2.67 | 934 |
| 2:15 | 2.75 | 953 |
| 2:20 | 2.83 | 963 |
| 2:25 | 2.92 | 945 |
| 2:30 | 3.00 | 955 |
| 2:35 | 3.08 | 944 |
| 2:40 | 3.17 | 956 |
| 2:45 | 3.25 | 960 |
| 2:50 | 3.33 | 972 |
| 2:55 | 3.42 | 966 |
| 3:00 | 3.50 | 934 |
| 3:05 | 3.58 | 954 |
| 3:10 | 3.67 | 968 |
| 3:15 | 3.75 | 989 |
| 3:20 | 3.83 | 1,014 |
| 3:25 | 3.92 | 1,002 |
| 3:30 | 4.00 | 983 |
| 3:35 | 4.08 | 982 |
| 3:40 | 4.17 | 999 |
| 3:45 | 4.25 | 1,001 |
| 3:50 | 4.33 | 1,002 |
| 3:55 | 4.42 | 997 |
| 4:00 | 4.50 | 971 |
| 4:05 | 4.58 | 947 |
| 4:10 | 4.67 | 985 |
| 4:15 | 4.75 | 963 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 971 |
| 4:25 | 4.92 | 984 |
| 4:30 | 5.00 | 972 |
| 4:35 | 5.08 | 959 |
| 4:40 | 5.17 | 945 |
| 4:45 | 5.25 | 980 |
| 4:50 | 5.33 | 983 |
| 4:55 | 5.42 | 955 |
| 5:00 | 5.50 | 957 |
| 5:05 | 5.58 | 954 |
| 5:10 | 5.67 | 927 |
| 5:15 | 5.75 | 947 |
| 5:20 | 5.83 | 974 |
| 5:25 | 5.92 | 950 |
| 5:30 | 6.00 | 942 |
| 5:35 | 6.08 | 946 |
| 5:40 | 6.17 | 959 |
| 5:45 | 6.25 | 921 |
| 5:50 | 6.33 | 962 |
| 5:55 | 6.42 | 935 |
| 6:00 | 6.50 | 940 |
| 6:05 | 6.58 | 942 |
| 6:10 | 6.67 | 982 |
| 6:15 | 6.75 | 967 |
| 6:20 | 6.83 | 960 |
| 6:25 | 6.92 | 961 |
| 6:30 | 7.00 | 1,002 |
| 6:35 | 7.08 | 988 |
| 6:40 | 7.17 | 1,005 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,004 |
| 6:50 | 7.33 | 1,007 |
| 6:55 | 7.42 | 1,012 |
| 7:00 | 7.50 | 1,005 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 429 |
| 23:35 | 0.08 | 431 |
| 23:40 | 0.17 | 444 |
| 23:45 | 0.25 | 467 |
| 23:50 | 0.33 | 522 |
| 23:55 | 0.42 | 559 |
| 0:00 | 0.50 | 579 |
| 0:05 | 0.58 | 603 |
| 0:10 | 0.67 | 621 |
| 0:15 | 0.75 | 650 |
| 0:20 | 0.83 | 664 |
| 0:25 | 0.92 | 672 |
| 0:30 | 1.00 | 681 |
| 0:35 | 1.08 | 698 |
| 0:40 | 1.17 | 700 |
| 0:45 | 1.25 | 731 |
| 0:50 | 1.33 | 759 |
| 0:55 | 1.42 | 758 |
| 1:00 | 1.50 | 751 |
| 1:05 | 1.58 | 750 |
| 1:10 | 1.67 | 784 |
| 1:15 | 1.75 | 797 |
| 1:20 | 1.83 | 814 |
| 1:25 | 1.92 | 797 |
| 1:30 | 2.00 | 787 |
| 1:35 | 2.08 | 786 |
| 1:40 | 2.17 | 765 |
| 1:45 | 2.25 | 796 |
| 1:50 | 2.33 | 829 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 814 |
| 2:00 | 2.50 | 809 |
| 2:05 | 2.58 | 818 |
| 2:10 | 2.67 | 801 |
| 2:15 | 2.75 | 838 |
| 2:20 | 2.83 | 866 |
| 2:25 | 2.92 | 861 |
| 2:30 | 3.00 | 851 |
| 2:35 | 3.08 | 839 |
| 2:40 | 3.17 | 835 |
| 2:45 | 3.25 | 866 |
| 2:50 | 3.33 | 883 |
| 2:55 | 3.42 | 858 |
| 3:00 | 3.50 | 850 |
| 3:05 | 3.58 | 864 |
| 3:10 | 3.67 | 907 |
| 3:15 | 3.75 | 902 |
| 3:20 | 3.83 | 903 |
| 3:25 | 3.92 | 917 |
| 3:30 | 4.00 | 900 |
| 3:35 | 4.08 | 922 |
| 3:40 | 4.17 | 966 |
| 3:45 | 4.25 | 948 |
| 3:50 | 4.33 | 935 |
| 3:55 | 4.42 | 959 |
| 4:00 | 4.50 | 946 |
| 4:05 | 4.58 | 991 |
| 4:10 | 4.67 | 1,010 |
| 4:15 | 4.75 | 992 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 991 |
| 4:25 | 4.92 | 997 |
| 4:30 | 5.00 | 1,002 |
| 4:35 | 5.08 | 1,014 |
| 4:40 | 5.17 | 1,019 |
| 4:45 | 5.25 | 1,049 |
| 4:50 | 5.33 | 1,020 |
| 4:55 | 5.42 | 1,014 |
| 5:00 | 5.50 | 1,013 |
| 5:05 | 5.58 | 1,025 |
| 5:10 | 5.67 | 1,050 |
| 5:15 | 5.75 | 1,036 |
| 5:20 | 5.83 | 1,035 |
| 5:25 | 5.92 | 1,043 |
| 5:30 | 6.00 | 1,051 |
| 5:35 | 6.08 | 1,050 |
| 5:40 | 6.17 | 1,038 |
| 5:45 | 6.25 | 1,029 |
| 5:50 | 6.33 | 1,027 |
| 5:55 | 6.42 | 1,001 |
| 6:00 | 6.50 | 1,011 |
| 6:05 | 6.58 | 1,018 |
| 6:10 | 6.67 | 1,038 |
| 6:15 | 6.75 | 1,028 |
| 6:20 | 6.83 | 1,016 |
| 6:25 | 6.92 | 1,006 |
| 6:30 | 7.00 | 1,028 |
| 6:35 | 7.08 | 1,043 |
| 6:40 | 7.17 | 1,026 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1,018 |
| 6:50 | 7.33 | 1,001 |
| 6:55 | 7.42 | 1,020 |
| 7:00 | 7.50 | 1,034 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 437 |
| 23:35 | 0.08 | 452 |
| 23:40 | 0.17 | 470 |
| 23:45 | 0.25 | 529 |
| 23:50 | 0.33 | 550 |
| 23:55 | 0.42 | 578 |
| 0:00 | 0.50 | 616 |
| 0:05 | 0.58 | 632 |
| 0:10 | 0.67 | 643 |
| 0:15 | 0.75 | 660 |
| 0:20 | 0.83 | 683 |
| 0:25 | 0.92 | 718 |
| 0:30 | 1.00 | 728 |
| 0:35 | 1.08 | 726 |
| 0:40 | 1.17 | 741 |
| 0:45 | 1.25 | 750 |
| 0:50 | 1.33 | 772 |
| 0:55 | 1.42 | 785 |
| 1:00 | 1.50 | 800 |
| 1:05 | 1.58 | 791 |
| 1:10 | 1.67 | 771 |
| 1:15 | 1.75 | 790 |
| 1:20 | 1.83 | 784 |
| 1:25 | 1.92 | 803 |
| 1:30 | 2.00 | 825 |
| 1:35 | 2.08 | 828 |
| 1:40 | 2.17 | 821 |
| 1:45 | 2.25 | 822 |
| 1:50 | 2.33 | 812 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 843 |
| 2:00 | 2.50 | 857 |
| 2:05 | 2.58 | 838 |
| 2:10 | 2.67 | 843 |
| 2:15 | 2.75 | 861 |
| 2:20 | 2.83 | 842 |
| 2:25 | 2.92 | 879 |
| 2:30 | 3.00 | 895 |
| 2:35 | 3.08 | 849 |
| 2:40 | 3.17 | 853 |
| 2:45 | 3.25 | 876 |
| 2:50 | 3.33 | 887 |
| 2:55 | 3.42 | 912 |
| 3:00 | 3.50 | 907 |
| 3:05 | 3.58 | 877 |
| 3:10 | 3.67 | 872 |
| 3:15 | 3.75 | 869 |
| 3:20 | 3.83 | 869 |
| 3:25 | 3.92 | 882 |
| 3:30 | 4.00 | 897 |
| 3:35 | 4.08 | 878 |
| 3:40 | 4.17 | 871 |
| 3:45 | 4.25 | 883 |
| 3:50 | 4.33 | 913 |
| 3:55 | 4.42 | 928 |
| 4:00 | 4.50 | 941 |
| 4:05 | 4.58 | 936 |
| 4:10 | 4.67 | 919 |
| 4:15 | 4.75 | 909 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 936 |
| 4:25 | 4.92 | 926 |
| 4:30 | 5.00 | 956 |
| 4:35 | 5.08 | 948 |
| 4:40 | 5.17 | 950 |
| 4:45 | 5.25 | 935 |
| 4:50 | 5.33 | 960 |
| 4:55 | 5.42 | 967 |
| 5:00 | 5.50 | 975 |
| 5:05 | 5.58 | 935 |
| 5:10 | 5.67 | 942 |
| 5:15 | 5.75 | 945 |
| 5:20 | 5.83 | 952 |
| 5:25 | 5.92 | 967 |
| 5:30 | 6.00 | 941 |
| 5:35 | 6.08 | 899 |
| 5:40 | 6.17 | 929 |
| 5:45 | 6.25 | 929 |
| 5:50 | 6.33 | 957 |
| 5:55 | 6.42 | 965 |
| 6:00 | 6.50 | 936 |
| 6:05 | 6.58 | 935 |
| 6:10 | 6.67 | 939 |
| 6:15 | 6.75 | 950 |
| 6:20 | 6.83 | 959 |
| 6:25 | 6.92 | 963 |
| 6:30 | 7.00 | 971 |
| 6:35 | 7.08 | 970 |
| 6:40 | 7.17 | 983 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 972 |
| 6:50 | 7.33 | 991 |
| 6:55 | 7.42 | 976 |
| 7:00 | 7.50 | 995 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 460 |
| 23:35 | 0.08 | 463 |
| 23:40 | 0.17 | 473 |
| 23:45 | 0.25 | 525 |
| 23:50 | 0.33 | 562 |
| 23:55 | 0.42 | 585 |
| 0:00 | 0.50 | 620 |
| 0:05 | 0.58 | 632 |
| 0:10 | 0.67 | 661 |
| 0:15 | 0.75 | 666 |
| 0:20 | 0.83 | 674 |
| 0:25 | 0.92 | 682 |
| 0:30 | 1.00 | 715 |
| 0:35 | 1.08 | 738 |
| 0:40 | 1.17 | 756 |
| 0:45 | 1.25 | 765 |
| 0:50 | 1.33 | 747 |
| 0:55 | 1.42 | 764 |
| 1:00 | 1.50 | 789 |
| 1:05 | 1.58 | 812 |
| 1:10 | 1.67 | 803 |
| 1:15 | 1.75 | 800 |
| 1:20 | 1.83 | 791 |
| 1:25 | 1.92 | 791 |
| 1:30 | 2.00 | 819 |
| 1:35 | 2.08 | 808 |
| 1:40 | 2.17 | 803 |
| 1:45 | 2.25 | 802 |
| 1:50 | 2.33 | 802 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 798 |
| 2:00 | 2.50 | 836 |
| 2:05 | 2.58 | 841 |
| 2:10 | 2.67 | 842 |
| 2:15 | 2.75 | 841 |
| 2:20 | 2.83 | 835 |
| 2:25 | 2.92 | 838 |
| 2:30 | 3.00 | 886 |
| 2:35 | 3.08 | 893 |
| 2:40 | 3.17 | 882 |
| 2:45 | 3.25 | 860 |
| 2:50 | 3.33 | 859 |
| 2:55 | 3.42 | 854 |
| 3:00 | 3.50 | 891 |
| 3:05 | 3.58 | 905 |
| 3:10 | 3.67 | 894 |
| 3:15 | 3.75 | 898 |
| 3:20 | 3.83 | 881 |
| 3:25 | 3.92 | 902 |
| 3:30 | 4.00 | 880 |
| 3:35 | 4.08 | 927 |
| 3:40 | 4.17 | 905 |
| 3:45 | 4.25 | 902 |
| 3:50 | 4.33 | 895 |
| 3:55 | 4.42 | 875 |
| 4:00 | 4.50 | 870 |
| 4:05 | 4.58 | 899 |
| 4:10 | 4.67 | 958 |
| 4:15 | 4.75 | 921 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 881 |
| 4:25 | 4.92 | 899 |
| 4:30 | 5.00 | 906 |
| 4:35 | 5.08 | 929 |
| 4:40 | 5.17 | 910 |
| 4:45 | 5.25 | 881 |
| 4:50 | 5.33 | 902 |
| 4:55 | 5.42 | 907 |
| 5:00 | 5.50 | 935 |
| 5:05 | 5.58 | 950 |
| 5:10 | 5.67 | 934 |
| 5:15 | 5.75 | 930 |
| 5:20 | 5.83 | 929 |
| 5:25 | 5.92 | 931 |
| 5:30 | 6.00 | 961 |
| 5:35 | 6.08 | 972 |
| 5:40 | 6.17 | 949 |
| 5:45 | 6.25 | 960 |
| 5:50 | 6.33 | 964 |
| 5:55 | 6.42 | 965 |
| 6:00 | 6.50 | 965 |
| 6:05 | 6.58 | 955 |
| 6:10 | 6.67 | 934 |
| 6:15 | 6.75 | 960 |
| 6:20 | 6.83 | 958 |
| 6:25 | 6.92 | 975 |
| 6:30 | 7.00 | 970 |
| 6:35 | 7.08 | 981 |
| 6:40 | 7.17 | 975 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 965 |
| 6:50 | 7.33 | 967 |
| 6:55 | 7.42 | 996 |
| 7:00 | 7.50 | 985 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 450 |
| 23:35 | 0.08 | 511 |
| 23:40 | 0.17 | 546 |
| 23:45 | 0.25 | 580 |
| 23:50 | 0.33 | 596 |
| 23:55 | 0.42 | 623 |
| 0:00 | 0.50 | 611 |
| 0:05 | 0.58 | 663 |
| 0:10 | 0.67 | 662 |
| 0:15 | 0.75 | 686 |
| 0:20 | 0.83 | 703 |
| 0:25 | 0.92 | 727 |
| 0:30 | 1.00 | 740 |
| 0:35 | 1.08 | 745 |
| 0:40 | 1.17 | 759 |
| 0:45 | 1.25 | 750 |
| 0:50 | 1.33 | 748 |
| 0:55 | 1.42 | 758 |
| 1:00 | 1.50 | 792 |
| 1:05 | 1.58 | 790 |
| 1:10 | 1.67 | 812 |
| 1:15 | 1.75 | 804 |
| 1:20 | 1.83 | 787 |
| 1:25 | 1.92 | 785 |
| 1:30 | 2.00 | 801 |
| 1:35 | 2.08 | 792 |
| 1:40 | 2.17 | 813 |
| 1:45 | 2.25 | 804 |
| 1:50 | 2.33 | 827 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 841 |
| 2:00 | 2.50 | 846 |
| 2:05 | 2.58 | 860 |
| 2:10 | 2.67 | 873 |
| 2:15 | 2.75 | 845 |
| 2:20 | 2.83 | 860 |
| 2:25 | 2.92 | 849 |
| 2:30 | 3.00 | 868 |
| 2:35 | 3.08 | 861 |
| 2:40 | 3.17 | 883 |
| 2:45 | 3.25 | 866 |
| 2:50 | 3.33 | 831 |
| 2:55 | 3.42 | 864 |
| 3:00 | 3.50 | 865 |
| 3:05 | 3.58 | 904 |
| 3:10 | 3.67 | 883 |
| 3:15 | 3.75 | 877 |
| 3:20 | 3.83 | 906 |
| 3:25 | 3.92 | 931 |
| 3:30 | 4.00 | 930 |
| 3:35 | 4.08 | 925 |
| 3:40 | 4.17 | 920 |
| 3:45 | 4.25 | 923 |
| 3:50 | 4.33 | 944 |
| 3:55 | 4.42 | 955 |
| 4:00 | 4.50 | 940 |
| 4:05 | 4.58 | 932 |
| 4:10 | 4.67 | 943 |
| 4:15 | 4.75 | 950 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 965 |
| 4:25 | 4.92 | 978 |
| 4:30 | 5.00 | 925 |
| 4:35 | 5.08 | 913 |
| 4:40 | 5.17 | 940 |
| 4:45 | 5.25 | 970 |
| 4:50 | 5.33 | 967 |
| 4:55 | 5.42 | 965 |
| 5:00 | 5.50 | 935 |
| 5:05 | 5.58 | 969 |
| 5:10 | 5.67 | 952 |
| 5:15 | 5.75 | 965 |
| 5:20 | 5.83 | 965 |
| 5:25 | 5.92 | 954 |
| 5:30 | 6.00 | 959 |
| 5:35 | 6.08 | 949 |
| 5:40 | 6.17 | 977 |
| 5:45 | 6.25 | 974 |
| 5:50 | 6.33 | 960 |
| 5:55 | 6.42 | 966 |
| 6:00 | 6.50 | 947 |
| 6:05 | 6.58 | 969 |
| 6:10 | 6.67 | 981 |
| 6:15 | 6.75 | 970 |
| 6:20 | 6.83 | 973 |
| 6:25 | 6.92 | 972 |
| 6:30 | 7.00 | 975 |
| 6:35 | 7.08 | 976 |
| 6:40 | 7.17 | 977 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 979 |
| 6:50 | 7.33 | 981 |
| 6:55 | 7.42 | 980 |
| 7:00 | 7.50 | 985 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 431 |
| 23:35 | 0.08 | 443 |
| 23:40 | 0.17 | 433 |
| 23:45 | 0.25 | 435 |
| 23:50 | 0.33 | 451 |
| 23:55 | 0.42 | 447 |
| 0:00 | 0.50 | 524 |
| 0:05 | 0.58 | 570 |
| 0:10 | 0.67 | 590 |
| 0:15 | 0.75 | 638 |
| 0:20 | 0.83 | 651 |
| 0:25 | 0.92 | 666 |
| 0:30 | 1.00 | 701 |
| 0:35 | 1.08 | 706 |
| 0:40 | 1.17 | 715 |
| 0:45 | 1.25 | 725 |
| 0:50 | 1.33 | 742 |
| 0:55 | 1.42 | 751 |
| 1:00 | 1.50 | 777 |
| 1:05 | 1.58 | 785 |
| 1:10 | 1.67 | 784 |
| 1:15 | 1.75 | 790 |
| 1:20 | 1.83 | 820 |
| 1:25 | 1.92 | 800 |
| 1:30 | 2.00 | 827 |
| 1:35 | 2.08 | 836 |
| 1:40 | 2.17 | 848 |
| 1:45 | 2.25 | 840 |
| 1:50 | 2.33 | 842 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 855 |
| 2:00 | 2.50 | 848 |
| 2:05 | 2.58 | 870 |
| 2:10 | 2.67 | 877 |
| 2:15 | 2.75 | 884 |
| 2:20 | 2.83 | 863 |
| 2:25 | 2.92 | 883 |
| 2:30 | 3.00 | 862 |
| 2:35 | 3.08 | 883 |
| 2:40 | 3.17 | 884 |
| 2:45 | 3.25 | 899 |
| 2:50 | 3.33 | 881 |
| 2:55 | 3.42 | 880 |
| 3:00 | 3.50 | 900 |
| 3:05 | 3.58 | 909 |
| 3:10 | 3.67 | 925 |
| 3:15 | 3.75 | 897 |
| 3:20 | 3.83 | 900 |
| 3:25 | 3.92 | 902 |
| 3:30 | 4.00 | 924 |
| 3:35 | 4.08 | 931 |
| 3:40 | 4.17 | 908 |
| 3:45 | 4.25 | 927 |
| 3:50 | 4.33 | 915 |
| 3:55 | 4.42 | 939 |
| 4:00 | 4.50 | 957 |
| 4:05 | 4.58 | 960 |
| 4:10 | 4.67 | 966 |
| 4:15 | 4.75 | 951 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 982 |
| 4:25 | 4.92 | 976 |
| 4:30 | 5.00 | 1000 |
| 4:35 | 5.08 | 997 |
| 4:40 | 5.17 | 970 |
| 4:45 | 5.25 | 996 |
| 4:50 | 5.33 | 990 |
| 4:55 | 5.42 | 1007 |
| 5:00 | 5.50 | 983 |
| 5:05 | 5.58 | 980 |
| 5:10 | 5.67 | 985 |
| 5:15 | 5.75 | 971 |
| 5:20 | 5.83 | 979 |
| 5:25 | 5.92 | 982 |
| 5:30 | 6.00 | 972 |
| 5:35 | 6.08 | 962 |
| 5:40 | 6.17 | 962 |
| 5:45 | 6.25 | 987 |
| 5:50 | 6.33 | 997 |
| 5:55 | 6.42 | 1000 |
| 6:00 | 6.50 | 1001 |
| 6:05 | 6.58 | 981 |
| 6:10 | 6.67 | 993 |
| 6:15 | 6.75 | 1005 |
| 6:20 | 6.83 | 1000 |
| 6:25 | 6.92 | 997 |
| 6:30 | 7.00 | 971 |
| 6:35 | 7.08 | 993 |
| 6:40 | 7.17 | 995 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 1015 |
| 6:50 | 7.33 | 1014 |
| 6:55 | 7.42 | 1019 |
| 7:00 | 7.50 | 1012 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 463 |
| 23:35 | 0.08 | 475 |
| 23:40 | 0.17 | 473 |
| 23:45 | 0.25 | 466 |
| 23:50 | 0.33 | 485 |
| 23:55 | 0.42 | 551 |
| 0:00 | 0.50 | 582 |
| 0:05 | 0.58 | 583 |
| 0:10 | 0.67 | 628 |
| 0:15 | 0.75 | 624 |
| 0:20 | 0.83 | 627 |
| 0:25 | 0.92 | 654 |
| 0:30 | 1.00 | 674 |
| 0:35 | 1.08 | 688 |
| 0:40 | 1.17 | 714 |
| 0:45 | 1.25 | 715 |
| 0:50 | 1.33 | 719 |
| 0:55 | 1.42 | 735 |
| 1:00 | 1.50 | 742 |
| 1:05 | 1.58 | 746 |
| 1:10 | 1.67 | 734 |
| 1:15 | 1.75 | 726 |
| 1:20 | 1.83 | 777 |
| 1:25 | 1.92 | 770 |
| 1:30 | 2.00 | 759 |
| 1:35 | 2.08 | 773 |
| 1:40 | 2.17 | 793 |
| 1:45 | 2.25 | 788 |
| 1:50 | 2.33 | 789 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 796 |
| 2:00 | 2.50 | 814 |
| 2:05 | 2.58 | 819 |
| 2:10 | 2.67 | 798 |
| 2:15 | 2.75 | 810 |
| 2:20 | 2.83 | 832 |
| 2:25 | 2.92 | 828 |
| 2:30 | 3.00 | 828 |
| 2:35 | 3.08 | 827 |
| 2:40 | 3.17 | 814 |
| 2:45 | 3.25 | 797 |
| 2:50 | 3.33 | 808 |
| 2:55 | 3.42 | 831 |
| 3:00 | 3.50 | 848 |
| 3:05 | 3.58 | 832 |
| 3:10 | 3.67 | 798 |
| 3:15 | 3.75 | 815 |
| 3:20 | 3.83 | 810 |
| 3:25 | 3.92 | 821 |
| 3:30 | 4.00 | 816 |
| 3:35 | 4.08 | 805 |
| 3:40 | 4.17 | 802 |
| 3:45 | 4.25 | 808 |
| 3:50 | 4.33 | 796 |
| 3:55 | 4.42 | 815 |
| 4:00 | 4.50 | 818 |
| 4:05 | 4.58 | 797 |
| 4:10 | 4.67 | 786 |
| 4:15 | 4.75 | 803 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 801 |
| 4:25 | 4.92 | 824 |
| 4:30 | 5.00 | 822 |
| 4:35 | 5.08 | 811 |
| 4:40 | 5.17 | 800 |
| 4:45 | 5.25 | 793 |
| 4:50 | 5.33 | 815 |
| 4:55 | 5.42 | 839 |
| 5:00 | 5.50 | 854 |
| 5:05 | 5.58 | 849 |
| 5:10 | 5.67 | 841 |
| 5:15 | 5.75 | 831 |
| 5:20 | 5.83 | 845 |
| 5:25 | 5.92 | 855 |
| 5:30 | 6.00 | 868 |
| 5:35 | 6.08 | 876 |
| 5:40 | 6.17 | 858 |
| 5:45 | 6.25 | 836 |
| 5:50 | 6.33 | 831 |
| 5:55 | 6.42 | 865 |
| 6:00 | 6.50 | 876 |
| 6:05 | 6.58 | 871 |
| 6:10 | 6.67 | 878 |
| 6:15 | 6.75 | 865 |
| 6:20 | 6.83 | 911 |
| 6:25 | 6.92 | 929 |
| 6:30 | 7.00 | 950 |
| 6:35 | 7.08 | 950 |
| 6:40 | 7.17 | 963 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 978 |
| 6:50 | 7.33 | 980 |
| 6:55 | 7.42 | 1,002 |
| 7:00 | 7.50 | 1,016 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 23:30 | 0.00 | 416 |
| 23:35 | 0.08 | 468 |
| 23:40 | 0.17 | 506 |
| 23:45 | 0.25 | 537 |
| 23:50 | 0.33 | 550 |
| 23:55 | 0.42 | 595 |
| 0:00 | 0.50 | 623 |
| 0:05 | 0.58 | 629 |
| 0:10 | 0.67 | 637 |
| 0:15 | 0.75 | 643 |
| 0:20 | 0.83 | 663 |
| 0:25 | 0.92 | 675 |
| 0:30 | 1.00 | 668 |
| 0:35 | 1.08 | 664 |
| 0:40 | 1.17 | 680 |
| 0:45 | 1.25 | 699 |
| 0:50 | 1.33 | 717 |
| 0:55 | 1.42 | 710 |
| 1:00 | 1.50 | 727 |
| 1:05 | 1.58 | 725 |
| 1:10 | 1.67 | 754 |
| 1:15 | 1.75 | 760 |
| 1:20 | 1.83 | 762 |
| 1:25 | 1.92 | 760 |
| 1:30 | 2.00 | 769 |
| 1:35 | 2.08 | 758 |
| 1:40 | 2.17 | 767 |
| 1:45 | 2.25 | 805 |
| 1:50 | 2.33 | 811 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 1:55 | 2.42 | 820 |
| 2:00 | 2.50 | 799 |
| 2:05 | 2.58 | 814 |
| 2:10 | 2.67 | 793 |
| 2:15 | 2.75 | 821 |
| 2:20 | 2.83 | 837 |
| 2:25 | 2.92 | 828 |
| 2:30 | 3.00 | 846 |
| 2:35 | 3.08 | 830 |
| 2:40 | 3.17 | 828 |
| 2:45 | 3.25 | 827 |
| 2:50 | 3.33 | 827 |
| 2:55 | 3.42 | 843 |
| 3:00 | 3.50 | 849 |
| 3:05 | 3.58 | 838 |
| 3:10 | 3.67 | 841 |
| 3:15 | 3.75 | 826 |
| 3:20 | 3.83 | 842 |
| 3:25 | 3.92 | 845 |
| 3:30 | 4.00 | 840 |
| 3:35 | 4.08 | 852 |
| 3:40 | 4.17 | 866 |
| 3:45 | 4.25 | 853 |
| 3:50 | 4.33 | 838 |
| 3:55 | 4.42 | 803 |
| 4:00 | 4.50 | 816 |
| 4:05 | 4.58 | 823 |
| 4:10 | 4.67 | 858 |
| 4:15 | 4.75 | 848 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 4:20 | 4.83 | 828 |
| 4:25 | 4.92 | 797 |
| 4:30 | 5.00 | 816 |
| 4:35 | 5.08 | 837 |
| 4:40 | 5.17 | 843 |
| 4:45 | 5.25 | 808 |
| 4:50 | 5.33 | 812 |
| 4:55 | 5.42 | 816 |
| 5:00 | 5.50 | 826 |
| 5:05 | 5.58 | 832 |
| 5:10 | 5.67 | 840 |
| 5:15 | 5.75 | 822 |
| 5:20 | 5.83 | 826 |
| 5:25 | 5.92 | 818 |
| 5:30 | 6.00 | 836 |
| 5:35 | 6.08 | 837 |
| 5:40 | 6.17 | 829 |
| 5:45 | 6.25 | 794 |
| 5:50 | 6.33 | 840 |
| 5:55 | 6.42 | 811 |
| 6:00 | 6.50 | 833 |
| 6:05 | 6.58 | 830 |
| 6:10 | 6.67 | 855 |
| 6:15 | 6.75 | 849 |
| 6:20 | 6.83 | 910 |
| 6:25 | 6.92 | 921 |
| 6:30 | 7.00 | 918 |
| 6:35 | 7.08 | 898 |
| 6:40 | 7.17 | 873 |

| ปริมาณก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | | |
|---|---|---|
| Time | Time (hr.) | Co2 |
| 6:45 | 7.25 | 813 |
| 6:50 | 7.33 | 820 |
| 6:55 | 7.42 | 835 |
| 7:00 | 7.50 | 850 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก ข อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องนอนอาคารชุดพักอาศัย

อัตราการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภายในห้องนอน A และห้องนอน B เมื่อเปิดช่องระบายขนาดต่าง ๆ กัน

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ห้องปิด) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,612 |
| 0.08 | 1,600 |
| 0.17 | 1,625 |
| 0.25 | 1,631 |
| 0.33 | 1,672 |
| 0.42 | 1,637 |
| 0.50 | 1,560 |
| 0.58 | 1,527 |
| 0.67 | 1,496 |
| 0.75 | 1,433 |
| 0.83 | 1,416 |
| 0.92 | 1,398 |
| 1.00 | 1,363 |
| 1.08 | 1,327 |
| 1.17 | 1,305 |
| 1.25 | 1,287 |
| 1.33 | 1,271 |
| 1.42 | 1,232 |
| 1.50 | 1,213 |
| 1.58 | 1,219 |
| 1.67 | 1,181 |
| 1.75 | 1,197 |
| 1.83 | 1,141 |
| 1.92 | 1,124 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ห้องปิด) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.00 | 1,115 |
| 2.08 | 1,091 |
| 2.17 | 1,065 |
| 2.25 | 1,078 |
| 2.33 | 1,008 |
| 2.42 | 1,014 |
| 2.50 | 934 |
| 2.58 | 944 |
| 2.67 | 947 |
| 2.75 | 919 |
| 2.83 | 892 |
| 2.92 | 850 |
| 3.00 | 859 |
| 3.08 | 838 |
| 3.17 | 818 |
| 3.25 | 819 |
| 3.33 | 833 |
| 3.42 | 778 |
| 3.50 | 768 |
| 3.58 | 746 |
| 3.67 | 716 |
| 3.75 | 704 |
| 3.83 | 704 |
| 3.92 | 681 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ห้องปิด) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 4.00 | 656 |
| 4.08 | 674 |
| 4.17 | 647 |
| 4.25 | 668 |
| 4.33 | 657 |
| 4.42 | 646 |
| 4.50 | 651 |
| 4.58 | 618 |
| 4.67 | 625 |
| 4.75 | 627 |
| 4.83 | 611 |
| 4.92 | 624 |
| 5.00 | 599 |
| 5.08 | 593 |
| 5.17 | 599 |
| 5.25 | 553 |
| 5.33 | 572 |
| 5.42 | 567 |
| 5.50 | 567 |
| 5.58 | 557 |
| 5.67 | 534 |
| 5.75 | 534 |
| 5.83 | 531 |
| 5.92 | 529 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (ห้องปิด) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 6.00 | 538 |
| 6.08 | 503 |
| 6.17 | 519 |
| 6.25 | 525 |
| 6.33 | 507 |
| 6.42 | 521 |
| 6.50 | 488 |
| 6.58 | 469 |
| 6.67 | 497 |
| 6.75 | 488 |
| 6.83 | 472 |
| 6.92 | 473 |
| 7.00 | 477 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,882 |
| 0.08 | 1,870 |
| 0.17 | 1,819 |
| 0.25 | 1,797 |
| 0.33 | 1,756 |
| 0.42 | 1,728 |
| 0.50 | 1,699 |
| 0.58 | 1,648 |
| 0.67 | 1,602 |
| 0.75 | 1,577 |
| 0.83 | 1,561 |
| 0.92 | 1,562 |
| 1.00 | 1,536 |
| 1.08 | 1,522 |
| 1.17 | 1,520 |
| 1.25 | 1,499 |
| 1.33 | 1,472 |
| 1.42 | 1,460 |
| 1.50 | 1,414 |
| 1.58 | 1,445 |
| 1.67 | 1,416 |
| 1.75 | 1,351 |
| 1.83 | 1,333 |
| 1.92 | 1,342 |
| 2.00 | 1,301 |
| 2.08 | 1,303 |
| 2.17 | 1,280 |
| 2.25 | 1,257 |
| 2.33 | 1,241 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.42 | 1,197 |
| 2.50 | 1,184 |
| 2.58 | 1,165 |
| 2.67 | 1,154 |
| 2.75 | 1,120 |
| 2.83 | 1,113 |
| 2.92 | 1,108 |
| 3.00 | 1,072 |
| 3.08 | 1,083 |
| 3.17 | 1,058 |
| 3.25 | 1,043 |
| 3.33 | 1,013 |
| 3.42 | 1,036 |
| 3.50 | 996 |
| 3.58 | 979 |
| 3.67 | 955 |
| 3.75 | 942 |
| 3.83 | 937 |
| 3.92 | 937 |
| 4.00 | 906 |
| 4.08 | 905 |
| 4.17 | 896 |
| 4.25 | 883 |
| 4.33 | 865 |
| 4.42 | 865 |
| 4.50 | 865 |
| 4.58 | 834 |
| 4.67 | 834 |
| 4.75 | 820 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 4.83 | 800 |
| 4.92 | 793 |
| 5.00 | 785 |
| 5.08 | 777 |
| 5.17 | 780 |
| 5.25 | 783 |
| 5.33 | 743 |
| 5.42 | 766 |
| 5.50 | 735 |
| 5.58 | 750 |
| 5.67 | 716 |
| 5.75 | 722 |
| 5.83 | 704 |
| 5.92 | 697 |
| 6.00 | 697 |
| 6.08 | 689 |
| 6.17 | 668 |
| 6.25 | 677 |
| 6.33 | 677 |
| 6.42 | 673 |
| 6.50 | 665 |
| 6.58 | 644 |
| 6.67 | 667 |
| 6.75 | 631 |
| 6.83 | 638 |
| 6.92 | 628 |
| 7.00 | 638 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,551 |
| 0.08 | 1,519 |
| 0.17 | 1,506 |
| 0.25 | 1,450 |
| 0.33 | 1,384 |
| 0.42 | 1,336 |
| 0.50 | 1,336 |
| 0.58 | 1,286 |
| 0.67 | 1,300 |
| 0.75 | 1,230 |
| 0.83 | 1,242 |
| 0.92 | 1,221 |
| 1.00 | 1,210 |
| 1.08 | 1,201 |
| 1.17 | 1,156 |
| 1.25 | 1,150 |
| 1.33 | 1,095 |
| 1.42 | 1,091 |
| 1.50 | 1,072 |
| 1.58 | 1,069 |
| 1.67 | 1,050 |
| 1.75 | 1,051 |
| 1.83 | 1,003 |
| 1.92 | 950 |
| 2.00 | 933 |
| 2.08 | 889 |
| 2.17 | 885 |
| 2.25 | 869 |
| 2.33 | 843 |
| 2.42 | 818 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 794 |
| 2.58 | 804 |
| 2.67 | 767 |
| 2.75 | 729 |
| 2.83 | 728 |
| 2.92 | 726 |
| 3.00 | 723 |
| 3.08 | 701 |
| 3.17 | 710 |
| 3.25 | 708 |
| 3.33 | 677 |
| 3.42 | 668 |
| 3.50 | 677 |
| 3.58 | 641 |
| 3.67 | 648 |
| 3.75 | 634 |
| 3.83 | 636 |
| 3.92 | 627 |
| 4.00 | 609 |
| 4.08 | 602 |
| 4.17 | 585 |
| 4.25 | 584 |
| 4.33 | 573 |
| 4.42 | 582 |
| 4.50 | 571 |
| 4.58 | 571 |
| 4.67 | 564 |
| 4.75 | 574 |
| 4.83 | 546 |
| 4.92 | 534 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 529 |
| 5.08 | 517 |
| 5.17 | 525 |
| 5.25 | 512 |
| 5.33 | 501 |
| 5.42 | 497 |
| 5.50 | 488 |
| 5.58 | 497 |
| 5.67 | 495 |
| 5.75 | 492 |
| 5.83 | 485 |
| 5.92 | 455 |
| 6.00 | 475 |
| 6.08 | 464 |
| 6.17 | 464 |
| 6.25 | 468 |
| 6.33 | 456 |
| 6.42 | 447 |
| 6.50 | 435 |
| 6.58 | 425 |
| 6.67 | 438 |
| 6.75 | 429 |
| 6.83 | 439 |
| 6.92 | 423 |
| 7.00 | 423 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,587 |
| 0.08 | 1,571 |
| 0.17 | 1,542 |
| 0.25 | 1,476 |
| 0.33 | 1,398 |
| 0.42 | 1,348 |
| 0.50 | 1,318 |
| 0.58 | 1,292 |
| 0.67 | 1,293 |
| 0.75 | 1,268 |
| 0.83 | 1,188 |
| 0.92 | 1,158 |
| 1.00 | 1,108 |
| 1.08 | 1,082 |
| 1.17 | 1,037 |
| 1.25 | 1,039 |
| 1.33 | 981 |
| 1.42 | 917 |
| 1.50 | 896 |
| 1.58 | 881 |
| 1.67 | 873 |
| 1.75 | 853 |
| 1.83 | 849 |
| 1.92 | 798 |
| 2.00 | 788 |
| 2.08 | 764 |
| 2.17 | 737 |
| 2.25 | 722 |
| 2.33 | 712 |
| 2.42 | 680 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 679 |
| 2.58 | 658 |
| 2.67 | 652 |
| 2.75 | 647 |
| 2.83 | 623 |
| 2.92 | 627 |
| 3.00 | 616 |
| 3.08 | 579 |
| 3.17 | 567 |
| 3.25 | 556 |
| 3.33 | 535 |
| 3.42 | 523 |
| 3.50 | 531 |
| 3.58 | 508 |
| 3.67 | 498 |
| 3.75 | 493 |
| 3.83 | 466 |
| 3.92 | 481 |
| 4.00 | 472 |
| 4.08 | 479 |
| 4.17 | 464 |
| 4.25 | 450 |
| 4.33 | 459 |
| 4.42 | 428 |
| 4.50 | 432 |
| 4.58 | 438 |
| 4.67 | 449 |
| 4.75 | 447 |
| 4.83 | 437 |
| 4.92 | 428 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 439 |
| 5.08 | 420 |
| 5.17 | 430 |
| 5.25 | 417 |
| 5.33 | 401 |
| 5.42 | 410 |
| 5.50 | 406 |
| 5.58 | 390 |
| 5.67 | 395 |
| 5.75 | 385 |
| 5.83 | 393 |
| 5.92 | 378 |
| 6.00 | 388 |
| 6.08 | 396 |
| 6.17 | 381 |
| 6.25 | 381 |
| 6.33 | 383 |
| 6.42 | 378 |
| 6.50 | 375 |
| 6.58 | 377 |
| 6.67 | 370 |
| 6.75 | 367 |
| 6.83 | 371 |
| 6.92 | 356 |
| 7.00 | 366 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,388 |
| 0.08 | 1,325 |
| 0.17 | 1,279 |
| 0.25 | 1,267 |
| 0.33 | 1,205 |
| 0.42 | 1,182 |
| 0.50 | 1,143 |
| 0.58 | 1,101 |
| 0.67 | 1,106 |
| 0.75 | 1,047 |
| 0.83 | 1,052 |
| 0.92 | 976 |
| 1.00 | 947 |
| 1.08 | 937 |
| 1.17 | 913 |
| 1.25 | 897 |
| 1.33 | 852 |
| 1.42 | 844 |
| 1.50 | 800 |
| 1.58 | 777 |
| 1.67 | 768 |
| 1.75 | 750 |
| 1.83 | 751 |
| 1.92 | 717 |
| 2.00 | 694 |
| 2.08 | 671 |
| 2.17 | 658 |
| 2.25 | 661 |
| 2.33 | 628 |
| 2.42 | 623 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 603 |
| 2.58 | 585 |
| 2.67 | 591 |
| 2.75 | 575 |
| 2.83 | 574 |
| 2.92 | 561 |
| 3.00 | 549 |
| 3.08 | 539 |
| 3.17 | 563 |
| 3.25 | 520 |
| 3.33 | 531 |
| 3.42 | 509 |
| 3.50 | 522 |
| 3.58 | 508 |
| 3.67 | 509 |
| 3.75 | 490 |
| 3.83 | 491 |
| 3.92 | 474 |
| 4.00 | 466 |
| 4.08 | 458 |
| 4.17 | 453 |
| 4.25 | 443 |
| 4.33 | 453 |
| 4.42 | 448 |
| 4.50 | 442 |
| 4.58 | 436 |
| 4.67 | 417 |
| 4.75 | 405 |
| 4.83 | 431 |
| 4.92 | 412 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 401 |
| 5.08 | 416 |
| 5.17 | 415 |
| 5.25 | 410 |
| 5.33 | 399 |
| 5.42 | 402 |
| 5.50 | 405 |
| 5.58 | 417 |
| 5.67 | 387 |
| 5.75 | 395 |
| 5.83 | 405 |
| 5.92 | 386 |
| 6.00 | 390 |
| 6.08 | 381 |
| 6.17 | 387 |
| 6.25 | 385 |
| 6.33 | 377 |
| 6.42 | 377 |
| 6.50 | 369 |
| 6.58 | 375 |
| 6.67 | 370 |
| 6.75 | 370 |
| 6.83 | 366 |
| 6.92 | 380 |
| 7.00 | 364 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,379 |
| 0.08 | 1,334 |
| 0.17 | 1,300 |
| 0.25 | 1,236 |
| 0.33 | 1,187 |
| 0.42 | 1,137 |
| 0.50 | 1,085 |
| 0.58 | 1,026 |
| 0.67 | 1,005 |
| 0.75 | 968 |
| 0.83 | 925 |
| 0.92 | 909 |
| 1.00 | 899 |
| 1.08 | 882 |
| 1.17 | 841 |
| 1.25 | 808 |
| 1.33 | 801 |
| 1.42 | 805 |
| 1.50 | 782 |
| 1.58 | 730 |
| 1.67 | 729 |
| 1.75 | 705 |
| 1.83 | 687 |
| 1.92 | 664 |
| 2.00 | 666 |
| 2.08 | 657 |
| 2.17 | 643 |
| 2.25 | 630 |
| 2.33 | 613 |
| 2.42 | 603 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 619 |
| 2.58 | 600 |
| 2.67 | 563 |
| 2.75 | 544 |
| 2.83 | 534 |
| 2.92 | 543 |
| 3.00 | 530 |
| 3.08 | 530 |
| 3.17 | 536 |
| 3.25 | 523 |
| 3.33 | 518 |
| 3.42 | 516 |
| 3.50 | 505 |
| 3.58 | 512 |
| 3.67 | 517 |
| 3.75 | 486 |
| 3.83 | 508 |
| 3.92 | 493 |
| 4.00 | 486 |
| 4.08 | 495 |
| 4.17 | 490 |
| 4.25 | 494 |
| 4.33 | 480 |
| 4.42 | 482 |
| 4.50 | 482 |
| 4.58 | 458 |
| 4.67 | 461 |
| 4.75 | 479 |
| 4.83 | 465 |
| 4.92 | 457 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 461 |
| 5.08 | 459 |
| 5.17 | 474 |
| 5.25 | 449 |
| 5.33 | 436 |
| 5.42 | 448 |
| 5.50 | 449 |
| 5.58 | 438 |
| 5.67 | 462 |
| 5.75 | 443 |
| 5.83 | 428 |
| 5.92 | 429 |
| 6.00 | 422 |
| 6.08 | 428 |
| 6.17 | 428 |
| 6.25 | 432 |
| 6.33 | 425 |
| 6.42 | 429 |
| 6.50 | 426 |
| 6.58 | 410 |
| 6.67 | 416 |
| 6.75 | 406 |
| 6.83 | 386 |
| 6.92 | 409 |
| 7.00 | 389 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,050 |
| 0.08 | 1,036 |
| 0.17 | 997 |
| 0.25 | 928 |
| 0.33 | 909 |
| 0.42 | 895 |
| 0.50 | 849 |
| 0.58 | 810 |
| 0.67 | 782 |
| 0.75 | 764 |
| 0.83 | 745 |
| 0.92 | 740 |
| 1.00 | 712 |
| 1.08 | 677 |
| 1.17 | 668 |
| 1.25 | 654 |
| 1.33 | 638 |
| 1.42 | 614 |
| 1.50 | 617 |
| 1.58 | 587 |
| 1.67 | 571 |
| 1.75 | 561 |
| 1.83 | 561 |
| 1.92 | 535 |
| 2.00 | 541 |
| 2.08 | 520 |
| 2.17 | 524 |
| 2.25 | 521 |
| 2.33 | 518 |
| 2.42 | 507 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 516 |
| 2.58 | 506 |
| 2.67 | 499 |
| 2.75 | 471 |
| 2.83 | 492 |
| 2.92 | 489 |
| 3.00 | 467 |
| 3.08 | 485 |
| 3.17 | 480 |
| 3.25 | 455 |
| 3.33 | 477 |
| 3.42 | 467 |
| 3.50 | 453 |
| 3.58 | 473 |
| 3.67 | 462 |
| 3.75 | 466 |
| 3.83 | 471 |
| 3.92 | 440 |
| 4.00 | 450 |
| 4.08 | 456 |
| 4.17 | 459 |
| 4.25 | 464 |
| 4.33 | 452 |
| 4.42 | 460 |
| 4.50 | 450 |
| 4.58 | 455 |
| 4.67 | 447 |
| 4.75 | 451 |
| 4.83 | 446 |
| 4.92 | 434 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 431 |
| 5.08 | 450 |
| 5.17 | 441 |
| 5.25 | 445 |
| 5.33 | 451 |
| 5.42 | 442 |
| 5.50 | 438 |
| 5.58 | 435 |
| 5.67 | 443 |
| 5.75 | 432 |
| 5.83 | 429 |
| 5.92 | 425 |
| 6.00 | 431 |
| 6.08 | 427 |
| 6.17 | 421 |
| 6.25 | 420 |
| 6.33 | 435 |
| 6.42 | 423 |
| 6.50 | 419 |
| 6.58 | 420 |
| 6.67 | 418 |
| 6.75 | 421 |
| 6.83 | 425 |
| 6.92 | 431 |
| 7.00 | 424 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,503 |
| 0.08 | 1,422 |
| 0.17 | 1,367 |
| 0.25 | 1,336 |
| 0.33 | 1,327 |
| 0.42 | 1,279 |
| 0.50 | 1,277 |
| 0.58 | 1,212 |
| 0.67 | 1,157 |
| 0.75 | 1,153 |
| 0.83 | 1,124 |
| 0.92 | 1,081 |
| 1.00 | 1,040 |
| 1.08 | 990 |
| 1.17 | 993 |
| 1.25 | 947 |
| 1.33 | 909 |
| 1.42 | 877 |
| 1.50 | 854 |
| 1.58 | 816 |
| 1.67 | 796 |
| 1.75 | 770 |
| 1.83 | 732 |
| 1.92 | 704 |
| 2.00 | 678 |
| 2.08 | 656 |
| 2.17 | 636 |
| 2.25 | 660 |
| 2.33 | 645 |
| 2.42 | 613 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 612 |
| 2.58 | 593 |
| 2.67 | 617 |
| 2.75 | 606 |
| 2.83 | 560 |
| 2.92 | 582 |
| 3.00 | 561 |
| 3.08 | 566 |
| 3.17 | 547 |
| 3.25 | 558 |
| 3.33 | 552 |
| 3.42 | 526 |
| 3.50 | 493 |
| 3.58 | 497 |
| 3.67 | 494 |
| 3.75 | 488 |
| 3.83 | 471 |
| 3.92 | 465 |
| 4.00 | 461 |
| 4.08 | 462 |
| 4.17 | 465 |
| 4.25 | 446 |
| 4.33 | 446 |
| 4.42 | 454 |
| 4.50 | 442 |
| 4.58 | 442 |
| 4.67 | 429 |
| 4.75 | 437 |
| 4.83 | 433 |
| 4.92 | 414 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 415 |
| 5.08 | 415 |
| 5.17 | 404 |
| 5.25 | 410 |
| 5.33 | 400 |
| 5.42 | 406 |
| 5.50 | 381 |
| 5.58 | 380 |
| 5.67 | 365 |
| 5.75 | 394 |
| 5.83 | 382 |
| 5.92 | 365 |
| 6.00 | 374 |
| 6.08 | 376 |
| 6.17 | 370 |
| 6.25 | 370 |
| 6.33 | 359 |
| 6.42 | 370 |
| 6.50 | 350 |
| 6.58 | 351 |
| 6.67 | 372 |
| 6.75 | 354 |
| 6.83 | 370 |
| 6.92 | 366 |
| 7.00 | 356 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,345 |
| 0.08 | 1,326 |
| 0.17 | 1,313 |
| 0.25 | 1,263 |
| 0.33 | 1,203 |
| 0.42 | 1,141 |
| 0.50 | 1,071 |
| 0.58 | 1,114 |
| 0.67 | 1,051 |
| 0.75 | 1,026 |
| 0.83 | 970 |
| 0.92 | 956 |
| 1.00 | 904 |
| 1.08 | 916 |
| 1.17 | 897 |
| 1.25 | 859 |
| 1.33 | 842 |
| 1.42 | 819 |
| 1.50 | 786 |
| 1.58 | 764 |
| 1.67 | 745 |
| 1.75 | 683 |
| 1.83 | 686 |
| 1.92 | 669 |
| 2.00 | 640 |
| 2.08 | 636 |
| 2.17 | 608 |
| 2.25 | 643 |
| 2.33 | 630 |
| 2.42 | 599 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 587 |
| 2.58 | 590 |
| 2.67 | 579 |
| 2.75 | 556 |
| 2.83 | 543 |
| 2.92 | 525 |
| 3.00 | 514 |
| 3.08 | 514 |
| 3.17 | 543 |
| 3.25 | 560 |
| 3.33 | 565 |
| 3.42 | 585 |
| 3.50 | 577 |
| 3.58 | 558 |
| 3.67 | 538 |
| 3.75 | 544 |
| 3.83 | 538 |
| 3.92 | 535 |
| 4.00 | 545 |
| 4.08 | 566 |
| 4.17 | 570 |
| 4.25 | 553 |
| 4.33 | 583 |
| 4.42 | 537 |
| 4.50 | 539 |
| 4.58 | 534 |
| 4.67 | 520 |
| 4.75 | 506 |
| 4.83 | 505 |
| 4.92 | 495 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 495 |
| 5.08 | 487 |
| 5.17 | 471 |
| 5.25 | 463 |
| 5.33 | 434 |
| 5.42 | 447 |
| 5.50 | 445 |
| 5.58 | 467 |
| 5.67 | 454 |
| 5.75 | 447 |
| 5.83 | 459 |
| 5.92 | 449 |
| 6.00 | 445 |
| 6.08 | 447 |
| 6.17 | 434 |
| 6.25 | 433 |
| 6.33 | 432 |
| 6.42 | 430 |
| 6.50 | 435 |
| 6.58 | 434 |
| 6.67 | 436 |
| 6.75 | 437 |
| 6.83 | 417 |
| 6.92 | 422 |
| 7.00 | 423 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,299 |
| 0.08 | 1,263 |
| 0.17 | 1,236 |
| 0.25 | 1,195 |
| 0.33 | 1,163 |
| 0.42 | 1,142 |
| 0.50 | 1,106 |
| 0.58 | 1,054 |
| 0.67 | 1,054 |
| 0.75 | 1,040 |
| 0.83 | 974 |
| 0.92 | 962 |
| 1.00 | 914 |
| 1.08 | 862 |
| 1.17 | 830 |
| 1.25 | 805 |
| 1.33 | 773 |
| 1.42 | 759 |
| 1.50 | 729 |
| 1.58 | 705 |
| 1.67 | 689 |
| 1.75 | 645 |
| 1.83 | 642 |
| 1.92 | 624 |
| 2.00 | 592 |
| 2.08 | 592 |
| 2.17 | 590 |
| 2.25 | 593 |
| 2.33 | 589 |
| 2.42 | 573 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 548 |
| 2.58 | 522 |
| 2.67 | 504 |
| 2.75 | 497 |
| 2.83 | 504 |
| 2.92 | 515 |
| 3.00 | 486 |
| 3.08 | 491 |
| 3.17 | 487 |
| 3.25 | 461 |
| 3.33 | 461 |
| 3.42 | 431 |
| 3.50 | 450 |
| 3.58 | 432 |
| 3.67 | 429 |
| 3.75 | 428 |
| 3.83 | 436 |
| 3.92 | 427 |
| 4.00 | 425 |
| 4.08 | 409 |
| 4.17 | 416 |
| 4.25 | 430 |
| 4.33 | 431 |
| 4.42 | 426 |
| 4.50 | 414 |
| 4.58 | 426 |
| 4.67 | 412 |
| 4.75 | 409 |
| 4.83 | 411 |
| 4.92 | 435 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 442 |
| 5.08 | 425 |
| 5.17 | 414 |
| 5.25 | 435 |
| 5.33 | 412 |
| 5.42 | 414 |
| 5.50 | 416 |
| 5.58 | 415 |
| 5.67 | 405 |
| 5.75 | 410 |
| 5.83 | 412 |
| 5.92 | 416 |
| 6.00 | 404 |
| 6.08 | 394 |
| 6.17 | 386 |
| 6.25 | 404 |
| 6.33 | 386 |
| 6.42 | 398 |
| 6.50 | 391 |
| 6.58 | 381 |
| 6.67 | 396 |
| 6.75 | 402 |
| 6.83 | 400 |
| 6.92 | 376 |
| 7.00 | 420 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,155 |
| 0.08 | 1,105 |
| 0.17 | 1,059 |
| 0.25 | 1,016 |
| 0.33 | 950 |
| 0.42 | 916 |
| 0.50 | 932 |
| 0.58 | 898 |
| 0.67 | 822 |
| 0.75 | 760 |
| 0.83 | 752 |
| 0.92 | 719 |
| 1.00 | 715 |
| 1.08 | 697 |
| 1.17 | 671 |
| 1.25 | 647 |
| 1.33 | 620 |
| 1.42 | 593 |
| 1.50 | 582 |
| 1.58 | 598 |
| 1.67 | 586 |
| 1.75 | 574 |
| 1.83 | 592 |
| 1.92 | 564 |
| 2.00 | 573 |
| 2.08 | 569 |
| 2.17 | 547 |
| 2.25 | 530 |
| 2.33 | 523 |
| 2.42 | 534 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 516 |
| 2.58 | 479 |
| 2.67 | 497 |
| 2.75 | 500 |
| 2.83 | 488 |
| 2.92 | 486 |
| 3.00 | 485 |
| 3.08 | 518 |
| 3.17 | 492 |
| 3.25 | 494 |
| 3.33 | 482 |
| 3.42 | 478 |
| 3.50 | 463 |
| 3.58 | 467 |
| 3.67 | 458 |
| 3.75 | 458 |
| 3.83 | 452 |
| 3.92 | 416 |
| 4.00 | 433 |
| 4.08 | 425 |
| 4.17 | 434 |
| 4.25 | 426 |
| 4.33 | 409 |
| 4.42 | 412 |
| 4.50 | 420 |
| 4.58 | 412 |
| 4.67 | 411 |
| 4.75 | 402 |
| 4.83 | 416 |
| 4.92 | 392 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 389 |
| 5.08 | 395 |
| 5.17 | 386 |
| 5.25 | 390 |
| 5.33 | 390 |
| 5.42 | 390 |
| 5.50 | 381 |
| 5.58 | 380 |
| 5.67 | 377 |
| 5.75 | 383 |
| 5.83 | 371 |
| 5.92 | 383 |
| 6.00 | 383 |
| 6.08 | 377 |
| 6.17 | 370 |
| 6.25 | 373 |
| 6.33 | 375 |
| 6.42 | 365 |
| 6.50 | 375 |
| 6.58 | 375 |
| 6.67 | 373 |
| 6.75 | 371 |
| 6.83 | 377 |
| 6.92 | 387 |
| 7.00 | 385 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 963 |
| 0.08 | 927 |
| 0.17 | 885 |
| 0.25 | 827 |
| 0.33 | 805 |
| 0.42 | 770 |
| 0.50 | 744 |
| 0.58 | 726 |
| 0.67 | 684 |
| 0.75 | 673 |
| 0.83 | 647 |
| 0.92 | 659 |
| 1.00 | 640 |
| 1.08 | 624 |
| 1.17 | 612 |
| 1.25 | 584 |
| 1.33 | 581 |
| 1.42 | 577 |
| 1.50 | 570 |
| 1.58 | 539 |
| 1.67 | 558 |
| 1.75 | 543 |
| 1.83 | 522 |
| 1.92 | 532 |
| 2.00 | 536 |
| 2.08 | 517 |
| 2.17 | 525 |
| 2.25 | 513 |
| 2.33 | 529 |
| 2.42 | 518 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 522 |
| 2.58 | 503 |
| 2.67 | 510 |
| 2.75 | 511 |
| 2.83 | 501 |
| 2.92 | 519 |
| 3.00 | 527 |
| 3.08 | 491 |
| 3.17 | 504 |
| 3.25 | 512 |
| 3.33 | 514 |
| 3.42 | 500 |
| 3.50 | 503 |
| 3.58 | 491 |
| 3.67 | 515 |
| 3.75 | 509 |
| 3.83 | 511 |
| 3.92 | 498 |
| 4.00 | 506 |
| 4.08 | 490 |
| 4.17 | 501 |
| 4.25 | 498 |
| 4.33 | 501 |
| 4.42 | 511 |
| 4.50 | 480 |
| 4.58 | 474 |
| 4.67 | 487 |
| 4.75 | 479 |
| 4.83 | 495 |
| 4.92 | 491 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 489 |
| 5.08 | 487 |
| 5.17 | 484 |
| 5.25 | 480 |
| 5.33 | 466 |
| 5.42 | 475 |
| 5.50 | 487 |
| 5.58 | 494 |
| 5.67 | 503 |
| 5.75 | 494 |
| 5.83 | 490 |
| 5.92 | 494 |
| 6.00 | 471 |
| 6.08 | 491 |
| 6.17 | 499 |
| 6.25 | 499 |
| 6.33 | 488 |
| 6.42 | 480 |
| 6.50 | 467 |
| 6.58 | 480 |
| 6.67 | 492 |
| 6.75 | 499 |
| 6.83 | 471 |
| 6.92 | 473 |
| 7.00 | 482 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 952 |
| 0.08 | 908 |
| 0.17 | 860 |
| 0.25 | 784 |
| 0.33 | 734 |
| 0.42 | 701 |
| 0.50 | 657 |
| 0.58 | 643 |
| 0.67 | 637 |
| 0.75 | 601 |
| 0.83 | 614 |
| 0.92 | 591 |
| 1.00 | 601 |
| 1.08 | 585 |
| 1.17 | 585 |
| 1.25 | 593 |
| 1.33 | 586 |
| 1.42 | 599 |
| 1.50 | 566 |
| 1.58 | 561 |
| 1.67 | 565 |
| 1.75 | 552 |
| 1.83 | 507 |
| 1.92 | 526 |
| 2.00 | 527 |
| 2.08 | 538 |
| 2.17 | 544 |
| 2.25 | 539 |
| 2.33 | 552 |
| 2.42 | 539 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 548 |
| 2.58 | 528 |
| 2.67 | 512 |
| 2.75 | 513 |
| 2.83 | 502 |
| 2.92 | 516 |
| 3.00 | 515 |
| 3.08 | 506 |
| 3.17 | 500 |
| 3.25 | 509 |
| 3.33 | 502 |
| 3.42 | 516 |
| 3.50 | 509 |
| 3.58 | 513 |
| 3.67 | 494 |
| 3.75 | 501 |
| 3.83 | 479 |
| 3.92 | 479 |
| 4.00 | 492 |
| 4.08 | 474 |
| 4.17 | 471 |
| 4.25 | 480 |
| 4.33 | 475 |
| 4.42 | 475 |
| 4.50 | 481 |
| 4.58 | 453 |
| 4.67 | 459 |
| 4.75 | 467 |
| 4.83 | 448 |
| 4.92 | 454 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 465 |
| 5.08 | 456 |
| 5.17 | 435 |
| 5.25 | 446 |
| 5.33 | 444 |
| 5.42 | 448 |
| 5.50 | 439 |
| 5.58 | 434 |
| 5.67 | 433 |
| 5.75 | 448 |
| 5.83 | 442 |
| 5.92 | 429 |
| 6.00 | 438 |
| 6.08 | 421 |
| 6.17 | 434 |
| 6.25 | 423 |
| 6.33 | 421 |
| 6.42 | 423 |
| 6.50 | 429 |
| 6.58 | 421 |
| 6.67 | 418 |
| 6.75 | 424 |
| 6.83 | 433 |
| 6.92 | 421 |
| 7.00 | 414 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,069 |
| 0.08 | 999 |
| 0.17 | 927 |
| 0.25 | 873 |
| 0.33 | 840 |
| 0.42 | 782 |
| 0.50 | 744 |
| 0.58 | 733 |
| 0.67 | 700 |
| 0.75 | 677 |
| 0.83 | 669 |
| 0.92 | 665 |
| 1.00 | 642 |
| 1.08 | 617 |
| 1.17 | 603 |
| 1.25 | 602 |
| 1.33 | 587 |
| 1.42 | 586 |
| 1.50 | 569 |
| 1.58 | 562 |
| 1.67 | 545 |
| 1.75 | 554 |
| 1.83 | 535 |
| 1.92 | 541 |
| 2.00 | 515 |
| 2.08 | 535 |
| 2.17 | 544 |
| 2.25 | 537 |
| 2.33 | 522 |
| 2.42 | 519 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 520 |
| 2.58 | 509 |
| 2.67 | 531 |
| 2.75 | 516 |
| 2.83 | 509 |
| 2.92 | 525 |
| 3.00 | 510 |
| 3.08 | 503 |
| 3.17 | 517 |
| 3.25 | 503 |
| 3.33 | 493 |
| 3.42 | 501 |
| 3.50 | 506 |
| 3.58 | 493 |
| 3.67 | 488 |
| 3.75 | 502 |
| 3.83 | 496 |
| 3.92 | 471 |
| 4.00 | 475 |
| 4.08 | 469 |
| 4.17 | 452 |
| 4.25 | 480 |
| 4.33 | 465 |
| 4.42 | 480 |
| 4.50 | 463 |
| 4.58 | 465 |
| 4.67 | 456 |
| 4.75 | 450 |
| 4.83 | 438 |
| 4.92 | 459 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 465 |
| 5.08 | 443 |
| 5.17 | 431 |
| 5.25 | 449 |
| 5.33 | 431 |
| 5.42 | 438 |
| 5.50 | 456 |
| 5.58 | 444 |
| 5.67 | 445 |
| 5.75 | 435 |
| 5.83 | 441 |
| 5.92 | 441 |
| 6.00 | 435 |
| 6.08 | 428 |
| 6.17 | 422 |
| 6.25 | 437 |
| 6.33 | 421 |
| 6.42 | 418 |
| 6.50 | 414 |
| 6.58 | 432 |
| 6.67 | 414 |
| 6.75 | 421 |
| 6.83 | 430 |
| 6.92 | 407 |
| 7.00 | 407 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 986 |
| 0.08 | 955 |
| 0.17 | 882 |
| 0.25 | 826 |
| 0.33 | 797 |
| 0.42 | 763 |
| 0.50 | 738 |
| 0.58 | 695 |
| 0.67 | 646 |
| 0.75 | 621 |
| 0.83 | 629 |
| 0.92 | 628 |
| 1.00 | 598 |
| 1.08 | 602 |
| 1.17 | 601 |
| 1.25 | 604 |
| 1.33 | 574 |
| 1.42 | 577 |
| 1.50 | 590 |
| 1.58 | 571 |
| 1.67 | 578 |
| 1.75 | 554 |
| 1.83 | 548 |
| 1.92 | 552 |
| 2.00 | 527 |
| 2.08 | 525 |
| 2.17 | 523 |
| 2.25 | 519 |
| 2.33 | 503 |
| 2.42 | 493 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 465 |
| 2.58 | 466 |
| 2.67 | 468 |
| 2.75 | 481 |
| 2.83 | 483 |
| 2.92 | 484 |
| 3.00 | 479 |
| 3.08 | 495 |
| 3.17 | 481 |
| 3.25 | 497 |
| 3.33 | 470 |
| 3.42 | 474 |
| 3.50 | 474 |
| 3.58 | 475 |
| 3.67 | 472 |
| 3.75 | 484 |
| 3.83 | 467 |
| 3.92 | 487 |
| 4.00 | 467 |
| 4.08 | 466 |
| 4.17 | 450 |
| 4.25 | 459 |
| 4.33 | 455 |
| 4.42 | 440 |
| 4.50 | 440 |
| 4.58 | 445 |
| 4.67 | 440 |
| 4.75 | 442 |
| 4.83 | 443 |
| 4.92 | 439 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน A (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 432 |
| 5.08 | 440 |
| 5.17 | 437 |
| 5.25 | 429 |
| 5.33 | 430 |
| 5.42 | 428 |
| 5.50 | 425 |
| 5.58 | 432 |
| 5.67 | 431 |
| 5.75 | 435 |
| 5.83 | 426 |
| 5.92 | 428 |
| 6.00 | 432 |
| 6.08 | 430 |
| 6.17 | 427 |
| 6.25 | 431 |
| 6.33 | 421 |
| 6.42 | 420 |
| 6.50 | 419 |
| 6.58 | 417 |
| 6.67 | 421 |
| 6.75 | 415 |
| 6.83 | 423 |
| 6.92 | 414 |
| 7.00 | 410 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (ห้องปิด) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,235 |
| 0.08 | 1,225 |
| 0.17 | 1,205 |
| 0.25 | 1,209 |
| 0.33 | 1,170 |
| 0.42 | 1,170 |
| 0.50 | 1,144 |
| 0.58 | 1,102 |
| 0.67 | 1,102 |
| 0.75 | 1,077 |
| 0.83 | 1,030 |
| 0.92 | 1,010 |
| 1.00 | 994 |
| 1.08 | 982 |
| 1.17 | 961 |
| 1.25 | 940 |
| 1.33 | 919 |
| 1.42 | 898 |
| 1.50 | 877 |
| 1.58 | 856 |
| 1.67 | 835 |
| 1.75 | 814 |
| 1.83 | 793 |
| 1.92 | 772 |
| 2.00 | 750 |
| 2.08 | 813 |
| 2.17 | 812 |
| 2.25 | 783 |
| 2.33 | 789 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (ห้องปิด) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.42 | 757 |
| 2.50 | 766 |
| 2.58 | 760 |
| 2.67 | 730 |
| 2.75 | 733 |
| 2.83 | 717 |
| 2.92 | 721 |
| 3.00 | 730 |
| 3.08 | 704 |
| 3.17 | 698 |
| 3.25 | 728 |
| 3.33 | 695 |
| 3.42 | 673 |
| 3.50 | 686 |
| 3.58 | 662 |
| 3.67 | 668 |
| 3.75 | 650 |
| 3.83 | 662 |
| 3.92 | 645 |
| 4.00 | 630 |
| 4.08 | 625 |
| 4.17 | 615 |
| 4.25 | 612 |
| 4.33 | 613 |
| 4.42 | 613 |
| 4.50 | 591 |
| 4.58 | 581 |
| 4.67 | 595 |
| 4.75 | 571 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (ห้องปิด) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 4.83 | 572 |
| 4.92 | 561 |
| 5.00 | 565 |
| 5.08 | 560 |
| 5.17 | 540 |
| 5.25 | 563 |
| 5.33 | 556 |
| 5.42 | 536 |
| 5.50 | 533 |
| 5.58 | 543 |
| 5.67 | 535 |
| 5.75 | 530 |
| 5.83 | 511 |
| 5.92 | 497 |
| 6.00 | 497 |
| 6.08 | 511 |
| 6.17 | 518 |
| 6.25 | 507 |
| 6.33 | 495 |
| 6.42 | 497 |
| 6.50 | 497 |
| 6.58 | 497 |
| 6.67 | 475 |
| 6.75 | 462 |
| 6.83 | 490 |
| 6.92 | 459 |
| 7.00 | 468 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,216 |
| 0.08 | 1,207 |
| 0.17 | 1,166 |
| 0.25 | 1,134 |
| 0.33 | 1,093 |
| 0.42 | 1,087 |
| 0.50 | 1,043 |
| 0.58 | 1,007 |
| 0.67 | 1,012 |
| 0.75 | 1,003 |
| 0.83 | 977 |
| 0.92 | 953 |
| 1.00 | 935 |
| 1.08 | 903 |
| 1.17 | 889 |
| 1.25 | 881 |
| 1.33 | 832 |
| 1.42 | 833 |
| 1.50 | 798 |
| 1.58 | 774 |
| 1.67 | 766 |
| 1.75 | 747 |
| 1.83 | 755 |
| 1.92 | 748 |
| 2.00 | 710 |
| 2.08 | 700 |
| 2.17 | 696 |
| 2.25 | 666 |
| 2.33 | 660 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.42 | 660 |
| 2.50 | 633 |
| 2.58 | 641 |
| 2.67 | 633 |
| 2.75 | 630 |
| 2.83 | 615 |
| 2.92 | 601 |
| 3.00 | 593 |
| 3.08 | 592 |
| 3.17 | 569 |
| 3.25 | 576 |
| 3.33 | 554 |
| 3.42 | 551 |
| 3.50 | 552 |
| 3.58 | 538 |
| 3.67 | 522 |
| 3.75 | 530 |
| 3.83 | 515 |
| 3.92 | 529 |
| 4.00 | 536 |
| 4.08 | 521 |
| 4.17 | 499 |
| 4.25 | 511 |
| 4.33 | 487 |
| 4.42 | 463 |
| 4.50 | 469 |
| 4.58 | 470 |
| 4.67 | 474 |
| 4.75 | 471 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 50 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 4.83 | 455 |
| 4.92 | 453 |
| 5.00 | 447 |
| 5.08 | 458 |
| 5.17 | 449 |
| 5.25 | 450 |
| 5.33 | 435 |
| 5.42 | 442 |
| 5.50 | 436 |
| 5.58 | 431 |
| 5.67 | 406 |
| 5.75 | 420 |
| 5.83 | 417 |
| 5.92 | 427 |
| 6.00 | 404 |
| 6.08 | 399 |
| 6.17 | 397 |
| 6.25 | 409 |
| 6.33 | 397 |
| 6.42 | 384 |
| 6.50 | 409 |
| 6.58 | 394 |
| 6.67 | 382 |
| 6.75 | 385 |
| 6.83 | 374 |
| 6.92 | 394 |
| 7.00 | 385 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,149 |
| 0.08 | 1,114 |
| 0.17 | 1,086 |
| 0.25 | 1,053 |
| 0.33 | 1,013 |
| 0.42 | 1,020 |
| 0.50 | 1,001 |
| 0.58 | 959 |
| 0.67 | 927 |
| 0.75 | 918 |
| 0.83 | 888 |
| 0.92 | 878 |
| 1.00 | 855 |
| 1.08 | 825 |
| 1.17 | 824 |
| 1.25 | 788 |
| 1.33 | 762 |
| 1.42 | 765 |
| 1.50 | 748 |
| 1.58 | 746 |
| 1.67 | 713 |
| 1.75 | 704 |
| 1.83 | 702 |
| 1.92 | 692 |
| 2.00 | 669 |
| 2.08 | 651 |
| 2.17 | 634 |
| 2.25 | 640 |
| 2.33 | 602 |
| 2.42 | 631 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 597 |
| 2.58 | 610 |
| 2.67 | 586 |
| 2.75 | 590 |
| 2.83 | 582 |
| 2.92 | 556 |
| 3.00 | 569 |
| 3.08 | 544 |
| 3.17 | 527 |
| 3.25 | 518 |
| 3.33 | 529 |
| 3.42 | 510 |
| 3.50 | 520 |
| 3.58 | 506 |
| 3.67 | 498 |
| 3.75 | 493 |
| 3.83 | 497 |
| 3.92 | 491 |
| 4.00 | 470 |
| 4.08 | 470 |
| 4.17 | 465 |
| 4.25 | 466 |
| 4.33 | 456 |
| 4.42 | 452 |
| 4.50 | 448 |
| 4.58 | 454 |
| 4.67 | 439 |
| 4.75 | 443 |
| 4.83 | 454 |
| 4.92 | 445 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 100 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 430 |
| 5.08 | 424 |
| 5.17 | 411 |
| 5.25 | 416 |
| 5.33 | 417 |
| 5.42 | 417 |
| 5.50 | 405 |
| 5.58 | 394 |
| 5.67 | 405 |
| 5.75 | 391 |
| 5.83 | 391 |
| 5.92 | 401 |
| 6.00 | 384 |
| 6.08 | 399 |
| 6.17 | 395 |
| 6.25 | 380 |
| 6.33 | 391 |
| 6.42 | 378 |
| 6.50 | 370 |
| 6.58 | 382 |
| 6.67 | 387 |
| 6.75 | 371 |
| 6.83 | 382 |
| 6.92 | 375 |
| 7.00 | 374 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,140 |
| 0.08 | 1,100 |
| 0.17 | 1,081 |
| 0.25 | 1,033 |
| 0.33 | 1,041 |
| 0.42 | 1,012 |
| 0.50 | 989 |
| 0.58 | 958 |
| 0.67 | 946 |
| 0.75 | 901 |
| 0.83 | 876 |
| 0.92 | 901 |
| 1.00 | 867 |
| 1.08 | 787 |
| 1.17 | 774 |
| 1.25 | 752 |
| 1.33 | 747 |
| 1.42 | 725 |
| 1.50 | 694 |
| 1.58 | 685 |
| 1.67 | 674 |
| 1.75 | 668 |
| 1.83 | 661 |
| 1.92 | 658 |
| 2.00 | 656 |
| 2.08 | 642 |
| 2.17 | 639 |
| 2.25 | 633 |
| 2.33 | 625 |
| 2.42 | 598 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 606 |
| 2.58 | 601 |
| 2.67 | 579 |
| 2.75 | 577 |
| 2.83 | 582 |
| 2.92 | 578 |
| 3.00 | 564 |
| 3.08 | 546 |
| 3.17 | 547 |
| 3.25 | 542 |
| 3.33 | 549 |
| 3.42 | 534 |
| 3.50 | 544 |
| 3.58 | 512 |
| 3.67 | 512 |
| 3.75 | 508 |
| 3.83 | 490 |
| 3.92 | 495 |
| 4.00 | 510 |
| 4.08 | 503 |
| 4.17 | 497 |
| 4.25 | 478 |
| 4.33 | 480 |
| 4.42 | 465 |
| 4.50 | 476 |
| 4.58 | 476 |
| 4.67 | 462 |
| 4.75 | 461 |
| 4.83 | 440 |
| 4.92 | 461 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 150 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 440 |
| 5.08 | 450 |
| 5.17 | 444 |
| 5.25 | 434 |
| 5.33 | 434 |
| 5.42 | 440 |
| 5.50 | 433 |
| 5.58 | 420 |
| 5.67 | 417 |
| 5.75 | 436 |
| 5.83 | 424 |
| 5.92 | 427 |
| 6.00 | 415 |
| 6.08 | 414 |
| 6.17 | 427 |
| 6.25 | 399 |
| 6.33 | 415 |
| 6.42 | 407 |
| 6.50 | 414 |
| 6.58 | 416 |
| 6.67 | 406 |
| 6.75 | 399 |
| 6.83 | 405 |
| 6.92 | 401 |
| 7.00 | 409 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,128 |
| 0.08 | 1,131 |
| 0.17 | 1,116 |
| 0.25 | 1,094 |
| 0.33 | 1,043 |
| 0.42 | 1,016 |
| 0.50 | 988 |
| 0.58 | 962 |
| 0.67 | 969 |
| 0.75 | 908 |
| 0.83 | 881 |
| 0.92 | 863 |
| 1.00 | 843 |
| 1.08 | 838 |
| 1.17 | 830 |
| 1.25 | 809 |
| 1.33 | 771 |
| 1.42 | 760 |
| 1.50 | 762 |
| 1.58 | 738 |
| 1.67 | 692 |
| 1.75 | 711 |
| 1.83 | 668 |
| 1.92 | 665 |
| 2.00 | 651 |
| 2.08 | 623 |
| 2.17 | 634 |
| 2.25 | 604 |
| 2.33 | 617 |
| 2.42 | 592 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 596 |
| 2.58 | 578 |
| 2.67 | 578 |
| 2.75 | 578 |
| 2.83 | 569 |
| 2.92 | 559 |
| 3.00 | 558 |
| 3.08 | 549 |
| 3.17 | 547 |
| 3.25 | 519 |
| 3.33 | 497 |
| 3.42 | 491 |
| 3.50 | 494 |
| 3.58 | 495 |
| 3.67 | 490 |
| 3.75 | 486 |
| 3.83 | 470 |
| 3.92 | 468 |
| 4.00 | 456 |
| 4.08 | 450 |
| 4.17 | 445 |
| 4.25 | 439 |
| 4.33 | 439 |
| 4.42 | 438 |
| 4.50 | 434 |
| 4.58 | 410 |
| 4.67 | 425 |
| 4.75 | 433 |
| 4.83 | 426 |
| 4.92 | 442 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 200 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 415 |
| 5.08 | 415 |
| 5.17 | 405 |
| 5.25 | 401 |
| 5.33 | 428 |
| 5.42 | 412 |
| 5.50 | 397 |
| 5.58 | 407 |
| 5.67 | 378 |
| 5.75 | 411 |
| 5.83 | 398 |
| 5.92 | 382 |
| 6.00 | 387 |
| 6.08 | 395 |
| 6.17 | 391 |
| 6.25 | 392 |
| 6.33 | 395 |
| 6.42 | 365 |
| 6.50 | 387 |
| 6.58 | 395 |
| 6.67 | 375 |
| 6.75 | 386 |
| 6.83 | 376 |
| 6.92 | 375 |
| 7.00 | 376 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,030 |
| 0.08 | 1,027 |
| 0.17 | 970 |
| 0.25 | 945 |
| 0.33 | 940 |
| 0.42 | 903 |
| 0.50 | 887 |
| 0.58 | 848 |
| 0.67 | 829 |
| 0.75 | 746 |
| 0.83 | 768 |
| 0.92 | 753 |
| 1.00 | 728 |
| 1.08 | 727 |
| 1.17 | 634 |
| 1.25 | 659 |
| 1.33 | 628 |
| 1.42 | 621 |
| 1.50 | 606 |
| 1.58 | 601 |
| 1.67 | 551 |
| 1.75 | 544 |
| 1.83 | 560 |
| 1.92 | 551 |
| 2.00 | 531 |
| 2.08 | 499 |
| 2.17 | 524 |
| 2.25 | 495 |
| 2.33 | 491 |
| 2.42 | 485 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 457 |
| 2.58 | 466 |
| 2.67 | 482 |
| 2.75 | 455 |
| 2.83 | 449 |
| 2.92 | 433 |
| 3.00 | 450 |
| 3.08 | 424 |
| 3.17 | 429 |
| 3.25 | 446 |
| 3.33 | 427 |
| 3.42 | 411 |
| 3.50 | 415 |
| 3.58 | 406 |
| 3.67 | 415 |
| 3.75 | 404 |
| 3.83 | 412 |
| 3.92 | 407 |
| 4.00 | 405 |
| 4.08 | 402 |
| 4.17 | 406 |
| 4.25 | 386 |
| 4.33 | 382 |
| 4.42 | 386 |
| 4.50 | 367 |
| 4.58 | 380 |
| 4.67 | 379 |
| 4.75 | 381 |
| 4.83 | 374 |
| 4.92 | 361 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 250 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 368 |
| 5.08 | 358 |
| 5.17 | 366 |
| 5.25 | 361 |
| 5.33 | 366 |
| 5.42 | 351 |
| 5.50 | 348 |
| 5.58 | 365 |
| 5.67 | 356 |
| 5.75 | 354 |
| 5.83 | 348 |
| 5.92 | 348 |
| 6.00 | 344 |
| 6.08 | 362 |
| 6.17 | 355 |
| 6.25 | 344 |
| 6.33 | 347 |
| 6.42 | 345 |
| 6.50 | 344 |
| 6.58 | 347 |
| 6.67 | 351 |
| 6.75 | 346 |
| 6.83 | 355 |
| 6.92 | 362 |
| 7.00 | 336 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,183 |
| 0.08 | 1,121 |
| 0.17 | 1,124 |
| 0.25 | 1,017 |
| 0.33 | 971 |
| 0.42 | 958 |
| 0.50 | 934 |
| 0.58 | 940 |
| 0.67 | 876 |
| 0.75 | 863 |
| 0.83 | 821 |
| 0.92 | 827 |
| 1.00 | 806 |
| 1.08 | 799 |
| 1.17 | 780 |
| 1.25 | 748 |
| 1.33 | 745 |
| 1.42 | 724 |
| 1.50 | 713 |
| 1.58 | 688 |
| 1.67 | 692 |
| 1.75 | 674 |
| 1.83 | 690 |
| 1.92 | 678 |
| 2.00 | 651 |
| 2.08 | 636 |
| 2.17 | 641 |
| 2.25 | 630 |
| 2.33 | 619 |
| 2.42 | 643 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 609 |
| 2.58 | 608 |
| 2.67 | 593 |
| 2.75 | 590 |
| 2.83 | 586 |
| 2.92 | 578 |
| 3.00 | 568 |
| 3.08 | 552 |
| 3.17 | 566 |
| 3.25 | 566 |
| 3.33 | 571 |
| 3.42 | 551 |
| 3.50 | 549 |
| 3.58 | 545 |
| 3.67 | 534 |
| 3.75 | 547 |
| 3.83 | 548 |
| 3.92 | 528 |
| 4.00 | 539 |
| 4.08 | 546 |
| 4.17 | 523 |
| 4.25 | 539 |
| 4.33 | 523 |
| 4.42 | 519 |
| 4.50 | 523 |
| 4.58 | 515 |
| 4.67 | 502 |
| 4.75 | 530 |
| 4.83 | 519 |
| 4.92 | 524 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 300 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 537 |
| 5.08 | 545 |
| 5.17 | 511 |
| 5.25 | 524 |
| 5.33 | 522 |
| 5.42 | 501 |
| 5.50 | 503 |
| 5.58 | 517 |
| 5.67 | 505 |
| 5.75 | 513 |
| 5.83 | 507 |
| 5.92 | 518 |
| 6.00 | 498 |
| 6.08 | 514 |
| 6.17 | 494 |
| 6.25 | 499 |
| 6.33 | 506 |
| 6.42 | 498 |
| 6.50 | 516 |
| 6.58 | 520 |
| 6.67 | 505 |
| 6.75 | 513 |
| 6.83 | 504 |
| 6.92 | 513 |
| 7.00 | 502 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,005 |
| 0.08 | 939 |
| 0.17 | 934 |
| 0.25 | 944 |
| 0.33 | 947 |
| 0.42 | 919 |
| 0.50 | 913 |
| 0.58 | 899 |
| 0.67 | 903 |
| 0.75 | 910 |
| 0.83 | 891 |
| 0.92 | 863 |
| 1.00 | 823 |
| 1.08 | 805 |
| 1.17 | 771 |
| 1.25 | 748 |
| 1.33 | 712 |
| 1.42 | 703 |
| 1.50 | 706 |
| 1.58 | 671 |
| 1.67 | 648 |
| 1.75 | 638 |
| 1.83 | 623 |
| 1.92 | 599 |
| 2.00 | 595 |
| 2.08 | 582 |
| 2.17 | 593 |
| 2.25 | 569 |
| 2.33 | 570 |
| 2.42 | 566 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 535 |
| 2.58 | 530 |
| 2.67 | 531 |
| 2.75 | 524 |
| 2.83 | 512 |
| 2.92 | 519 |
| 3.00 | 502 |
| 3.08 | 511 |
| 3.17 | 495 |
| 3.25 | 502 |
| 3.33 | 513 |
| 3.42 | 482 |
| 3.50 | 501 |
| 3.58 | 505 |
| 3.67 | 486 |
| 3.75 | 477 |
| 3.83 | 478 |
| 3.92 | 489 |
| 4.00 | 476 |
| 4.08 | 471 |
| 4.17 | 464 |
| 4.25 | 455 |
| 4.33 | 461 |
| 4.42 | 465 |
| 4.50 | 457 |
| 4.58 | 448 |
| 4.67 | 449 |
| 4.75 | 439 |
| 4.83 | 442 |
| 4.92 | 428 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 350 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 441 |
| 5.08 | 435 |
| 5.17 | 409 |
| 5.25 | 441 |
| 5.33 | 425 |
| 5.42 | 423 |
| 5.50 | 432 |
| 5.58 | 436 |
| 5.67 | 420 |
| 5.75 | 423 |
| 5.83 | 423 |
| 5.92 | 421 |
| 6.00 | 411 |
| 6.08 | 408 |
| 6.17 | 414 |
| 6.25 | 414 |
| 6.33 | 405 |
| 6.42 | 412 |
| 6.50 | 425 |
| 6.58 | 419 |
| 6.67 | 409 |
| 6.75 | 400 |
| 6.83 | 409 |
| 6.92 | 386 |
| 7.00 | 392 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,002 |
| 0.08 | 925 |
| 0.17 | 910 |
| 0.25 | 843 |
| 0.33 | 805 |
| 0.42 | 772 |
| 0.50 | 742 |
| 0.58 | 744 |
| 0.67 | 713 |
| 0.75 | 701 |
| 0.83 | 671 |
| 0.92 | 657 |
| 1.00 | 644 |
| 1.08 | 614 |
| 1.17 | 608 |
| 1.25 | 573 |
| 1.33 | 566 |
| 1.42 | 566 |
| 1.50 | 545 |
| 1.58 | 533 |
| 1.67 | 520 |
| 1.75 | 495 |
| 1.83 | 509 |
| 1.92 | 492 |
| 2.00 | 477 |
| 2.08 | 452 |
| 2.17 | 474 |
| 2.25 | 448 |
| 2.33 | 467 |
| 2.42 | 455 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 459 |
| 2.58 | 441 |
| 2.67 | 445 |
| 2.75 | 435 |
| 2.83 | 449 |
| 2.92 | 446 |
| 3.00 | 434 |
| 3.08 | 443 |
| 3.17 | 446 |
| 3.25 | 447 |
| 3.33 | 457 |
| 3.42 | 453 |
| 3.50 | 469 |
| 3.58 | 449 |
| 3.67 | 446 |
| 3.75 | 447 |
| 3.83 | 438 |
| 3.92 | 446 |
| 4.00 | 441 |
| 4.08 | 433 |
| 4.17 | 429 |
| 4.25 | 450 |
| 4.33 | 433 |
| 4.42 | 437 |
| 4.50 | 438 |
| 4.58 | 433 |
| 4.67 | 429 |
| 4.75 | 431 |
| 4.83 | 425 |
| 4.92 | 427 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 400 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 431 |
| 5.08 | 412 |
| 5.17 | 427 |
| 5.25 | 424 |
| 5.33 | 416 |
| 5.42 | 415 |
| 5.50 | 411 |
| 5.58 | 416 |
| 5.67 | 419 |
| 5.75 | 430 |
| 5.83 | 416 |
| 5.92 | 426 |
| 6.00 | 417 |
| 6.08 | 412 |
| 6.17 | 415 |
| 6.25 | 424 |
| 6.33 | 416 |
| 6.42 | 423 |
| 6.50 | 402 |
| 6.58 | 421 |
| 6.67 | 436 |
| 6.75 | 417 |
| 6.83 | 426 |
| 6.92 | 417 |
| 7.00 | 416 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 980 |
| 0.08 | 938 |
| 0.17 | 937 |
| 0.25 | 881 |
| 0.33 | 877 |
| 0.42 | 846 |
| 0.50 | 831 |
| 0.58 | 809 |
| 0.67 | 808 |
| 0.75 | 754 |
| 0.83 | 759 |
| 0.92 | 717 |
| 1.00 | 683 |
| 1.08 | 654 |
| 1.17 | 626 |
| 1.25 | 608 |
| 1.33 | 604 |
| 1.42 | 584 |
| 1.50 | 590 |
| 1.58 | 571 |
| 1.67 | 556 |
| 1.75 | 560 |
| 1.83 | 559 |
| 1.92 | 538 |
| 2.00 | 535 |
| 2.08 | 542 |
| 2.17 | 532 |
| 2.25 | 516 |
| 2.33 | 534 |
| 2.42 | 520 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 516 |
| 2.58 | 511 |
| 2.67 | 510 |
| 2.75 | 515 |
| 2.83 | 509 |
| 2.92 | 504 |
| 3.00 | 513 |
| 3.08 | 513 |
| 3.17 | 500 |
| 3.25 | 496 |
| 3.33 | 485 |
| 3.42 | 482 |
| 3.50 | 475 |
| 3.58 | 479 |
| 3.67 | 455 |
| 3.75 | 469 |
| 3.83 | 467 |
| 3.92 | 465 |
| 4.00 | 453 |
| 4.08 | 461 |
| 4.17 | 458 |
| 4.25 | 454 |
| 4.33 | 448 |
| 4.42 | 446 |
| 4.50 | 452 |
| 4.58 | 459 |
| 4.67 | 446 |
| 4.75 | 444 |
| 4.83 | 442 |
| 4.92 | 435 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 450 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 454 |
| 5.08 | 447 |
| 5.17 | 436 |
| 5.25 | 436 |
| 5.33 | 448 |
| 5.42 | 426 |
| 5.50 | 439 |
| 5.58 | 433 |
| 5.67 | 439 |
| 5.75 | 427 |
| 5.83 | 435 |
| 5.92 | 451 |
| 6.00 | 420 |
| 6.08 | 441 |
| 6.17 | 428 |
| 6.25 | 446 |
| 6.33 | 432 |
| 6.42 | 432 |
| 6.50 | 435 |
| 6.58 | 428 |
| 6.67 | 449 |
| 6.75 | 434 |
| 6.83 | 436 |
| 6.92 | 436 |
| 7.00 | 410 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,005 |
| 0.08 | 939 |
| 0.17 | 919 |
| 0.25 | 879 |
| 0.33 | 863 |
| 0.42 | 841 |
| 0.50 | 795 |
| 0.58 | 799 |
| 0.67 | 774 |
| 0.75 | 734 |
| 0.83 | 739 |
| 0.92 | 708 |
| 1.00 | 699 |
| 1.08 | 689 |
| 1.17 | 684 |
| 1.25 | 657 |
| 1.33 | 644 |
| 1.42 | 646 |
| 1.50 | 649 |
| 1.58 | 614 |
| 1.67 | 596 |
| 1.75 | 591 |
| 1.83 | 583 |
| 1.92 | 580 |
| 2.00 | 550 |
| 2.08 | 564 |
| 2.17 | 532 |
| 2.25 | 531 |
| 2.33 | 520 |
| 2.42 | 524 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 521 |
| 2.58 | 509 |
| 2.67 | 499 |
| 2.75 | 490 |
| 2.83 | 486 |
| 2.92 | 483 |
| 3.00 | 482 |
| 3.08 | 479 |
| 3.17 | 470 |
| 3.25 | 488 |
| 3.33 | 479 |
| 3.42 | 466 |
| 3.50 | 490 |
| 3.58 | 456 |
| 3.67 | 478 |
| 3.75 | 480 |
| 3.83 | 486 |
| 3.92 | 455 |
| 4.00 | 466 |
| 4.08 | 473 |
| 4.17 | 466 |
| 4.25 | 467 |
| 4.33 | 466 |
| 4.42 | 452 |
| 4.50 | 454 |
| 4.58 | 454 |
| 4.67 | 445 |
| 4.75 | 450 |
| 4.83 | 463 |
| 4.92 | 453 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 500 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 449 |
| 5.08 | 449 |
| 5.17 | 437 |
| 5.25 | 449 |
| 5.33 | 451 |
| 5.42 | 449 |
| 5.50 | 445 |
| 5.58 | 432 |
| 5.67 | 439 |
| 5.75 | 426 |
| 5.83 | 443 |
| 5.92 | 432 |
| 6.00 | 435 |
| 6.08 | 437 |
| 6.17 | 432 |
| 6.25 | 423 |
| 6.33 | 440 |
| 6.42 | 436 |
| 6.50 | 438 |
| 6.58 | 436 |
| 6.67 | 435 |
| 6.75 | 421 |
| 6.83 | 436 |
| 6.92 | 435 |
| 7.00 | 423 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,006 |
| 0.08 | 966 |
| 0.17 | 923 |
| 0.25 | 863 |
| 0.33 | 868 |
| 0.42 | 828 |
| 0.50 | 796 |
| 0.58 | 790 |
| 0.67 | 771 |
| 0.75 | 735 |
| 0.83 | 740 |
| 0.92 | 702 |
| 1.00 | 689 |
| 1.08 | 665 |
| 1.17 | 657 |
| 1.25 | 630 |
| 1.33 | 613 |
| 1.42 | 636 |
| 1.50 | 615 |
| 1.58 | 608 |
| 1.67 | 608 |
| 1.75 | 607 |
| 1.83 | 587 |
| 1.92 | 596 |
| 2.00 | 562 |
| 2.08 | 575 |
| 2.17 | 565 |
| 2.25 | 559 |
| 2.33 | 571 |
| 2.42 | 553 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 546 |
| 2.58 | 536 |
| 2.67 | 530 |
| 2.75 | 514 |
| 2.83 | 528 |
| 2.92 | 510 |
| 3.00 | 511 |
| 3.08 | 515 |
| 3.17 | 513 |
| 3.25 | 509 |
| 3.33 | 503 |
| 3.42 | 500 |
| 3.50 | 514 |
| 3.58 | 521 |
| 3.67 | 518 |
| 3.75 | 496 |
| 3.83 | 493 |
| 3.92 | 483 |
| 4.00 | 477 |
| 4.08 | 486 |
| 4.17 | 477 |
| 4.25 | 481 |
| 4.33 | 485 |
| 4.42 | 482 |
| 4.50 | 473 |
| 4.58 | 486 |
| 4.67 | 460 |
| 4.75 | 469 |
| 4.83 | 461 |
| 4.92 | 479 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 550 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 474 |
| 5.08 | 465 |
| 5.17 | 462 |
| 5.25 | 454 |
| 5.33 | 459 |
| 5.42 | 452 |
| 5.50 | 455 |
| 5.58 | 459 |
| 5.67 | 458 |
| 5.75 | 458 |
| 5.83 | 452 |
| 5.92 | 454 |
| 6.00 | 450 |
| 6.08 | 447 |
| 6.17 | 474 |
| 6.25 | 472 |
| 6.33 | 454 |
| 6.42 | 447 |
| 6.50 | 443 |
| 6.58 | 455 |
| 6.67 | 463 |
| 6.75 | 460 |
| 6.83 | 447 |
| 6.92 | 439 |
| 7.00 | 435 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 1,100 |
| 0.08 | 1,090 |
| 0.17 | 1,081 |
| 0.25 | 1,010 |
| 0.33 | 955 |
| 0.42 | 917 |
| 0.50 | 882 |
| 0.58 | 883 |
| 0.67 | 850 |
| 0.75 | 830 |
| 0.83 | 814 |
| 0.92 | 801 |
| 1.00 | 760 |
| 1.08 | 763 |
| 1.17 | 719 |
| 1.25 | 680 |
| 1.33 | 680 |
| 1.42 | 662 |
| 1.50 | 635 |
| 1.58 | 611 |
| 1.67 | 603 |
| 1.75 | 604 |
| 1.83 | 591 |
| 1.92 | 596 |
| 2.00 | 575 |
| 2.08 | 570 |
| 2.17 | 545 |
| 2.25 | 549 |
| 2.33 | 563 |
| 2.42 | 550 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 545 |
| 2.58 | 546 |
| 2.67 | 521 |
| 2.75 | 524 |
| 2.83 | 521 |
| 2.92 | 532 |
| 3.00 | 548 |
| 3.08 | 528 |
| 3.17 | 535 |
| 3.25 | 513 |
| 3.33 | 521 |
| 3.42 | 532 |
| 3.50 | 529 |
| 3.58 | 521 |
| 3.67 | 529 |
| 3.75 | 526 |
| 3.83 | 514 |
| 3.92 | 496 |
| 4.00 | 508 |
| 4.08 | 490 |
| 4.17 | 500 |
| 4.25 | 500 |
| 4.33 | 491 |
| 4.42 | 494 |
| 4.50 | 490 |
| 4.58 | 495 |
| 4.67 | 496 |
| 4.75 | 501 |
| 4.83 | 501 |
| 4.92 | 474 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 600 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 486 |
| 5.08 | 515 |
| 5.17 | 471 |
| 5.25 | 490 |
| 5.33 | 476 |
| 5.42 | 493 |
| 5.50 | 475 |
| 5.58 | 480 |
| 5.67 | 475 |
| 5.75 | 480 |
| 5.83 | 480 |
| 5.92 | 477 |
| 6.00 | 473 |
| 6.08 | 470 |
| 6.17 | 472 |
| 6.25 | 474 |
| 6.33 | 470 |
| 6.42 | 463 |
| 6.50 | 437 |
| 6.58 | 459 |
| 6.67 | 459 |
| 6.75 | 451 |
| 6.83 | 446 |
| 6.92 | 441 |
| 7.00 | 440 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 958 |
| 0.08 | 898 |
| 0.17 | 832 |
| 0.25 | 805 |
| 0.33 | 761 |
| 0.42 | 743 |
| 0.50 | 735 |
| 0.58 | 716 |
| 0.67 | 697 |
| 0.75 | 671 |
| 0.83 | 662 |
| 0.92 | 656 |
| 1.00 | 619 |
| 1.08 | 620 |
| 1.17 | 595 |
| 1.25 | 591 |
| 1.33 | 584 |
| 1.42 | 560 |
| 1.50 | 570 |
| 1.58 | 551 |
| 1.67 | 544 |
| 1.75 | 543 |
| 1.83 | 557 |
| 1.92 | 523 |
| 2.00 | 523 |
| 2.08 | 524 |
| 2.17 | 484 |
| 2.25 | 486 |
| 2.33 | 492 |
| 2.42 | 488 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 486 |
| 2.58 | 481 |
| 2.67 | 469 |
| 2.75 | 460 |
| 2.83 | 473 |
| 2.92 | 462 |
| 3.00 | 473 |
| 3.08 | 453 |
| 3.17 | 441 |
| 3.25 | 442 |
| 3.33 | 456 |
| 3.42 | 443 |
| 3.50 | 427 |
| 3.58 | 433 |
| 3.67 | 434 |
| 3.75 | 429 |
| 3.83 | 442 |
| 3.92 | 436 |
| 4.00 | 436 |
| 4.08 | 420 |
| 4.17 | 422 |
| 4.25 | 420 |
| 4.33 | 419 |
| 4.42 | 422 |
| 4.50 | 427 |
| 4.58 | 422 |
| 4.67 | 424 |
| 4.75 | 419 |
| 4.83 | 436 |
| 4.92 | 410 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 650 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 425 |
| 5.08 | 415 |
| 5.17 | 420 |
| 5.25 | 419 |
| 5.33 | 418 |
| 5.42 | 412 |
| 5.50 | 400 |
| 5.58 | 421 |
| 5.67 | 415 |
| 5.75 | 412 |
| 5.83 | 403 |
| 5.92 | 400 |
| 6.00 | 402 |
| 6.08 | 399 |
| 6.17 | 398 |
| 6.25 | 405 |
| 6.33 | 412 |
| 6.42 | 397 |
| 6.50 | 385 |
| 6.58 | 392 |
| 6.67 | 401 |
| 6.75 | 399 |
| 6.83 | 392 |
| 6.92 | 389 |
| 7.00 | 391 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 0.00 | 873 |
| 0.08 | 813 |
| 0.17 | 789 |
| 0.25 | 758 |
| 0.33 | 718 |
| 0.42 | 721 |
| 0.50 | 698 |
| 0.58 | 678 |
| 0.67 | 647 |
| 0.75 | 644 |
| 0.83 | 602 |
| 0.92 | 615 |
| 1.00 | 577 |
| 1.08 | 552 |
| 1.17 | 534 |
| 1.25 | 530 |
| 1.33 | 521 |
| 1.42 | 506 |
| 1.50 | 492 |
| 1.58 | 472 |
| 1.67 | 464 |
| 1.75 | 469 |
| 1.83 | 473 |
| 1.92 | 469 |
| 2.00 | 449 |
| 2.08 | 457 |
| 2.17 | 473 |
| 2.25 | 451 |
| 2.33 | 447 |
| 2.42 | 465 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 2.50 | 455 |
| 2.58 | 432 |
| 2.67 | 451 |
| 2.75 | 451 |
| 2.83 | 445 |
| 2.92 | 434 |
| 3.00 | 442 |
| 3.08 | 446 |
| 3.17 | 437 |
| 3.25 | 440 |
| 3.33 | 458 |
| 3.42 | 440 |
| 3.50 | 424 |
| 3.58 | 434 |
| 3.67 | 430 |
| 3.75 | 433 |
| 3.83 | 441 |
| 3.92 | 424 |
| 4.00 | 432 |
| 4.08 | 407 |
| 4.17 | 419 |
| 4.25 | 428 |
| 4.33 | 419 |
| 4.42 | 429 |
| 4.50 | 421 |
| 4.58 | 427 |
| 4.67 | 425 |
| 4.75 | 418 |
| 4.83 | 415 |
| 4.92 | 417 |

| อัตราการสลายตัวของก๊าซ $CO_2$ ห้องนอน B (เปิดช่องขนาด 700 ตร.ซม.) | |
|---|---|
| Time (min) | $CO_2$ |
| 5.00 | 417 |
| 5.08 | 410 |
| 5.17 | 412 |
| 5.25 | 417 |
| 5.33 | 410 |
| 5.42 | 413 |
| 5.50 | 418 |
| 5.58 | 411 |
| 5.67 | 411 |
| 5.75 | 411 |
| 5.83 | 408 |
| 5.92 | 391 |
| 6.00 | 421 |
| 6.08 | 406 |
| 6.17 | 403 |
| 6.25 | 413 |
| 6.33 | 403 |
| 6.42 | 407 |
| 6.50 | 411 |
| 6.58 | 419 |
| 6.67 | 407 |
| 6.75 | 411 |
| 6.83 | 399 |
| 6.92 | 407 |
| 7.00 | 399 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | วาสิตา วานิชศิริโรจน์ |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 15 กุมภาพันธ์ 2538 |
| **สถานที่เกิด** | กรุงเทพ |
| **วุฒิการศึกษา** | ปริญญาตรี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | 62/31 สุขุมวิท13 คลองเตยเหนือ วัฒนา กทม. 10110 |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University