



การใช้ปล่องระบายอากาศในบ้านแถวเพื่อเพิ่มสภาวะสบาย



โดย

นางสาวทรงศน์วรรณ ทองอ่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ

ปริญญาามหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การใช้ปล่องระบายอากาศในบ้านแถวเพื่อเพิ่มสภาวะสบาย



โดย
นางสาวทรงศน์วรรณ ทองอ่อน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ

ปริญญาามหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

APPLICATION OF VERTICAL SHAFT IN TOWNHOUSE TO THERMAL COMFORT



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Architecture (Architecture)
Department of Architecture
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2017
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	การใช้ปล่องระบายอากาศในบ้านแถวเพื่อเพิ่มสภาวะสบาย
โดย	ทรรศน์วรรณ ทองอ่อน
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจักษ์สาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธดา พุฒิปาโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจักษ์สาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. มาลินี ศรีสุวรรณ)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภัทรนันท์ ทักขนนท์)

58054210 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม)

ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

คำสำคัญ : ปล่องระบายอากาศทางตั้ง, อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ, สภาวะสบาย, บ้านแถว, ภูมิอากาศร้อนชื้น

นางสาว วรรณวรรณา ทองอ่อน: การใช้ปล่องระบายอากาศในบ้านแถวเพื่อเพิ่มสภาวะสบาย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อาจารย์ ดร. พิมลศิริ ประจางสาร

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง เพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และลดอุณหภูมิภายใน รวมถึงเพิ่มช่วงเวลาสภาวะน่าสบายภายในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ของบ้านแถวซึ่งพบได้ทั่วไปในกรุงเทพฯ โดยการนำอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในเวลากลางวันเข้ามาสู่ภายในอาคาร ทั้งนี้ ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศได้แก่ ความสูง พื้นที่หน้าตัด รูปแบบช่องเปิด และองศาของหลังคาของปล่องระบายอากาศ เพื่อนำเสนอรูปแบบของปล่องระบายอากาศทางตั้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากการศึกษพบว่าปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ปล่องที่มีความสูง 3.00 เมตร จากระดับหลังคา พื้นที่หน้าตัด 0.6x0.6 ตารางเมตร รูปแบบช่องเปิดบานเกล็ด และองศาของหลังคาปล่องลาดเอียง 30 องศา โดยปล่องระบายอากาศดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศของห้องนอนทั้ง 2 ชั้น และสามารถลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟโดยเฉลี่ยในห้องนอนชั้น 2 จาก 29.7 – 30.2 องศาเซลเซียส เป็น 29.5 – 30.2 องศาเซลเซียส และในห้องนอนชั้น 3 จาก 30.4 – 31.7 องศาเซลเซียส เป็น 29.9 – 31.0 องศาเซลเซียส และช่วยเพิ่มช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์สบายของห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในช่วงฤดูร้อน ในช่วงเวลาการใช้งาน (21:00 - 09:00 น.) ได้ 61.54% และ 35.16% ต่อสัปดาห์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ไม่มีปล่องระบายอากาศ

58054210 : Major (Architecture)

Keyword : vertical shaft, air change rate, thermal comfort, townhouses, tropic

MISS TUSSAWAN THONG-ON : APPLICATION OF VERTICAL SHAFT IN TOWNHOUSE TO THERMAL COMFORT THESIS ADVISOR : PIMOLSIRI PRAJONGSAN, Ph.D.

This study focuses on the use of a vertical ventilation shaft to increase indoor ventilation rate, which will decrease the indoor operative temperature and, as a result, will increase the number of comfort hours in the bedrooms on the 2nd floor and the 3rd floor of a typical townhouse in Bangkok. It was hypothesized that the vertical ventilation shaft will induce the rooms air exchange rate and bring in the colder air from the outside at night which will decrease the indoor operative temperature. Key configurations of the vertical ventilation shaft were studied i.e. the height, the width and the length of the shaft, the type of the shaft opening along with the declining degree of the shaft roof to discover the optimum configurations that could provide the most effectiveness to increase occupants comfort. According to the results, the optimal configurations of the vertical ventilation shaft involve; 3m height from the roof, 0.6x0.6 m² width and length with a grille as a shaft opening and 30° declining shaft roof. Such vertical ventilation shaft was found able to increase the indoor air exchange rate in the 2nd floor and the 3rd floor bedrooms and able to reduce the operative temperature of the 2nd floor and the 3rd floor bedroom from 29.7°C – 30.2°C to 29.5°C – 30.2°C and from 30.4°C – 31.7°C to 29.9°C – 31.0°C, respectively. This results in the increasing of thermal comfort hour per week during summer night in the 2nd and 3rd for bedroom up to 61.54% and 35.16% , respectively comparing to the reference rooms without a vertical shaft under the same situations.

กิตติกรรมประกาศ

ขอบขอบคุณ อาจารย์ ดร.พิมลศิริ ประจงสาร และ ร.ศ.มาลินี ศรีสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ซึ่งช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอบขอบเพื่อน ๆ ร่วมรุ่นทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ทรรศน์วรรณ ทองอ่อน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
3. สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
4. ขอบเขตการศึกษา.....	3
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
1. ความร้อนในอาคาร.....	4
1.1 การถ่ายเทความร้อนในอาคาร (Heat transfer).....	4
1.2 การป้องกันความร้อนในอาคาร (Heat protection).....	6
1.2.1 จากภายนอกอาคาร (heat avoidance).....	6
2. ความสบาย (Thermal comfort).....	8
2.1 อิทธิพลการเกิดสภาวะสบายในอาคาร.....	9
2.2 ขอบเขตความสบายทางอุณหภูมิ (Thermal comfort zone).....	11
2.3 สภาวะสบายในการปรับตัว (Adaptive comfort).....	12

2.4 สภาวะสบายสำหรับห้องนอน.....	14
3. ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร	15
3.1 การออกแบบเพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศธรรมชาติในอาคาร.....	16
3.2 คุณภาพอากาศในอาคาร (air quality)	16
3.3 ปล่องระบายอากาศทางตั้ง (vertical shaft).....	17
บทที่ 3 ขั้นตอนในการศึกษา	21
1. ขั้นตอนการศึกษาปัญหาการระบายอากาศภายในบ้านแถว	21
2. ขั้นตอนในการเลือกและตรวจสอบเครื่องมือในการศึกษา	24
3. ขั้นตอนในการทดลองสมมุติฐานเบื้องต้น	28
4. ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศทางตั้ง.....	35
5. ผลกระทบต่อสภาวะสบาย	37
บทที่ 4 ผลการศึกษา	39
1. ผลการทดลองเบื้องต้น	39
2. ผลการศึกษาอิทธิพลตัวแปรของปล่องระบายอากาศทางตั้ง	41
2.1 อิทธิพลของความสูงปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 1).....	41
2.2 อิทธิพลหน้าตัดของปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 2).....	45
2.3 อิทธิพลรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 3).....	48
2.4 อิทธิพลขององศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 4).....	52
2.5 การประเมินประสิทธิภาพปล่องระบายอากาศทางตั้งเพื่อเพิ่มสภาวะสบาย.....	56
บทที่ 5 อภิปรายผล.....	72
ประสิทธิภาพการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ลดอุณหภูมิอากาศ และการเพิ่มสภาวะสบาย ภายในบ้านแถว.....	72
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูล.....	77

ภาคผนวก ก.....78

ภาคผนวก ข.....86

ภาคผนวก ค.....87

ภาคผนวก ง.....89

ภาคผนวก จ.....90

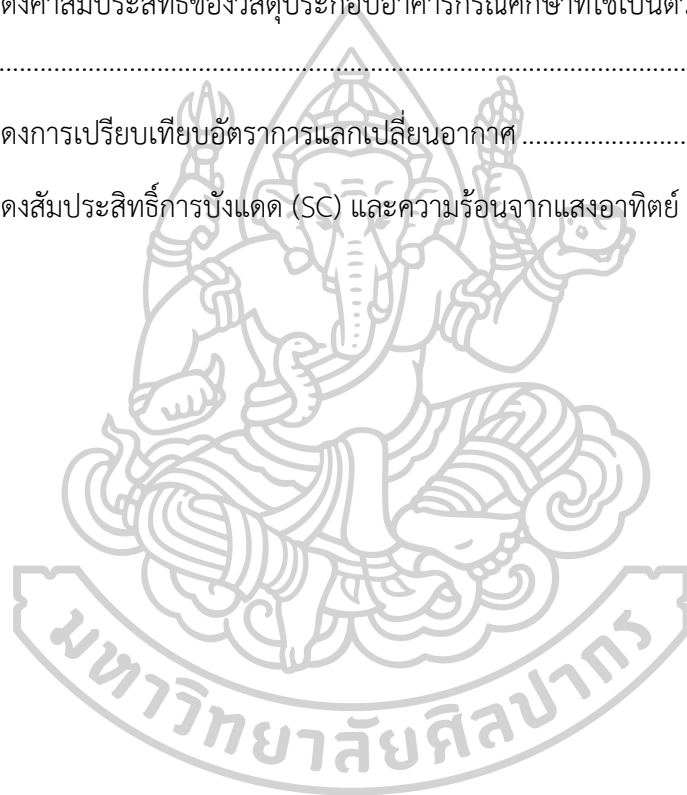
ภาคผนวก ฉ.....91

ประวัติผู้เขียน.....92



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงความเร็วลมต่อความรู้สึกสบาย.....	11
ตารางที่ 2 แสดงอิทธิพลของความเร็วลมต่อการเพิ่มขึ้นของขอบเขตสภาวะสบาย.....	14
ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรควบคุมเริ่มต้นการทดลองสมมุติฐานเบื้องต้น.....	32
ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุประกอบอาคารกรณีศึกษาที่ใช้เป็นตัวแปรควบคุมในการศึกษา.....	33
ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ.....	39
ตารางที่ 7 แสดงสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) และความร้อนจากแสงอาทิตย์ (SHCG).....	89



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงการถ่ายเทความร้อนในอาคารด้วยการพาความร้อนจากการแลกเปลี่ยนอากาศ (ventilation) และการรั่วไหลของอากาศ (infiltration).....	5
ภาพที่ 2 แสดงการเคลื่อนที่ของอากาศโดยวิธีธรรมชาติจากอิทธิพลของความแตกต่างของอุณหภูมิ (ซ้าย) และอิทธิพลจากความแตกต่างของความกดอากาศ (ขวา).....	5
ภาพที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการสูญเสียความร้อนของร่างกายต่ออุณหภูมิภายในอาคาร	9
ภาพที่ 4 แสดงกราฟการประเมินสภาวะสบายในรูปแบบการปรับตัว	13
ภาพที่ 5 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของช่วงเวลากลางคืนที่ส่งผลต่อการนอนหลับ	14
ภาพที่ 6 แสดงลักษณะของการนอนหลับในรูปแบบปกติ.....	15
ภาพที่ 7 แสดงเทคนิคการออกแบบ solar chimney.....	18
ภาพที่ 8 แสดงการเคลื่อนที่อากาศจากความแตกต่างของอุณหภูมิ	18
ภาพที่ 9 แสดงค่าระยะห่างระหว่างช่องเปิดสองช่อง (H).....	19
ภาพที่ 10 แสดงการเคลื่อนที่อากาศจากความแตกต่างของความกดอากาศ.....	20
ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างแบบบ้านแถวขนาดสามชั้นครึ่งโดยสถาปนิก Buensalido (บน) และตัวอย่างแบบบ้านขนาดสามชั้นโดยบริษัท พราว พร็อพเพอร์ตี้ ดีเวลลอปเม้นท์ (ล่าง)	22
ภาพที่ 12 แสดงที่ว่างและระยะรันของบ้านแถวตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522.....	23
ภาพที่ 13 แสดงสภาพแวดล้อมของอาคารทดสอบเครื่องมือรัศมี 200 เมตร.....	24
ภาพที่ 14 แสดงตำแหน่งและรูปด้านอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม DesignBuilder version 3.4.0.041	25
ภาพที่ 15 แสดงแบบผังพื้นที่ 1 (ซ้าย), ชั้น 2 (กลาง) และแบบขยายห้อง (ขวา) ที่ใช้ในการตรวจสอบเครื่องมือ.....	26
ภาพที่ 16 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนของอุณหภูมิภายในต่ออุณหภูมิภายนอกอาคาร.....	27
ภาพที่ 17 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนของความเร็วมวลภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร และเส้นความคลาดเคลื่อนที่ + - 5%.....	27

ภาพที่ 18 แสดงทัศนียภาพจำลองภายนอก โครงการบ้านชฎาดา	29
ภาพที่ 19 แสดงทัศนียภาพจำลองภายใน โครงการบ้านชฎาดา.....	29
ภาพที่ 20 แสดงผังพื้นที่ใช้สอยในอาคารชั้น 1 (ล่าง) ชั้น 2 (กลาง) และชั้น 3 (บน).....	30
ภาพที่ 21 แสดงรูปแบบตัวแปรปล่องระบายอากาศทางตั้งที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้น.....	31
ภาพที่ 22 แสดงรูปแบบตัวแปรปล่องระบายอากาศทางตั้งที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้น.....	32
ภาพที่ 23 แสดงผังบริเวณโครงการและตำแหน่งอาคารกรณีศึกษา (บน) รูปตัดอาคารกรณีศึกษา (ล่าง).....	34
ภาพที่ 24 แสดงตัวแปรทดลอง ขนาดความสูง ขนาดหน้าตัด องศาความลาดเอียงของหลังคา และรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง.....	36
ภาพที่ 25 แสดงขนาดพื้นที่และประเภทช่องเปิด ประตู - หน้าต่าง ของห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3...37	
ภาพที่ 26 แสดงขั้นตอนการทดลองงานวิจัย.....	38
ภาพที่ 27 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารเฉลี่ยต่อสัปดาห์ ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) ในกรณีศึกษาที่มีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศ	40
ภาพที่ 28 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิโอเปอเรทีฟภายในอาคารเฉลี่ยต่อสัปดาห์ ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) ในกรณีศึกษาที่มีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศ 40	
ภาพที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลของระดับความสูงของปล่องระบายอากาศทางตั้ง	41
ภาพที่ 30 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2.....	42
ภาพที่ 31 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3.....	43
ภาพที่ 32 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3.....	44
ภาพที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลของขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง	45
ภาพที่ 34 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2.....	46
ภาพที่ 35 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3.....	46

ภาพที่ 36 แสดงอิทธิพลตัวแปรหน้าตัดปล่องระบายอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ที่มีต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (เวลา 21.00น.-09.00น.)	48
ภาพที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลของรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง.....	49
ภาพที่ 38 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2.....	50
ภาพที่ 39 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3.....	50
ภาพที่ 40 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3.....	52
ภาพที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลขององศาความลาดเอียงของปล่องระบายอากาศทางตั้ง	53
ภาพที่ 42 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2.....	54
ภาพที่ 43 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3.....	54
ภาพที่ 44 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3.....	56
ภาพที่ 45 แสดงลักษณะปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุด.....	57
ภาพที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 3-9 พ.ค. (summer typical week).....	58
ภาพที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 3-9 พ.ค. (summer typical week).....	58
ภาพที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟของห้องนอนชั้น 2 ในช่วง summer typical week.....	59
ภาพที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของอุณหภูมิโอเปอเรทีฟของห้องนอนชั้น 3.....	59
ภาพที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day).....	60

ภาพที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิเปอเรทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day).....	60
ภาพที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) และ 4 พ.ค. (summer typical day).....	61
ภาพที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิโอเปอเรทีฟโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) และ 4 พ.ค. (summer typical day).....	61
ภาพที่ 54 แสดงผังพื้นห้องนอนชั้น 2 และรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)	62
ภาพที่ 55 แสดงผังพื้นห้องนอนชั้น 2 และรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)	63
ภาพที่ 56 แสดงผังพื้นห้องนอนชั้น 3 และรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)	63
ภาพที่ 57 แสดงผังพื้นห้องนอนชั้น 3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day).....	64
ภาพที่ 58 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 รูปแบบการดำเนินการของปล่องระบายอากาศทางตั้ง (CFD) ของอาคารกรณีศึกษา ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)..	64
ภาพที่ 59 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 รูปแบบการดำเนินการของปล่องระบายอากาศทางตั้ง (CFD) ของอาคารกรณีศึกษา ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)..	65
ภาพที่ 60 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 2 รูปแบบการเคลื่อนที่ที่อากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับห้องนอนชั้น 2 ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค.	65
ภาพที่ 61 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 3 รูปแบบการเคลื่อนที่ที่อากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับห้องนอนชั้น 3 ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค.	66
ภาพที่ 62 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟของอาคารกรณีมีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศภายในห้องนอนชั้น 2.....	67
ภาพที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟของอาคารกรณีมีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศภายในห้องนอนชั้น 3.....	68

ภาพที่ 64 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 2.....	69
ภาพที่ 65 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 2 กรณีมี ปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week.....	69
ภาพที่ 66 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 3 กรณีไม่ มีปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week.....	70
ภาพที่ 67 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 3 กรณีมี ปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week.....	70
ภาพที่ 68 แสดงการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของสภาวะสบายในห้องนอนชั้น 2 และ ชั้น 3 กรณีไม่มี ปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week.....	71
ภาพที่ 69 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกรณีอาคารไม่มีปล่องระบายอากาศและ มีปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.	73
ภาพที่ 70 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิโอเปอเรทีฟกรณีอาคารไม่มีปล่องระบายอากาศและมีปล่อง ระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.	74
ภาพที่ 71 แสดงการเปรียบเทียบสภาวะสบายในอาคารไม่มีปล่องระบายอากาศและมีปล่องระบาย อากาศในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. (typical summer week)....	74
ภาพที่ 72 แสดงสถิติทิศทางลมฤดูร้อนที่พบมากที่สุด และความเร็วมุมที่พบมากที่สุด โดยเฉลี่ยรายวัน ของสถานีกรุงเทพมหานครเขตดอนเมือง ในช่วงเดือน ก.พ. - พ.ค. (ปี 2556 - 2560).....	78
ภาพที่ 73 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยรายเดือนของปี 2011 - 2017 โดยแผนภูมิ wind rose.....	79
ภาพที่ 74 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 กพ. - 15 พ.ค.) ของปี 2012 โดยแผนภูมิ wind rose.....	80
ภาพที่ 75 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของปี 2013 โดยแผนภูมิ wind rose.....	81
ภาพที่ 76 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของปี 2014 โดยแผนภูมิ wind rose.....	82
ภาพที่ 77 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.0น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของ ปี 2015 โดยแผนภูมิ wind rose	83

ภาพที่ 78 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของปี 2016 โดยแผนภูมิ wind rose.....	84
ภาพที่ 79 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.0น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของ ปี 2017 โดยแผนภูมิ wind rose	85
ภาพที่ 80 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารในห้องนอนชั้น 2 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.....	86
ภาพที่ 81 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารในห้องนอนชั้น 3 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 4 พ.ค.....	86
ภาพที่ 82 แสดงศักยภาพทางความร้อน (heat gain) ภายในห้องนอนชั้น 2 (บน) และ ห้องนอนชั้น 3 (ล่าง) เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.....	87
ภาพที่ 83 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อน (temperature and heat gain) ในห้องนอนชั้น 2 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 4 พ.ค.....	87
ภาพที่ 84 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อน (temperature and heat gain) ในห้องนอนชั้น 3 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 4 พ.ค.....	88
ภาพที่ 85 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อนสัมพัทธ์รายชั่วโมง ปี 2013 - 2017 เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 15 ก.พ. - 15 พ.ค. (summer).....	90
ภาพที่ 86 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อนรวมรายชั่วโมง ปี 2013 - 2017 เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 15 ก.พ. - 15 พ.ค. (summer).....	91

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติระบุว่า การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อโครงสร้างครัวเรือนของไทยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การเพิ่มขึ้นของครอบครัวเดี่ยวอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2553) ทำให้การขยายตัวของจำนวนบ้านแถวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้พระราชบัญญัติควบคุมอาคารระบุว่า บ้านแถวเป็นที่อยู่อาศัยมีลักษณะอาคารติดกันต่อเนื่องไม่เกิน 40 เมตร โครงสร้างอาคารต่อเนื่องทำให้ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศด้านข้างของอาคารแต่ละหลัง โดยระยะร่นแนวเขตที่ดินกับตัวอาคารกำหนดให้ระยะด้านหน้าร่นจากเขตที่ดินอย่างน้อย 3 เมตร เว้นระยะด้านหลังเพื่อเป็นทางหนีไฟอย่างน้อย 2 เมตร และกำหนดความกว้างอาคารไม่น้อยกว่า 4 เมตร ลึกไม่เกิน 24 เมตร จึงทำให้บ้านแถวมีลักษณะทรงแคบและยาว ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้ช่องเปิดได้เพียงแค่อ่างสองด้าน คือด้านหน้าและด้านหลังอาคารเท่านั้น ทำให้เกิดการซ้อนกันของพื้นที่ใช้สอย และพื้นที่ใช้สอยแต่ละพื้นที่มีช่องเปิดเพื่อระบายอากาศได้เพียงทางเดียว (single-sided ventilation) ทำให้อาคารบ้านแถวมีประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ต่ำ และส่งผลให้เกิดสภาวะไม่สบายสำหรับผู้ใช้อาคารจากความร้อนที่สะสมในเวลากลางวันผ่านกรอบอาคาร

การศึกษานี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งสำหรับบ้านแถว เพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ และลดความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ซึ่งจะเป็นการเพิ่มช่วงเวลาสภาวะสบายให้กับผู้ใช้อาคาร และลดภาระการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศได้ อีกทั้งเป็นแนวทางในการออกแบบบ้านแถวเพื่อลดการใช้พลังงาน ทั้งนี้ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ปล่องระบายอากาศเป็นกลยุทธ์ที่อาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศผ่านพื้นที่ที่มีอุณหภูมิและความดันอากาศต่างกัน ทำให้ปล่องระบายอากาศทางตั้งสามารถเหนี่ยวนำให้อากาศเคลื่อนตัวได้แม้ในเวลาที่มีความเร็วลมภายนอกต่ำ หรืออยู่ในทิศทางที่ไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ ทั้งนี้ ลักษณะการทำงานของปล่องทางตั้งมีความต่างจากลักษณะของปล่องพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งอาศัยหลักการ stack effect จากความร้อนจากดวงอาทิตย์เพื่อให้เกิดความต่างของอุณหภูมิเป็นหลัก (Givoni B., 1994) ซึ่งจากทฤษฎีพบว่า ประสิทธิภาพการเพิ่มอัตราการระบายอากาศในอาคารด้วยการใช้ปล่องแสงอาทิตย์ (solar chimney) เป็นเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง โดยการออกแบบการใช้วัสดุหรือรูปแบบปล่องแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความแตกต่างของอุณหภูมิภายในปล่องระบายอากาศ สำหรับประเทศไทยนั้นอาจมีข้อจำกัดหลายประการด้วยกัน เช่น จาก

ความแตกต่างอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืนที่น้อยทำให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศได้เฉพาะบางพื้นที่หรือบางเดือน ทำให้กระแสอากาศที่เกิดขึ้นต่ำไม่เพียงพอต่อการระบายอากาศ (ดร. ชำนาญ บุญญาพุทธิพงษ์, 2546) และในพื้นที่สภาพอากาศร้อนชื้น จะมีช่วงความเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ (Δt) น้อยกว่าในสภาพอากาศแห้งแล้ง จึงทำให้กลไกการทำงานของปล่องแสงอาทิตย์ (solar chimney) ไม่เหมาะสมสำหรับสภาพอากาศประเทศไทย (Norbert Lechner, 2015)

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง (vertical shaft) เพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศมีหลายผลงาน เช่น งานวิจัยแนวทางการออกแบบการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งเพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร ในประเทศไทยสำหรับบ้านเดี่ยวสองชั้นในพื้นที่โล่ง ซึ่งอาศัยความเร็วลมภายนอกเป็นตัวกำหนดการออกแบบปล่องระบายอากาศ โดยได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรระหว่างความสูงของปล่อง และความสัมพันธ์ของช่องเปิด พบว่า ปล่องระบายอากาศทางตั้งสามารถเพิ่มอัตราการระบายในอาคารมากขึ้นเฉลี่ย เพิ่มขึ้น 25% ต่อเดือน (ชลธิษฐ์ ทัศนศิลป์กุล, 2546) มีการศึกษาประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศทางตั้งสำหรับบ้านพักอาศัยประเทศมาเลเซีย โดยศึกษาศักยภาพความเร็วลมภายนอกอาคารเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบ ซึ่งศึกษาการใช้รูปแบบหลังคาปล่องระบายอากาศด้วยทฤษฎีเวนทูรี (venturi) เพื่อสร้างค่าความต่างของแรงกดอากาศต่อผิวสัมผัสช่วยให้เกิดการแรงขับเคลื่อนของอากาศ และเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งการศึกษาดังกล่าวเป็นการสร้างอาคารจริงบนพื้นที่ไม่มีสิ่งกีดขวางโดยออกแบบอาคารให้มีช่องเปิดขนาดใหญ่ให้เกิดความสัมพันธ์กับทิศทางและความเร็วลมที่เกิดขึ้นและพบว่า สามารถเพิ่มอัตราการระบายในอาคารมากขึ้น เฉลี่ยต่อเดือนจากเดิม 7 ac/h เป็น 57 ac/h (Lim Chin Haw, Omidreza Saadatian, M.Y.Sulaiman, Sohif Mat, & Kamaruzzaman Sopian, 2012)

จากทบทวนวรรณกรรมเบื้องต้นพบว่า การใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งเป็นวิธีการที่สามารถช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารได้ การศึกษานี้จึงมีสมมติฐานว่า การใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งจะสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศด้วยวิธีทางธรรมชาติให้กับอาคารบ้านแถวได้ และหากเลือกใช้ในช่วงเวลาที่เหมาะสมจะสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร รวมทั้ง เพิ่มช่วงเวลาที่เกิดสภาวะสบาย และลดช่วงเวลาในการใช้เครื่องปรับอากาศลงได้

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.1 ศึกษาแนวทางการลดอุณหภูมิอากาศและเพิ่มสภาวะสบายในอาคารบ้านแถวจากการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยวิธีธรรมชาติในช่วงเวลากลางคืน

2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ ลดอุณหภูมิและเพิ่มช่วงเวลาที่เกิดสภาวะสบายภายในอาคาร

3. สมมุติฐานของการศึกษา

การศึกษานี้มีจุดประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติผ่านอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร เพื่อเพิ่มคุณภาพอากาศที่ดี และเพิ่มช่วงเวลาสภาวะสบายในบ้านแถว โดยมีสมมุติฐานการศึกษาคือ การใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง (vertical shaft) จะสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารบ้านแถว และถ้าใช้ในระยะเวลาที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในของบ้านแถว และเพิ่มช่วงเวลาที่เกิดสภาวะสบายได้

4. ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาการใช้ปล่องระบายอากาศในบ้านแถวเพื่อเพิ่มสภาวะสบาย จากกรณีของบ้านแถวทั่วไป โดยใช้บ้านแถวในเขตกรุงเทพมหานครฯ และเขตปริมณฑล ขนาดกลาง 3 ชั้น ที่พบเห็นทั่วไป และได้คัดเลือกโครงการบ้านชฎาตาให้เป็นอาคารกรณีศึกษา เพื่อนำเสนอรูปแบบของปล่องระบายอากาศทางตั้งที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยได้เปรียบเทียบผลการทดลองอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพื่อประเมินสภาวะสบายในอาคารแบบการปรับตัว adaptive model (ASHRAE standards 55, 2013) ทั้งนี้ ในการศึกษาจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองผลเป็นหลัก เนื่องจากเป็นการทดลองที่ต้องมีตัวแปรจำนวนมาก โดยจะเลือกใช้โปรแกรม Designbuilder version 3.4.0.041 เป็นเครื่องมือหลักในการศึกษา

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 ทำให้ทราบถึงแนวทางการออกแบบอาคารนำมาซึ่งการลดอุณหภูมิและเพิ่มสภาวะสบายสำหรับบ้านแถวโดยวิธีการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง

5.2 ทำให้ทราบถึงลักษณะที่ดีของปล่องระบายอากาศทางตั้งที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคาร

5.3 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพ ข้อจำกัด และความเหมาะสมในการใช้งานของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากวัตถุประสงค์การศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวกับความร้อน และสภาวะสบายในอาคาร และทฤษฎีที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร เพื่อประโยชน์ในการลดการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

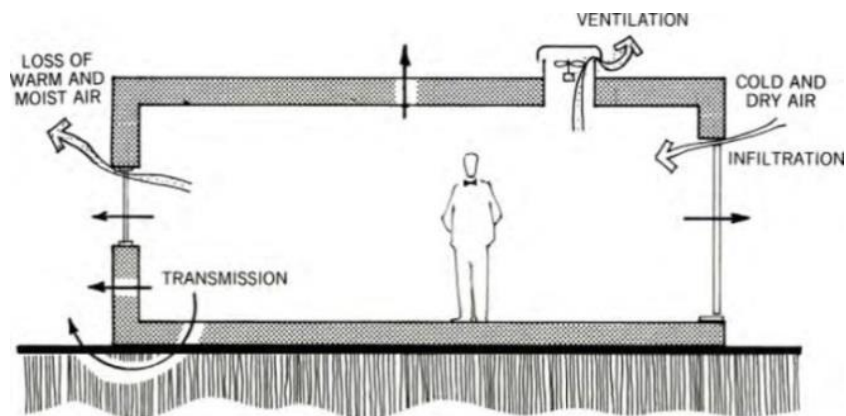
1. ความร้อนในอาคาร

ความร้อนในอาคารคือ สภาวะหนึ่งทางความร้อนด้านอุณหภูมิในอาคาร ซึ่งเกิดขึ้นโดยปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่ส่งผลต่อความรู้สึกของมนุษย์ ดังนั้น ผลกระทบทางความร้อนในอาคารมีผลกระทบต่อความรู้สึกต่อสภาวะสบายด้วยเช่นกัน และหากความร้อนในอาคารที่สูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมกับร่างกายมนุษย์ ที่เรียกว่า “สภาวะไม่สบาย”

1.1 การถ่ายเทความร้อนในอาคาร (Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนในอาคาร (Heat transfer) คือ การส่งผ่านความร้อนในรูปแบบต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้น ซึ่งพฤติกรรมทางความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ และจะหยุดการถ่ายเทความร้อนต่อเมื่อมีอุณหภูมิเท่ากัน โดยสามารถเกิดขึ้นได้ 3 วิธี ได้แก่ 1.) การนำความร้อน (conduction) 2.) การพาความร้อน (convection) 3.) การแผ่รังสีความร้อน (radiation)

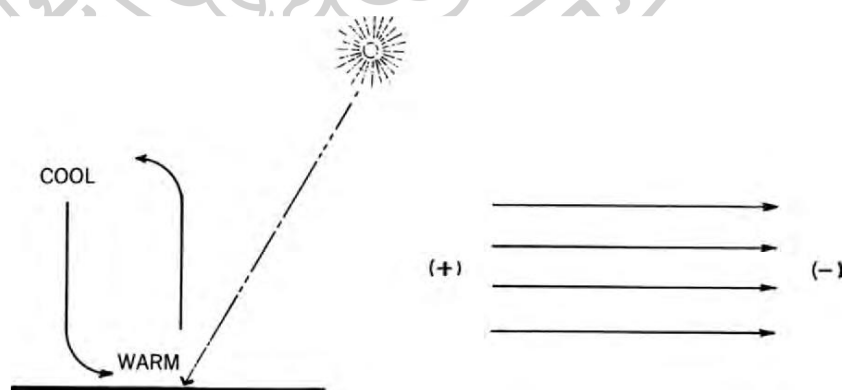
ในกรณีศึกษานี้กล่าวถึงการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการพาความร้อนเข้าสู่อาคาร มีหลักการทำงานโดยมีอากาศเป็นตัวกลางขับเคลื่อนให้เกิดการพาความร้อน ซึ่งเกิดขึ้นได้ 2 กรณี ได้แก่ 1.) การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านช่องเปิดต่างๆ (ventilation) เช่น ประตู หน้าต่าง เป็นต้น 2.) การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านทางรูรั่วซึมจากรอยแตกของอาคาร (infiltration) เช่น รอยรั่วบริเวณส่วนประกอบวงกบประตู-หน้าต่าง หรือบริเวณที่วัสดุอาคารปิดไม่แนบสนิท เป็นต้น (Norbert Lechner, 2015) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการพาความร้อนได้ทั้งสองกรณีในอาคารเดียวกัน และพบว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารเกิดจากการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารที่ดี ทั้งนี้ ควรมีการรั่วไหลของอากาศ (infiltration) น้อย และผู้ใช้อาคารสามารถควบคุมการแลกเปลี่ยนอากาศผ่านช่องเปิดที่ออกแบบไว้ได้ (ดูภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงการถ่ายเทความร้อนในอาคารด้วยการพาความร้อนจากการแลกเปลี่ยนอากาศ (ventilation) และการรั่วไหลของอากาศ (intiltration)

ที่มา : Norbert Lechner, 2015

ในกรณีศึกษานี้กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของอากาศในรูปแบบธรรมชาติ ventilation ซึ่งเกิดจากการออกแบบเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับอาคาร และเพื่อให้อาคารมีคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ดีส่งผลต่อสภาวะสบายสำหรับผู้ใช้งานอาคาร ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศเกิดขึ้นจากอิทธิพลของความแตกต่างของความกดอากาศ (pressure difference) โดยจะเคลื่อนที่จากพื้นที่ความกดอากาศสูงไปยังพื้นที่ความกดอากาศต่ำ (wind effect) และอิทธิพลจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature difference) โดยเคลื่อนที่จากพื้นที่อุณหภูมิสูงไปยังพื้นที่อุณหภูมิต่ำ (stack effect) (ดูภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แสดงการเคลื่อนที่ของอากาศโดยวิธีธรรมชาติจากอิทธิพลของความแตกต่างของอุณหภูมิ (ซ้าย) และอิทธิพลจากความแตกต่างของความกดอากาศ (ขวา)

ที่มา : Norbert Lechner, 2015

1.2 การป้องกันความร้อนในอาคาร (Heat protection)

การป้องกันความร้อนในอาคารคือ การออกแบบอาคารเพื่อจุดประสงค์การสร้างสภาวะแวดล้อมภายในอาคารให้เกิดความสบายเชิงอุณหภูมิ (thermal comfort) โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติในการออกแบบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร ได้แก่ 1.) การหลีกเลี่ยงการรับความร้อนจากภายนอกอาคาร heat avoidance 2.) การป้องกันความร้อนด้วยระบบธรรมชาติ passive cooling 3.) การป้องกันความร้อนด้วยเครื่องจักรกล mechanical equipment ซึ่งในการศึกษาได้กล่าวถึงการป้องกันความร้อนในอาคารร่วมกับระบบธรรมชาติเป็นหลักสำคัญในการออกแบบ (Norbert Lechner, 2015)

1.2.1 จากภายนอกอาคาร (heat avoidance)

การหลีกเลี่ยงความร้อนจากภายนอกอาคารคือ การออกแบบการจัดวางตำแหน่งอาคารให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมบริบทภายนอกอาคารเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคารน้อยที่สุด การถ่ายเทความร้อนภายนอกอาคาร เช่น การสะท้อนความร้อนจากอาคารข้างเคียง การหันทิศทางอาคารที่มีแสงแดดจ้า เป็นต้น

1.2.2 การป้องกันความร้อนในอาคารด้วยระบบธรรมชาติ (passive cooling)

การป้องกันความร้อนด้วยระบบธรรมชาติคือ ระบบการลดอุณหภูมิในอาคารโดยอาศัยอิทธิพลทางธรรมชาติเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกหรือความชื้นในอากาศต่ำกว่าภายในอาคาร และใช้การเพิ่มความเร็วลมผ่านบริเวณการใช้งานหลักของอาคารทำให้เกิดระบบการแลกเปลี่ยนอากาศ (comfort ventilation) นำไปสู่สภาวะสบายต่อผู้ใช้อาคารมากขึ้นโดยไม่พึ่งระบบจักรกล และช่วยลดการใช้พลังงานในอาคาร กระบวนการป้องกันความร้อนในอาคารด้วยระบบธรรมชาติเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบดังนี้

1.2.2.1 การลดความร้อนในอาคารด้วยการแลกเปลี่ยนอากาศ

การดำเนินการการแลกเปลี่ยนอากาศเกิดขึ้น 2 กรณี ได้แก่ 1.) comfort ventilation คือ การเพิ่มความเร็วลมปะทะผิวหนังเพื่อให้เกิดสภาวะสบายต่อผู้ใช้อาคาร นอกจากช่วยลดอุณหภูมิในอาคารแล้ว ยังช่วยลดหรือระบายความชื้นที่สะสมภายในอาคารด้วยโดยมีประสิทธิภาพเกิดจากความเร็วลม และทิศทางการกระจายลม 2.) night-flush cooling คือ การใช้อากาศเย็นจากภายนอกเข้ามาหมุนเวียนเพื่อลดอุณหภูมิในอาคาร วิธีการนี้มักถูกใช้ในเวลากลางคืนซึ่งอุณหภูมิภายนอกต่ำกว่าภายในอาคาร โดยจะต้องปิดช่องเปิดในเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงทั้งเพื่อลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้ามาเพิ่ม และเพื่อเก็บรักษาอากาศเย็นภายในอาคารให้อยู่ได้นานโดยมีประสิทธิภาพเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืน

1.2.2.2 การลดอุณหภูมิในอาคารด้วยการสะท้อนความเย็น

การดำเนินการสะท้อนความเย็นเกิดขึ้น 2 กรณี ได้แก่ การสะท้อนความเย็นทางตรง เช่น หลังคาที่เย็นลงจากการแผ่รังสีความร้อนไปสู่ชั้นบรรยากาศภายนอกในเวลากลางคืน และการสะท้อนความเย็นทางอ้อม เช่น การใช้ความเย็นจากภายนอกทำให้ของเหลวเย็นตัวลงเพื่อใช้ลดความร้อนในอาคาร

1.2.2.3 การลดอุณหภูมิในอาคารด้วยการระเหยของไอน้ำ

การดำเนินการระเหยของไอน้ำเกิดขึ้น 2 กรณี ได้แก่ การระเหยไอน้ำทางตรง เช่น การสัมผัสไอน้ำโดยตรงด้วยผิวหนัง และการระเหยไอน้ำทางอ้อม เช่น การขับเหงื่อของร่างกายต่อสภาพอากาศภายในอาคาร ซึ่งมีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนจากอาคาร

1.2.2.4 การลดอุณหภูมิในอาคารด้วยการกักเก็บความร้อนพื้นดิน

การดำเนินการกักเก็บความร้อนพื้นใต้ดิน โดยพื้นใต้ดินมีอุณหภูมิเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศ สามารถรักษาอุณหภูมิคงที่ของผิวเปลือกอาคารให้อยู่ในอุณหภูมิที่ต้องการหรือลดอุณหภูมิของวัตถุที่ออกแบบให้อยู่ใต้ดิน

1.2.2.5 การลดอุณหภูมิในอาคารด้วยการลดความชื้น

การลดความชื้นเกิดขึ้น โดยการลดการนำเอาความร้อนแฝง (latent heat) ซึ่งมากับความชื้นออกจากภายในอาคาร

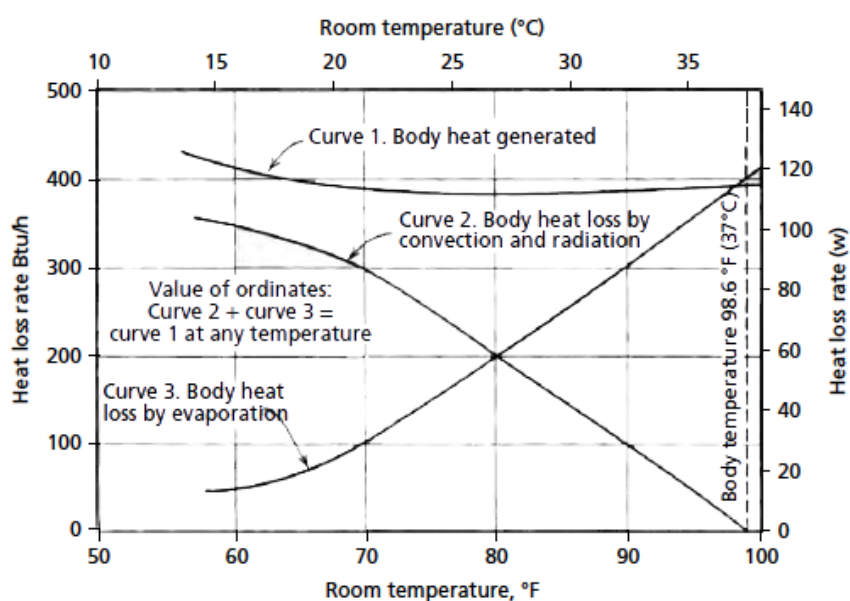
จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ในสภาพพื้นที่อากาศเขตร้อนชื้น (hot and humid climate) การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเป็นกลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยการออกแบบกรอบอาคารควรเป็นวัสดุเบาเพื่อลดการสะสมความร้อนภายในวัสดุ และส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงขึ้น การออกแบบช่องเปิดสองทางขนาดใหญ่เพื่อให้เกิด cross ventilation และการใช้อุปกรณ์ในการบังแดดเพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคารโดยตรง

2. ความสบาย (Thermal comfort)

ความสบายหรือสภาวะน่าสบายคือ การรับรู้คุณภาพอากาศโดยความพึงพอใจของผู้อยู่อาศัย ซึ่งมีไม่เท่ากันในแต่ละคน การดำรงชีวิตของมนุษย์คือ กลไกทางชีวภาพ โดยร่างกายเกิดการเผาผลาญอาหารเป็นเชื้อเพลิง และส่งผลให้เกิดการสร้างความร้อน โดยร่างกายมนุษย์มีการผลิตความร้อนที่แตกต่างกันตามกิจกรรมที่เกิดขึ้น กระบวนการที่เกิดขึ้นสามารถระบายความร้อนทิ้งโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันการเกิดความร้อนที่สูงเกินไป เรียกว่า การระเหย (evaporation) การควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกายไว้คงที่ 37 องศาเซลเซียส (thermal neutrality) เพื่อให้เกิดสมดุลของความร้อนในร่างกายเกิดขึ้นได้หลายส่วน เช่น ระบบกล้ามเนื้อ ระบบเลือด เป็นต้น และส่วนเบี่ยงเบนเล็กน้อยที่สร้างสภาวะความตึงเครียดให้กับร่างกายอย่างรุนแรง เพียงแค่ 10–15 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 20 องศาเซลเซียสอาจเสียชีวิตได้ การสูญเสียความร้อน (Heat loss) ในร่างกายมนุษย์เกิดจากการหายใจออก และความชื้นจากปอด แต่ความร้อนส่วนใหญ่ของร่างกายจะผ่านผิวหนังในสภาพแวดล้อมภายนอก (Norbert Lechner, 2015)

ทั้งนี้ นอกจากปัจจัยสภาพอากาศเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดความพอใจที่แตกต่างกันแล้ว ยังขึ้นกับปัจจัยของตัวบุคคล เช่น มวลไขมัน กล้ามเนื้อ อายุ เพศ เป็นต้น ASHRAE 55 – 2013 ได้ให้ความหมายว่า สภาวะสบายทางอุณหภูมิ (thermal comfort) คือสภาวะที่มนุษย์รู้สึกว่าการสภาพแวดล้อมสามารถให้ความรู้สึกไม่ร้อนหรือหนาวเกินไป ซึ่งเกิดขึ้นไม่เท่ากันในแต่ละบุคคล และไม่คงที่ โดยเกิดขึ้นจากกลไกการปรับตัวของร่างกายมนุษย์ต่ออุณหภูมิในอาคาร (ASHRAE standards 55, 2013)

ประสิทธิภาพของกลไกการสูญเสียความร้อนของร่างกายจะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิห้อง (ambient temperature) ซึ่งในสภาพแวดล้อมอากาศประกอบไปด้วยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เกิดขึ้นได้ 3 วิธี ได้แก่ 1.) การพาความร้อน เช่น การเคลื่อนที่อากาศเย็นสัมผัสผิวกาย 2.) การแผ่รังสีความร้อน เช่น การนั่งไถ่หน้าต่างที่อากาศภายนอกเย็นกว่าภายในอาคาร 3.) การระเหย เช่น การระเหยของเหงื่อ เป็นต้น ดังนั้น การสูญเสียความร้อนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น และความชื้นสัมพัทธ์ลดลง ตัวอย่างเช่น การสูญเสียความร้อนจากการระเหยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบ (ambient temperature) ในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยเส้นโค้งที่ 1 (curve 1) แสดงถึงความร้อนที่เกิดภายในร่างกายของมนุษย์ ซึ่งรวมถึงการสูญเสียความร้อนด้วยการพาความร้อน แผ่รังสีความร้อน เส้นโค้ง 2 (curve 2) และการระเหย เส้นโค้ง 3 (curve 3) (Norbert Lechner, 2015) (ดูภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการสูญเสียความร้อนของร่างกายต่ออุณหภูมิภายในอาคาร
ที่มา : Norbert Lechner, 2015

2.1 อิทธิพลการเกิดสภาวะสบายในอาคาร

นอกจากการระบายความร้อนของร่างกายมนุษย์ทำให้เกิดสภาวะสบาย (thermal comfort) ยังเกี่ยวข้องถึงสภาพแวดล้อมที่ทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อน โดยมีผลกระทบจาก 4 ปัจจัย ได้แก่ 1.) อุณหภูมิอากาศ (air temperature) 2.) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative

humidity) 3.) การเคลื่อนที่อากาศ (air movement) 4.) อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.2 อุณหภูมิอากาศ (air temperature)

อุณหภูมิอากาศคือ มาตรการส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อนในสภาพพื้นที่มีอากาศถ่ายเทตามธรรมชาติ ซึ่งวัดได้จากเครื่องมือเทอร์โมมิเตอร์ อุณหภูมิอากาศจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงจากระดับน้ำทะเล ถ้ามีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น อุณหภูมิของอากาศจะมีค่าลดลง และเป็นตัวกำหนดอัตราการสูญเสียความร้อนในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะสบายต่อผู้ใช้งานในอาคาร โดยจากการพาความร้อนเป็นส่วนใหญ่

2.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีในอากาศหรือร้อยละของอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอาคารกับมวลของไอน้ำอิ่มตัว ความชื้นสัมพัทธ์ในอาคารเกิดขึ้นจากการระเหยของความชื้นบนผิวผนัง โดยส่วนใหญ่จะกระทำโดยความชื้นสัมพัทธ์ อากาศร้อนสามารถดูดซับความชื้นจากผิวผนังได้อย่างรวดเร็ว และเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว (evaporation) และส่งผลให้ร่างกายเย็นขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกสบาย แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศจะปกคลุมไปด้วยไอน้ำอากาศเย็นจะหยุดการระเหย และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ไอน้ำจะเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ

2.1.3 การเคลื่อนที่อากาศ (air movement)

การเคลื่อนที่ของอากาศคือ การไหลของอากาศด้วยความเร็ว หรือเรียกว่า "ลม" มีหน่วยความเร็วเป็นเมตรต่อวินาที การเคลื่อนที่ของอากาศมีผลมาจากอัตราการสูญเสียความร้อน โดยการพาความร้อน และการระเหยความร้อน ความเร็วลม (velocity) มีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อการสูญเสียความร้อน และทำให้เกิดสภาวะสบายต่อผู้ใช้อาคาร (ดูตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงความเร็วลมต่อความรู้สึกสบาย

ความเร็วลม (m/s)	การลดอุณหภูมิ (°C)	ประโยชน์ด้านความสบาย
0.05	0.00	อากาศนิ่ง รู้สึกไม่สบาย
0.02	1.10	เริ่มสังเกตได้ รู้สึกสบาย
0.25	1.30	สังเกตได้
0.40	1.90	สังเกตได้ชัด
0.80	2.80	สังเกตได้ชัดมากขึ้น ยอมรับได้ในบางพื้นที่
1.00	3.30	ขีดจำกัดสำหรับพื้นที่ปรับอากาศ เหมาะสมสำหรับสภาพอากาศร้อนแห้งแล้ง
2.00	3.90	ใช้ระบายความร้อนในสภาพอากาศร้อนชื้น
4.50	5.00	ลมพัดโชยในพื้นที่กลางแจ้ง

ที่มา : Norbert Lechner, 2015

2.1.4 อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ย (mean radiant temperature)

อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยคือ อุณหภูมิของพื้นผิวที่อยู่โดยรอบที่สมมุติขึ้นซึ่งผู้อยู่อาศัยจะแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีเท่ากับในสภาพแวดล้อมจริง อุณหภูมิแผ่รังสีเฉลี่ยมีผลจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งรังสีคลื่นสั้น (short wave) และคลื่นยาว (long wave) ของรังสีตกกระทบและรังสีกระจายส่งผลกระทบต่อความรู้สึกสบายในอาคาร โดยมีปัจจัยสำคัญ ได้แก่ 1.) ระยะห่างจากบุคคลต่อระนาบต่างๆ 2.) ลักษณะท่าทาง 3.) มุมระหว่างพื้นผิวโดยรอบ

2.2 ขอบเขตความสบายทางอุณหภูมิ (Thermal comfort zone)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า หลักการประเมินขอบเขตสภาวะสบายในอาคาร ที่ได้รับความนิยม 2 วิธี ได้แก่ 1.) Fanger's PMV model (Predicted mean vote) โดยเป็นการประเมินในลักษณะการจำลอง ออกมาในรูปแบบของระดับความสบาย 7 ระดับ ได้แก่ -3 (cold), -2 (cool), -1 (slightly cool), 0 (neutral), +1 (slightly warm) +2 (warm), +3 (hot) ซึ่งสภาวะสบายที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายนอกในระดับความรู้สึกพอใจ 90 เปอร์เซ็นต์คือค่า PMV -0.5 ถึง +0.5 และสภาวะสบายสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายนอกระดับความรู้สึกพอใจ 80 เปอร์เซ็นต์คือค่า PMV -1 ถึง +1 2.) Adaptive

thermal comfort models โดยเป็นการประเมินซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยการปรับตัวอื่นๆ เช่น ความคุ้นชิน (acclimatization) และความคาดหวัง (expectation) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า อุณหภูมิของอากาศภายในอาคารสูงสุดที่อยู่ในสภาวะสบายได้ประมาณ 30.5-31 องศาเซลเซียส โดยที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิประมาณ 33 องศาเซลเซียส ซึ่งในการศึกษานี้กล่าวถึงการประเมินขอบเขตสภาวะสบายแบบปรับตัว Adaptive thermal comfort models (ASHRAE standards 55, 2013) (ดูภาพที่ 4)

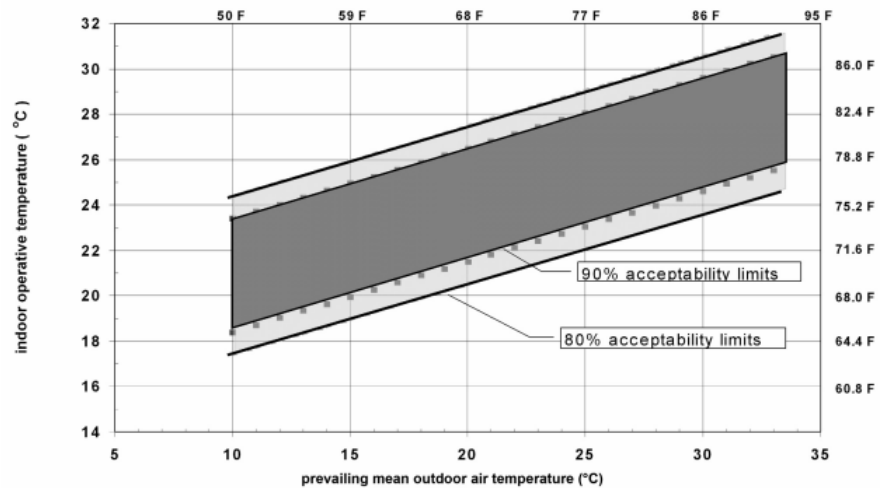
2.3 สภาวะสบายในการปรับตัว (Adaptive comfort)

สภาวะสบายในการปรับตัว (Adaptive comfort) ได้แก่ ทางความชื้น อุณหภูมิ และลม โดยสภาวะสบายในการปรับตัวเกิดขึ้นได้ 3 วิธีการ ได้แก่ 1.) การปรับเปลี่ยนพฤติกรรม เช่น วิธีการเปิด-ปิดหน้าต่างหรือพัดลม การปรับม่านบังแสง การเติมน้ำ-อาบน้ำ เป็นต้น 2.) การปรับตัวทางสรีระวิทยา เช่น อาการขนลุกบนผิวหนัง รวมถึง การควบคุมปริมาณการระเหยของไอระเหยจากผิวหนัง ซึ่งอัตราการระเหยที่สูงเรียกว่า การขับเหงื่อ เป็นต้น 3.) การปรับตัวทางจิตวิทยา เช่น ความคุ้นชิน (acclimatization) และความคาดหวัง (expectation) เป็นต้น

2.3.1 ข้อกำหนดการใช้การประเมินสภาวะสบายในรูปแบบการปรับตัว

ข้อกำหนดการใช้การประเมินสภาวะสบายในรูปแบบการปรับตัว (Adaptive model) ได้แก่ พื้นที่ที่ไม่มีระบบการทำความเย็น หรือการเพิ่มความร้อน ด้วยเครื่องจักรกล ผู้อาศัยมีอัตราการเผาผลาญ ตั้งแต่ 1.0-1.3 met. รวมถึงสามารถปรับเปลี่ยนการสวมใส่เสื้อผ้าให้เหมาะสมกับสภาพทางความร้อนของอุณหภูมิ ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร ซึ่งมีค่าฉนวนของเสื้อผ้าอย่างน้อย 0.5 - 1.0 clo. โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายนอกอาคารสูงกว่า 10 °C และต่ำกว่า 33.5 °C ผลการประเมินสภาวะสบายในรูปแบบปรับตัวตามข้อกำหนดแบ่งขอบเขตสภาวะสบายออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1.) ความพึงพอใจในระดับ 90 เปอร์เซนต์ 2.) ความพึงพอใจในระดับต่ำกว่า 80 เปอร์เซนต์ ในสมการที่ 1

ข้อมูลที่น่าไปใช้จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ได้แก่ ข้อมูลข้อมูลค่า prevailing mean outdoor air temperature ($t_{pma(out)}$) ต้องเป็นข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิตไม่ต่ำกว่า 7 วัน และไม่เกิน 30 วัน ซึ่งเป็นอุณหภูมิกระเปราะแห้ง ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จะต้องเป็นค่าเฉลี่ยในระยะเวลาเท่าๆกัน ตลอด 24 ชั่วโมง โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาของสถานที่ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง หรือกรณีที่ไม่มีข้อมูล อนุญาตให้ใช้ข้อมูลที่ถูกเผยแพร่สาธารณะ ส่วนบุคคล หรือสภาพอากาศปีที่ผ่านมานอกจากนี้ ความเร็วลม (air speed) ที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ สามารถเพิ่มขอบเขตสภาวะสบายมากขึ้น ในสมการที่ 2 (ดูตารางที่ 2)



ภาพที่ 4 แสดงกราฟการประเมินสภาวะสบายในรูปแบบการปรับตัว (Adaptive model)

ที่มา : ASHREA, 55 - 2013

$$80\% (\text{°C}) = 0.31 \overline{t_{pma} (out)} + 21.3 \quad (\text{สมการที่ 1})$$

$$80\% (\text{°C}) = 0.31 \overline{t_{pma} (out)} + 14.3 \quad (\text{สมการที่ 2})$$

โดยที่ $t_{pma} (out)$

ตารางที่ 2 แสดงอิทธิพลของความเร็วลมต่อการเพิ่มขึ้นของขอบเขตสภาวะสบาย

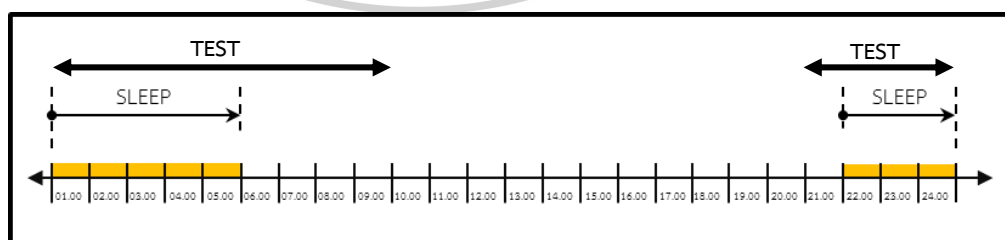
ความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	ความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)	ความเร็วลมเฉลี่ย (V_a)
0.6 m/s	0.9 m/s	1.2 m/s
1.2°C	1.8°C	2.2°C

ที่มา: ASHREA, 55 - 2013

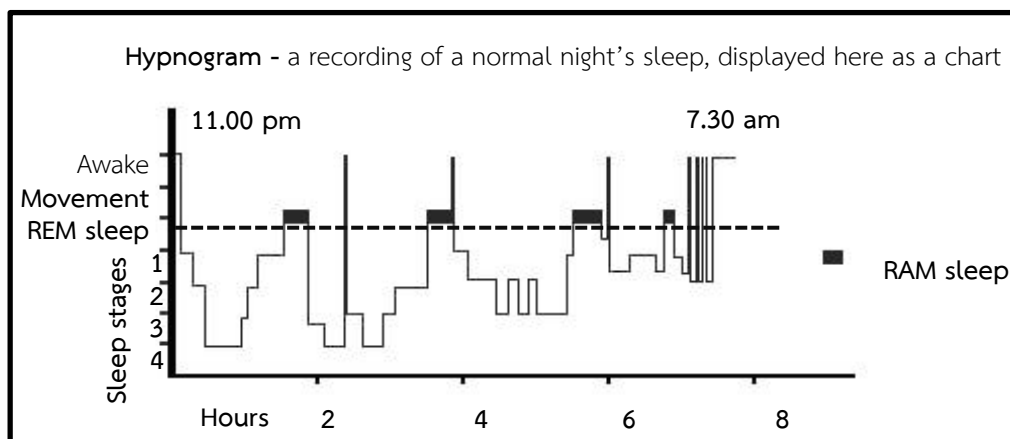
2.4 สภาวะสบายสำหรับห้องนอน

สภาวะสบายสำหรับห้องนอนมีปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะผ่อนคลายหรือสภาวะสบายก่อนการนอนหลับในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ความร้อน แสงที่สว่าง และการรับรู้กลิ่นต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากคุณภาพอากาศภายนอกอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาที่ดีที่สุดของการนอนหลับสบายในเวลากลางคืนคือ ตั้งแต่เวลา 22.00น. – 06.00น. ของวันถัดไป รวมเวลา 8 ชั่วโมง (Yohei Sagawara, 2558) ซึ่งจะทำการนอนหลับนั้นเข้าสู่ในระดับที่ 4 คือการนอนหลับลึก (deep sleep) ได้มากขึ้น หมายความว่า ร่างกายจะได้รับการซ่อมแซมตัวเองอย่างเต็มที่ในช่วงสภาวะแวดล้อมที่รู้สึกสบาย (ดูภาพที่ 5, 6)

ในกรณีศึกษานี้ ได้กำหนดให้ช่วงเวลากาการใช้งานกิจกรรมของห้องนอนในบ้านพักอาศัยเป็นช่วงเวลาในการทดลองงานวิจัยคือ ช่วงเวลาตั้งแต่ 21.00น. – 09.00น. ของวันถัดไป ซึ่งจะครอบคลุมช่วงเวลากการนอนหลับสบายทั้ง 8 ชั่วโมง เพื่อจุดประสงค์ในการสร้างสภาวะสบายให้กับกิจกรรมที่เกิดขึ้นในห้องนอน



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของช่วงเวลากลางคืนที่ส่งผลต่อการนอนหลับ



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะของการนอนหลับในรูปแบบปกติ

ที่มา : J Clin Sleep Med, 2008

3. ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร

ในการศึกษานี้กล่าวถึง การเคลื่อนที่ของอากาศตามธรรมชาติ (natural ventilation) ระหว่างอากาศภายในอาคารและอากาศภายนอกอาคารในช่วงเวลากลางคืนเพื่อใช้กลยุทธ์ comfort ventilation และ night flush cooling ในการเพิ่มความสบายให้กับผู้ใช้งานอาคาร โดยการนำอากาศภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาภายในอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เพื่อประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยเฉพาะในเวลากลางคืน (Norbert Lechner, 2015) และเพื่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารที่ดีการออกแบบการควบคุมการใช้งานอย่างเหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเป็นการเก็บรักษาอากาศเย็นภายในอาคารได้นาน โดยจะต้องปิดช่องเปิดอาคารในเวลากลางวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเวลากลางคืนเพื่อลดการสะสมความร้อนภายในอาคาร ถ้าหากอาคารมีการสะสมความร้อนเต็มที่จะส่งผลต่อการใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนอากาศในเวลากลางคืนเพื่อลดอุณหภูมิในอาคารมากขึ้น และส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายสำหรับผู้ใช้งานในอาคาร ทั้งนี้ ประสิทธิภาพของ night flush cooling ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกระหว่างช่วงเวลากลางวันและกลางคืน หากมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากจะทำให้มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในเวลากลางคืนมากขึ้นด้วย

หลักการเคลื่อนที่ของอากาศ เกิดขึ้นได้จาก 1.) การเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความต่างกันของความกดอากาศ (pressure difference) โดยมีทิศทางตามกระแสลมที่พัดเข้ามาจากพื้นที่

แรงกดอากาศสูง (pressure+) ไปยังพื้นที่แรงกดอากาศต่ำ (pressure-) 2.) การเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature difference) โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่จากพื้นที่อุณหภูมิอากาศสูงกว่าที่มีความหนาแน่นอากาศต่ำไปยังพื้นที่อุณหภูมิอากาศต่ำกว่าที่มีความหนาแน่นอากาศสูงในลักษณะการลอยตัวขึ้น ซึ่งอิทธิพลของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (Δt) เป็นปัจจัยหลัก และหากอุณหภูมิมีความแตกต่างมากจะส่งผลให้เกิดการไหลของอากาศมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (air change rate)

3.1 การออกแบบเพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศธรรมชาติในอาคาร

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารหมายถึง ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างภายนอกอาคาร และภายในอาคาร เทียบกับปริมาตรของห้องดังกล่าวในหนึ่งหน่วยเวลา (โดยทั่วไปจะหมายถึงในเวลา 1 ชั่วโมง) หรือ (air change per hour) ซึ่งเกิดขึ้นด้วยหลักการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนอากาศตามธรรมชาติ ซึ่งอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การออกแบบอาคารให้มีช่องเปิดใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมการช่วงเวลาใช้งานได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดอัตราแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารที่ดีต่อพื้นที่ใช้งาน

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นได้ทั้งในช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืน ซึ่งมีหลักการดำเนินการแตกต่างกัน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ส่งผลให้ในเวลากลางวันมีอุณหภูมิสูงกว่ากลางวัน ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศธรรมชาติจะเกิดผลดีต่ออาคารสูงขนาดใหญ่ และในเวลากลางคืนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ากลางวัน ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศธรรมชาติจะเกิดผลดีต่ออาคารอาศัยทั่วไป

3.2 คุณภาพอากาศในอาคาร (air quality)

คุณภาพอากาศที่ดี จะต้องมึลักษณะเป็นอากาศที่ปราศจาก pollutants ต่างๆ เช่น CO, CO₂, NO₂ เป็นต้น ที่ทำให้ผู้ใช้อาคารเกิดการระคายเคือง รู้สึกไม่สบาย หรือเป็นสาเหตุให้เกิดโรค ซึ่งเกิดขึ้นได้โดยกระบวนการนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกอาคารเข้ามาเติมในบริเวณที่มีผู้อาศัยอยู่ในปริมาณที่พอเพียง และมีการระบายอากาศเสียออกทิ้งไป เพื่อรักษาคุณภาพของอากาศภายในอาคารไว้ในระดับที่ยอมรับได้ ในการประเมินอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมีจุดประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพอากาศที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมของผู้ใช้งานภายในอาคาร หน่วยของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศคิดเป็นระยะเวลา

การแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคารต่อ 1 ชั่วโมง (ac/h) คือ จำนวนเท่าของปริมาตรอากาศต่อปริมาตรของห้องที่นำมาแทนที่อากาศภายในห้องในเวลา 1 ชั่วโมง

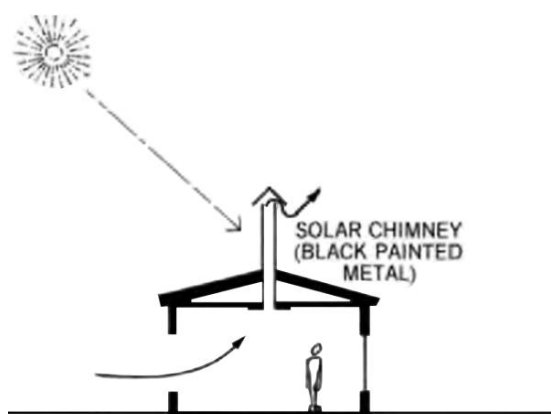
3.3 ปล่องระบายอากาศทางตั้ง (vertical shaft)

ปล่องระบายอากาศทางตั้ง (vertical shaft) มีหลักการเคลื่อนที่อากาศโดยความแตกต่างของอุณหภูมิ และความแตกต่างของความกดอากาศ ซึ่งทั้ง 2 หลักการมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การเคลื่อนที่ของอากาศโดยความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature difference)

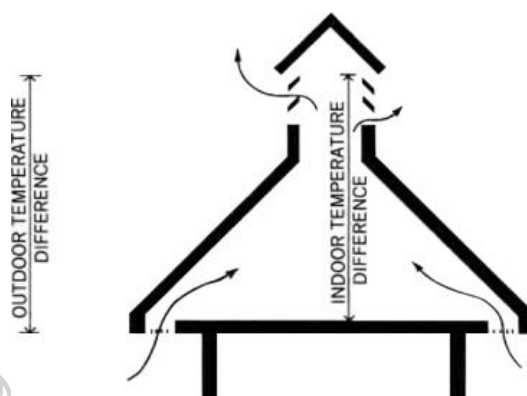
การเคลื่อนที่ของอากาศโดยอาศัยอิทธิพลของ stack effect มีผลจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่เกิดขึ้นอากาศภายในอาคารและอากาศภายนอกอาคาร โดยมีหลักการทำงานจากอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นและอากาศที่เย็นกว่าเคลื่อนที่ไปแทนที่อากาศร้อน ซึ่งประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายนอกอาคาร

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ในเขตร้อนชื้นอุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่างกลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างกันน้อย จึงส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่อากาศด้วยหลักการความแตกต่างของอุณหภูมิได้น้อย (Norbert Lechner, 2015) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบปล่องระบายอากาศให้เกิดการสร้างความแตกต่างของอุณหภูมิภายในปล่องระบายอากาศทางตั้ง หลายงานวิจัยพบว่า การติดตั้งวัสดุนำความร้อนใกล้บริเวณช่องทางลมออกของปล่องระบายอากาศ เช่น เหล็ก กระจก เป็นต้น เป็นวิธีการหนึ่งส่งเสริมให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในปล่องเรียก รูปแบบปล่องระบายอากาศนี้ว่า ปล่องแสงอาทิตย์ (solar chimney) (ภาพที่ 7, 8)



ภาพที่ 7 แสดงเทคนิคการออกแบบ solar chimney

ที่มา : Norbert Lechner, 2015



ภาพที่ 8 แสดงการเคลื่อนที่อากาศจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

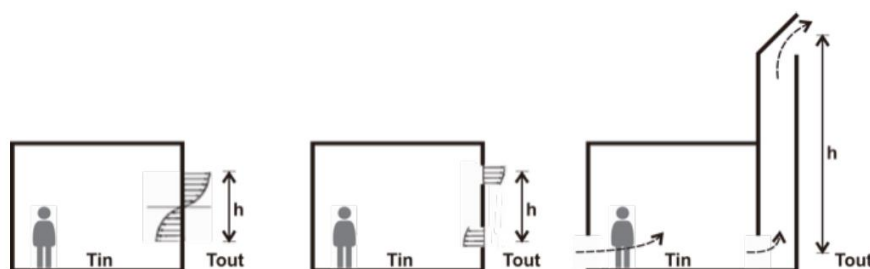
ที่มา : Norbert Lechner, 2015

การประเมินค่าความกดอากาศที่เกิดจากอุณหภูมิที่ต่างกันระหว่างอากาศภายใน และอากาศภายนอกอาคาร โดยสามารถประเมินค่าความกดอากาศ (AWBI H. B., 2013) ในสมการที่ 10 และความดันอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างช่องเปิด โดยที่ถ้าระยะห่างมากจะทำให้ค่าความดันอากาศที่เกิดจากอุณหภูมิที่ต่างกันสูงไปด้วย ในสมการที่ 3 (ดูภาพที่

9)

$$p_s = -P_o g h (1 - T_o/T_i) \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดยที่	P_o	=	ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิอ้างอิง (หรือ T_o)
	g	=	ความเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก (9.81m/s^2)
	h	=	ระยะห่างระหว่างช่องเปิดสองช่อง (m) วัดจากกึ่งกลางระหว่างช่องเปิด 1 ถึงช่องเปิด 2
	T_i	=	คืออุณหภูมิอากาศภายในห้อง (K)
	T_o	=	อุณหภูมิอากาศภายนอก (K)



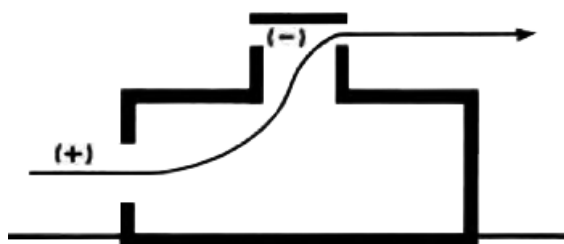
ภาพที่ 9 แสดงค่าระยะห่างระหว่างช่องเปิดสองช่อง (H)

ที่มา: AWBI, 2013

3.3.2 การเคลื่อนที่ของอากาศโดยความแตกต่างของความกดอากาศ (pressure difference)

การเคลื่อนที่ของอากาศโดยความแตกต่างของความกดอากาศอาศัยอิทธิพลของ wind effect มีหลักการทำงานของการเคลื่อนที่อากาศจากความแตกต่างของความกดอากาศระหว่างความกดอากาศภายในอาคารและความกดอากาศภายนอกอาคาร โดยเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูง (pressure +) เคลื่อนที่ไปยังความกดอากาศต่ำ (pressure -) รวมถึง เมื่อความกดอากาศมีความแตกต่างกันมากทำให้ปริมาณการเคลื่อนที่อากาศสูงขึ้น ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมากขึ้น (ดูภาพที่ 10)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งในเขตร้อนชื้นเพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารเกิดจากอิทธิพลของความแตกต่างของความกดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ หลายงานวิจัยพบว่า แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปล่องระบายอากาศจากการสร้างความแตกต่างของความกดอากาศ โดยการออกแบบให้บริเวณช่องเปิดลมออกมีความกดอากาศต่ำเพื่อดึงอากาศจากปล่องระบายอากาศได้มากขึ้น เช่น การออกแบบความลาดเอียงของหลังคา เป็นต้น ซึ่งประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับทิศทางกระจายลมภายนอกอาคาร



ภาพที่ 10 แสดงการเคลื่อนที่อากาศจากความแตกต่างของความกดอากาศ
ที่มา : Norbert Lechner, 2015

จากการศึกษาผลงานที่เกี่ยวข้องพบว่า แนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศทางตั้งแบบ stack effect สำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยศึกษาอิทธิพลตัวแปรของปล่องระบายอากาศ ได้แก่ ความสูงของปล่องระบายอากาศ และรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ พบว่า แนวทางการออกแบบการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง เพื่อเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร ในประเทศไทยสำหรับบ้านเดี่ยวสองชั้นในพื้นที่โล่ง ซึ่งอาศัยความเร็วลมภายนอกเป็นตัวกำหนดการออกแบบปล่องระบายอากาศ โดยได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรระหว่างความสูงของปล่อง และความสัมพันธ์ของช่องเปิด พบว่า ปล่องระบายอากาศทางตั้งสามารถเพิ่มอัตราการระบายในอาคารมากขึ้น 25% แต่ไม่ส่งผลต่อการลดอุณหภูมิอาคาร และสร้างสภาวะสบาย (ชลธิษฐ์ ฤนต์ศิลป์กุล, 2546) ทั้งนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพของปล่องการระบายอากาศแบบ stack effect ด้วยเทคนิคของปล่องแดด (solar chimney) โดยใช้แผ่นเหล็กแบบรูปวงรีช่วยดูดซับความร้อน และสร้างสภาวะความแตกต่างของอุณหภูมิภายในปล่องระบายอากาศได้มากขึ้น โดยมีประสิทธิภาพให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเพิ่มขึ้นต่อสปีดาร์ 35.0 – 39.7% (Yonggang Lei, Yuwen Zhang, Fei Wang, & Xun Wang, 2016) และการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งสำหรับบ้านพักอาศัยประเทศมาเลเซีย โดยศึกษาศักยภาพความเร็วลมภายนอกอาคารเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบ ซึ่งศึกษาการใช้รูปแบบหลังคาปล่องระบายอากาศด้วยทฤษฎีเวนทูรี (venturi) เพื่อสร้างค่าความต่างของแรงกดอากาศต่อผิวสัมผัสช่วยให้เกิดการแรงขับเคลื่อนของอากาศ และเพิ่มอัตราการระบายอากาศให้มากขึ้น ซึ่งการศึกษาดังกล่าวเป็นการสร้างอาคารจริงบนพื้นที่ไม่มีสิ่งกีดขวางโดยออกแบบอาคารให้มีช่องเปิดขนาดใหญ่ให้เกิดความสัมพันธ์กับทิศทางและความเร็วลมที่เกิดขึ้น และพบว่า สามารถเพิ่มอัตราการระบายในอาคารมากขึ้นด้วยเทคนิคการออกแบบปล่องระบายอากาศทางตั้งแบบ wind tower หรือ wind catcher โดยเฉลี่ยต่อเดือนจากเดิม 7 ac/h เป็น 57 ac/h (Lim Chin Haw, 2012)

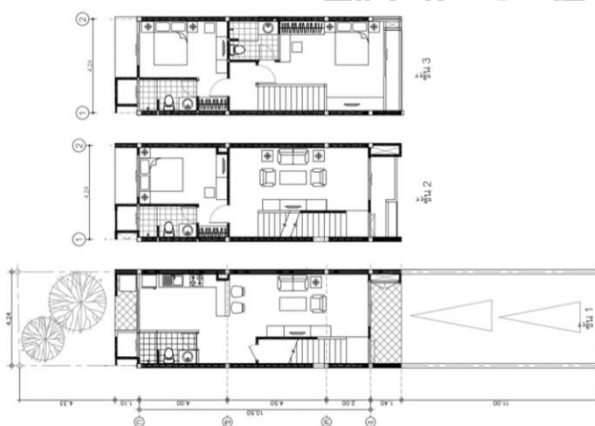
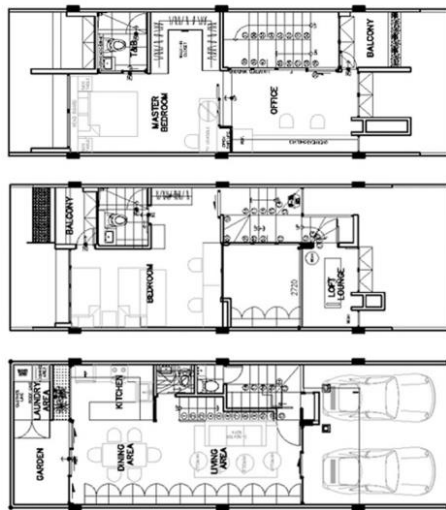
บทที่ 3

ขั้นตอนในการศึกษา

จากวัตถุประสงค์การศึกษาที่ต้องการลดอุณหภูมิอากาศ และเพิ่มสภาวะสบายในอาคารบ้าน
 แถวจากการเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศ โดยใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง ซึ่งมี
 สมมุติฐานการศึกษาว่า การเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารสามารถช่วยลดอุณหภูมิโอเปอร์
 เรทีฟภายในอาคารได้ และสามารถขยายช่วงสภาวะสบายในอาคารเพิ่มขึ้น รวมถึง การศึกษาอิทธิพล
 ของรูปแบบปล่องระบายอากาศ 4 ตัวแปรคือ ความสูงของปล่องระบายอากาศ ขนาดหน้าตัดของ
 ปล่องระบายอากาศ รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ และความลาดเอียงหลังคาของปล่อง
 ระบายอากาศ โดยในการศึกษาแบ่งขั้นตอนในการศึกษา 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1.) ขั้นตอนการศึกษา
 ปัญหาการระบายอากาศภายในบ้านแถว 2.) ขั้นตอนการเลือกและตรวจสอบเครื่องมือในการศึกษา
 3.) ขั้นตอนในการทดลองสมมุติฐานเบื้องต้น และ 4.) ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ
 ของปล่องระบายอากาศทางตั้ง โดยในแต่ละขั้นตอนมีวัตถุประสงค์และรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาปัญหาการระบายอากาศภายในบ้านแถว

การศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการระบายอากาศและสภาวะสบายที่เกิดขึ้นในบ้านแถว มี
 จุดประสงค์เพื่อการวิเคราะห์ปัญหาทางกายภาพของบ้านแถว ที่มีผลต่อความร้อน และประสิทธิภาพ
 การแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคาร ซึ่งทำการศึกษาเบื้องต้นจากข้อกำหนดของพระราชบัญญัติ
 ควบคุมอาคารก่อสร้าง พ.ศ. 2522 และเอกสารงานวิจัยการศึกษาอาคารบ้านแถวพบว่า ปัญหาของ
 อาคารประเภทบ้านแถวมีประเด็นที่น่าสนใจคือ อาคารบ้านแถวจะมีความลึกของอาคารที่มีสัดส่วน
 มากกว่าสองเท่าของความกว้างของอาคาร รวมถึง ลักษณะการวางตัวชิดกันทางด้านข้าง ทำให้อาคาร
 สามารถออกแบบให้มีช่องเปิดได้เพียงแค่ว่า ด้านหน้า - ด้านหลัง ของอาคารเท่านั้น นอกจากนี้การกั้น
 ผนังภายในระหว่างพื้นที่ใช้งาน ทำให้ห้องแต่ละห้องภายในอาคารมีลักษณะเป็นห้องที่มีช่องเปิดทาง
 เดียว ซึ่งจะมีประสิทธิภาพภายในอาคารต่ำ (ดูภาพที่ 11)

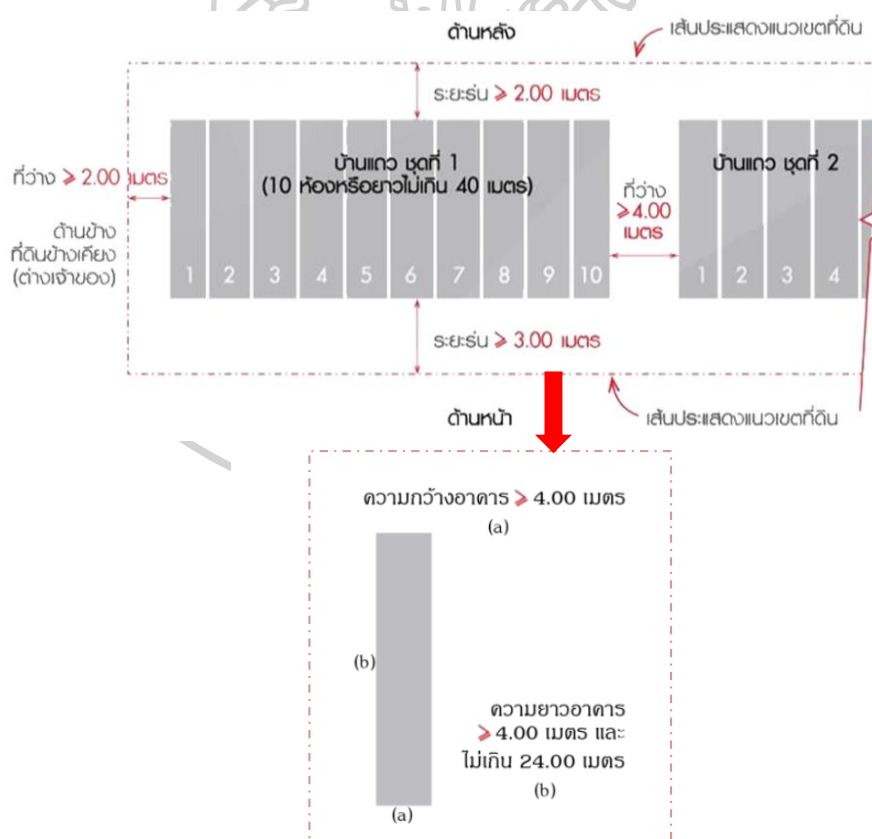


ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างแบบบ้านแถวขนาดสามชั้นครึ่งโดยสถาปนิก Buensalido (บน) และตัวอย่างแบบบ้านขนาดสามชั้นโดยบริษัท พราว พร็อพเพอร์ตี้ ดีเวลลอปเม้นท์ (ล่าง)
ที่มา : <http://www.banidea.com>, <http://thegreenhouse-realestate.com>
(สืบค้นเมื่อวันที่ 4 ก.พ. 60)

ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 55 พ.ศ. 2543 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคารพ.ศ. 2522 ให้ความหมายของ “บ้านแถว” ว่า ห้องแถวหรือตึกแถวที่ใช้เป็นที่อยู่อาศัย ซึ่งมีที่ว่างด้านหน้าและด้านหลังระหว่างรั้ว หรือแนวเขตที่ดินกับตัวอาคารแต่ละคูหา และมีความสูงไม่เกินสามชั้น แต่ละคูหาต้องมีความกว้างโดยวัดระยะตั้งฉากจากแนวศูนย์กลางของเสาตอม่อหนึ่งไปยังแนวศูนย์กลางของเสาอีกด้านหนึ่งไม่น้อยกว่า 4 เมตร มีความลึกของอาคารโดยวัดระยะตั้งฉากกับแนวผนังด้านหน้าชั้นล่างไม่น้อยกว่า 4 เมตร และไม่เกิน 24 เมตร และมีพื้นที่ชั้นล่างแต่ละคูหาไม่น้อยกว่า 24 ตารางเมตร สามารถสร้างต่อเนื่องกันได้ไม่เกินสิบคูหา และมีความยาวต่อเนื่องรวมกันไม่เกิน 40 เมตร และมีที่ว่าง

ไม่น้อยกว่า 4 เมตร ระหว่างชุดอาคาร รวมทั้ง ระยะยื่นจากแนวเขตที่ดิน ด้านหน้า 3 เมตร และ ด้านหลังอาคาร 2 เมตร (ดูภาพที่ 12) จากกฎหมายข้างต้นจึงเห็นได้ว่า โดยส่วนใหญ่ห้องแถวแต่ละห้องจะมีลักษณะอาคารเป็นอาคารหน้าแคบและลึก โดยมีช่องเปิดภายนอกได้เฉพาะในส่วนของผนัง ด้านหน้า และด้านหลังอาคารเท่านั้น (นอกจากห้องแรกหรือห้องสุดท้ายของชุดอาคาร ซึ่งมาสามารถมีช่องเปิดด้านข้างอาคารได้)

จากปัญหาการแลกเปลี่ยนอากาศในบ้านแถวข้างต้น ผู้ศึกษาได้ทำการทดสอบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาลักษณะของบ้านแถวในหลายๆโครงการ เพื่อค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในบ้านแถวทั่วไป ต่อผู้ใช้อาคารพบว่า ส่วนมากอาคารจะมีสัดส่วนความยาวเป็น 2 เท่า หรือมากกว่าของความกว้างอาคาร ซึ่งทุกอาคารจะไม่มีช่องเปิดด้านข้างเพื่อแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร และอาคารถูกจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยด้วยผนังทึบอย่างชัดเจนเพื่อให้สอดคล้องกับกิจกรรมในพื้นที่ใช้งานที่เป็นส่วนตัวหรือส่วนรวม ดังนั้น จึงเป็นสาเหตุให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารต่ำและส่งผลต่อการสะสมความร้อนในอาคารทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกไม่สบาย



ภาพที่ 12 แสดงที่ว่างและระยะร่นของบ้านแถวตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

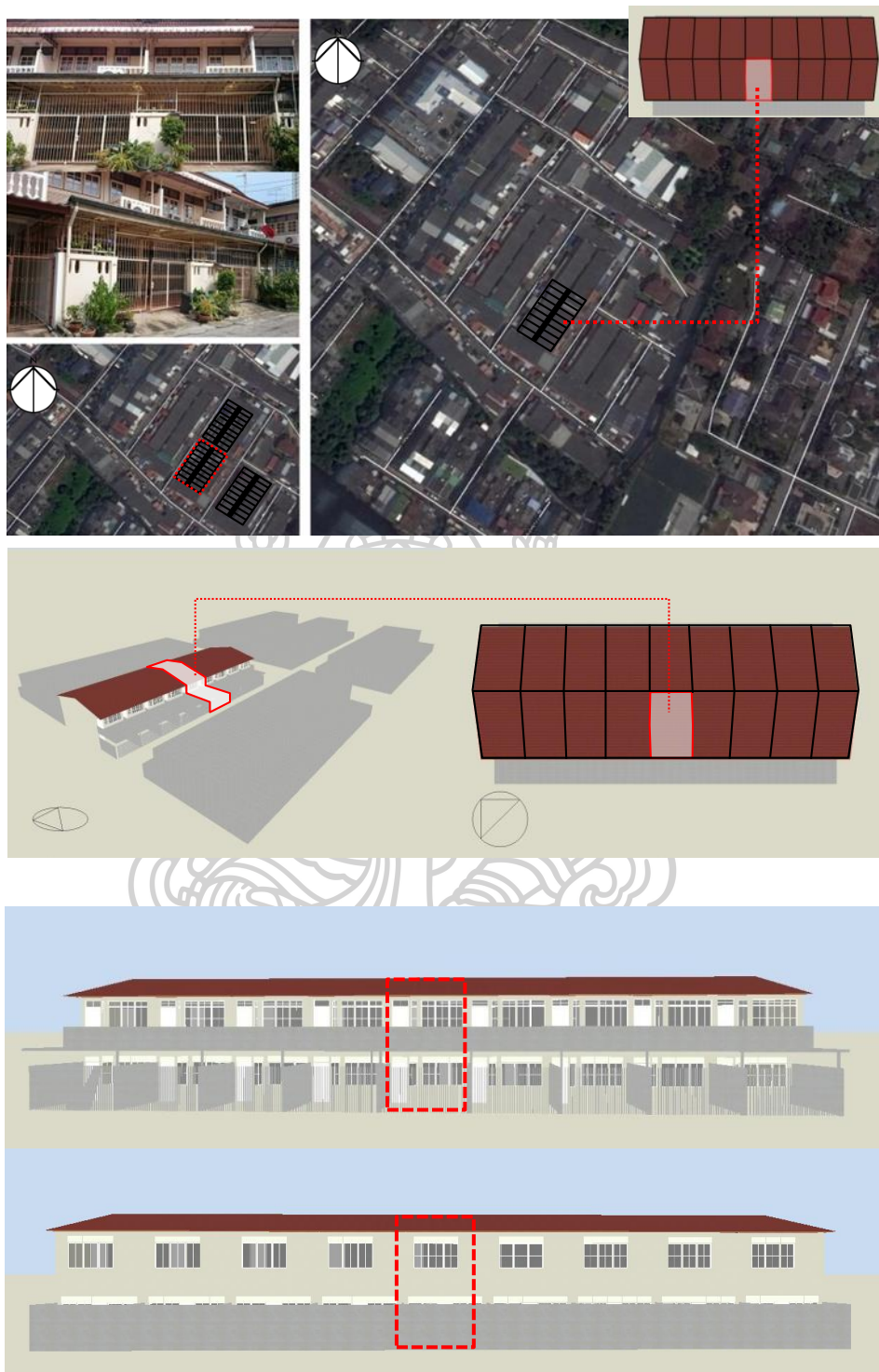
ที่มา : <http://www.scgbuildingmaterials.com> (สืบค้นเมื่อวันที่ 4 ก.พ. 60)

2. ขั้นตอนในการเลือกและตรวจสอบเครื่องมือในการศึกษา

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษา จำเป็นต้องทำการศึกษาทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศหลายรูปแบบ ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรได้ และมีความน่าเชื่อถือสูงในการประเมินผล มาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการศึกษานี้ ทั้งนี้ ได้เลือกโปรแกรม DesignBuilder version 3.4.0.041 โดยผู้ศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการตรวจวัดสภาพอากาศภายในบ้านแถวที่มีอยู่จริงบริเวณที่ตั้ง ถ.บรมราชชนนี ซอย 4 อรุณัมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่ชุมชนย่านพักอาศัยโดยสภาพแวดล้อมในรัศมี 200 เมตร ประกอบด้วยอาคารชุดพักอาศัยประเภทบ้านแถวหรือตึกแถว (ดูภาพที่ 13) จึงได้กำหนดให้เป็นกรณีศึกษาในขั้นต้น และเลือกอาคารหลังตรงกลางของชุดอาคารคือหลังที่ 5 จากที่มีทั้งหมด 9 หลัง (ดูภาพที่ 14)

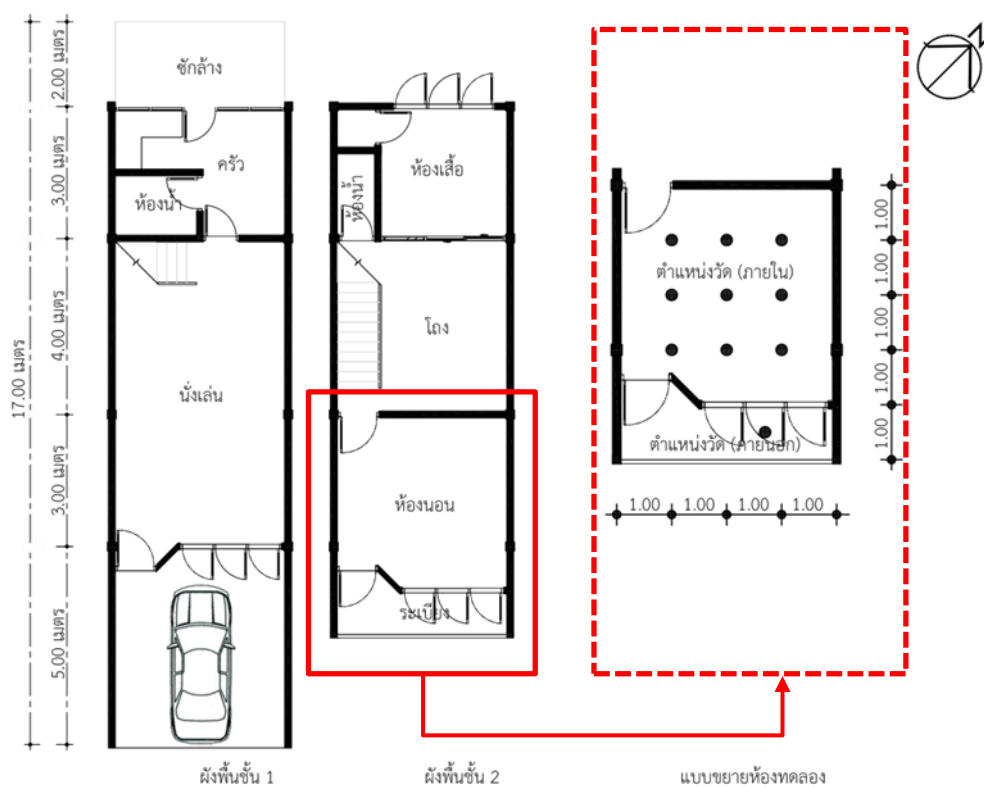


ภาพที่ 13 แสดงสภาพแวดล้อมของอาคารทดสอบเครื่องมือรัศมี 200 เมตร
ที่มา ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth (สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธ.ค. 59)

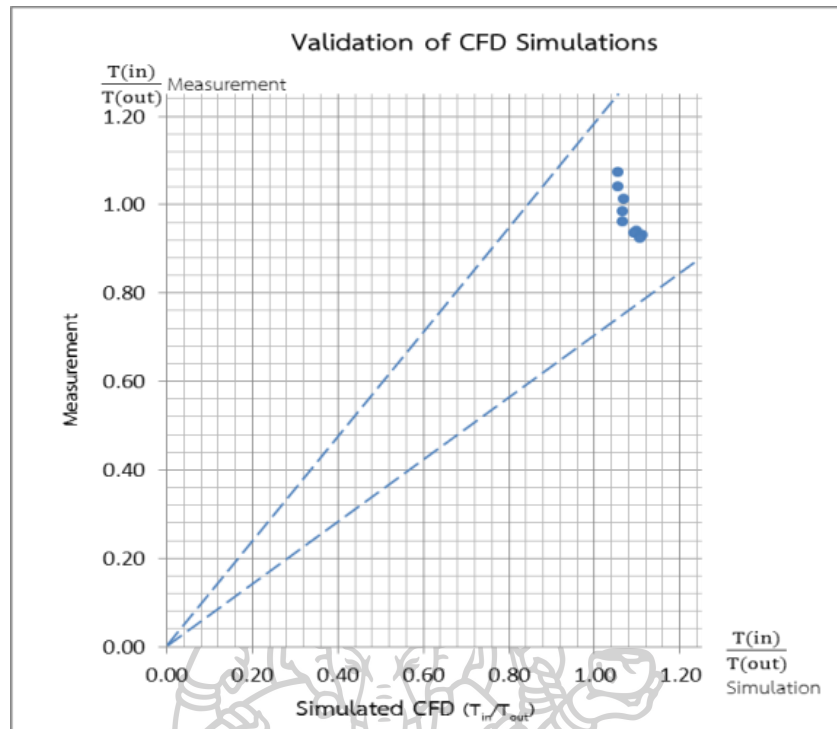


ภาพที่ 14 แสดงตำแหน่งและรูปด้านอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของ
โปรแกรม DesignBuilder version 3.4.0.041

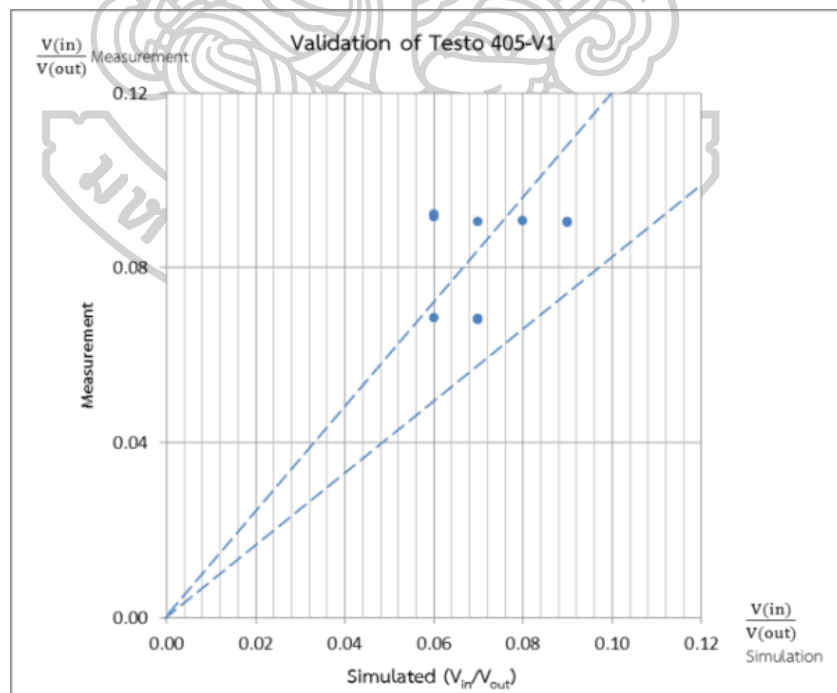
จากการเปรียบเทียบกับผลอัตราส่วนความเร็วลมภายในต่อภายนอกอาคาร (V_{in}/V_{out}) และ อุณหภูมิภายในต่อภายนอกอาคารรายชั่วโมง (T_{in}/T_{out}) ซึ่งได้จากการจำลองและจากการตรวจวัดใน สถานที่จริงโดยใช้ hot-wire anemometer ของ TESTO รุ่น 405-V1 โดยกำหนดตำแหน่งที่ทำการ วัดค่าภายในอาคาร ในระยะห่างกันทุก 1.00 เมตร และวัดที่ระดับความสูง 1.10 เมตร รวม 9 ตำแหน่ง (ดูภาพที่ 15) พร้อมการเก็บข้อมูลภายนอกอาคารโดยกำหนดจุดเดียวคือ จุดที่อยู่ใกล้ บริเวณกลางหน้าต่าง โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที 8 รอบ ในช่วงวันที่ 21 และ 23 ม.ค. 60 เวลา 10.30น.-15.00น. พบว่า อัตราส่วนที่ได้จากการจำลองและการตรวจสอบในสถานที่จริงใกล้เคียงกัน โดยกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ $\pm 5\%$ (ดูภาพที่ 16, 17) ซึ่งพบว่า โปรแกรม DesignBuilder version 3.4.0.041 สามารถจำลองผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ และสามารถนำไปใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 15 แสดงแบบผังพื้นชั้น 1 (ซ้าย), ชั้น 2 (กลาง) และแบบขยายห้อง (ขวา) ที่ใช้ในการ ตรวจสอบเครื่องมือ



ภาพที่ 16 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนของอุณหภูมิภายในต่ออุณหภูมิภายนอกอาคาร และเส้นความคลาดเคลื่อนที่ $\pm 5\%$



ภาพที่ 17 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนของความเร็วลมภายในอาคารต่อภายนอกอาคาร และเส้นความคลาดเคลื่อนที่ $\pm 5\%$

3. ขั้นตอนในการทดลองสมมุติฐานเบื้องต้น

ผู้ศึกษาได้เลือกบ้านแถวกรณีศึกษา ได้แก่ โครงการบ้านชญาดา 3 ชั้น ขนาดพื้นที่ใช้สอย 114 ตารางเมตร ซึ่งตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลฯ จังหวัดสมุทรปราการ เป็นอาคารต้นแบบในการศึกษา (ดูภาพที่ 18, 19) เพื่อตรวจสอบสมมุติฐานของการศึกษาเบื้องต้น กล่าวคือ “การใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง (vertical shaft) จะสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารบ้านแถว และถ้าใช้ในเวลาที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในของบ้านแถว และเพิ่มช่วงเวลาที่เกิดสภาวะสบายได้” โดยทำการจำลองอาคารกรณีศึกษาที่ไม่มี และมีการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งด้วยโปรแกรม DesignBuilder version 3.4.0.041

จากการพิจารณาปัญหาของการแลกเปลี่ยนอากาศในบ้านแถว ผู้ศึกษาได้กำหนดให้ห้องนอน ชั้น 2 และ ชั้น 3 เป็นพื้นที่ทดลอง (ดูภาพที่ 20) และกำหนดช่วงเวลาในการทดสอบประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารตั้งแต่ 21.00น. – 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 3-9 พ.ค. (summer typical week) โดยกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้งาน 2 คน และกำหนดให้ทิศทางลมจากทิศใต้ และทิศตะวันตกเป็นทิศทางหลักของลมภายนอก เนื่องจากเป็นสถิติทิศทางลมที่พบมากที่สุด และความเร็วมที่พบมากที่สุดในกรุงเทพมหานครของสถานีดอนเมือง และการทดลองสมมุติฐานได้กำหนดปล่องระบายอากาศทางมีช่องเปิดปล่องระบายอากาศขนาด 0.40x0.40 ตารางเมตร โดยกำหนดตำแหน่งช่องเปิดของปล่องระบายอากาศในอาคารให้ตรงกับตำแหน่งช่องเปิดนำลมเข้าของอาคาร และตำแหน่งช่องเปิดนำลมออกของปล่องระบายอากาศให้อยู่ในตำแหน่งทิศเหนือ – ทิศใต้ (ดูภาพที่ 21, 22)

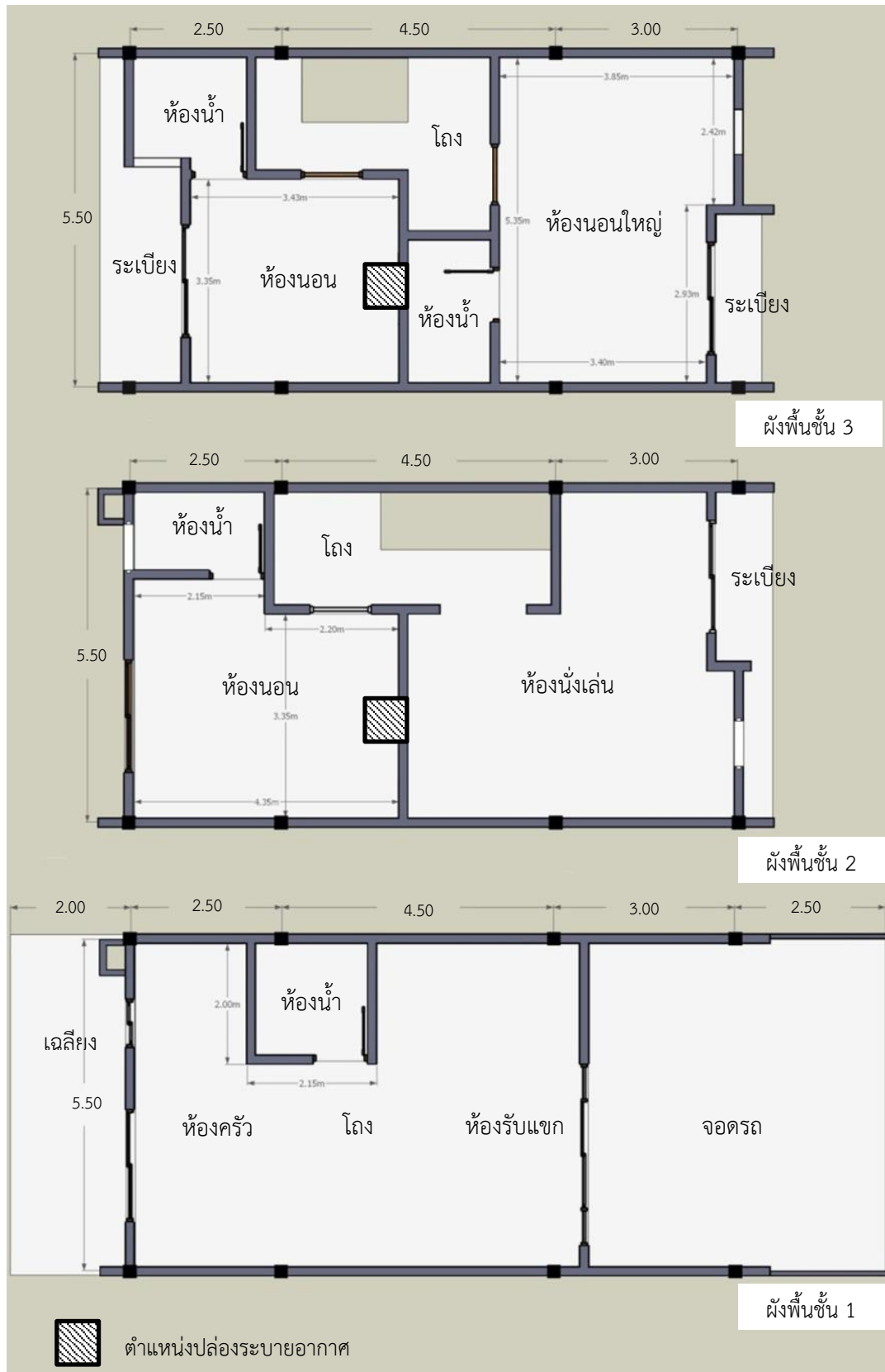
ในขั้นตอนนี้ผู้ศึกษาได้ทำการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารกรณีศึกษา เพื่อเลือกตัวแทนอาคารกรณีศึกษาเป็นต้นแบบในการศึกษาเบื้องต้น โดยเลือกทดสอบอาคารตำแหน่งตรงกลางทั้งสองหลัง โดยในอาคารหลังที่ 1 ด้านหน้าอาคารหันทางทิศเหนือ และอาคารหลังที่ 2 ด้านหน้าอาคารหันทางทิศใต้ (ดูภาพที่ 23) ลักษณะของปล่องระบายอากาศขั้นต้นสำหรับการทดลองงานวิจัย มีตัวแปรประกอบด้วย 1.) ตัวแปรต้น ได้แก่ ความสูงของปล่องระบายอากาศจากระดับ 4.5 เมตร ขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศ 0.8x0.8 ตารางเมตร รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศชนิดโล่ง องศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 0 องศา (ดูตารางที่ 3) 2.) ตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และอุณหภูมิโอเพอเรทีฟภายในอาคาร 3.) ตัวแปรควบคุม ได้แก่ วัสดุของอาคารที่ใช้จริงในอาคาร โดยแบ่งตามโครงสร้างอาคารหลัก ได้แก่ 1.) หลังคาเมทัลชีทบุฉนวนใยแก้วและฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 2.) ผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบเรียบ 3.) พื้นคอนกรีตปูทับกระเบื้องลามิเนต 4.) ประตู-หน้าต่างกระจกใส (ดูตารางที่ 4)



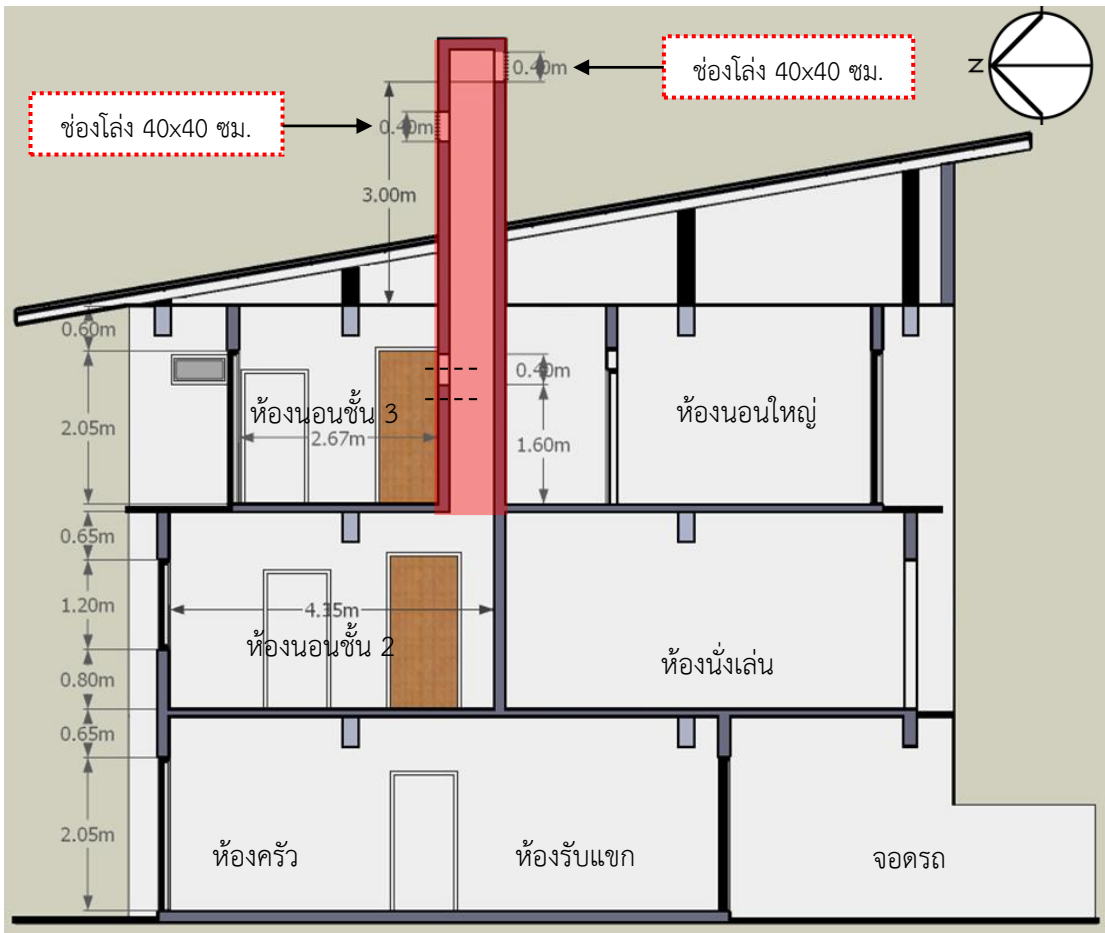
ภาพที่ 18 แสดงทัศนียภาพจำลองภายนอก โครงการบ้านชฎาดา
ที่มา : <http://homewithdream.com>. (สืบค้นเมื่อวันที่ 17 ม.ค. 60)



ภาพที่ 19 แสดงทัศนียภาพจำลองภายใน โครงการบ้านชฎาดา
ที่มา : (ภาพถ่ายจริง)



ภาพที่ 20 แสดงผังพื้นที่ใช้สอยในอาคารชั้น 1 (ล่าง) ชั้น 2 (กลาง) และชั้น 3 (บน)



ภาพที่ 21 แสดงรูปแบบตัวแปรปล่องระบายอากาศทางตั้งที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้น





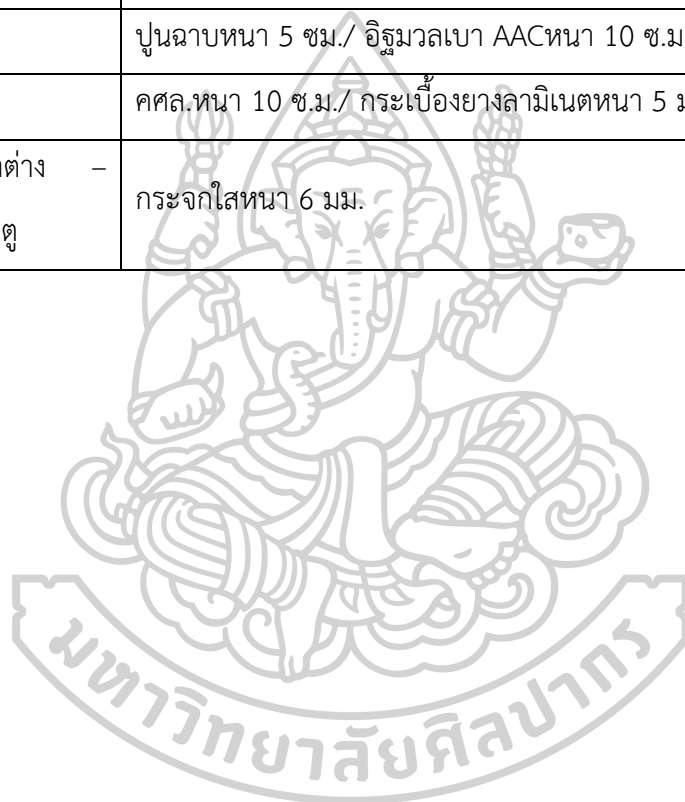
ภาพที่ 22 แสดงรูปแบบตัวแปรปล่องระบายอากาศทางตั้งที่ใช้ในการศึกษาเบื้องต้น

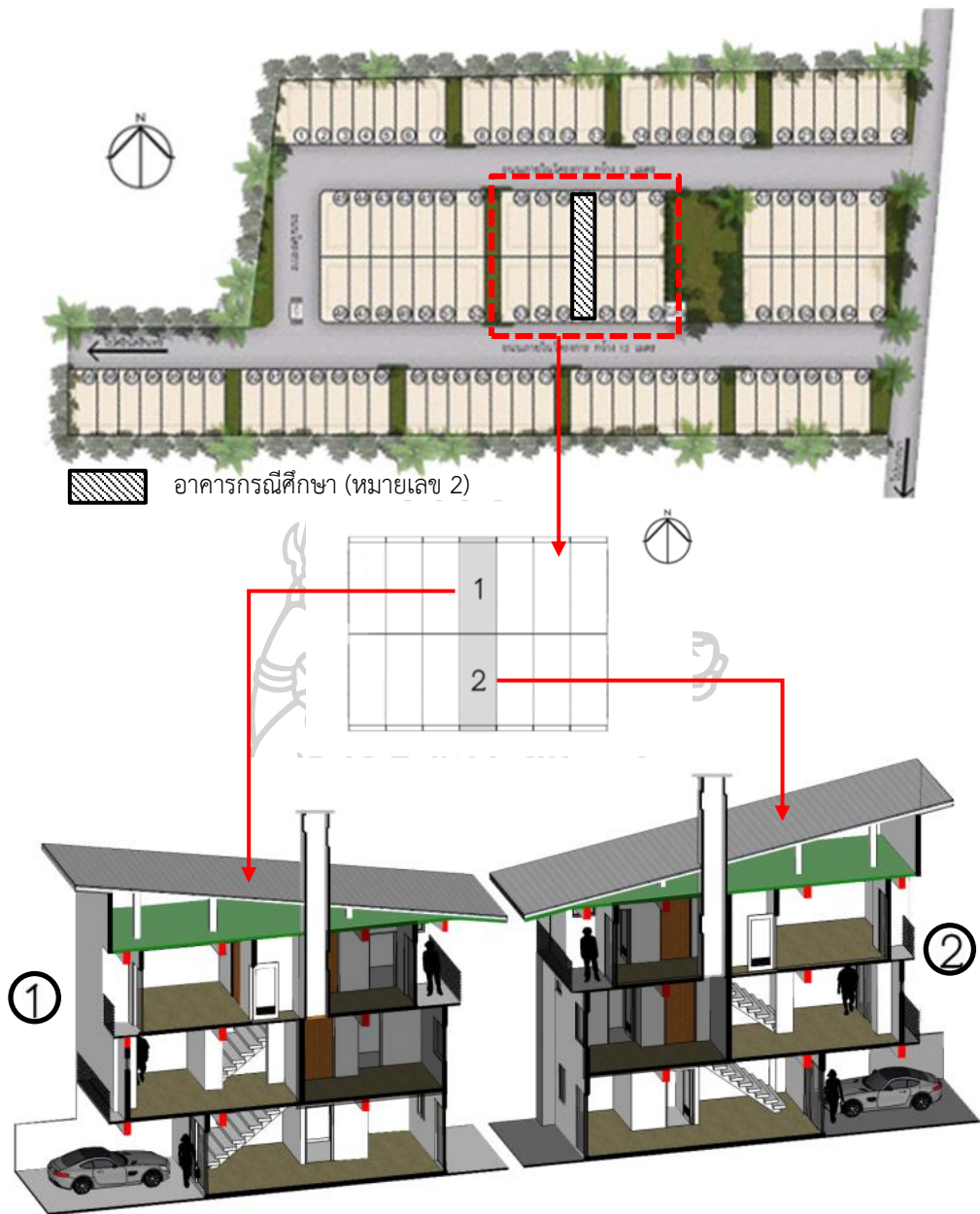
ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรควบคุมเริ่มต้นการทดลองสมมุติฐานเบื้องต้น

ตัวแปรต้น	ขนาดและรูปแบบที่ศึกษา
ความสูงของปล่องจากระดับหลังคานบ้านแถว	4.50 เมตร
ขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศ	0.80x0.80 ตารางเมตร
รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ	บานเกล็ด
องศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศ	0 องศา

ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุประกอบอาคารกรณีศึกษาที่ใช้เป็นตัวแปรควบคุมในการศึกษา

ลำดับ	องค์ประกอบอาคาร	วัสดุ	ความถ่ายเทความร้อน ($U=W/m^2.K.$)
1.	หลังคา	เมทัลชีทหนา 5 ซม./ ฉนวนใยแก้วหนา 5 ซม./ ช่องว่างอากาศ 25 ซม./ แผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.	0.3536
2.	ผนัง	ปูนฉาบหนา 5 ซม./ อิฐมวลเบา AACหนา 10 ซม.	0.5626
3.	พื้น	คสล.หนา 10 ซม./ กระเบื้องยางลามิเนตหนา 5 มม.	1.6417
4.	หน้าต่าง ประตู	กระจกใสหนา 6 มม.	5.8737





ภาพที่ 23 แสดงผังบริเวณโครงการและตำแหน่งอาคารกรณีศึกษา (บน) รูปตัดอาคารกรณีศึกษา (ล่าง)

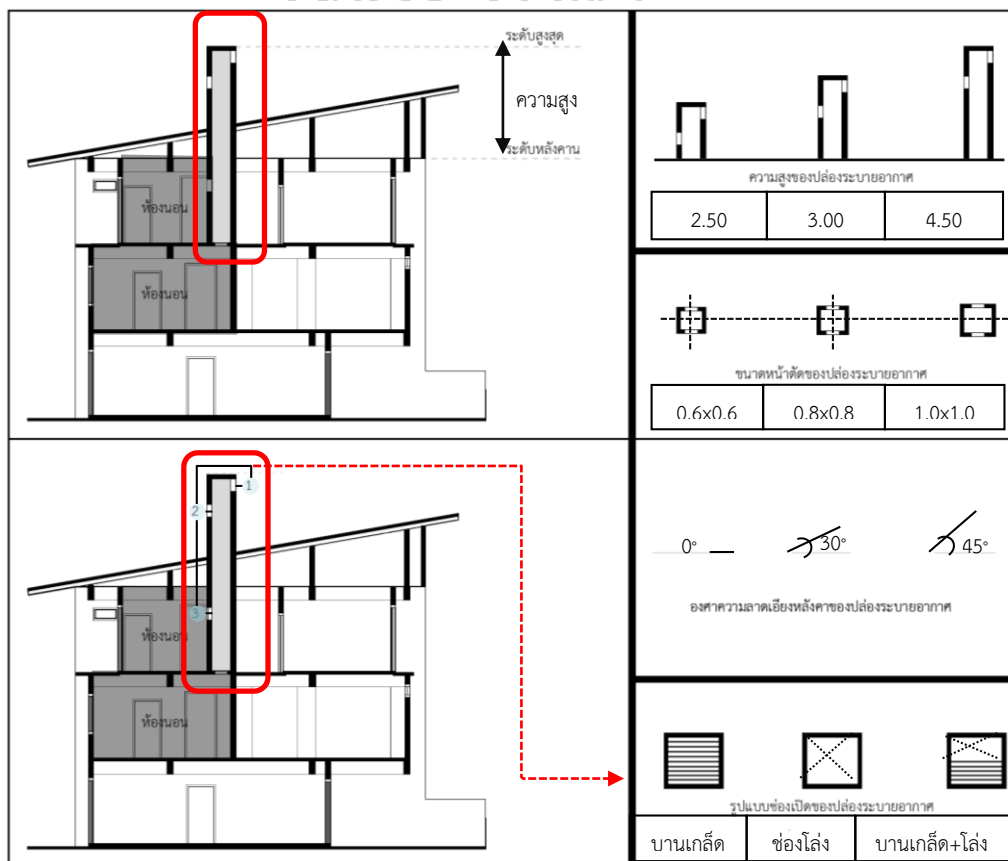
4. ขั้นตอนการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

จากการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพภายในการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง (vertical shaft) มีแนวโน้มที่สามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ ในขั้นตอนนี้ผู้ศึกษาทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศทางตั้ง เพื่อเสนอรูปแบบปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน โดยมีตัวแปรทดลองที่สนใจ 3 แบบ การศึกษาของแต่ละตัวแปรต้นทั้ง 4 ตัวแปร ได้แก่ 1.) ความสูงของปล่องระบายอากาศ 2.) ขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศ 3.) รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ 4.) องศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศซึ่งจะส่งผลต่อตัวแปรตามคือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร (air change rate) และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟในอาคาร (operative temperature) ด้วยการจำลองการศึกษาโดยใช้โปรแกรม Designbuilder version 3.4.0.041 และเปรียบเทียบผลของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารที่เหมาะสมที่สุดสำหรับบ้านแถว โดยมีตัวแปรควบคุม ได้แก่ 1.) รูปแบบบ้านแถวของกรณีศึกษา 2.) วัสดุประกอบอาคารกรณีศึกษา 3.) ทิศทางลมภายนอกโดยเฉลี่ยที่พบมากที่สุดที่กล่าวมาข้างต้น ต่อการออกแบบการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง

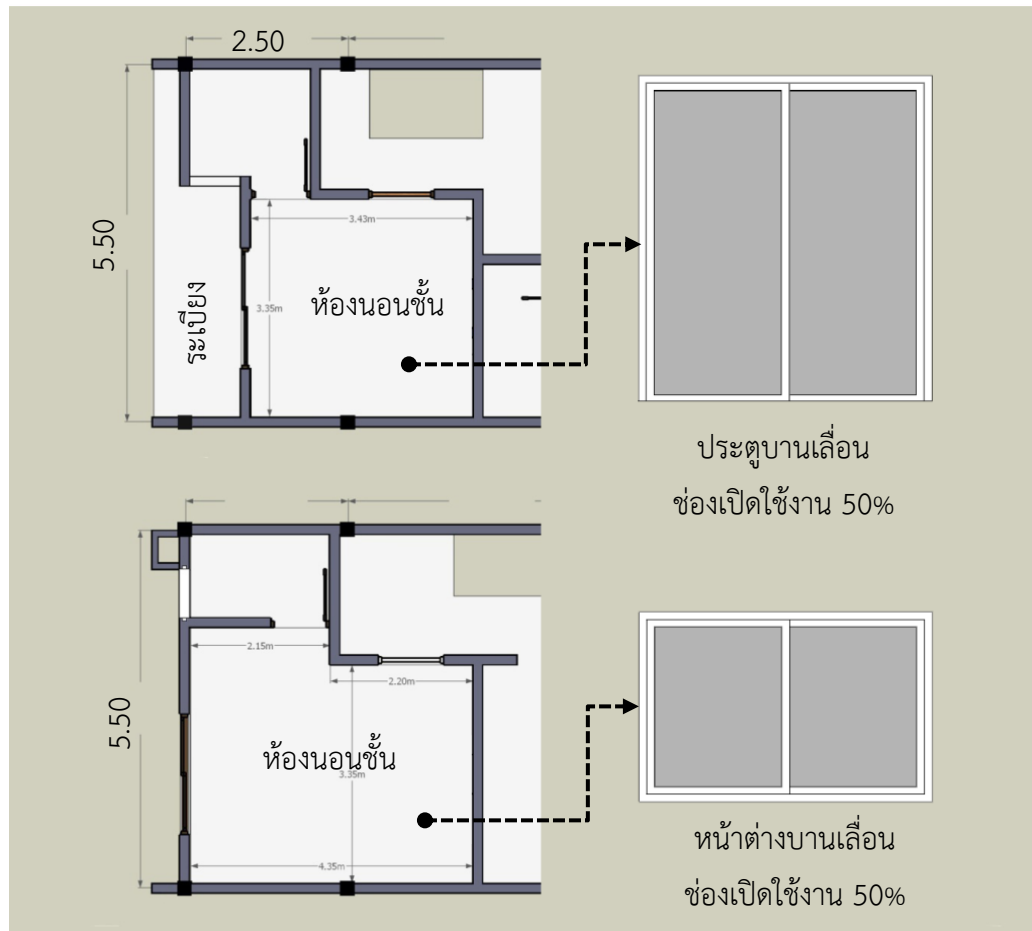
โดยในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาผลการศึกษาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของอิทธิพลตัวแปรปล่องระบายอากาศทางตั้ง ซึ่งหมายถึงผลการศึกษาที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารต่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งานเชิงกายภาพรวมทั้งการลงทุนในการก่อสร้าง ดังนั้น ผลของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุด (maximum air change) จึงไม่ใช่ผลการพิจารณาของอิทธิพลของความสูงปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้ศึกษาได้ทดสอบจากการจำลองด้วยโปรแกรม Designbuilder version 3.4.0.041 ทั้งหมด 12 กรณีศึกษา ซึ่งแบ่งเป็นกรณีศึกษาละ 3 แบบทดลอง โดยเริ่มต้นจากตัวแปรเริ่มต้นการทดลองเป็นตัวควบคุมการทดลองตัวแปรต้นที่ 1

จากการทบทวนวรรณกรรม ผู้ศึกษาได้กำหนดรูปแบบตัวแปรการทดลอง ได้แก่ 1.) ความสูงของปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 1) โดยวัดความสูงจากระดับหลังคานถึงระดับสูงสุดของปล่องระบายอากาศ และความเหมาะสมในการใช้งานของความสูงปล่องระบายอากาศต่อรูปแบบอาคารทางกายภาพของอาคาร ซึ่งมีตัวแปรทดลอง 3 กรณีศึกษาคือ ขนาดความสูงปล่องระบายอากาศขนาด 2.50 , 3.00 และ 4.50 เมตร ตามลำดับ 2.) ขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 2) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยวัดขนาดหน้าตัดจากผนังด้านในของปล่องระบายอากาศของแนวตัดผ่านแนวราบที่ตั้งฉากกับความสูงของปล่องระบายอากาศ และความเหมาะสมในการใช้งานของขนาดหน้าตัดปล่องระบายอากาศต่อรูปแบบอาคารทางกายภาพของอาคาร ซึ่งมีตัวแปรทดลอง 3 กรณีศึกษาคือ 0.6x0.6, 0.8x0.8 และ 1.0x1.0 ตารางเมตร ตามลำดับ 3.) รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศซึ่งมีขนาดพื้นที่ของช่องเปิดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.40x0.40 ตารางเมตร

และความเหมาะสมในการใช้งานรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศต่อรูปแบบอาคารทางกายภาพของอาคาร ซึ่งมีตัวแปรทดลอง 3 กรณีศึกษาคือ รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศชนิด บานเกล็ด ช่องโล่ง และแบบบานเกล็ด+ช่องโล่ง ตามลำดับ 4.) ความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศ ผู้ศึกษากำหนดให้ความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศระดับ 0 องศา มีลักษณะขนานกับระนาบหน้าตัดของปล่องระบายอากาศที่ตั้งฉากกับความสูงของปล่องระบายอากาศและความเหมาะสมในการใช้งานองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศต่อรูปแบบอาคารทางกายภาพของอาคาร ซึ่งมีตัวแปรทดลอง 3 กรณีศึกษาคือ ความลาดเอียงหลังคาของปล่องระบายอากาศระดับ 0 , 30 และ 45 องศา ตามลำดับ (ดูภาพที่ 24) รวมถึง กำหนดขนาดช่องเปิดหน้าต่าง-ประตู ของห้องนอนทั้งสอง ได้แก่ ในห้องนอนชั้น 2 มีหน้าต่างบานสไลด์ขนาด 0.9x1.8 ตารางเมตร และในห้องนอนชั้น 3 มีประตูบานสไลด์ขนาด 1.8x1.8 ตารางเมตร (ดูภาพที่ 25)



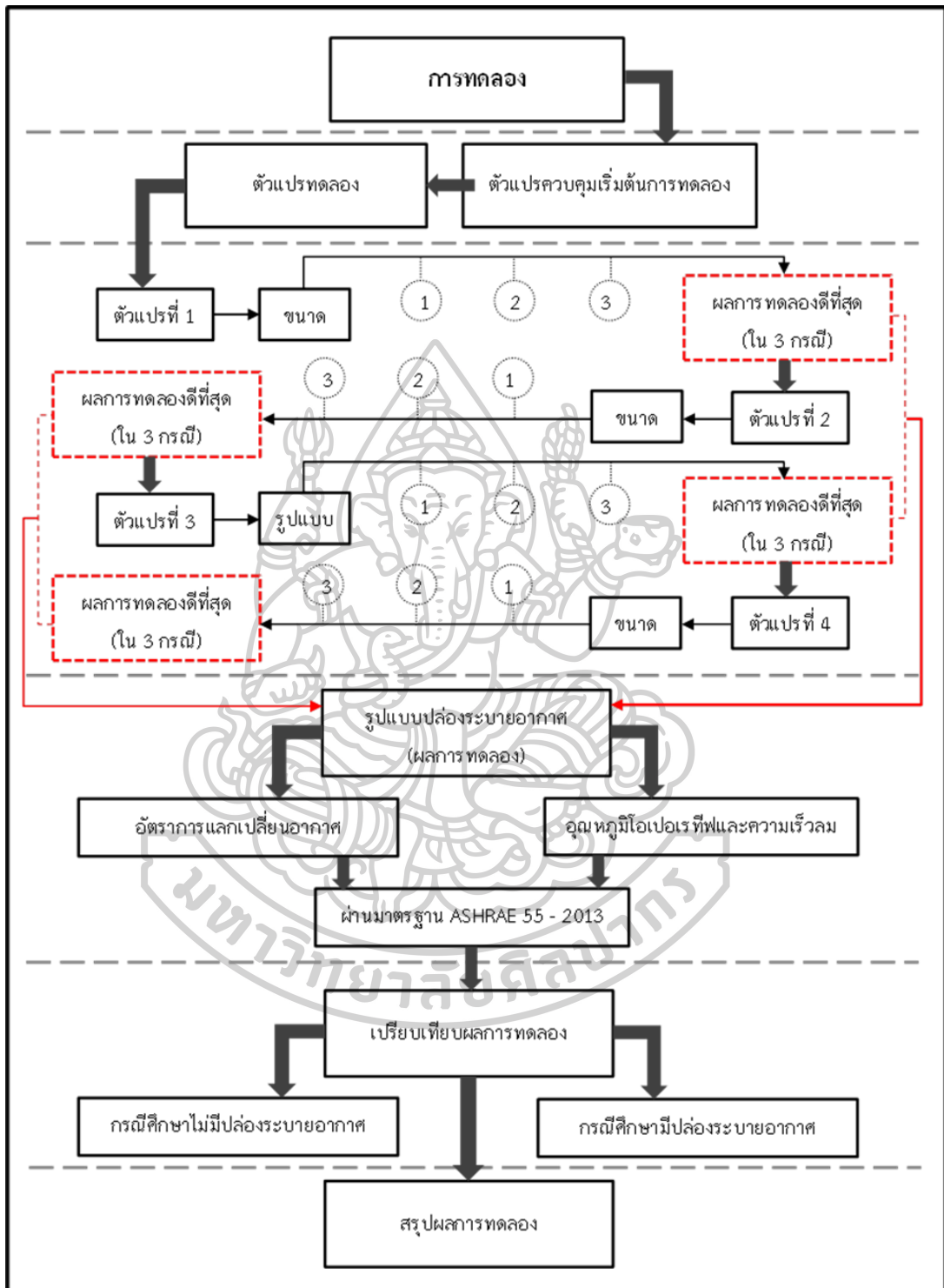
ภาพที่ 24 แสดงตัวแปรทดลอง ขนาดความสูง ขนาดหน้าตัด องศาความลาดเอียงของหลังคา และรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง



ภาพที่ 25 แสดงขนาดพื้นที่และประเภทช่องเปิด ประตู - หน้าต่าง ของห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3

5. ผลกระทบต่อสภาวะสบาย

หลังจากที่ได้รูปแบบของปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาคือ เพื่อพิจารณาการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารที่ดีที่สุดต่อการลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟในอาคาร (operative temperature) และเพิ่มสภาวะสบาย (thermal comfort) ต่อผู้ใช้อาคาร ซึ่งมีตัวแปรการทดลอง ได้แก่ 1.) ตัวแปรต้นคือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร (ac/h) เกิดขึ้นโดยความเร็วลมที่ระดับใช้งาน จากรูปแบบปล่องที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 2.) ตัวแปรตามคือ อุณหภูมิโอเปอเรทีฟในอาคาร และขอบเขตสภาวะสบายในอาคาร จากผลกระทบของลดอุณหภูมิภายในอาคารด้วยประสิทธิภาพของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เกิดขึ้นจากรูปแบบปล่องที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 3.) ตัวแปรควบคุมคือ ปริมาตรพื้นที่และสัดส่วนช่องเปิดของห้องนอน รวมถึง รูปแบบและตำแหน่งของปล่องระบายอากาศทางตั้ง ทั้งนี้ สามารถสรุปขั้นตอนในการศึกษา (ดูภาพที่ 26)



ภาพที่ 26 แสดงขั้นตอนการทดลองงานวิจัย

บทที่ 4 ผลการศึกษา

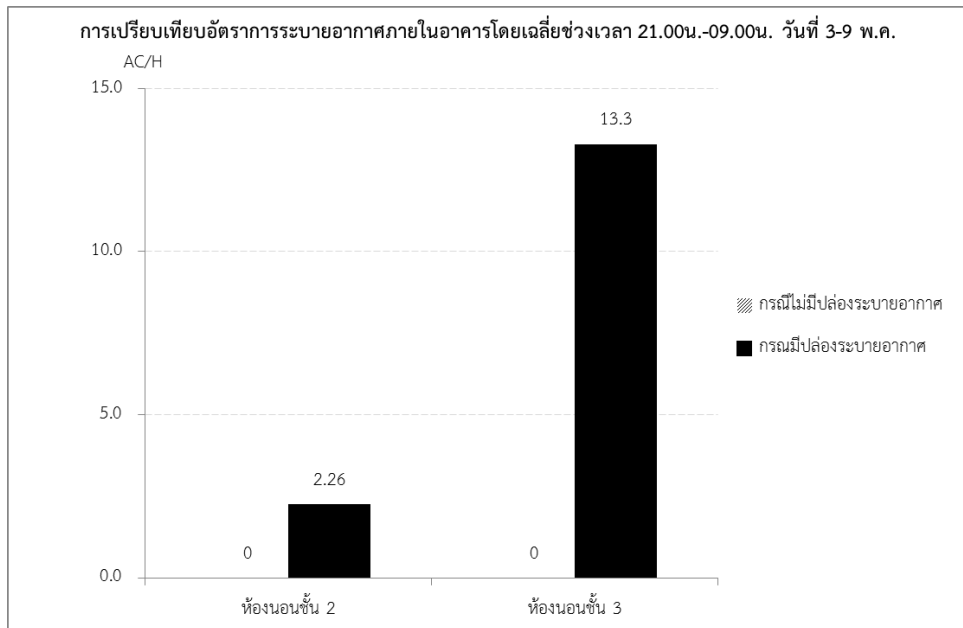
1. ผลการทดลองเบื้องต้น

ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่า การวางตำแหน่งอาคารในทิศทางต่างกัน ได้แก่ อาคารหลังที่ 1 ด้านหน้าหันด้านทิศเหนือ และอาคารหลังที่ 2 ด้านหน้าหันด้านทิศใต้ มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารที่ไม่แตกต่างกัน โดยพบว่าในอาคารหลังที่ 1 และ 2 มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในห้องนอนชั้น 2 จากเดิม 0.00 และ 0.00 ac/h เป็น 5.22 และ 5.38 ac/h และห้องนอนชั้น 3 จากเดิม 0.00 และ 0.00 ac/h เป็น 5.25 และ 5.32 ac/h (ดูตารางที่ 5) ดังนั้น ในการศึกษานี้ ผู้ศึกษาจึงเลือกอาคารหลังที่จัดวางด้านหน้าอาคารหันทางทิศใต้เป็นตัวแทนในอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ อาคารหลังที่ 2

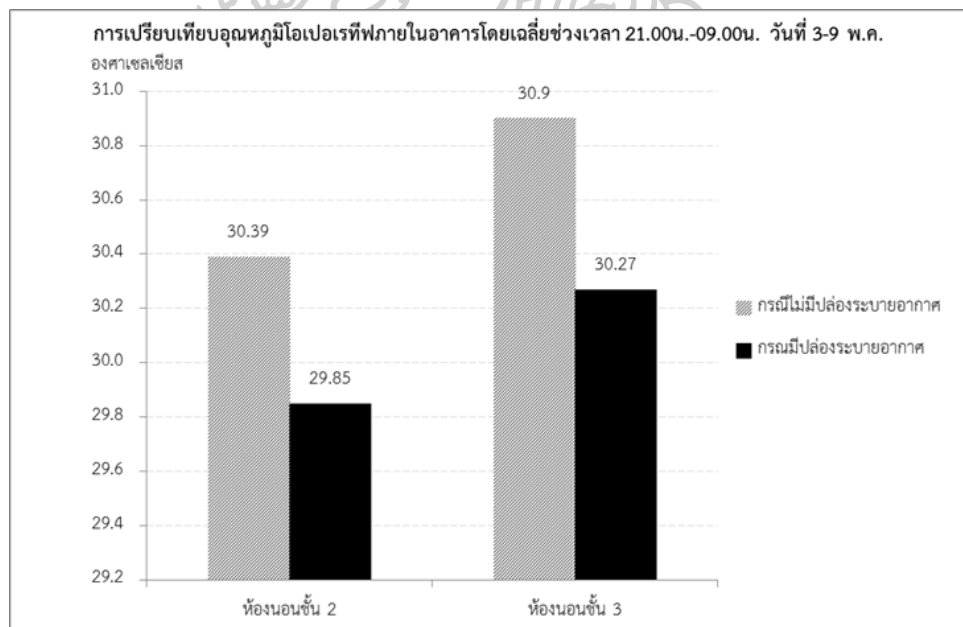
ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร		
อาคาร	AC/H	
	ห้องนอนชั้น 2	ห้องนอนชั้น 3
หลังที่ 1	5.22	5.25
หลังที่ 2	5.38	5.32

ผลการทดลองอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้นในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 พบว่า มีอัตราการระบายอากาศโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.00 และ 0.00 ac/h เป็น 2.26 และ 13.30 ac/h และมีอุณหภูมิโอเปอเรทีฟในห้องนอนทั้งสองเฉลี่ยลดลงโดยเฉลี่ยจากเดิม 30.39°C และ 30.90°C เป็น 29.85°C และ 30.27°C ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับห้องในอาคารกรณีศึกษาที่ไม่มีปล่องระบายอากาศทางตั้ง (ดูภาพที่ 27, 28) ดังนั้น จึงสรุปผลการทดลองสมมุติฐานได้ว่า การใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งในบ้านแถวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มอัตราการระบายอากาศในอาคาร และมีอุณหภูมิโอเปอเรทีฟลดลงในช่วงเวลาใช้งาน



ภาพที่ 27 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารเฉลี่ยต่อสัปดาห์ ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) ในกรณีศึกษาที่มีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศ



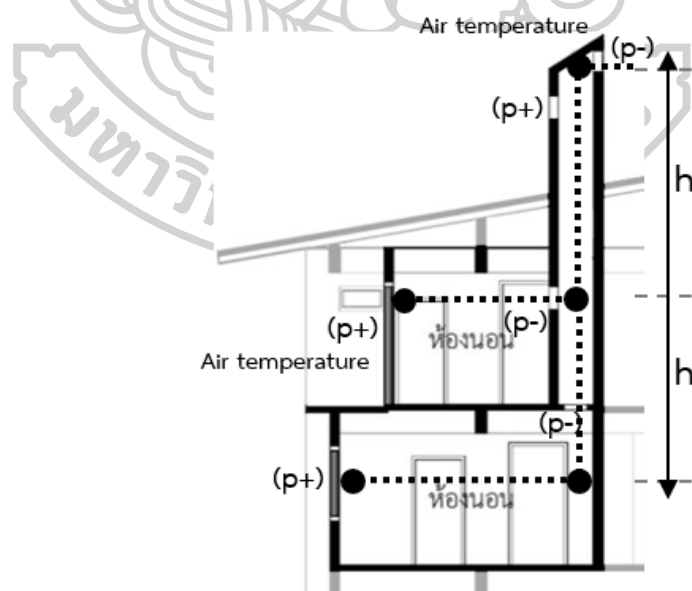
ภาพที่ 28 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟภายในอาคารเฉลี่ยต่อสัปดาห์ ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) ในกรณีศึกษาที่มีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศ

2. ผลการศึกษาอิทธิพลตัวแปรของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

จากวัตถุประสงค์ และการทดสอบเบื้องต้นในการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ลด อุณหภูมิ และเพิ่มสภาวะสบายในห้องนอนของอาคารบ้านแถว ด้วยวิธีการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้ง นำมาสู่การศึกษาทดลองประสิทธิภาพอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารด้วยตัวแปรอิทธิพลของปล่องระบายอากาศทางตั้ง และมีผลการศึกษาในแต่ละขั้นตอนดังนี้

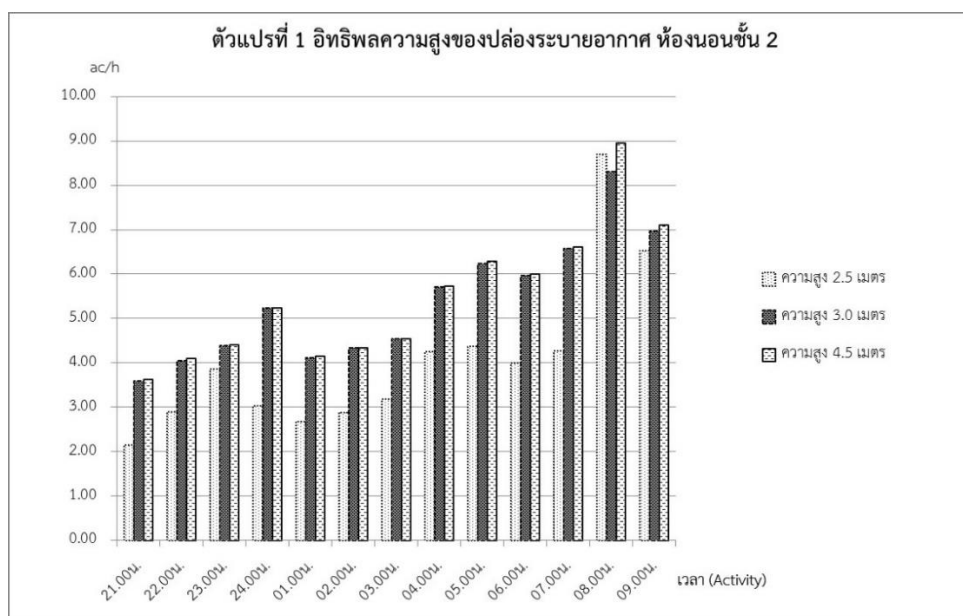
2.1 อิทธิพลของความสูงปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 1)

จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลความสูงของปล่องระบายอากาศทางตั้ง พบว่า ความสูงปล่องระบายอากาศยิ่งสูงมากจะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารเพิ่มขึ้น โดยอาศัยอิทธิพลของ stack effect และจากความสัมพันธ์ระหว่างความกดอากาศกับระดับความสูงของปล่องระบายอากาศ ซึ่งเมื่อความสูงปล่องระบายอากาศมากขึ้นจะทำให้ความกดอากาศต่ำลง และเนื่องจากในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศเกิดขึ้นในอาคารไปยังปล่องระบายอากาศ โดยอากาศจะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปตามระดับความสูงของปล่องระบายอากาศ รวมระยะทางตั้งแต่ช่องเปิดทางเข้าของอาคารไปยังช่องเปิดทางออกของปล่องระบายอากาศ (ดูภาพที่ 29)

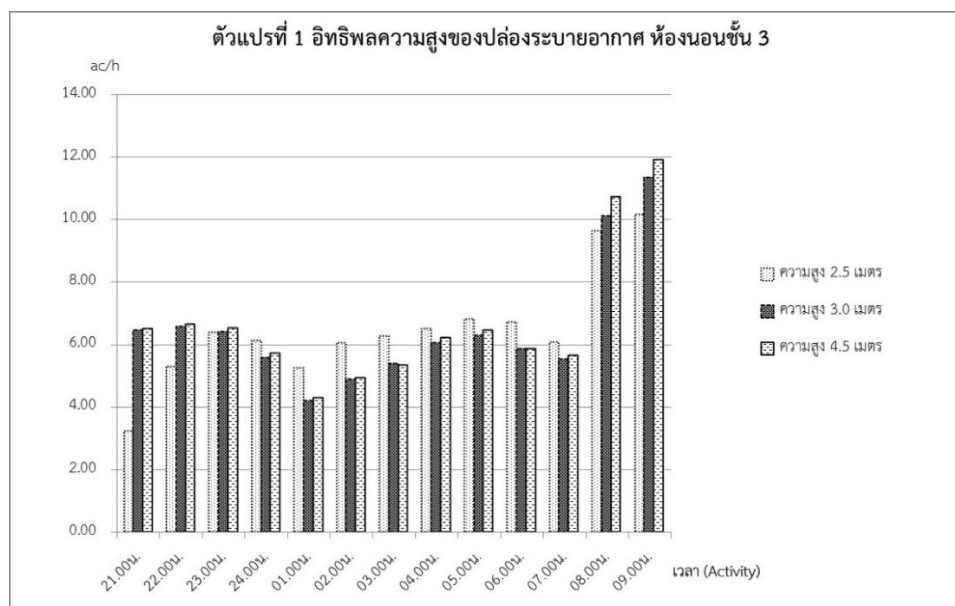


ภาพที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลของระดับความสูงของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

จากการจำลองพบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุดของอิทธิพลความสูงของปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 ได้แก่ ขนาดความสูงปล่องระบายอากาศ 4.5, 3.0 และ 2.5 เมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 5.24, 5.23 และ 3.86 ac/h ตามลำดับ และในห้องนอนชั้น 3 ได้แก่ ขนาดความสูงปล่องระบายอากาศ 2.5, 4.5 และ 3.0 เมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 6.25, 6.20 และ 6.04 ac/h ตามลำดับ (ดูภาพที่ 30, 31)



ภาพที่ 30 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ที่มีความสูงของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week



ภาพที่ 31 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ที่มีความสูงของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

ทั้งนี้ อิทธิพลของความสูงปล่องระบายอากาศทางตั้งที่มีประสิทธิภาพแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องนอนได้รับการพิจารณาจากผลของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยสูงสุดที่เกิดขึ้น ทั้งระบบการทำงานของปล่องระบายอากาศทางตั้งพบว่า ความสูงของปล่องระบายอากาศ ได้แก่ ความสูง 4.5, 3.0 และ 2.5 เมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยรวมเฉลี่ย 5.72, 5.64 และ 5.10 ac/h ตามลำดับ (ดูภาพที่ 30) จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 กรณี พบว่ามีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารต่างกันดังนี้

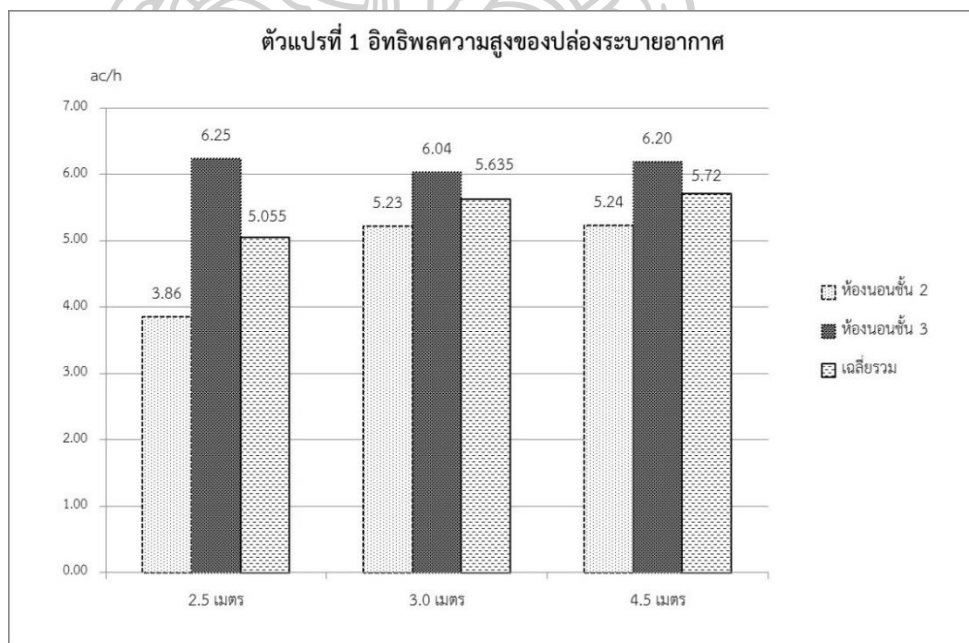
อิทธิพลความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 2.5 เมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารน้อยที่สุดเป็นลำดับสามคือ 5.10 ac/h ซึ่งน้อยกว่าความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 3.0 และ 4.5 เมตร อยู่ 0.58 และ 0.67 ac/h ตามลำดับ รวมทั้ง ระดับความสูงของปล่องระบายอากาศที่น้อยกว่า 0.5 และ 2.0 เมตร ตามลำดับ

อิทธิพลของความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 3.0 เมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารเป็นลำดับสองคือ 5.64 ac/h ซึ่งมากกว่าความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 2.5 เมตร อยู่ 0.58 ac/h และน้อยกว่าความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 4.5 เมตร อยู่ 0.09 ac/h รวมทั้ง ระดับความสูงของปล่องระบายอากาศที่มากกว่าความสูงของ

ปล่องระบายอากาศระดับ 2.5 เมตร อยู่ 0.5 เมตร และน้อยกว่าความสูงปล่องระบายอากาศระดับ 4.5 เมตร อยู่ 1.5 เมตร

อิทธิพลของความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 4.5 เมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมากที่สุดเป็นลำดับหนึ่งคือ 5.72 ac/h ซึ่งมากกว่าความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 2.5 และ 3.0 เมตร อยู่ 0.67 และ 0.09 ac/h ตามลำดับ รวมทั้ง ระดับความสูงของปล่องระบายอากาศที่มากกว่า 2.0 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ

ดังนั้น จึงสรุปว่า อิทธิพลของความสูงปล่องระบายอากาศระดับ 3.0 เมตร มีผลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานของกรณีศึกษา เนื่องจากมีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่าความสูงปล่องระบายอากาศระดับ 2.5 เมตร อยู่ 0.58 ac/h อย่างชัดเจนต่อการเพิ่มขึ้นของความสูงปล่องระบายอากาศ 0.5 เมตร และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศน้อยกว่าความสูงของปล่องระบายอากาศระดับ 4.5 เมตร อยู่ 0.09 ac/h ซึ่งไม่มีความจำเป็นต่อการเพิ่มขึ้นของความสูงปล่องระบายอากาศ 1.5 เมตร โดยความสูงของปล่องระบายอากาศที่สูงเกินไปจะทำให้ไม่เหมาะสมกับสัดส่วนความสูงของอาคารในเชิงกายภาพ

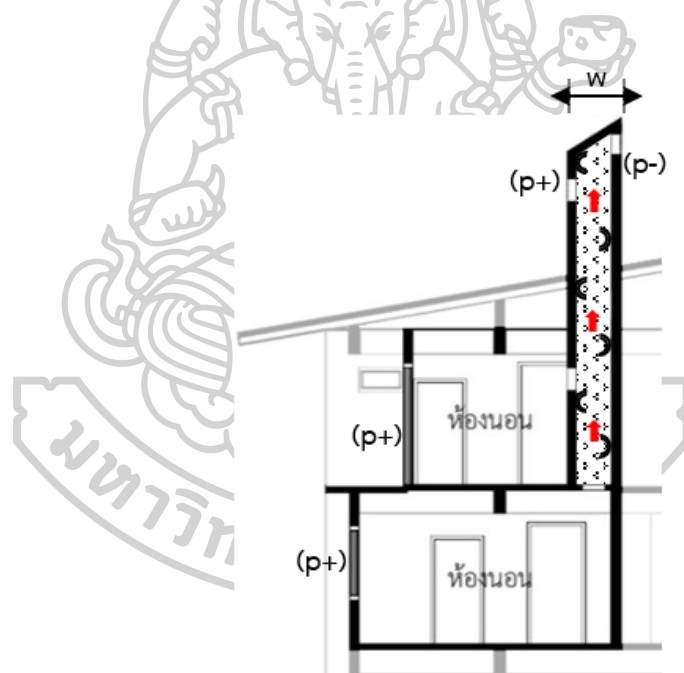


ภาพที่ 32 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ที่มีระดับความสูงของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.)

ในช่วง summer typical week

2.2 อิทธิพลหน้าตัดของปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 2)

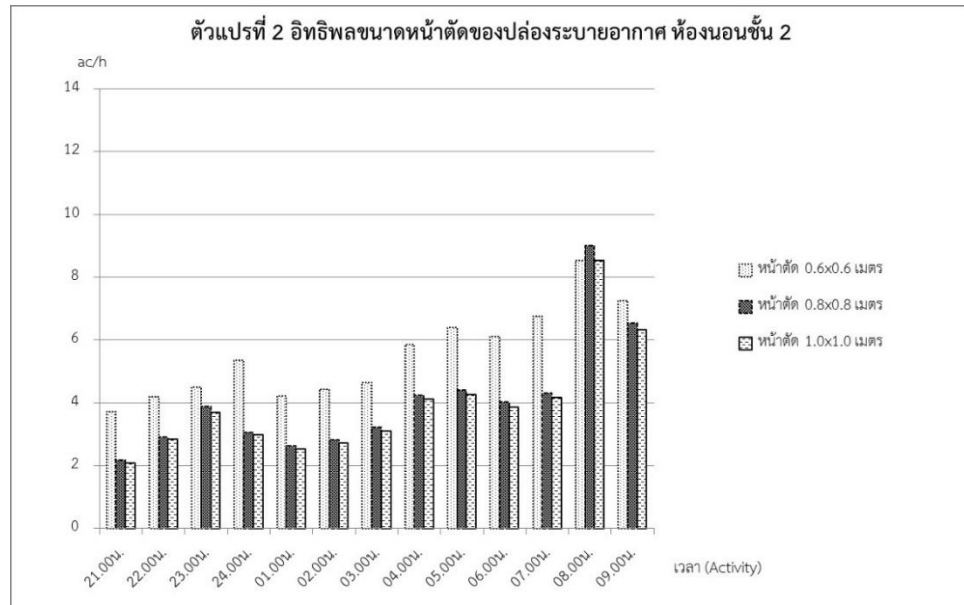
จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง พบว่า หน้าตัดปล่องระบายอากาศที่มีพื้นที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารลดน้อยลงด้วย โดยอาศัยอิทธิพลของแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวภายในปล่องระบายอากาศกับความหนาแน่นของอากาศภายในปล่องระบายอากาศ จากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่หน้าตัดปล่องระบายอากาศกับปริมาณอากาศภายในอาคาร เนื่องจากทำให้อากาศภายในปล่องระบายอากาศถูกขับเคลื่อนโดยแรงต้านทานของอากาศ (resistance) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสภายในของปล่องระบายอากาศ ซึ่งทำให้เกิดการบีบอัดของอากาศภายในปล่องระบายอากาศ นอกจากนี้ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นยังควบคุมให้อากาศเคลื่อนที่ไปอย่างมีทิศทางโดยลอยตัวสูงขึ้นด้วยอิทธิพลจาก stack effect (ดูภาพที่ 33)



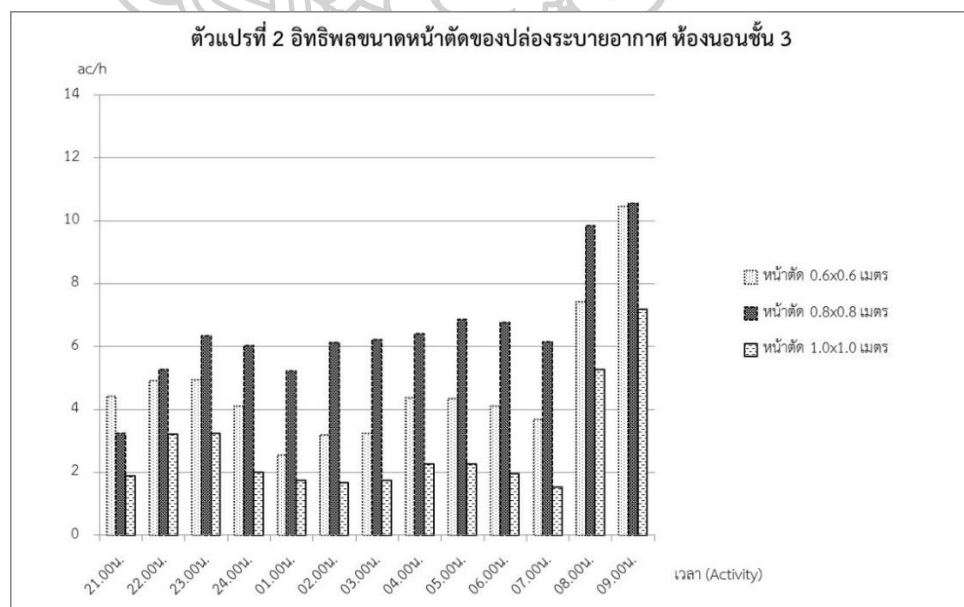
ภาพที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลของขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

จากการทดลองพบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุดของอิทธิพลหน้าตัดของปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 ได้แก่ ขนาดหน้าตัดปล่องระบายอากาศ 0.6x0.6, 1.0x1.0 และ 0.8x0.8 ตารางเมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 5.35, 3.88 และ 3.68 ac/h ตามลำดับ และในห้องนอนชั้น 3 ได้แก่ ขนาดหน้าตัดปล่องระบายอากาศ

0.8x0.8, 0.6x0.6 และ 1.0x1.0 ตารางเมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 6.22, 4.35 และ 1.99 ac/h ตามลำดับ (ดูภาพที่ 34, 35)



ภาพที่ 34 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ที่มีขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week



ภาพที่ 35 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ที่มีขนาดหน้าตัดของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

ทั้งนี้ อิทธิพลของหน้าต่างปล่องระบายอากาศทางตั้งที่มีประสิทธิภาพแลกเปลี่ยน อากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องนอนได้รับการพิจารณาจากผลของอัตราการแลกเปลี่ยน อากาศโดยเฉลี่ยสูงสุดที่เกิดขึ้น ทั้งระบบการทำงานของปล่องระบายอากาศทางตั้งพบว่า หน้าตัดของปล่องระบายอากาศ ได้แก่ ขนาด 0.80x0.80, 0.60x0.60 และ 1.0x1.0 ตาราง เมตร มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยรวมเฉลี่ย 5.05, 4.85 และ 3.84 ac/h ตามลำดับ (ดู ภาพที่ 36) จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 กรณี พบว่ามีอัตราการแลกเปลี่ยน อากาศในอาคารต่างกันดังนี้

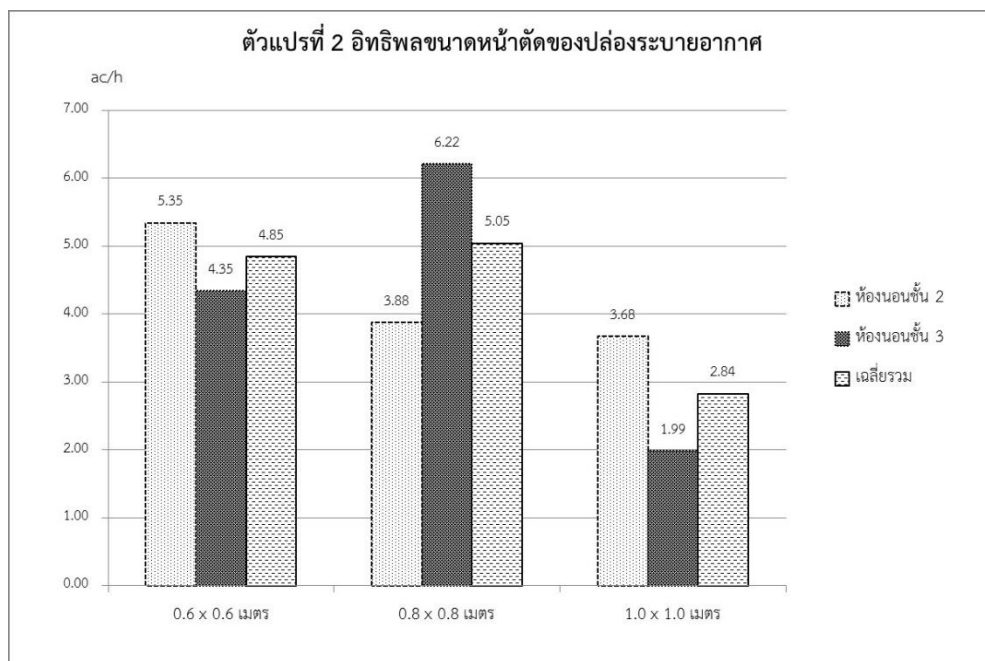
อิทธิพลหน้าต่างของปล่องระบายอากาศขนาด 0.60x0.60 ตารางเมตร มีอัตราการ แลกเปลี่ยนอากาศในอาคารเป็นลำดับสองคือ 4.05 ac/h ซึ่งน้อยกว่าหน้าต่างของปล่อง ระบายอากาศขนาด 0.80x0.80 ตารางเมตร อยู่ 1.00 ac/h และมากกว่าหน้าต่างของปล่อง ระบายอากาศขนาด 1.00x1.00 ตารางเมตร อยู่ 1.22 ac/h รวมทั้ง ขนาดหน้าของปล่อง ระบายอากาศที่น้อยกว่าหน้าต่างของปล่องระบายอากาศขนาด 0.80x0.80 และ 1.0 x1.00 ตารางเมตร อยู่ 0.20x0.20 และ 0.40x0.40 ตารางเมตร ตามลำดับ

อิทธิพลของหน้าต่างของปล่องระบายอากาศขนาด 0.80x0.80 ตารางเมตร มีอัตรา การแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมากที่สุดเป็นลำดับหนึ่งคือ 5.05 ac/h ซึ่งมากกว่าหน้าต่าง ของปล่องระบายอากาศขนาด 0.60x0.60 และ 1.00x1.00 ตารางเมตร อยู่ 1.00 และ 1.215 ac/h ตามลำดับ รวมทั้ง ขนาดหน้าต่างของปล่องระบายอากาศที่มากกว่าหน้าต่างของ ปล่องระบายอากาศขนาด 0.60x0.60 ตารางเมตร อยู่ 0.20x0.20 ตารางเมตร และน้อยกว่า หน้าตัดปล่องระบายอากาศขนาด 1.00x1.00 ตารางเมตร อยู่ 0.20x0.20 ตารางเมตร

อิทธิพลของหน้าต่างของปล่องระบายอากาศขนาด 1.00x1.00 ตารางเมตร มีอัตรา การแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารน้อยที่สุดเป็นลำดับสามคือ 2.84 ac/h ซึ่งน้อยกว่าหน้าต่าง ของปล่องระบายอากาศขนาด 0.60x0.60 และ 0.80x0.80 ตารางเมตร อยู่ 1.215 และ 2.22 ac/h ตามลำดับ รวมทั้ง ขนาดหน้าต่างของปล่องระบายอากาศที่มากกว่า 0.40x0.40 และ 0.20x0.20 ตารางเมตร ตามลำดับ

ดังนั้น จึงสรุปว่า อิทธิพลของหน้าต่างปล่องระบายอากาศขนาด 0.60x0.60 ตาราง เมตร มีผลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานของกรณีศึกษา เนื่องจากมีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่าหน้าต่างปล่องระบายอากาศขนาด 1.00x1.00 ตารางเมตร อยู่ 1.22 ac/h อย่างชัดเจนต่อการน้อยลงของขนาดหน้าต่างปล่อง ระบายอากาศ 0.40x0.40 ตารางเมตร และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศน้อยกว่าหน้าต่าง

ของปล่องระบายอากาศขนาด 0.80×0.80 ตารางเมตร อยู่ 1.00 ac/h ซึ่งไม่จำเป็นต้องการเพิ่มขึ้นของขนาดหน้าตัดปล่องระบายอากาศ 0.20×0.20 ตารางเมตร โดยการเพิ่มขึ้นของขนาดพื้นที่หน้าตัดปล่องระบายอากาศจะทำให้พื้นที่ใช้งานในอาคารลดลงด้วย

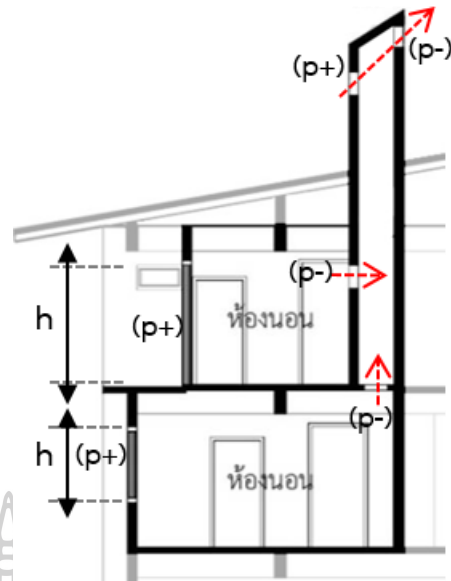


ภาพที่ 36 แสดงอิทธิพลตัวแปรหน้าตัดปล่องระบายอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ที่มีต่ออัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (เวลา 21.00น.-09.00น.)

ในช่วง summer typical week

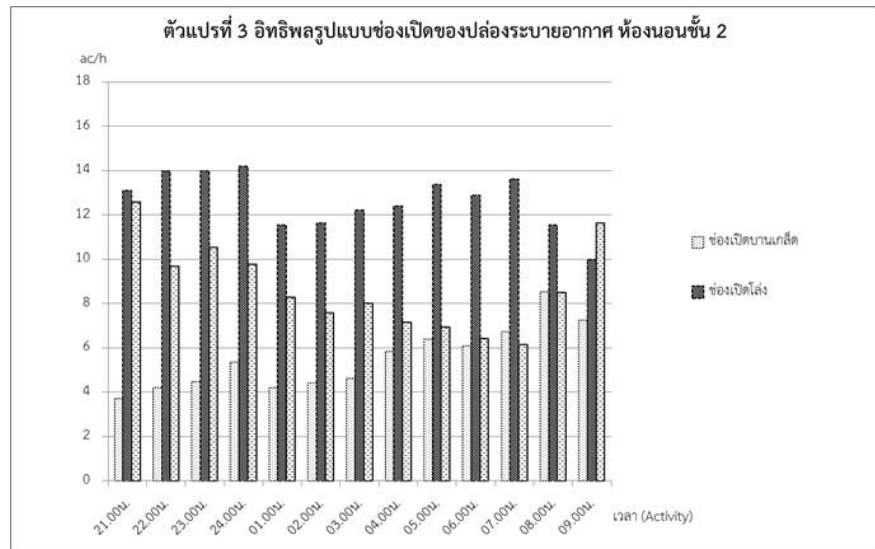
2.3 อิทธิพลรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 3)

จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง พบว่า เมื่อรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศเป็นพื้นที่ช่องโถงจะทำให้มีพื้นที่การเข้า-ออก ของมวลอากาศโดยไม่ถูกกีดขวางการเคลื่อนที่เข้าสู่อาคารจากความสัมพันธ์ระหว่างความกดดันอากาศกับแรงเสียดทาน โดยเมื่อความกดดันอากาศสูงจะทำให้เกิดแรงเสียดทานต่ำทำให้อากาศสามารถเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำได้ ซึ่ง รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศสามารถเป็นตัวควบคุมปริมาณอากาศ (air volume) และความเร็วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อการอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารโดยตรง (ดูภาพที่ 37)

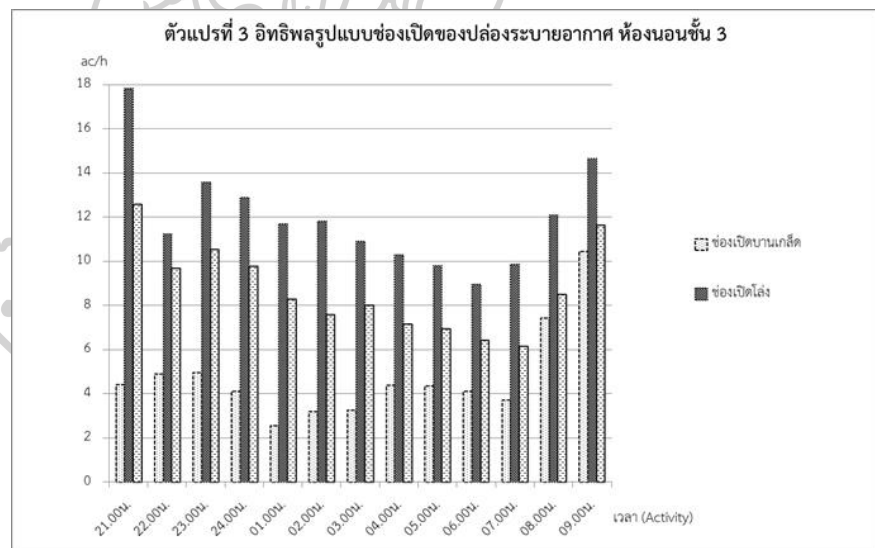


ภาพที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลของรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

จากการจำลองพบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุดของอิทธิพลรูปแบบของปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 ได้แก่ รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องโค้ง แบบช่องบานเกล็ด + โลง และแบบช่องบานเกล็ด มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 12.91, 8.30 และ 5.35 ac/h ตามลำดับ และในห้องนอนชั้น 3 ได้แก่ รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 11.71, 8.30 และ 4.35 ac/h ตามลำดับ (ดูภาพที่ 38, 39)



ภาพที่ 38 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ที่มีรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week



ภาพที่ 39 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ที่มีรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

ทั้งนี้ อิทธิพลของรูปแบบช่องเปิดปล่องระบายอากาศทางตั้งที่มีประสิทธิภาพแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องนอนได้รับการพิจารณาจากผลของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยสูงสุดที่เกิดขึ้น ทั้งระบบการทำงานของปล่องระบายอากาศทางตั้งพบว่า รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ ได้แก่ รูปแบบช่องเปิดโล่ง แบบช่องบาน

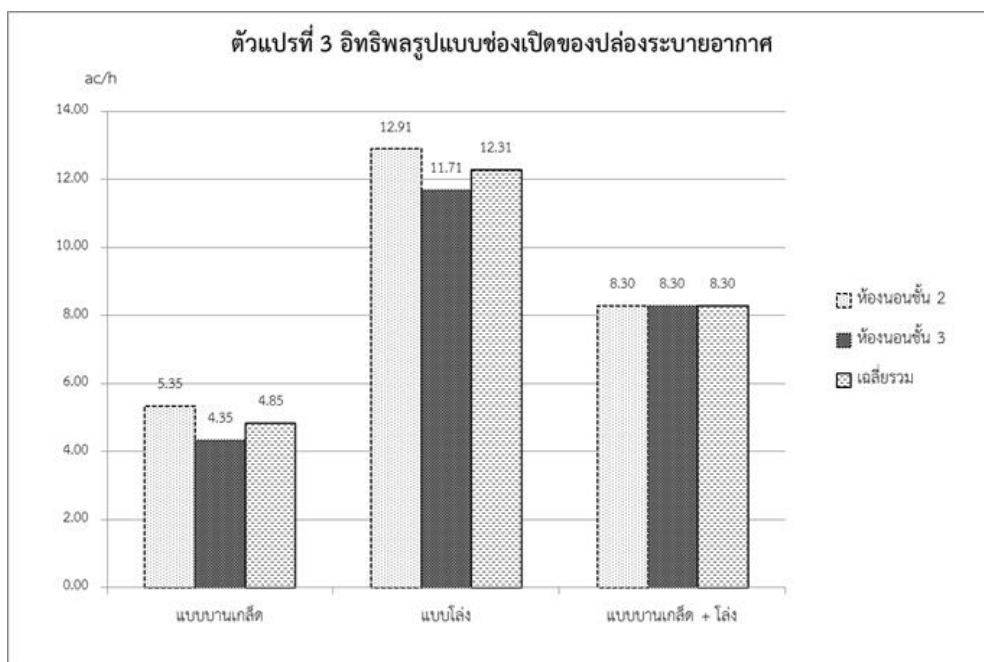
เกล็ด + โลง มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยรวมเฉลี่ย 5.72, 5.64 และ 5.10 ac/h ตามลำดับ (ดูภาพที่ 40) จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 กรณี พบว่ามีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารต่างกันดังนี้

อิทธิพลรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบบานเกล็ด มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารน้อยที่สุดเป็นลำดับสามคือ 4.85 ac/h ซึ่งน้อยกว่ารูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องโลง และแบบช่องบานเกล็ด + โลง อยู่ 9.45 และ 3.45 ac/h ตามลำดับ รวมทั้ง รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศมีพื้นที่สำหรับการเข้า-ออก ของอากาศน้อยกว่ารูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศแบบโลง และแบบบานเกล็ด + โลง อยู่ 50 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อิทธิพลรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องโลง มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมากที่สุดเป็นลำดับหนึ่งคือ 12.31 ac/h ซึ่งมากกว่ารูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศแบบช่องบานเกล็ด และแบบช่องบานเกล็ด + โลง อยู่ 7.46 และ 4.01 ac/h ตามลำดับ รวมทั้ง รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศมีพื้นที่สำหรับการเข้า-ออก ของอากาศมากกว่ารูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องบานเกล็ด และแบบช่องบานเกล็ด + โลง อยู่ 50 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

อิทธิพลรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องบานเกล็ด + โลง มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารเป็นลำดับสองคือ 8.30 ac/h ซึ่งมากกว่ารูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบบานเกล็ด อยู่ 3.45 ac/h และน้อยกว่ารูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบโลง อยู่ 4.01 ac/h รวมทั้ง รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศมีพื้นที่การเข้า-ออก ของอากาศน้อยกว่าช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องโลง 25 เปอร์เซ็นต์ และรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศมีพื้นที่การเข้า-ออก ของอากาศมากกว่าช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องบานเกล็ด 50 เปอร์เซ็นต์

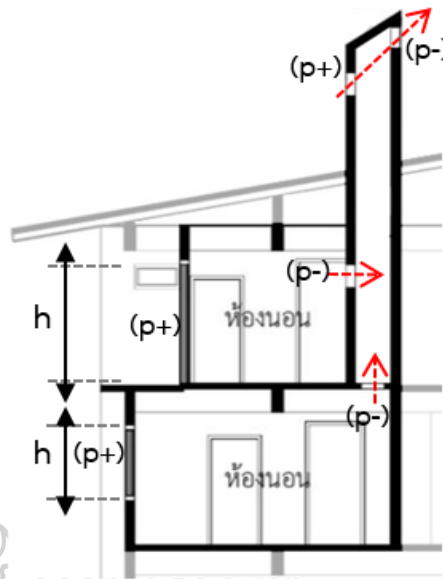
ดังนั้น จึงสรุปว่า อิทธิพลรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องบานเกล็ด มีผลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานของกรณีศึกษา เนื่องจากมีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป สำหรับกับปริมาตรพื้นที่ของห้องนอน โดยมีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศน้อยกว่ารูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศ แบบช่องโลง และแบบช่องบานเกล็ด + โลง อยู่ 9.45 และ 3.45 ac/h อย่างชัดเจนต่อการใช้งานอย่างเหมาะสมสำหรับห้องนอน



ภาพที่ 40 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ที่มีรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

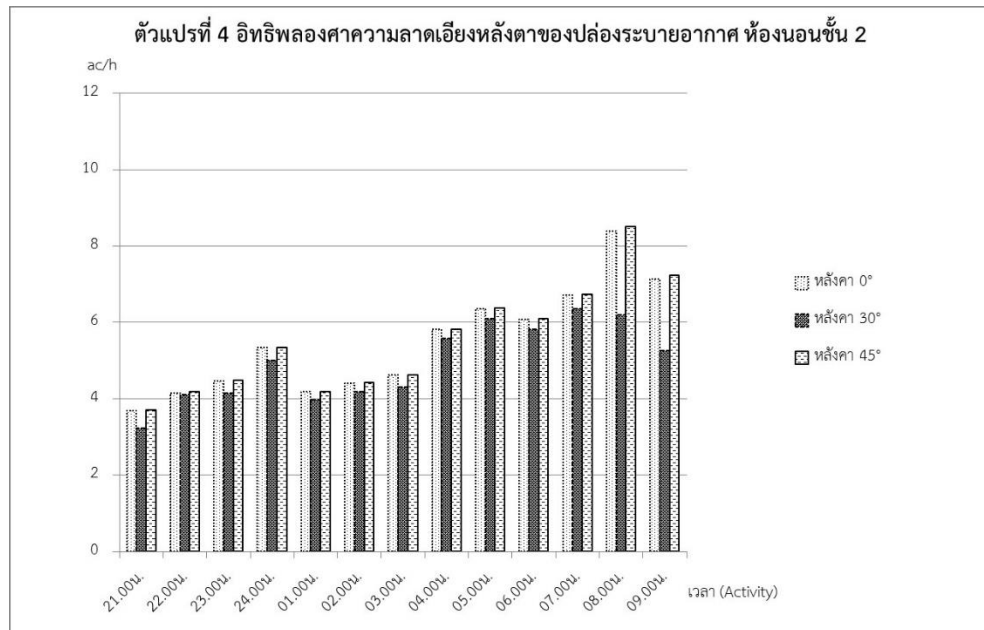
2.4 อิทธิพลขององศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศ (ตัวแปรที่ 4)

จากวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของความลาดเอียงของปล่องระบายอากาศทางตั้ง พบว่า ความลาดเอียงของหลังคาของปล่องระบายอากาศจะต้องขึ้นอยู่กับทิศทางลม (wind direction) ความเร็วลม และสภาพแวดล้อมบริเวณอาคารข้างเคียงที่ทำให้อากาศเกิดการกระจายตัว และเคลื่อนที่โดยอาศัยอิทธิพลของความแตกต่างของความกดอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณความลาดเอียงของพื้นผิวของหลังคาปล่องระบายอากาศ ด้วยหลักการ venturi effect ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นแรงดึงดูดอากาศบริเวณช่องเปิดทางออกของปล่องระบายอากาศ (ดูภาพที่ 41)

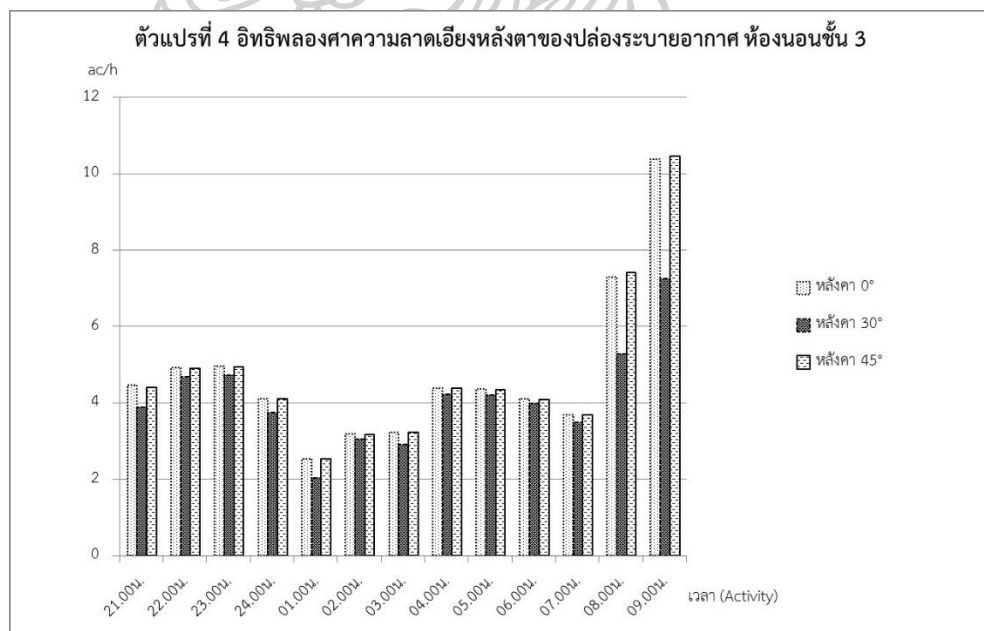


ภาพที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารจากอิทธิพลขององศาความลาดเอียงของปล่องระบายอากาศทางตั้ง

จากการจำลองพบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุดของอิทธิพลความลาดเอียงของหลังคาของปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 ได้แก่ ความลาดเอียงของหลังคาของปล่องระบายอากาศขนาด 0° , 45° และ 30° มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 4.85, 4.85 และ 4.50 ac/h ตามลำดับ และในห้องนอนชั้น 3 ได้แก่ ความลาดเอียงของหลังคาของปล่องระบายอากาศขนาด 0° , 45° และ 30° มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเฉลี่ย 4.85, 4.85 และ 4.50 ac/h ตามลำดับ (ดูภาพที่ 42, 43)



ภาพที่ 42 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ที่มีองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week



ภาพที่ 43 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ที่มีองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

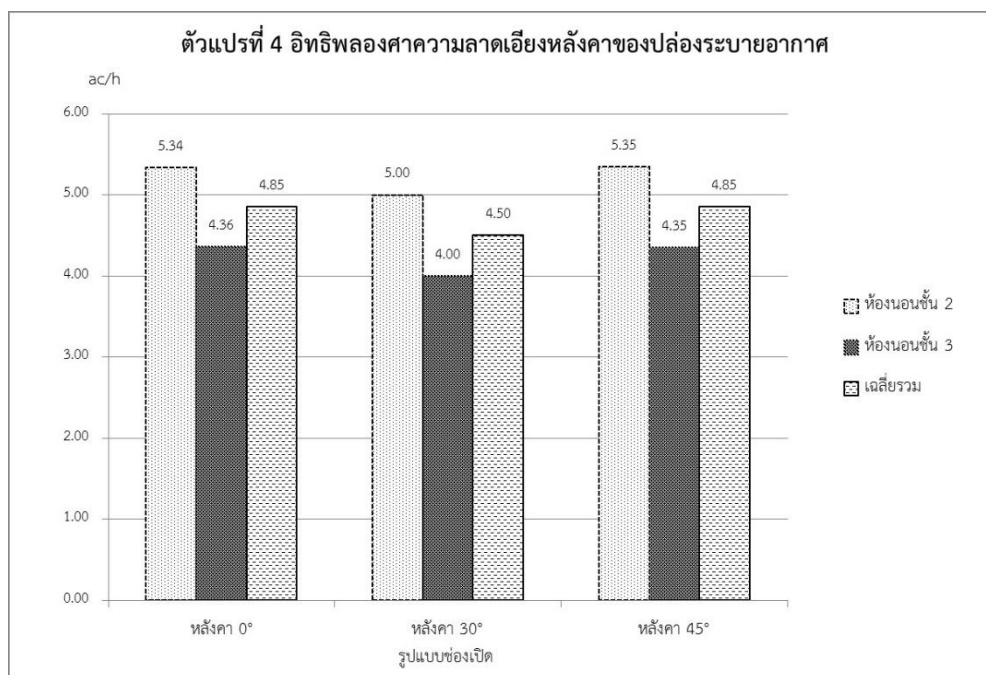
ทั้งนี้ อิทธิพลองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศทางตั้งที่มีประสิทธิภาพแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องนอนได้รับการพิจารณาจากผลของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยสูงสุดที่เกิดขึ้น ทั้งระบบการทำงานของปล่องระบายอากาศทางตั้งพบว่า องศาความลาดเอียงของหลังคาของปล่องระบายอากาศ ได้แก่ ความลาดเอียงขนาด 0° , 30° และ 45° มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยรวมเฉลี่ย 4.50, 4.85 และ 4.50 ac/h ตามลำดับ (ดูภาพที่ 44) จากการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 กรณี พบว่ามีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารต่างกันดังนี้

อิทธิพลองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 0° มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมากที่สุดเป็นลำดับหนึ่งคือ 4.85 ac/h ซึ่งเท่ากับองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 45° และมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมากกว่าองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 30° อยู่ 0.35 ac/h

อิทธิพลองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 30° มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารน้อยที่สุดเป็นลำดับสองคือ 4.50 ac/h ซึ่งน้อยกว่าองศาความลาดเอียงของหลังคาขนาด 0° และ 45° อยู่ 0.35 ac/h

อิทธิพลองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 45° มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารเป็นลำดับสองคือ 4.85 ac/h ซึ่งเท่ากับองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 0° และมากกว่าองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศ ขนาด 30° อยู่ 0.35 ac/h

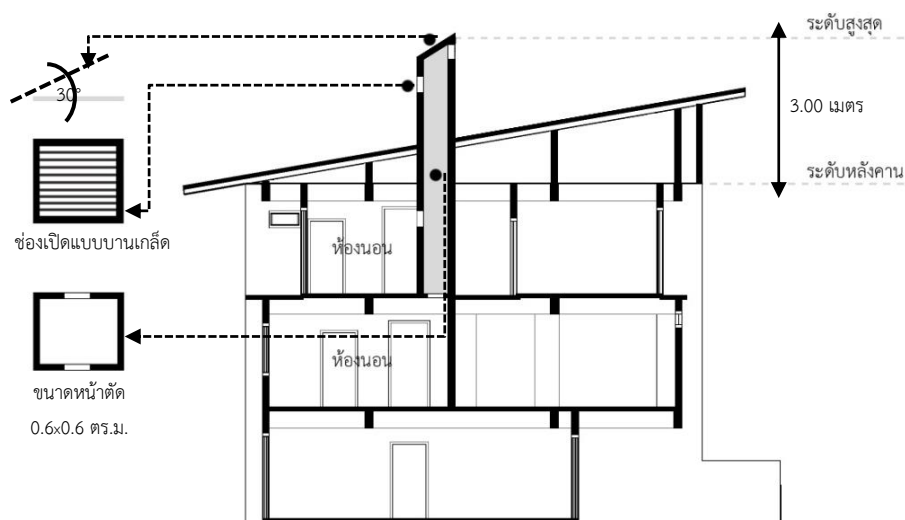
ดังนั้น จึงสรุปว่า อิทธิพลองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 30° มีผลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานของกรณีศึกษา เนื่องจากมีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศเหมาะสมสำหรับกับปริมาตรพื้นที่ของห้องนอน ซึ่งกำหนดอย่างน้อย 2.00 ac/h และมีองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศใกล้เคียงกับองศาความลาดเอียงของหลังคาอาคาร ซึ่งเป็นไปตามรูปแบบความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยมีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศน้อยกว่าองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 0° และ 45° อยู่ 0.35 ac/h ซึ่งไม่ชัดเจน ทั้งนี้ องศาความลาดเอียงทั้ง 3 แบบ สามารถนำมาใช้งานกับบ้านแถวที่มีองศาความลาดเอียงที่แตกต่างกับไปตามความเหมาะสมกับรูปแบบอาคาร



ภาพที่ 44 แสดงอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ที่มีต่อองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศต่างกัน (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

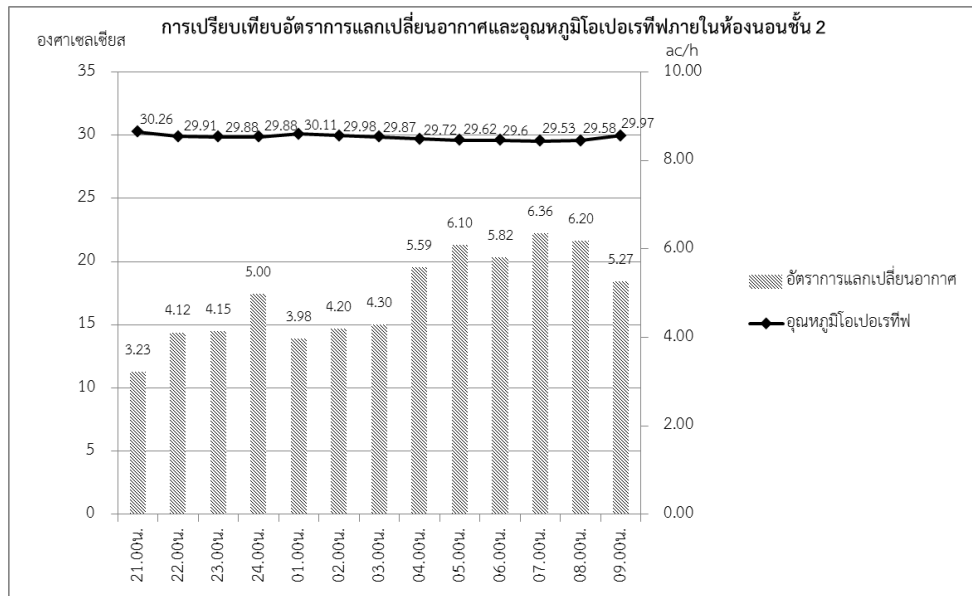
2.5 การประเมินประสิทธิภาพปล่องระบายอากาศทางตั้งเพื่อเพิ่มสภาวะสบาย

จากวัตถุประสงค์การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร ผลการทดลองพบว่า ปล่องระบายอากาศทางตั้ง มีศักยภาพสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร ในช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น.ของวันถัดไป ในช่วงวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) ได้ผลการทดลองแสดงถึงประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศทางตั้งที่เหมาะสมที่สุดซึ่ง ได้แก่ ความสูงปล่องระบายอากาศขนาด 3.0 เมตร หน้าตัดปล่องระบายอากาศขนาด 0.6x6.0 ตารางเมตร รูปแบบช่องเปิดปล่องระบายอากาศชนิดบานเกล็ด และองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 30° (ดูภาพที่ 45)

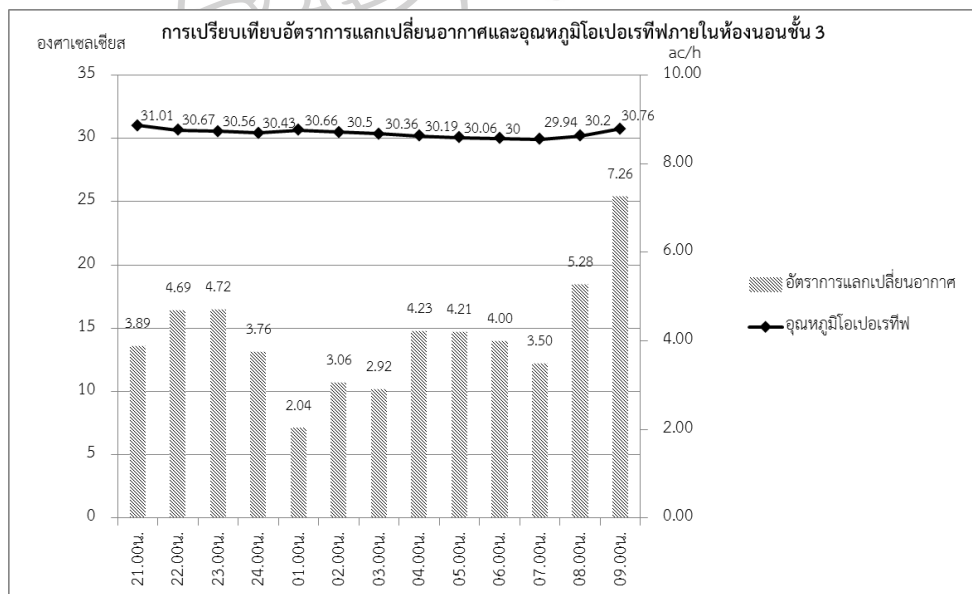


ภาพที่ 45 แสดงลักษณะปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศสูงสุด

โดยปล่องระบายอากาศดังกล่าวสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารได้ในช่วงเวลา 21.00น. – 09.00น. ของวันถัดไป ในช่วงวันที่ 3-9 พ.ค. (summer typical week) ในห้องนอนชั้น 2 โดยเฉลี่ยต่อวันจาก 1.36 ac/h เป็น 5.00 ac/h ในขณะที่ห้องนอนชั้น 3 โดยเฉลี่ยต่อวันลดลงจาก 5.77 ac/h เป็น 4.00 ac/h และลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 เฉลี่ยต่อวันจาก 0.10°C - 0.27°C และ 0.20°C - 0.67°C ตามลำดับ ซึ่งภายในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 มีอุณหภูมิโอเปอเรทีฟโดยเฉลี่ยรายวันจากเดิม 29.93°C และ 30.84°C เป็น 29.88°C และ 30.41°C ทั้งนี้ เนื่องจากประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศที่มากขึ้นในช่วงเวลากลางคืนส่งผลให้อุณหภูมิโอเปอเรทีฟภายในอาคารลดลง และจะส่งผลให้เกิดการปรับตัวต่อสภาวะสบายของผู้ใช้อาคาร (ดูภาพที่ 46, 47) รวมถึง พบว่า ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอนชั้น 2 มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารมากกว่าในห้องนอนชั้น 3 เนื่องจากกรอบอาคารไม่ถูกรุ่นเข้าไปและได้รับอิทธิพลจากลมในทิศตะวันตกได้ดีกว่าห้องนอนชั้น 3 เพราะช่องเปิด (ประตู) มีพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าช่องเปิด (หน้าต่าง) ห้องนอนชั้น 2 ในขณะที่ห้องนอนชั้น 3 มีประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารน้อยกว่าห้องนอนชั้น 2 เนื่องจากกรอบอาคารถูกรุ่นเข้าไปเป็นพื้นที่ระเบียงของห้องนอน โดยมีราวกับตกเป็นตัวกั้นลมในทิศตะวันตก และส่วนยื่นของหลังคาเป็นตัวกั้นลมในทิศใต้ก่อนเข้าถึงภายในอาคาร

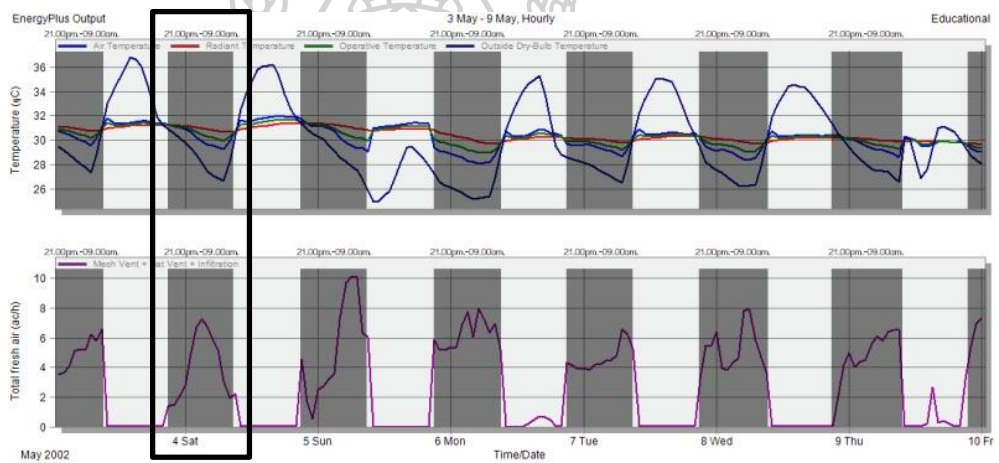


ภาพที่ 46 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 3-9 พ.ค. (summer typical week)

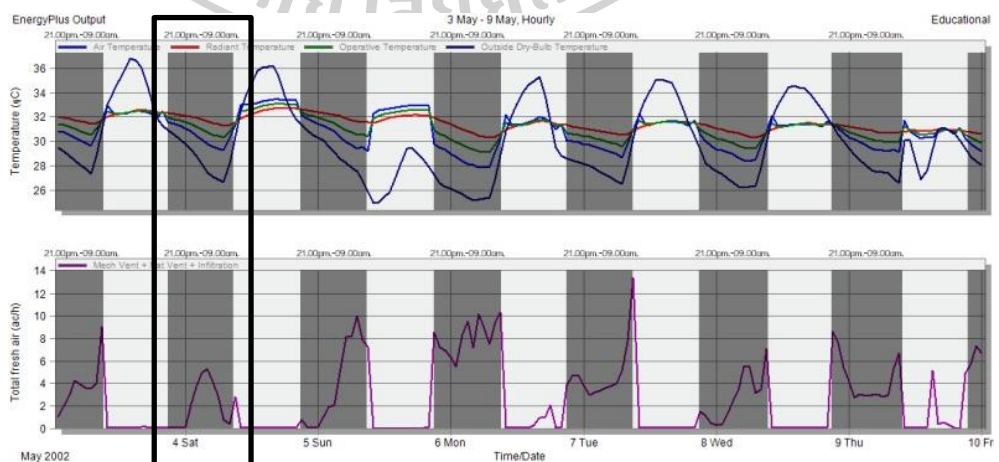


ภาพที่ 47 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 3-9 พ.ค. (summer typical week)

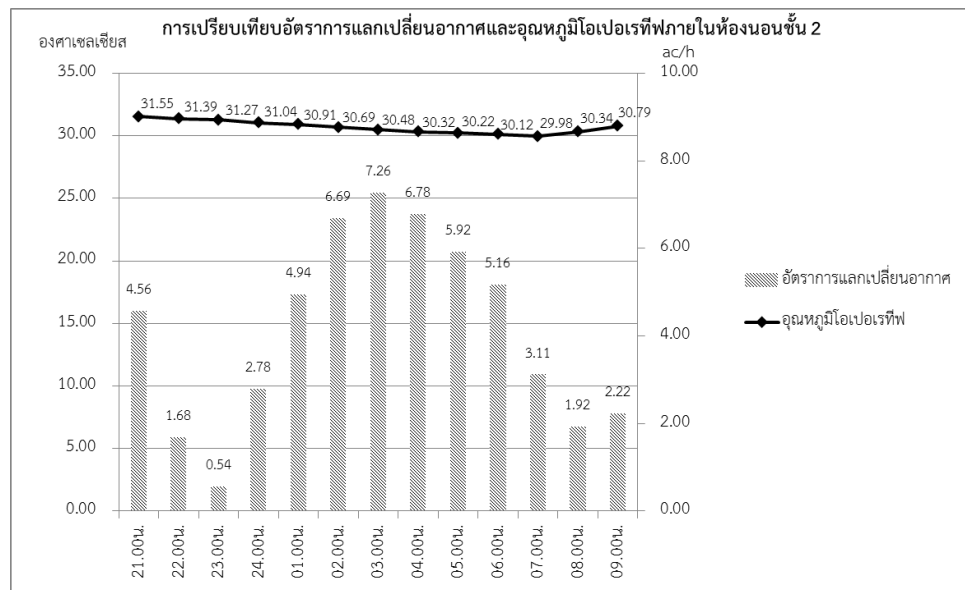
ทั้งนี้ ผลการทดลองในช่วงวันที่ 3-9 พ.ค. (summer typical week) พบว่า สภาพอากาศในช่วงวันที่ 5 และ 9 พ.ค. เกิดความเร็วลมภายนอกสูงขึ้น และอุณหภูมิภายนอกที่ต่ำกว่าปกติ (ดูภาพที่ 48, 49) จากสภาพอากาศตลาดสี่ปดาห์ในช่วงเวลา 21.00น. – 09.00น. ของวันถัดไป พบว่า ในวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day) เป็นวันที่มีผลการทดลองอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ และอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟภายในอาคารมีสภาพอากาศปกติของสี่ปดาห์ เนื่องจากมีสภาพอากาศเป็นปกติและสามารถใช้เป็นตัวแทนได้ โดยมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 โดยเฉลี่ย 4.56 และ 2.04 ac/h และอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 โดยเฉลี่ย 30.93^c และ 31.22^c (ดูภาพที่ 50, 51, 52, 53)



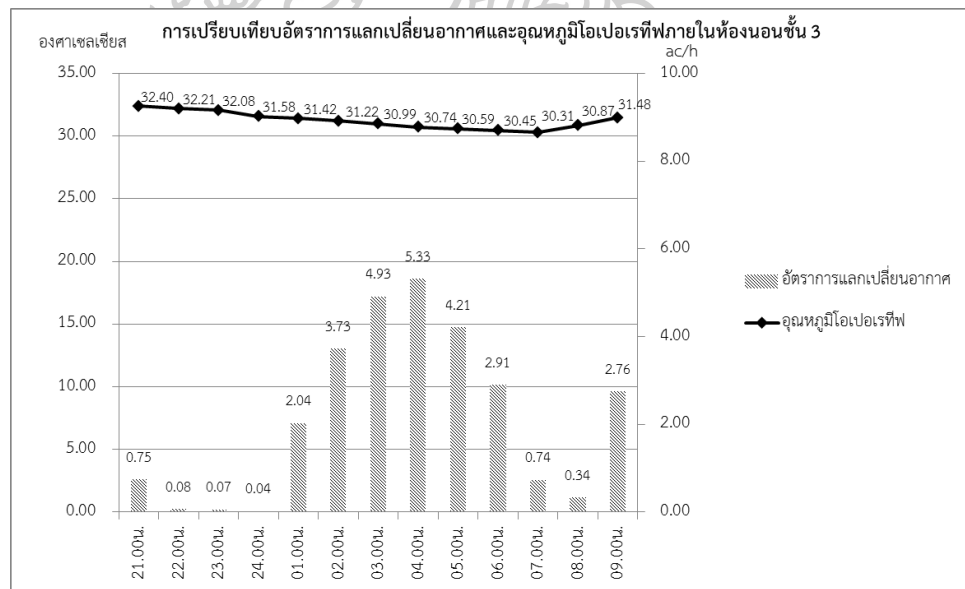
ภาพที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟของห้องนอนชั้น 2 ในช่วง summer typical week



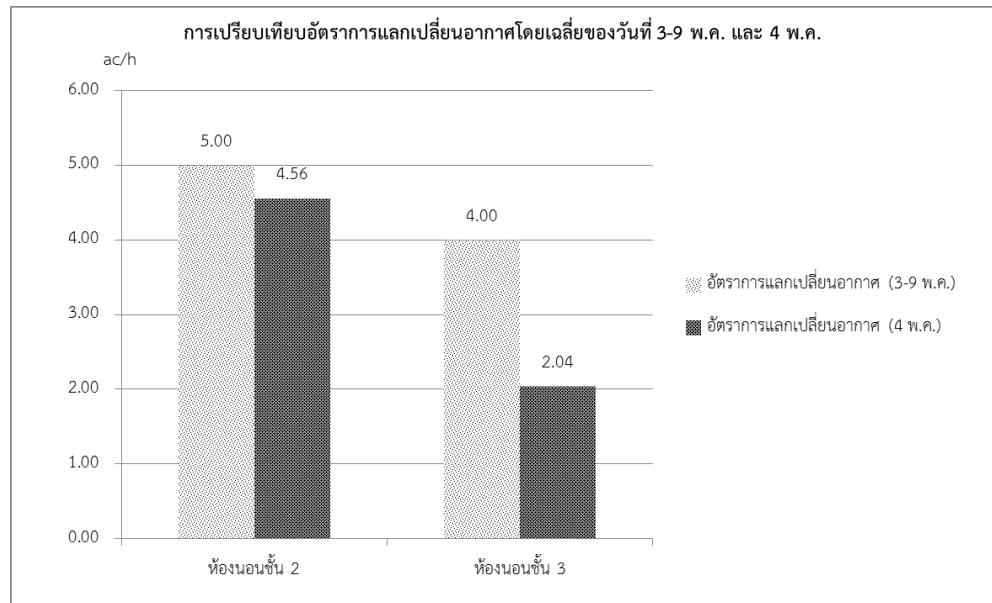
ภาพที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟของห้องนอนชั้น 3 ในช่วง summer typical week



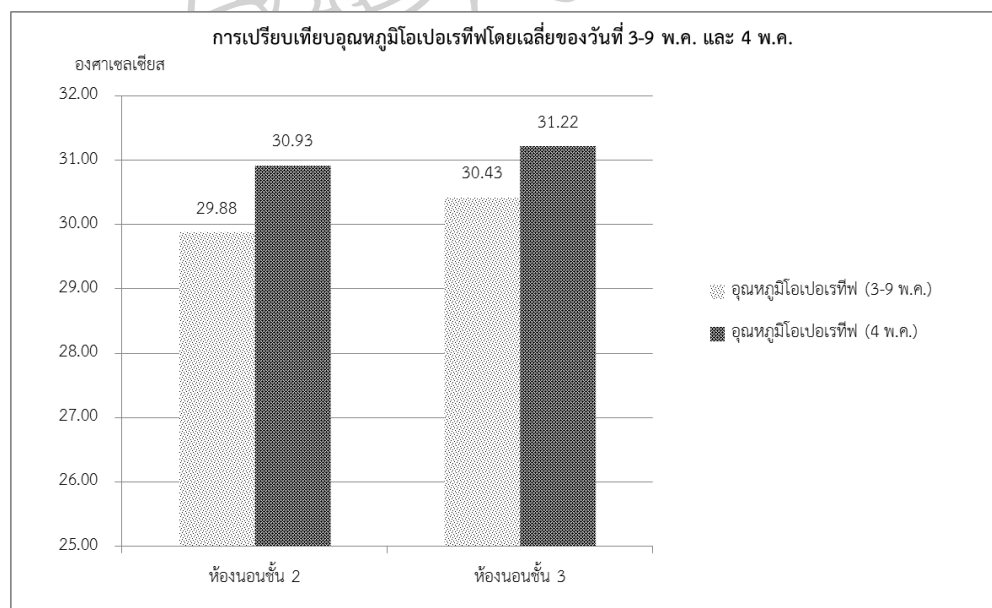
ภาพที่ 50 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 2 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)



ภาพที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในห้องนอนชั้น 3 ช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ของวันถัดไป ในวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)

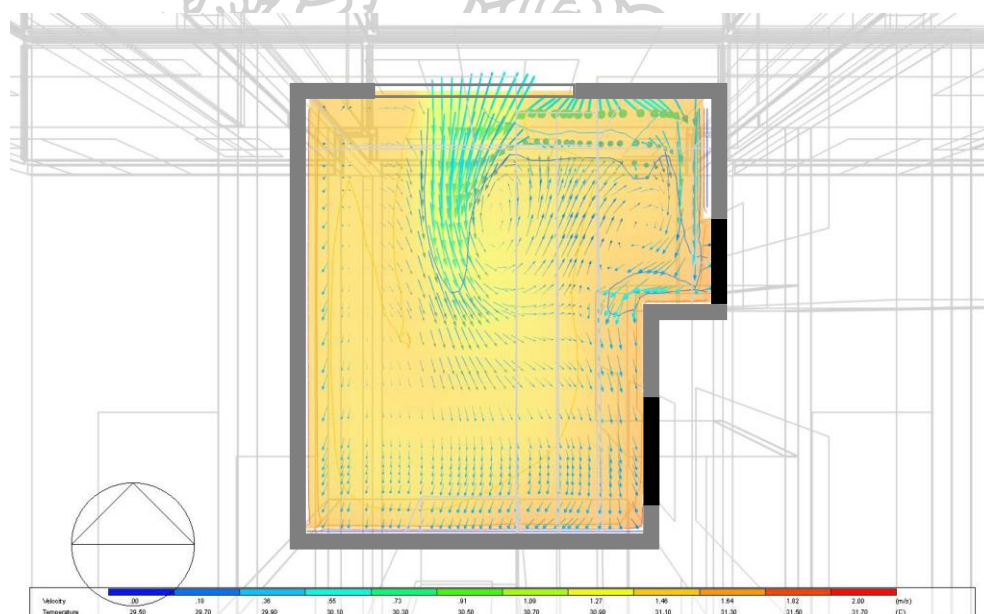


ภาพที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) และ 4 พ.ค. (summer typical day)

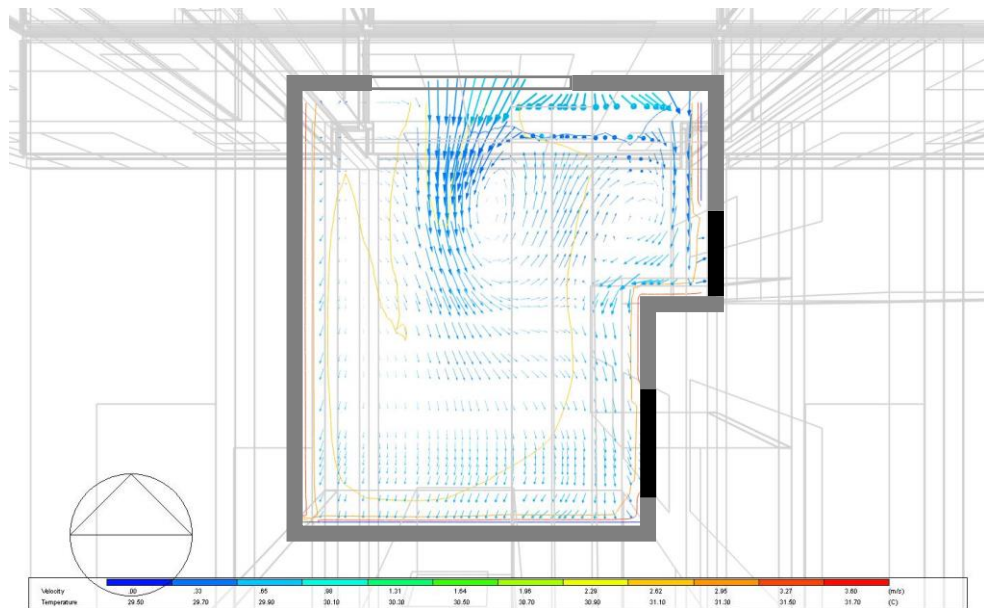


ภาพที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิโอเปอร์ทีฟโดยเฉลี่ยรายวันในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในวันที่ 3 - 9 พ.ค. (summer typical week) และ 4 พ.ค. (summer typical day)

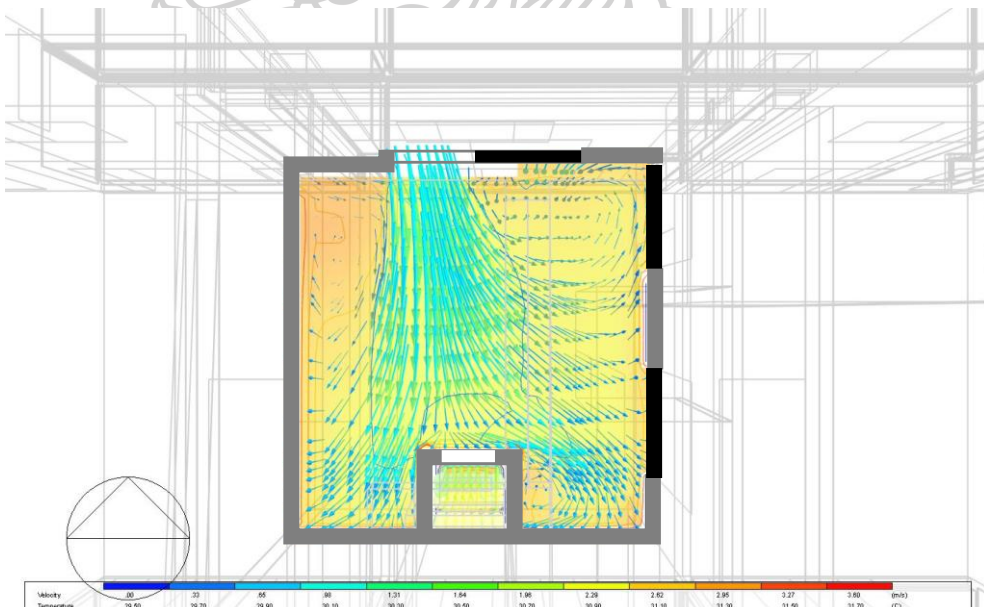
ในการศึกษาได้ประเมินผลการทดลองในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. ที่ระดับใช้งานจากพื้นห้อง 1.20 เมตร ด้วยโปรแกรม Designbuilder version 3.4.0.041 ในรูปแบบ CFD เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศในอาคาร หรือรูปแบบการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร (ดูภาพที่ 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61) ซึ่งมีอัตราความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ที่ระดับความสูง 1.10 เมตร โดยเฉลี่ย 0.60 และ 1.20 เมตรต่อวินาที คิดเป็น 25% และ 50% ของความเร็วภายนอกอาคารที่ความเร็ว 2.4 เมตรต่อวินาที โดยมีความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องนอนชั้น 2 และ ชั้น 3 เป็น 0.60 และ 1.20 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ พบว่า ห้องนอนชั้น 3 มีความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงมากกว่าห้องนอนชั้น 2 เนื่องจากพื้นที่ช่องเปิดทางเข้าลมที่ใหญ่กว่าของห้องนอนชั้น 2 โดยมีขนาดพื้นที่ช่องเปิดเป็น 2 เท่าของห้องนอนชั้น 2 และทำให้ปริมาณอากาศเข้าภายในอาคารได้เต็มศักยภาพของความเร็วลมภายนอก และเป็นสาเหตุทำให้เกิดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร รวมถึง ปัจจัยของระยะทางการเคลื่อนที่อากาศระหว่างช่องเปิดทางเข้าและช่องเปิดทางออก ภายในห้องนอนชั้น 3 มีระยะทางสั้นกว่าห้องนอนชั้น 2 ถึง 3.10 เมตร ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องนอนทั้งสองมีความแตกต่างกัน



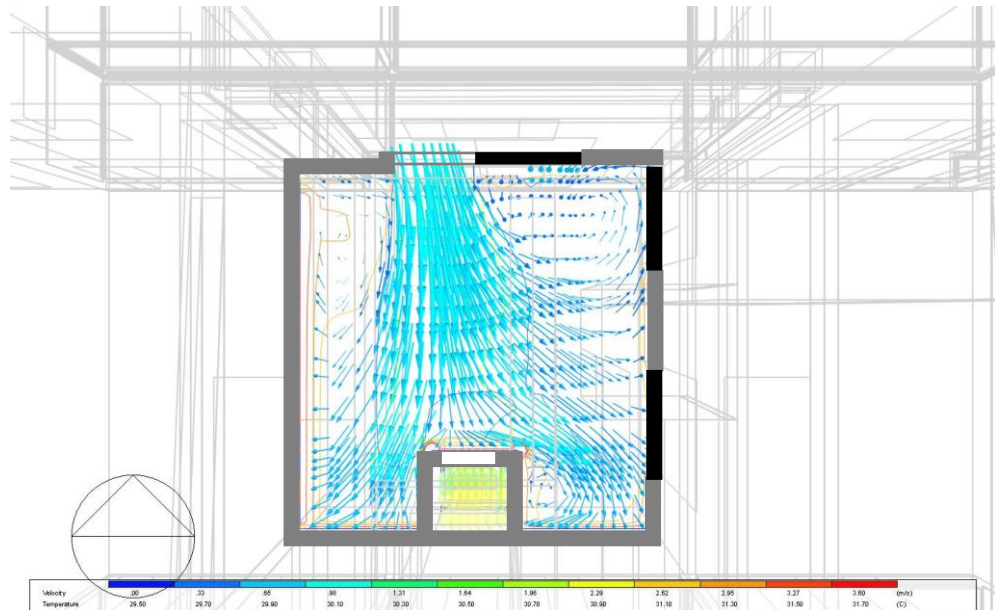
ภาพที่ 54 แสดงผังพื้นห้องนอนชั้น 2 และรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day) ที่ระดับใช้งานจากระดับพื้น 1.10 เมตร



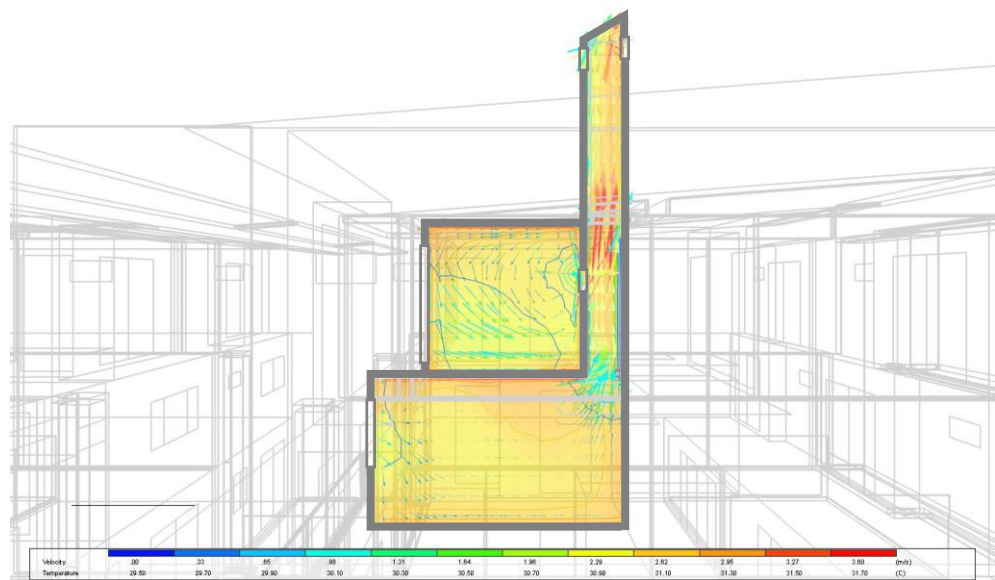
ภาพที่ 55 แสดงผังพื้นที่ห้องนอนชั้น 2 และรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day) ที่ระดับใช้งานจากระดับพื้น 1.10 เมตร



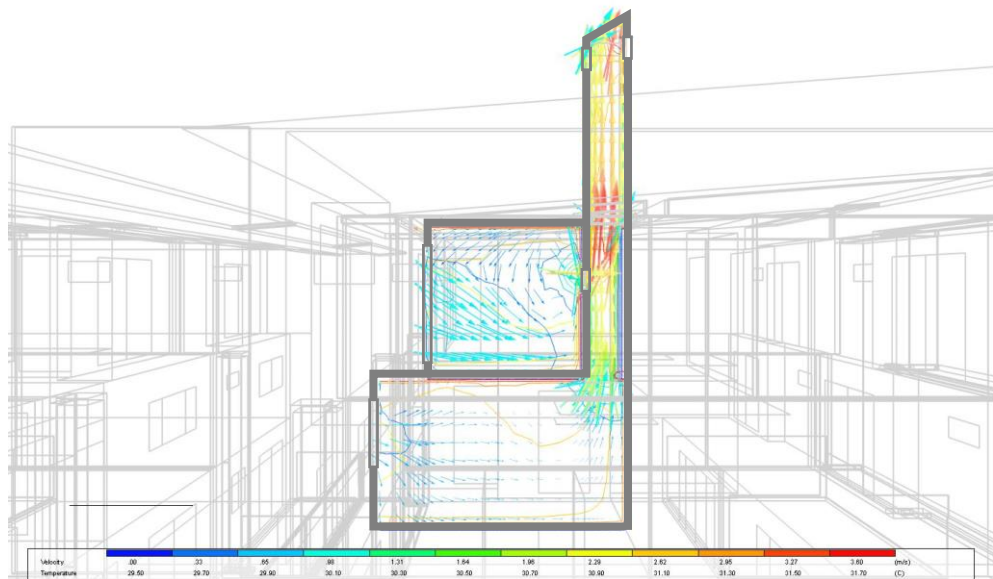
ภาพที่ 56 แสดงผังพื้นที่ห้องนอนชั้น 3 และรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day) ที่ระดับใช้งานจากระดับพื้น 1.10 เมตร



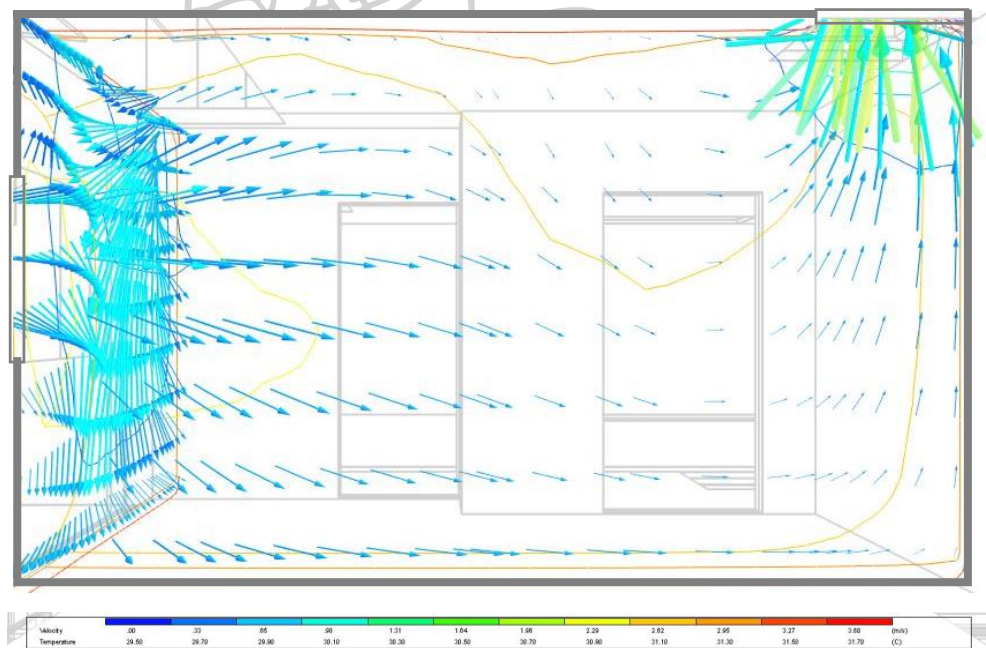
ภาพที่ 57 แสดงผังพื้นที่ห้องนอนชั้น 3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร
ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)
ที่ระดับใช้งานจากระดับพื้น 1.10 เมตร



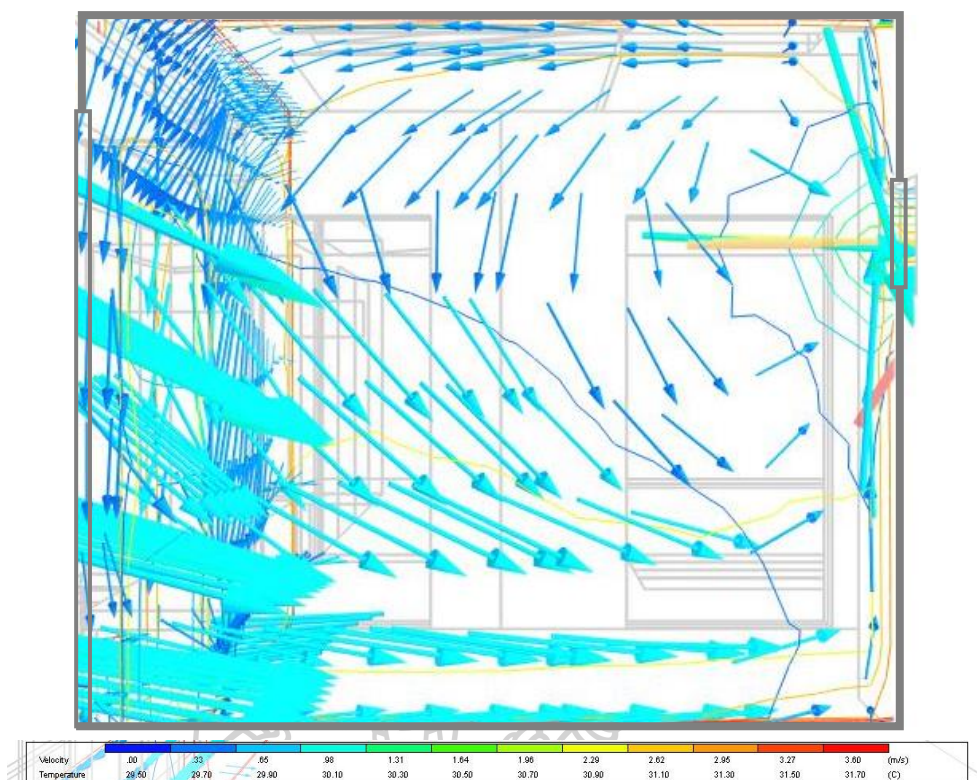
ภาพที่ 58 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 รูปแบบการดำเนินการของปล่องระบาย
อากาศทางตั้ง (CFD) ของอาคารกรณีศึกษา ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค.
(summer typical day)



ภาพที่ 59 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 รูปแบบการดำเนินการของปล่องระบายอากาศทางตั้ง (CFD) ของอาคารกรณีศึกษา ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)



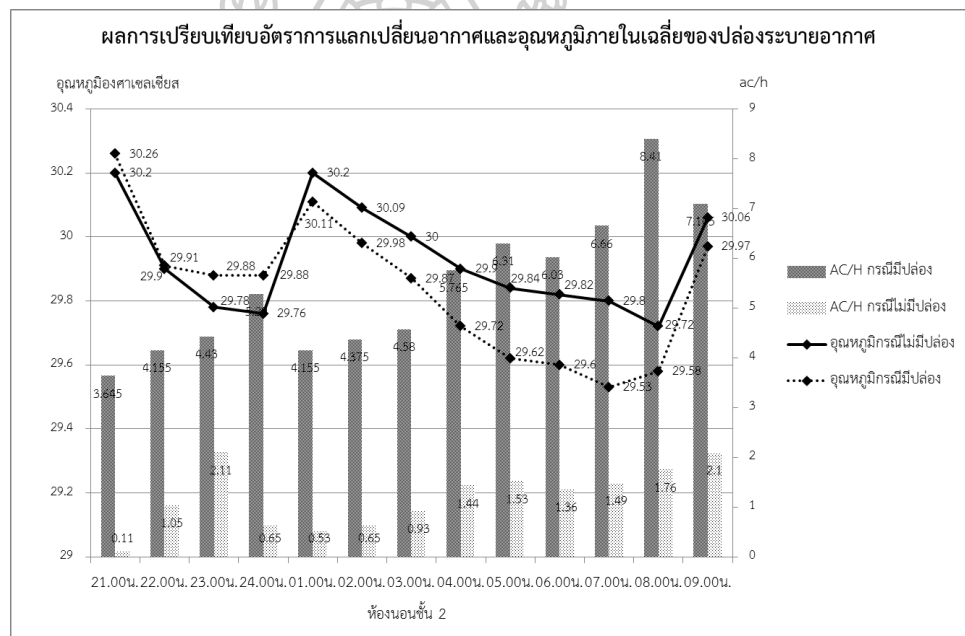
ภาพที่ 60 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 2 รูปแบบการเคลื่อนที่อากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับห้องนอนชั้น 2 ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)



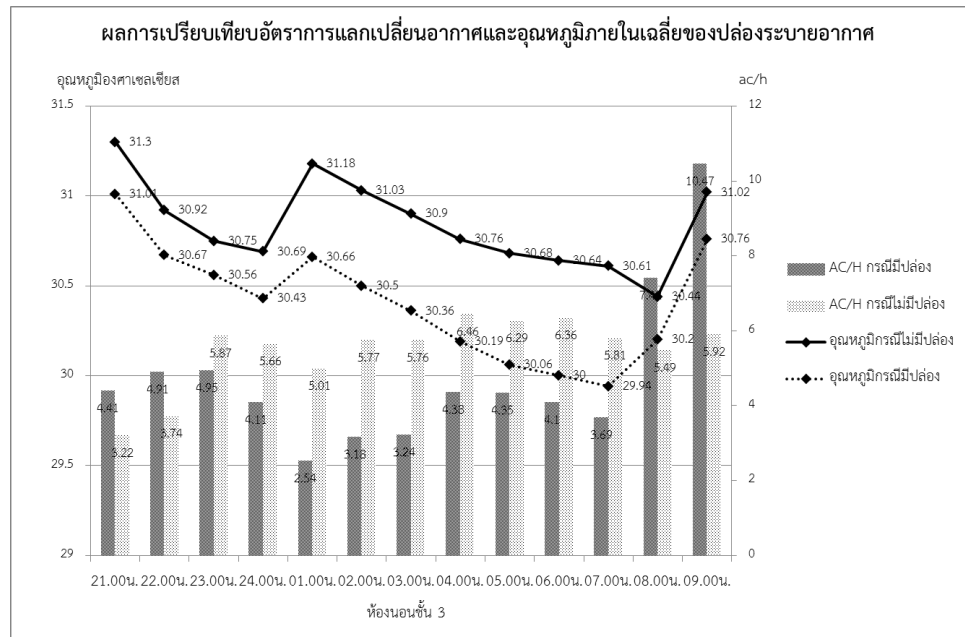
ภาพที่ 61 แสดงภาพตัดห้องนอนชั้น 3 รูปแบบการเคลื่อนที่อากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับห้องนอนชั้น 3 ในช่วงเวลา 22.00น. ของวันที่ 4 พ.ค. (summer typical day)

การประเมินผลอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยวิธีธรรมชาติเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายพบว่า อาคารกรณีศึกษาที่มีปล่องระบายอากาศทางตั้งมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่าอาคารที่ไม่มีปล่องระบายอากาศทางตั้ง โดยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้องนอนชั้น 2 เพิ่มขึ้นจาก 1.36 AC/H เป็น 5.00 AC/H และมีประสิทธิภาพสามารถลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟภายในอาคารโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงในช่วง 1 สัปดาห์ (summer typical week) ลดลงจากเดิม 29.93°C เป็น 29.88°C (ดูภาพที่ 62) ในขณะที่ห้องนอนชั้น 3 มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ลดลงจาก 5.77 AC/H เป็น 4.00 AC/H และอุณหภูมิโอเปอเรทีฟเฉลี่ยรายชั่วโมงในช่วง 1 สัปดาห์ (summer typical week) ลดลงจากเดิม 30.84°C เป็น 30.41°C (ดูภาพที่ 63)

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิโอเปอเรทีฟที่ลดลงภายในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ส่งผลต่อสภาวะสบายที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 มีความเร็วลมเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 0.3 m/s เป็น 0.6 และ 1.2 m/s ตามลำดับ ปล่องระบายอากาศทางตั้งจึงมีประสิทธิภาพสามารถขยายขอบเขตสภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้นด้วย (อ้างอิง ASHRAE 55-2013 adaptive model) (ดูภาพที่ 64, 65, 66, 67) ดังนั้น ปล่องระบายอากาศทางตั้งสามารถเพิ่มช่วงเวลาสภาวะสบายภายในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 จากเดิม 61.54% ต่อสัปดาห์ (56 ชั่วโมง) และ 35.16% (32 ชั่วโมง) เป็น 100% ทั้งสองห้อง (91 ชั่วโมง) ต่อสัปดาห์ในช่วงเวลาใช้งานหรือคิดเป็น 38.46% (35 ชั่วโมง) และ 64.84% (59 ชั่วโมง) เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารอ้างอิงที่ไม่มีปล่องระบายอากาศ (ดูภาพที่ 68)

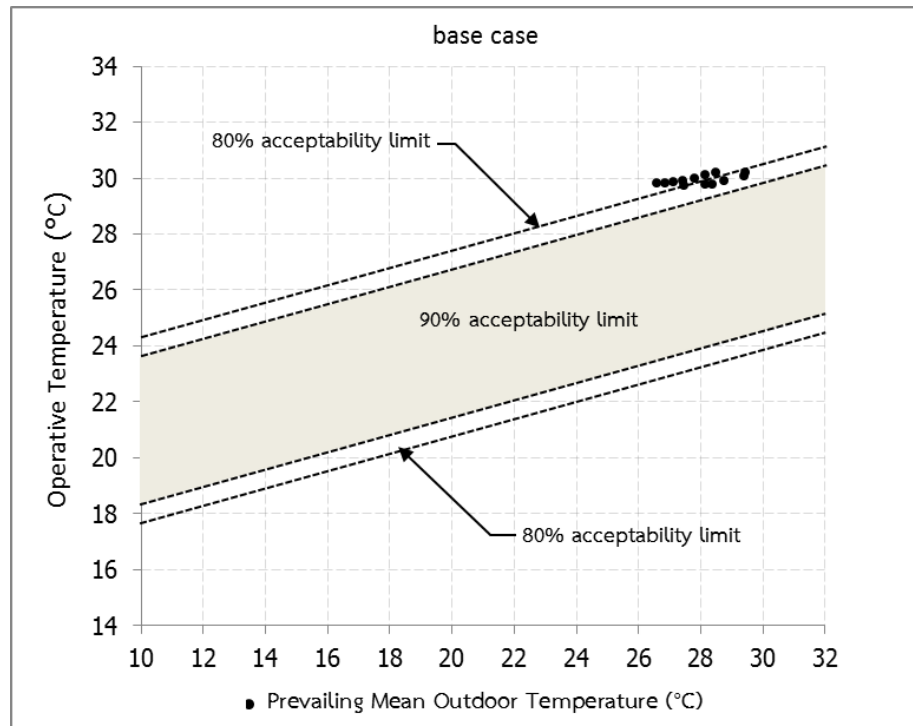


ภาพที่ 62 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิโอเปอเรทีฟของอาคารกรณีมีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศภายในห้องนอนชั้น 2 (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

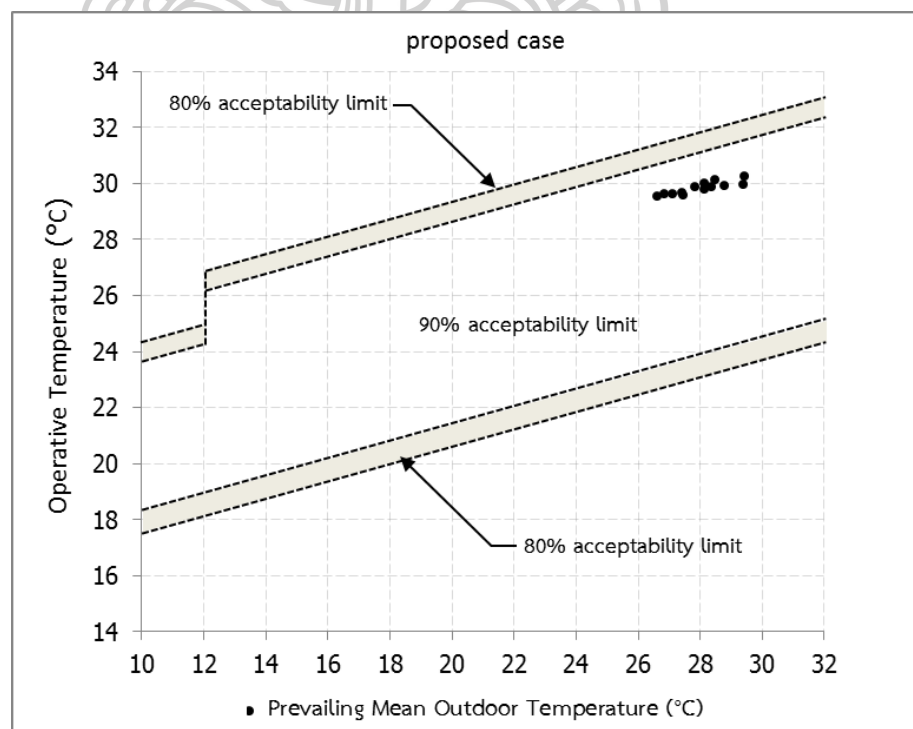


ภาพที่ 63 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศและอุณหภูมิเอเปอเรทีฟของอาคารกรณีมีปล่องระบายอากาศและไม่มีปล่องระบายอากาศภายในห้องนอนชั้น 3 (เวลา 21.00น.-09.00น.) ในช่วง summer typical week

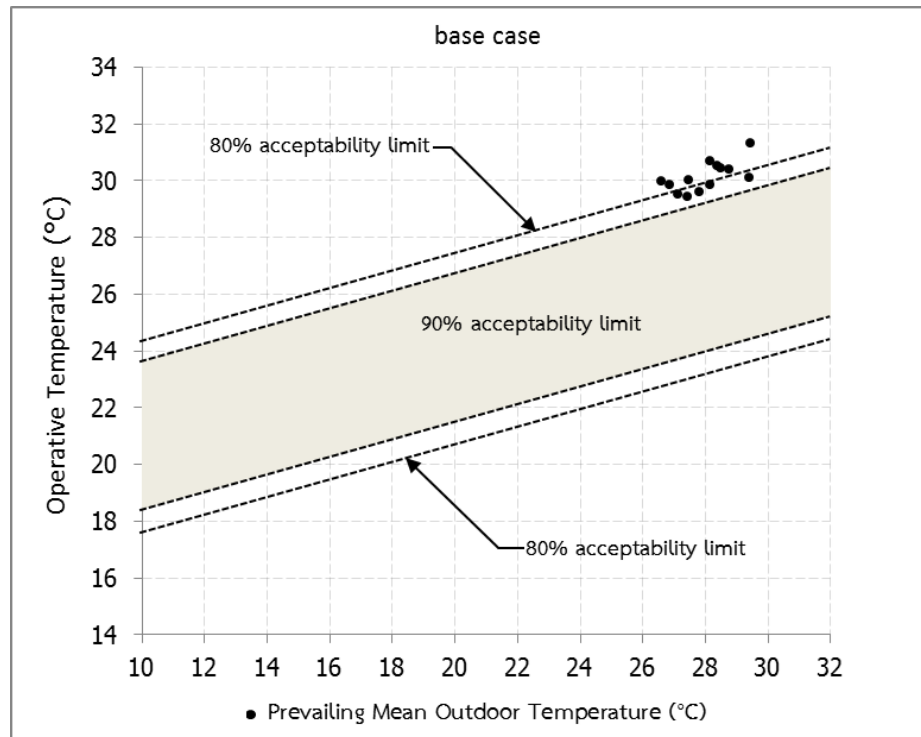




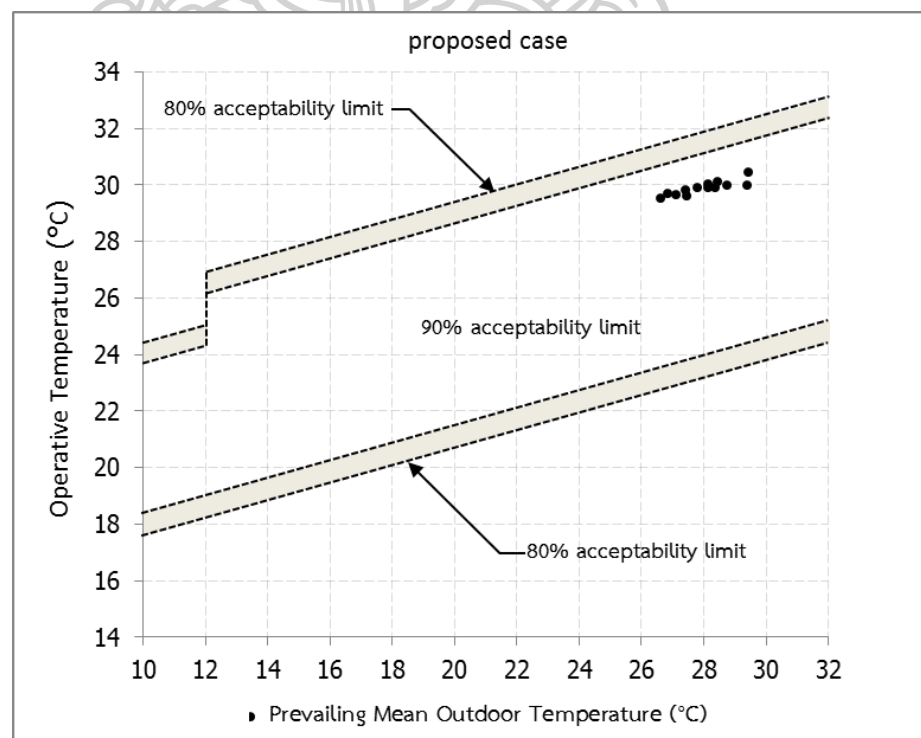
ภาพที่ 64 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 2 กรณีไม่มีปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week



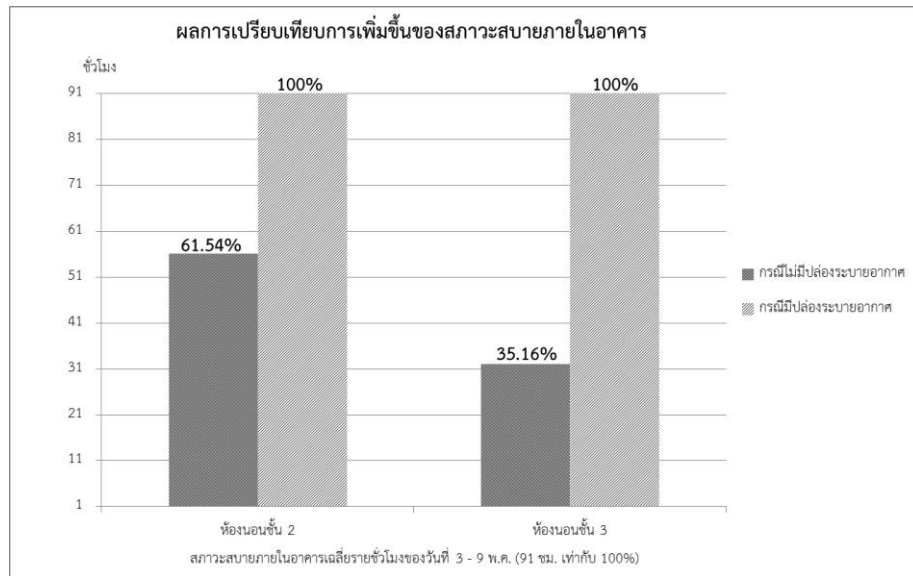
ภาพที่ 65 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 2 กรณีมีปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week



ภาพที่ 66 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 3 กรณีไม่มีปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week



ภาพที่ 67 แสดงขอบเขตการปรับตัวสภาวะสบาย (adaptive model) ภายในห้องนอนชั้น 3 กรณีมีปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week



ภาพที่ 68 แสดงการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของสภาวะสบายในห้องนอนชั้น 2 และ ชั้น 3 กรณีไม่มีปล่องระบายอากาศ (เวลา 21.00น. - 09.00น.) ในช่วง summer typical week



บทที่ 5

อภิปรายผล

จากผลการศึกษา นำมาสู่บทสรุปในการศึกษาการเพิ่มสภาวะสบายในอาคารจากการลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟด้วยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งจากการศึกษาแนวทางการลดอุณหภูมิและเพิ่มสภาวะสบายในอาคารพบว่า การเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศธรรมชาติ (natural ventilation) ในช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับบ้านแถวคือช่วงกลางวัน ซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกอาคารเย็นกว่าอุณหภูมิโอเปอเรทีฟภายในอาคาร ($T_{out} < T_{in}$) ส่งผลดีต่อการลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟภายในอาคาร และเพิ่มช่วงเวลาสภาวะสบายต่อผู้อยู่อาศัยในสภาพอากาศเขตร้อนชื้น จากผลการทดลองการใช้ปล่องระบายอากาศในอาคารเพื่อสภาวะสบายมีผลสรุปการทดลองดังนี้

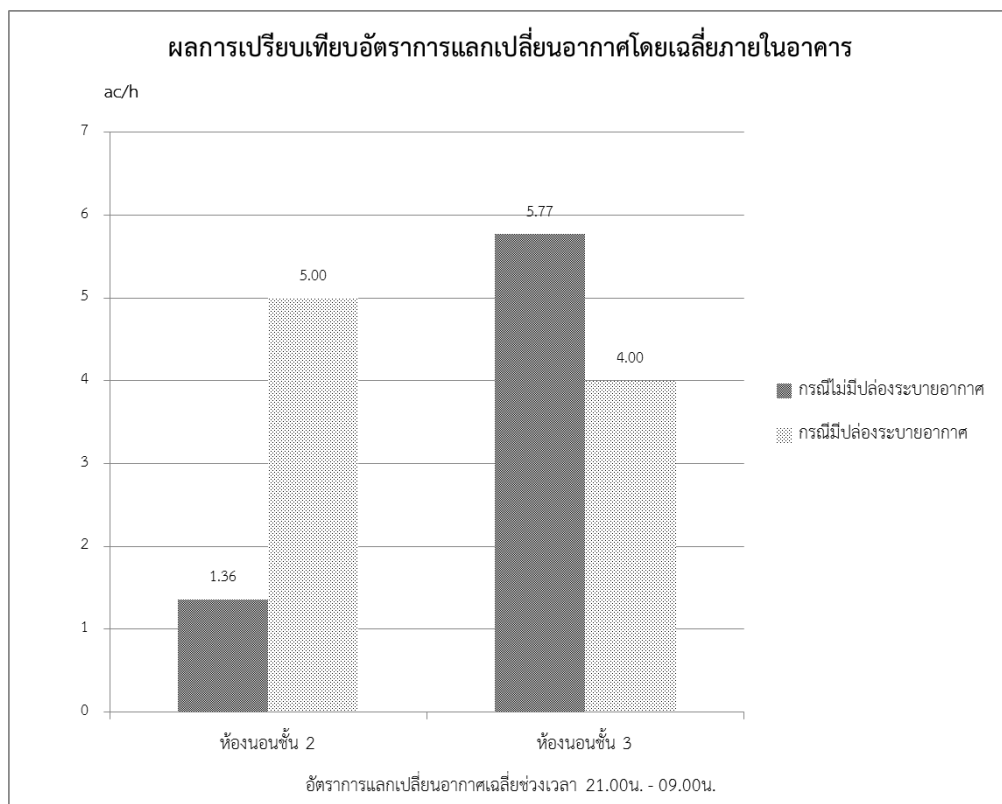
ประสิทธิภาพการเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ลดอุณหภูมิอากาศ และการเพิ่มสภาวะสบายภายในบ้านแถว

การใช้ปล่องระบายอากาศทางตั้งในบ้านแถว มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในเวลากลางวันอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟในอาคารให้อยู่ในสภาวะสบายได้ และเป็นแนวทางในการออกแบบการเพิ่มช่องเปิดแลกเปลี่ยนอากาศให้กับอาคารสามารถนำเอาอากาศจากภายนอกอาคารเข้ามาแลกเปลี่ยนกับอากาศภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารจะลดลงจากการแทนที่อากาศเย็นจากภายนอกอาคารที่นำเข้าสู่ภายในอาคารและลอยตัวออกไปยังช่องเปิดปล่องระบายอากาศทางตั้ง ทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ใช้สอยด้วยความเร็วในระดับที่ทำให้เกิดสภาวะสบายกับผู้อยู่อาศัยได้

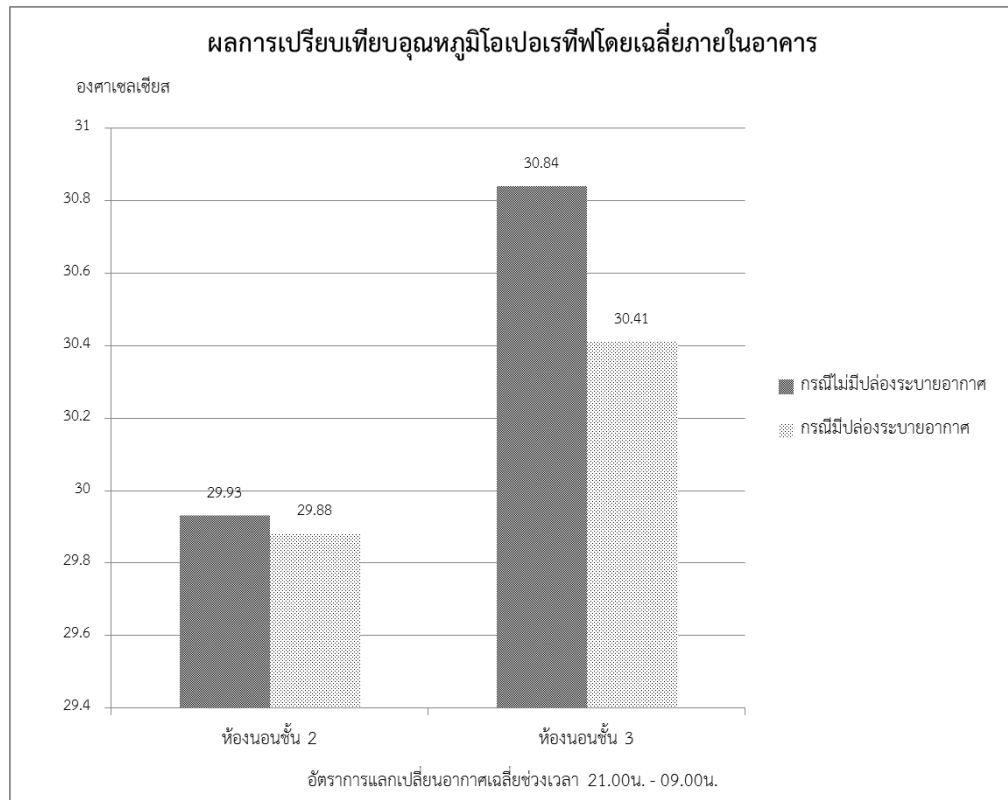
ปล่องระบายอากาศมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้องนอนชั้น 2 เพิ่มขึ้นจาก 1.36 ac/h เป็น 5.00 ac/h และอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้องนอนชั้น 3 ลดลงจาก 5.77 ac/h เป็น 4.00 ac/h (ดูภาพที่ 69) และลดอุณหภูมิโอเปอเรทีฟภายในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 จากเดิม 29.93°C เป็น 29.88°C และ 30.84°C เป็น 30.41°C เนื่องจากผลความเปลี่ยนแปลงของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศข้างต้น (ดูภาพที่ 70)

นอกจากนี้ผลการศึกษาพบข้อสังเกตของอุณหภูมิที่ลดลงเนื่องด้วยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่มากขึ้นในช่วงเวลากลางคืน จะส่งผลให้ด้วยความเร็วลมภายนอกอาคารเป็นหลักการสำคัญ ทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารไปยังผู้อยู่อาศัยผ่านจากการสัมผัสด้วยผิวหนังให้รู้สึกสบายขึ้น โดยอัตราความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 จาก 0.30 เมตรต่อวินาที เป็น 0.60 และ

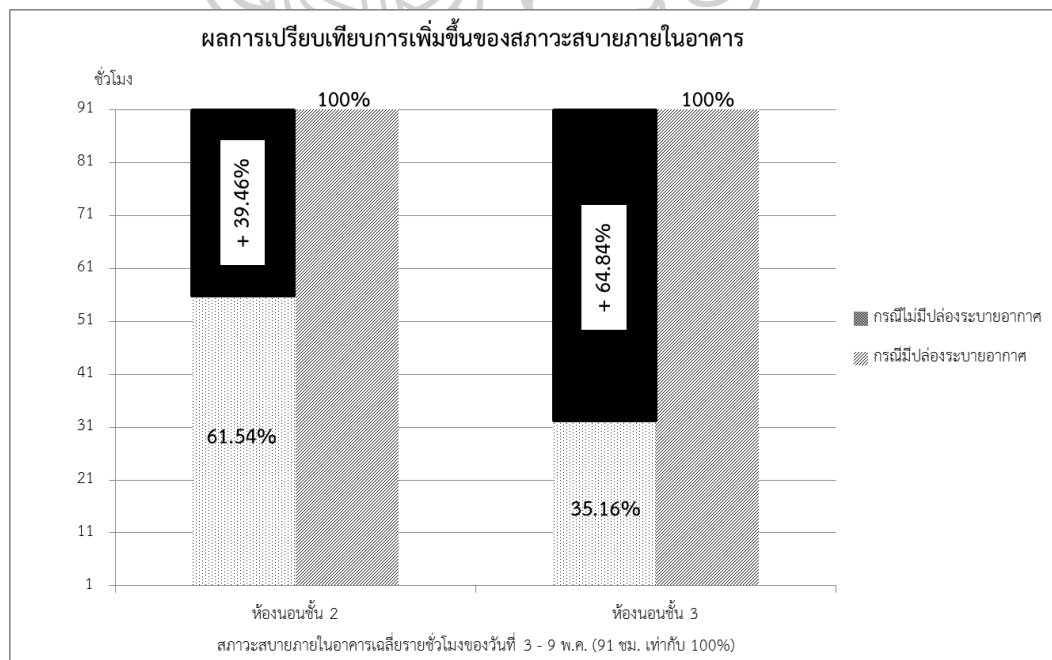
1.20 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ทำให้ขอบเขตสภาวะสบายในอาคารเพิ่มขึ้น 1 และ 2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และทำให้สภาวะสบายในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 เพิ่มขึ้น 39.46 % และ 64.84% (ดู ภาพที่ 71)



ภาพที่ 69 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกรณีอาคารไม่มีปล่องระบายอากาศและมีปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.



ภาพที่ 70 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิโอเปอเรทีฟกรณีอาคารไม่มีปล่องระบายอากาศและมีปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.



ภาพที่ 71 แสดงการเปรียบเทียบสภาวะสบายในอาคารไม่มีปล่องระบายอากาศและมีปล่องระบายอากาศในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 ในช่วงเวลา 21.00น. - 09.00น. (typical summer week)

การศึกษาพบว่า สภาวะสบายที่เพิ่มขึ้นในห้องนอนชั้น 2 และชั้น 3 เนื่องจากประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนอากาศในช่วงเวลาที่เหมาะสมเป็นหลักการสำคัญที่ทำให้เกิดความเร็วลมในอาคาร โดยอิทธิพลของความเร็วมทำให้เกิดการขับเคลื่อนอากาศไปยังปล่องระบายอากาศ และรูปแบบของปล่องระบายอากาศมีอิทธิพลต่อความแตกต่างของความกดอากาศ (Δp) และความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ (ΔT) ซึ่งส่งผลให้เกิดเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร และช่วยขยายช่วงสภาวะสบายมากขึ้น รวมถึง สามารถช่วยลดอุณหภูมิในอาคารได้

สภาวะสบายเกิดขึ้นจากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคาร ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีลักษณะปล่องระบายอากาศที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ 1.) ความสูงของปล่องระบายอากาศขนาด 3.0 เมตร 2.) หน้าตัดของปล่องระบายอากาศขนาด 0.6x0.6 ตารางเมตร 3.) รูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศชนิดบานเกล็ด 4.) องศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศขนาด 30° (ตารางที่ 13)

ผลการทดลองพบว่าอิทธิพลของตัวแปรปล่องระบายอากาศทางตั้งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารต่างกัน ได้แก่ 1.) อิทธิพลของระดับความสูงปล่องระบายอากาศ ยิ่งสูงมากจะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารเพิ่มขึ้นด้วย โดยอาศัยอิทธิพลของการลอยตัวของอากาศ stack effect และจากความสัมพันธ์ระหว่างความกดอากาศกับระดับความสูงของปล่องระบายอากาศ 2.) อิทธิพลของขนาดหน้าตัดปล่องระบายอากาศที่มีพื้นที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในอาคารลดน้อยลง 3.) อิทธิพลของรูปแบบช่องเปิดของปล่องระบายอากาศเป็นพื้นที่ช่องโล่งจะทำให้มีพื้นที่การเข้า-ออก ของมวลอากาศโดยไม่ถูกกีดขวางการเคลื่อนที่เข้าสู่อาคาร 4.) อิทธิพลองศาความลาดเอียงของหลังคาปล่องระบายอากาศ

รายการอ้างอิง

- ASHRAE standards 55. (2013). *Thermal Enviromental Conditions for Human Occupancy*: Standind Standard Project Committee.
- AWBI H. B. (2013). *Ventilation of buildings (2nd edition)*. London: Spon Press.
- Givoni B. (1994). *Passive Low Energy Cooling of Buildings*. simultaneosly in Canada: John Wiley Sons, Inc.
- Lim Chin Haw, Omidreza Saadatian, M.Y.Sulaiman, Sohif Mat, & Kamaruzzaman Sopian. (2012). *Empirical study of a wind - induced natural ventilation tower under hot and humid climatic conditions*.
- Norbert Lechner. (2015). *HEARTING COOLING LIGHTING*. simultaneosly in Canada John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Yohei Sagawara. (2558). นอนหลับให้เป็น งานเด่น ชีวิตดี: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- Yonggang Lei, Yuwen Zhang, Fei Wang, & Xun Wang. (2016). *Enhancement of natural ventilation of a novel roof solar chimney with perforated absorber plate for building energy conservation*.
- ชลธิษฐ์ ถนัดศิลปกุล. (2546). แนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงษ์. (2546). การระบายอากาศทางต้ง *Stack Effect Ventilation* (1 ed.).
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2553, 2 ม.ค. 2555). สถิติประชากรศาสตร์ ประชากรและเคหะ. Retrieved from <http://statbbi.nso.go.th/>

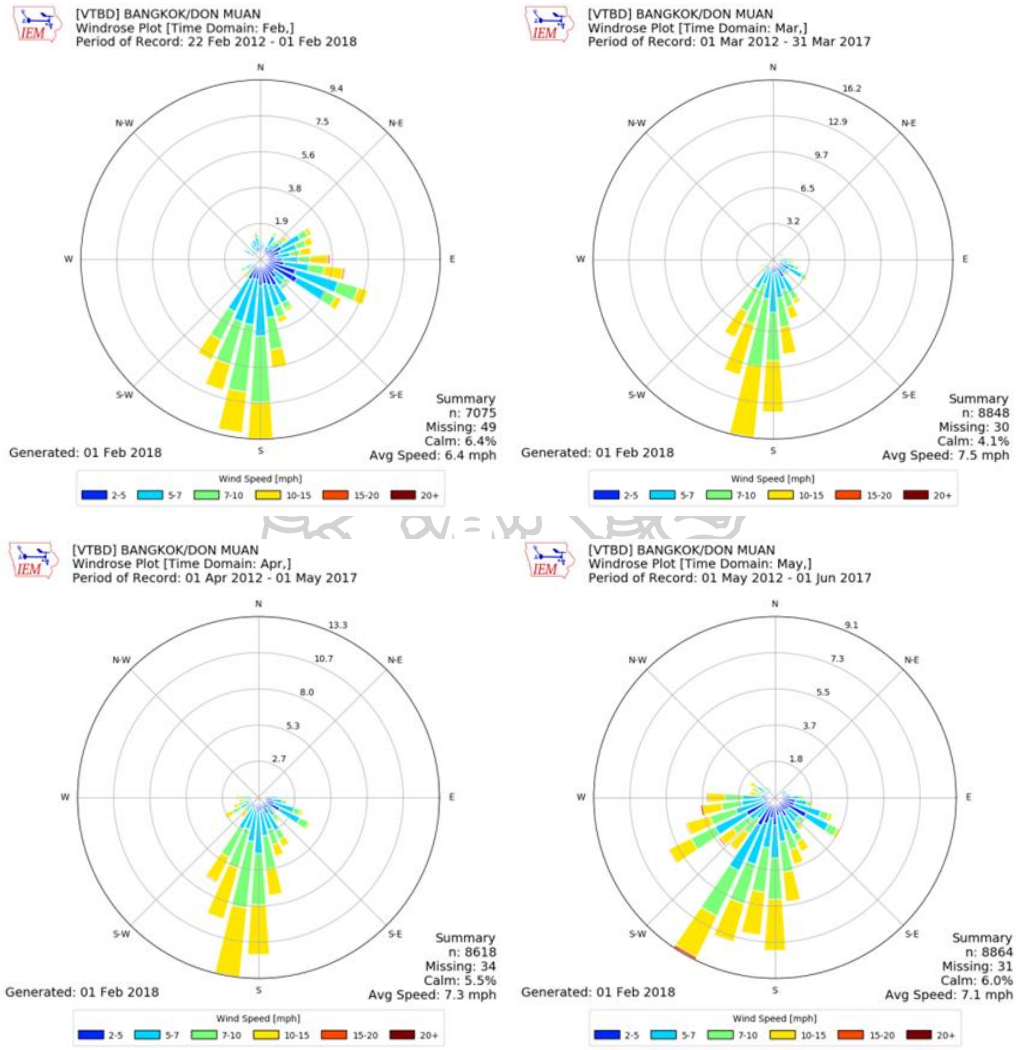
ภาคผนวก
รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูล

ภาคผนวก ก	ศักยภาพลมในประเทศไทย
ภาคผนวก ข	สถิติอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคาร
ภาคผนวก ค	สภาวะความร้อนในอาคาร
ภาคผนวก ง	ประสิทธิภาพความร้อนในอาคาร
ภาคผนวก จ	ประสิทธิภาพความชื้นในอาคาร
ภาคผนวก ฉ	ศักยภาพความเร็วลมในประเทศไทย

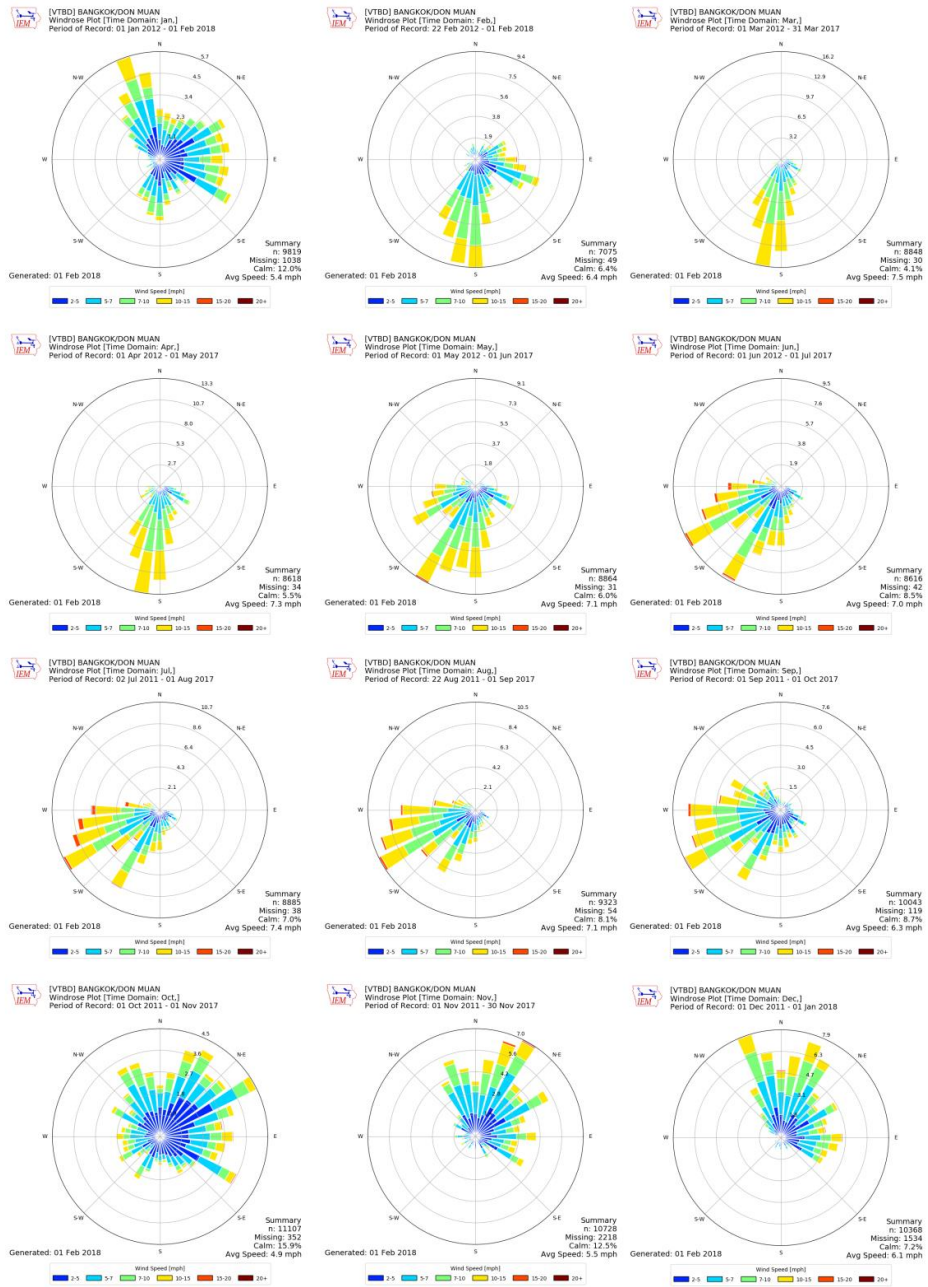


ภาคผนวก ก

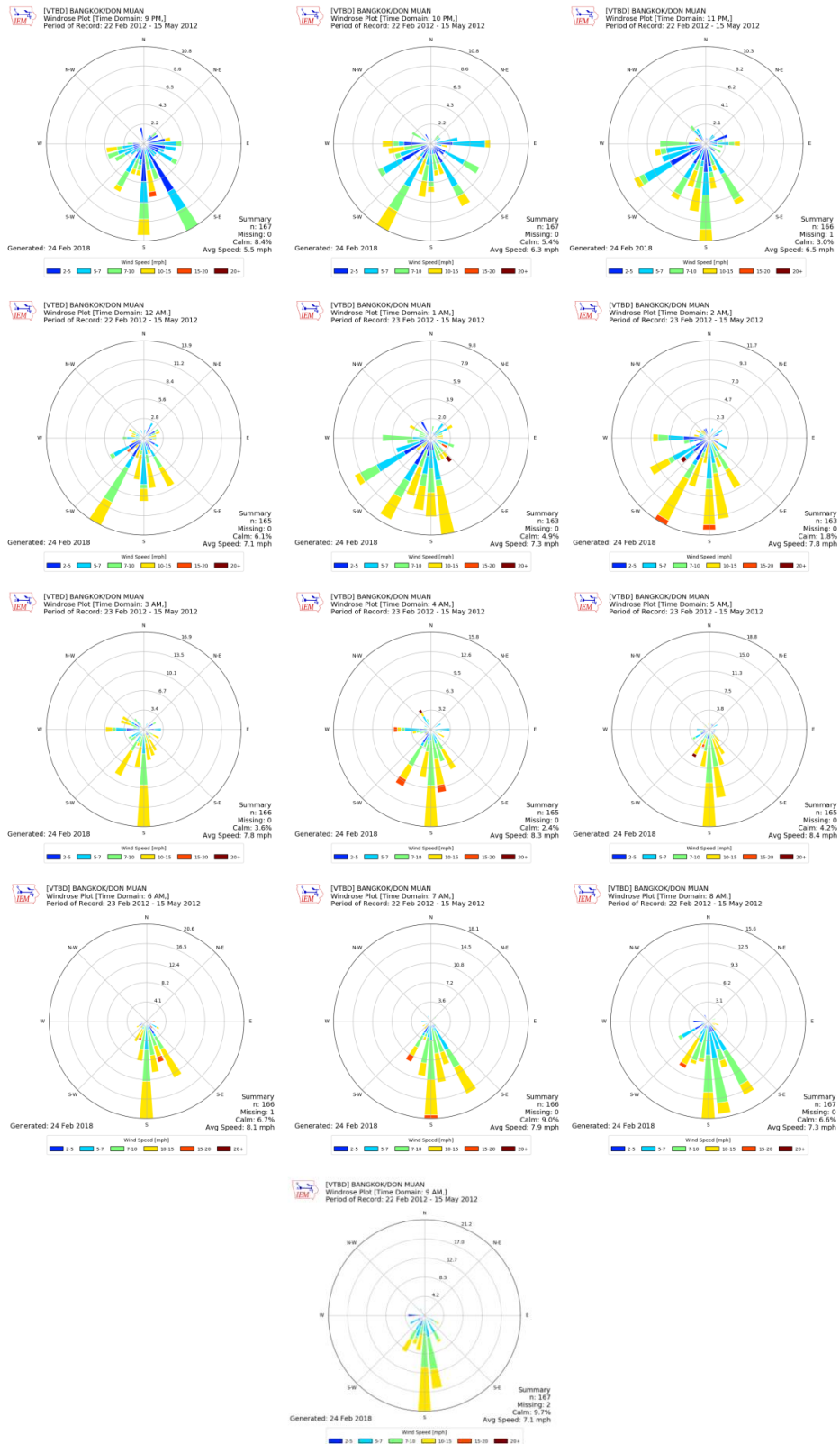
ศักราชภาพลมในประเทศไทย



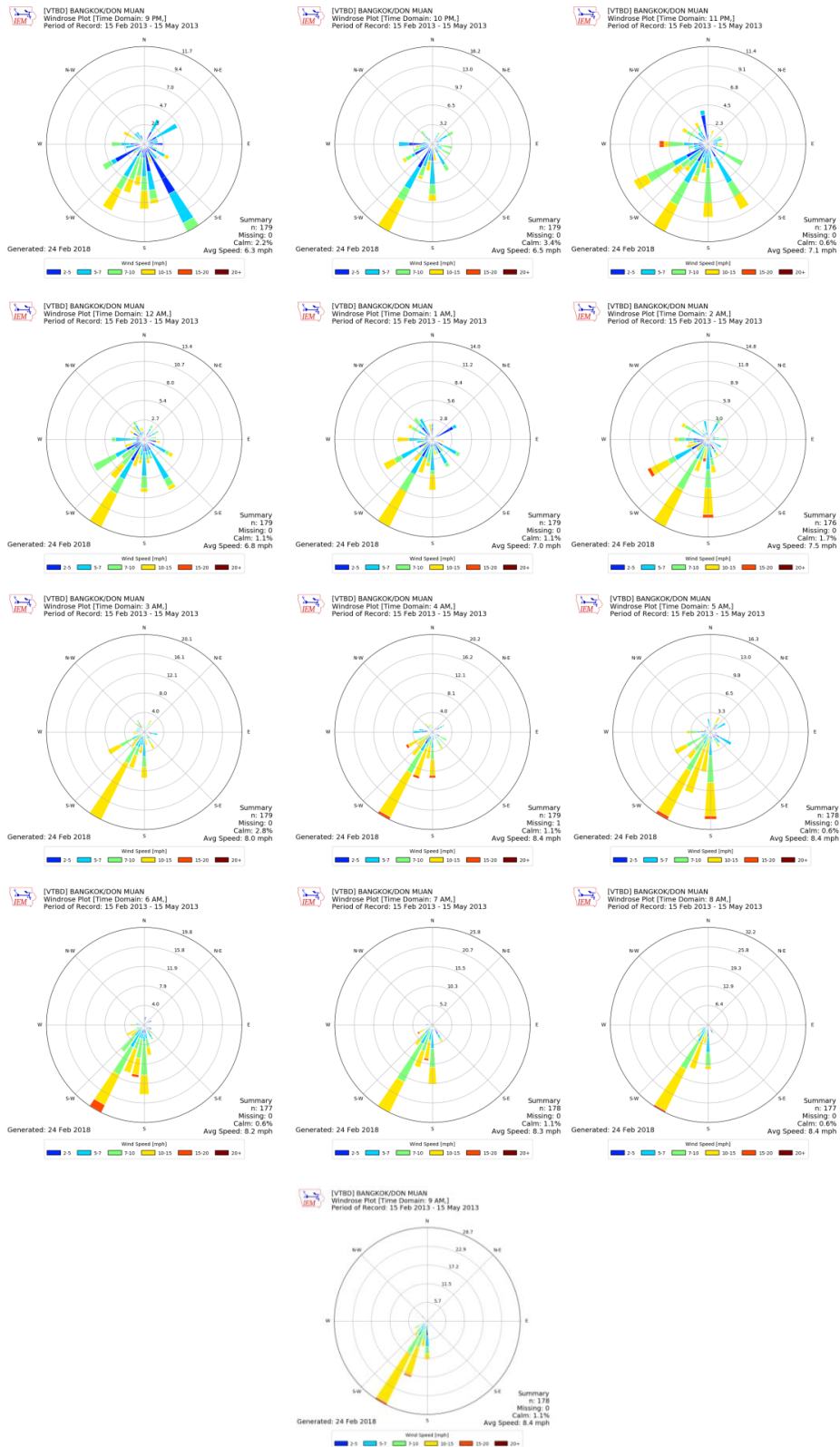
ภาพที่ 72 แสดงสถิติทิศทางลมฤดูร้อนที่พบมากที่สุด และความเร็วลมที่พบมากที่สุด โดยเฉลี่ยรายวัน ของสถานีกรุงเทพมหานครเขตดอนเมือง ในช่วงเดือน ก.พ. - พ.ค. (ปี 2556 - 2560) ที่มา: <http://mesonet.agron.iastate.edu> (ค้นหาเมื่อวันที่ 2 ธ.ค. 60)



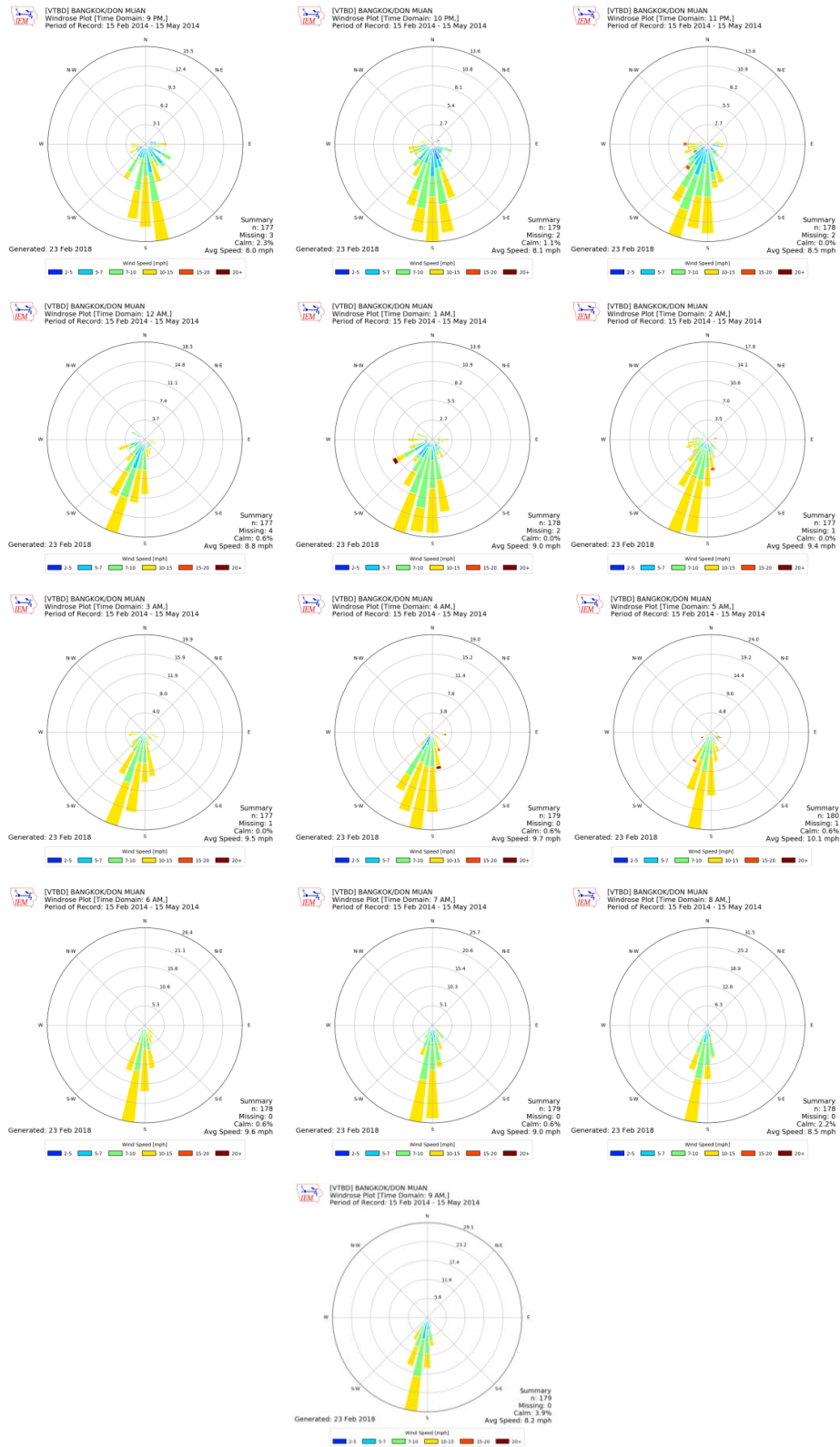
ภาพที่ 73 แสดงสถิติศึกษากาพลมเฉลี่ยรายเดือนของปี 2011 – 2017 โดยแผนภูมิ wind rose



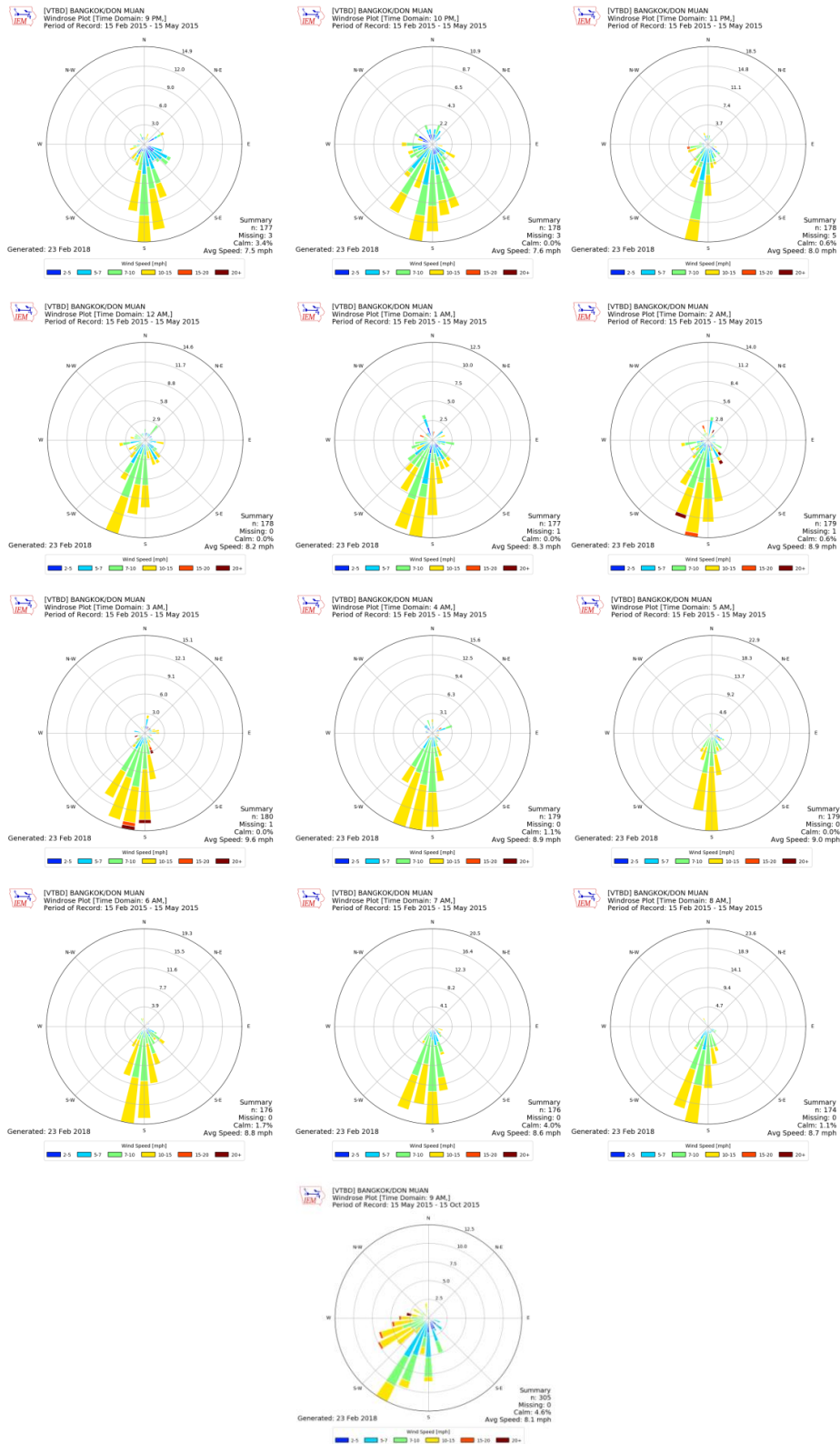
ภาพที่ 74 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 กพ. - 15 พ.ค.) ของปี 2012 โดยแผนภูมิ wind rose



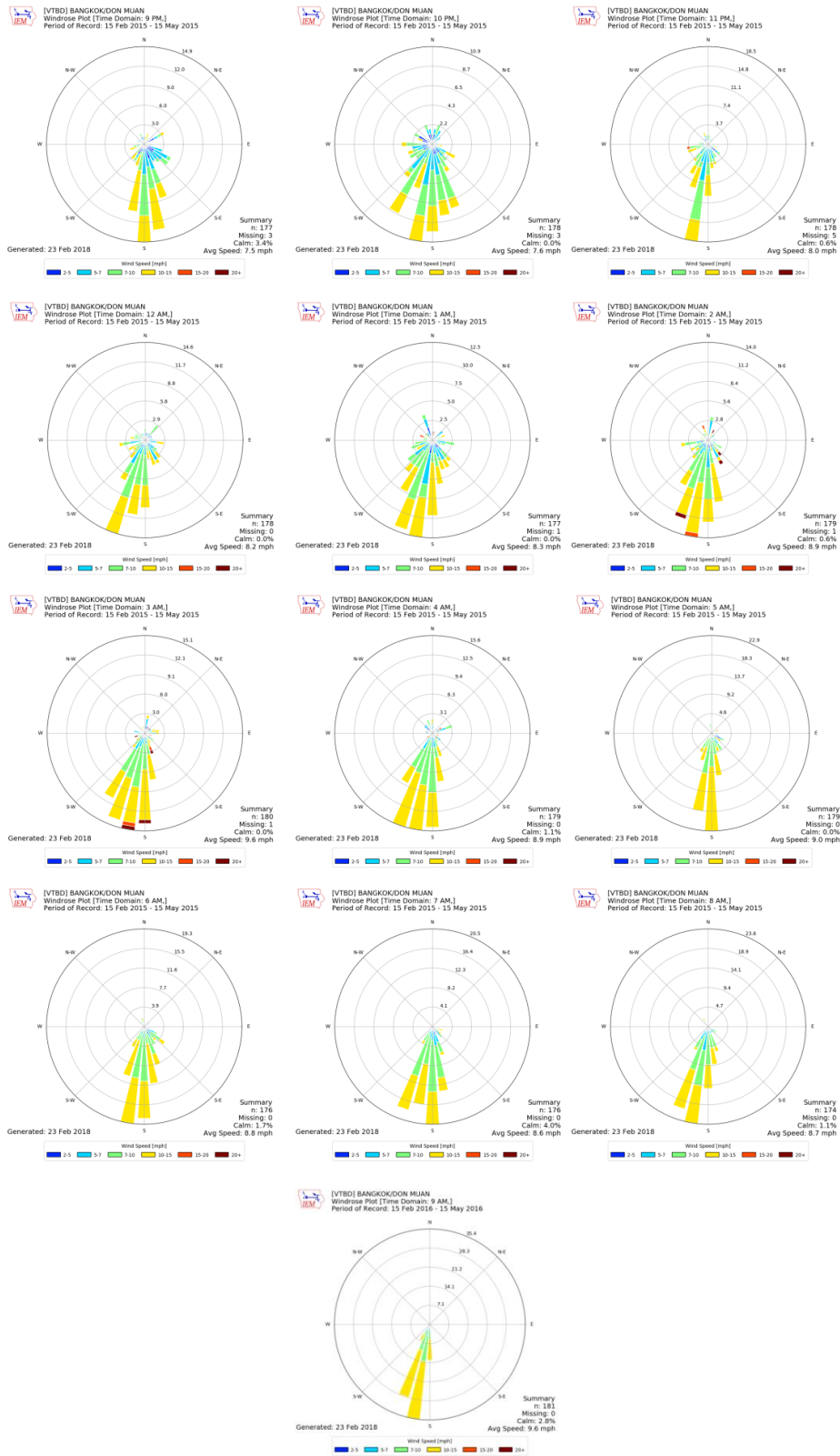
ภาพที่ 75 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค) ของปี 2013 โดแผนภูมิ wind rose



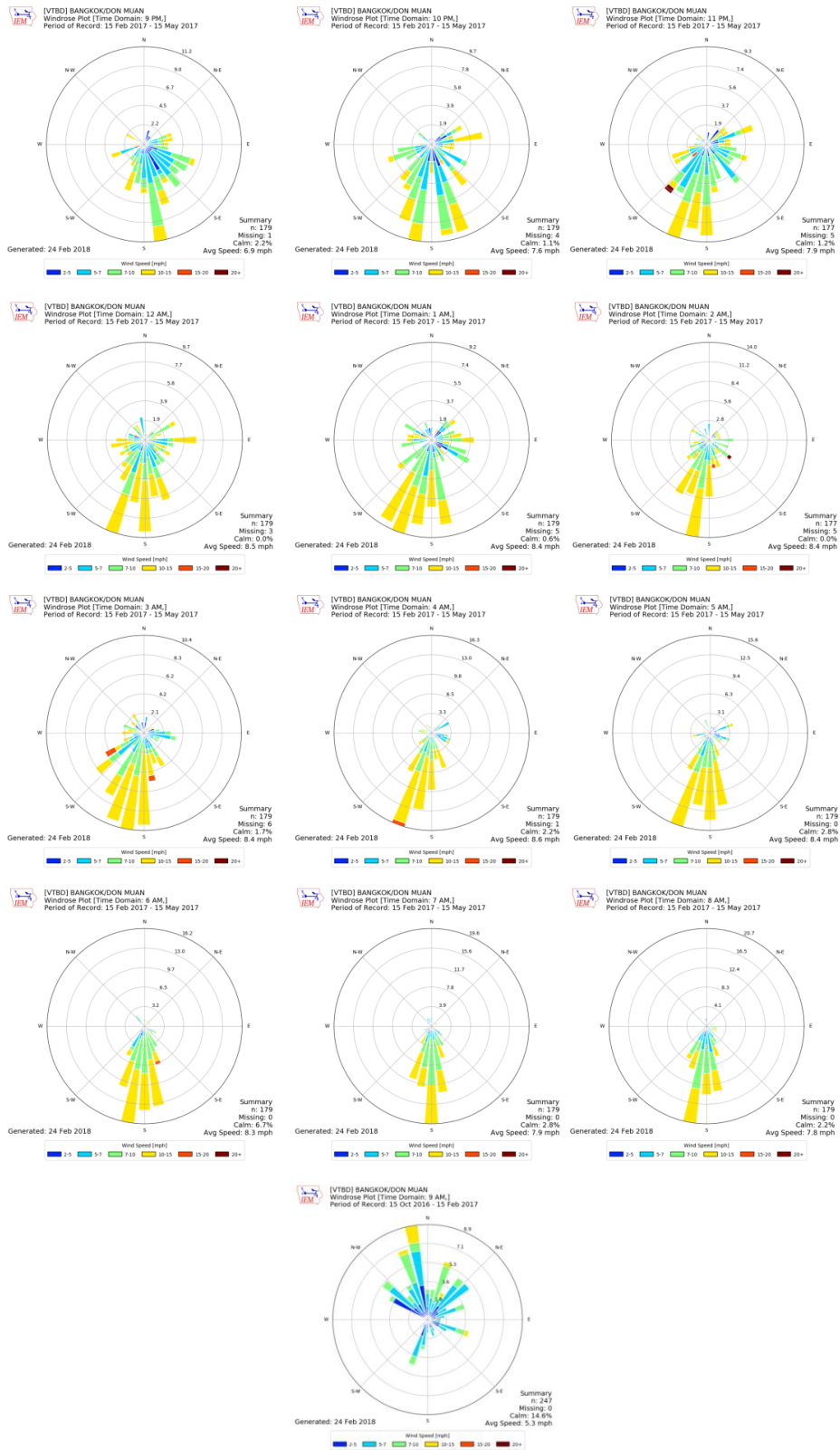
ภาพที่ 76 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของปี 2014 โดยแผนภูมิ wind rose



ภาพที่ 77 แสดงสถิติศักยภาพภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.0น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของปี 2015 โดยแผนภูมิ wind rose



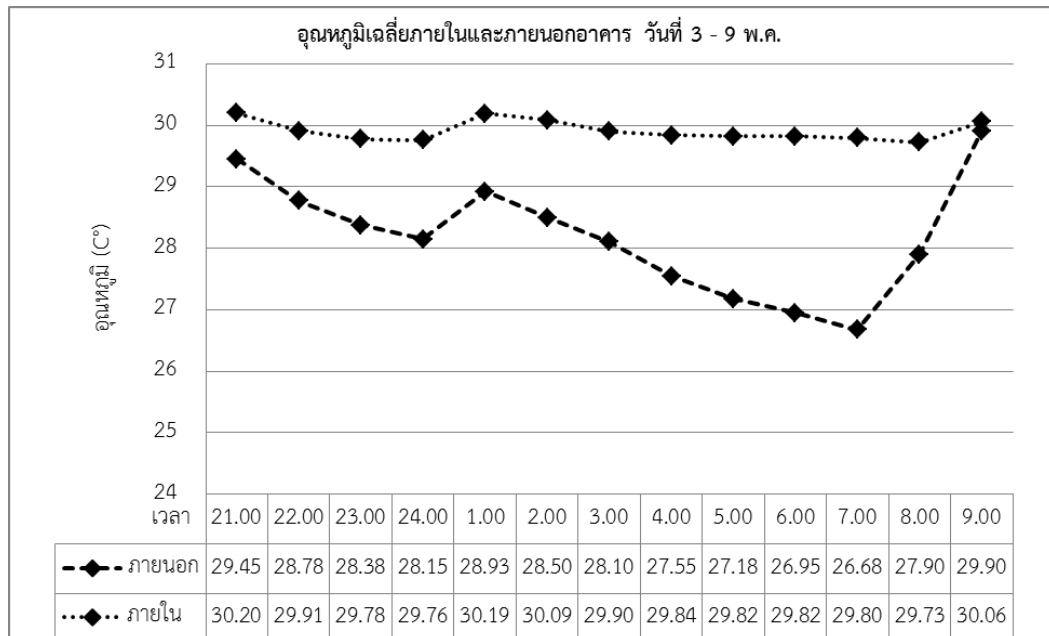
ภาพที่ 78 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.00น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของปี 2016 โดยแผนภูมิ wind rose



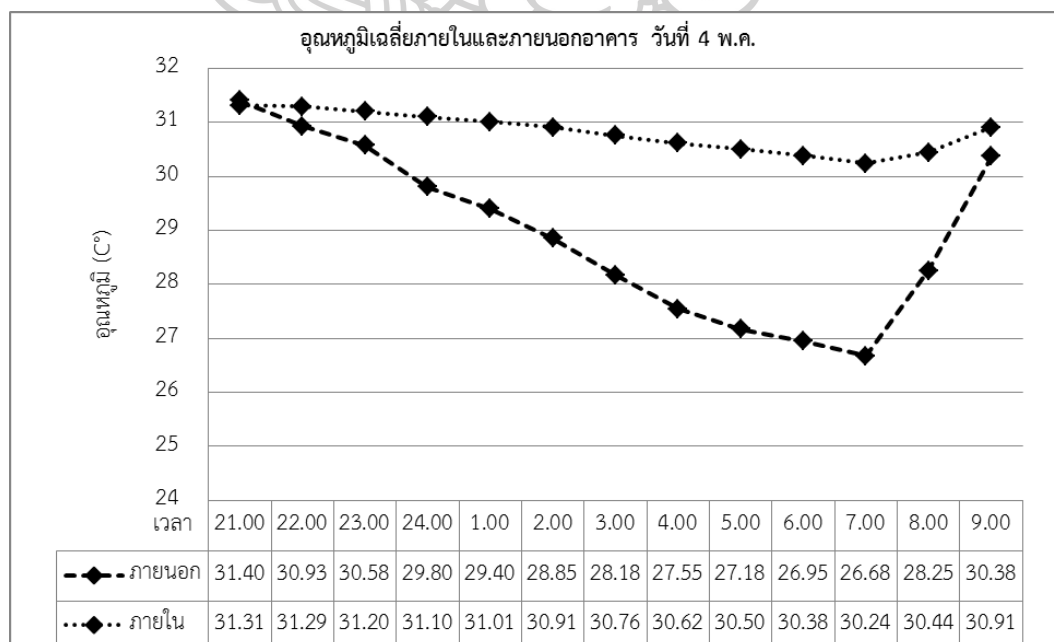
ภาพที่ 79 แสดงสถิติศักยภาพลมเฉลี่ยเวลา 21.0น. - 09.00น. ของฤดูร้อน (15 ก.พ. - 15 พ.ค.) ของปี 2017 โดยแผนภูมิ wind rose

ภาคผนวก ข

สถิติอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคาร



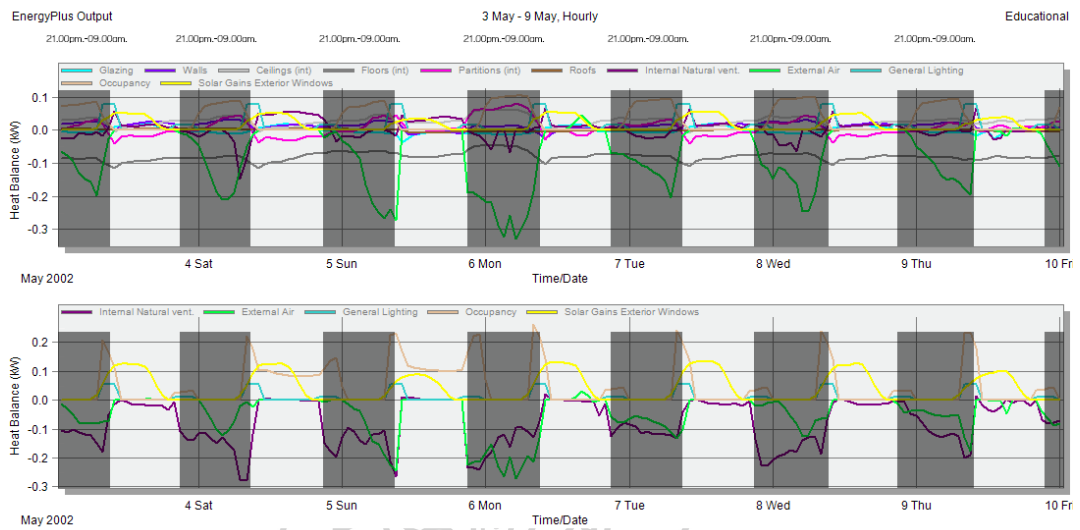
ภาพที่ 80 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารในห้องนอนชั้น 2 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.



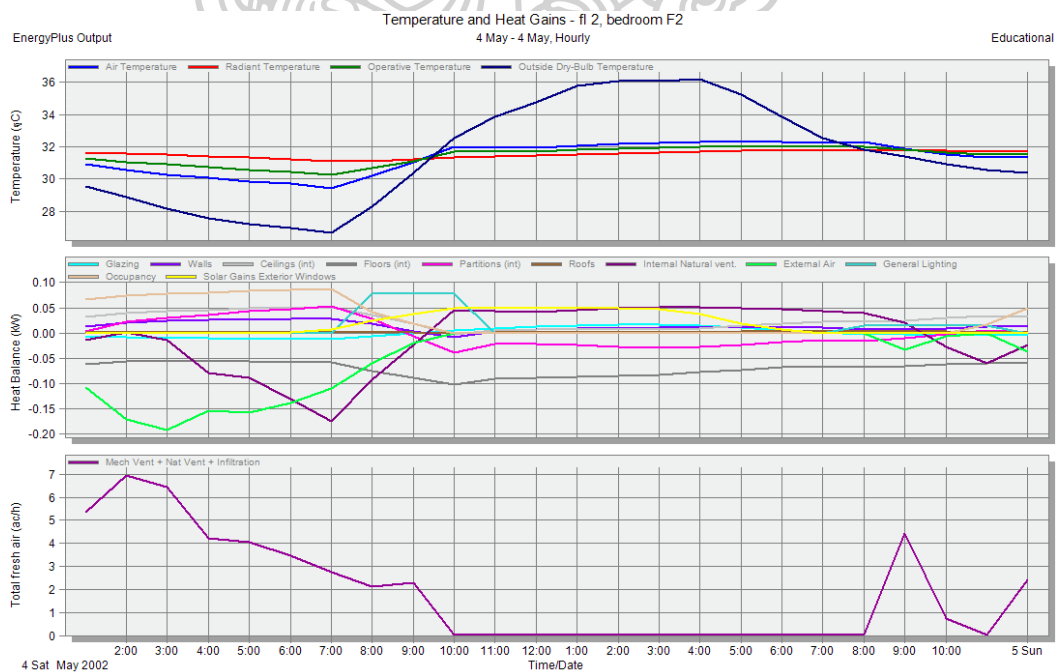
ภาพที่ 81 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารในห้องนอนชั้น 3 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 4 พ.ค.

ภาคผนวก ค

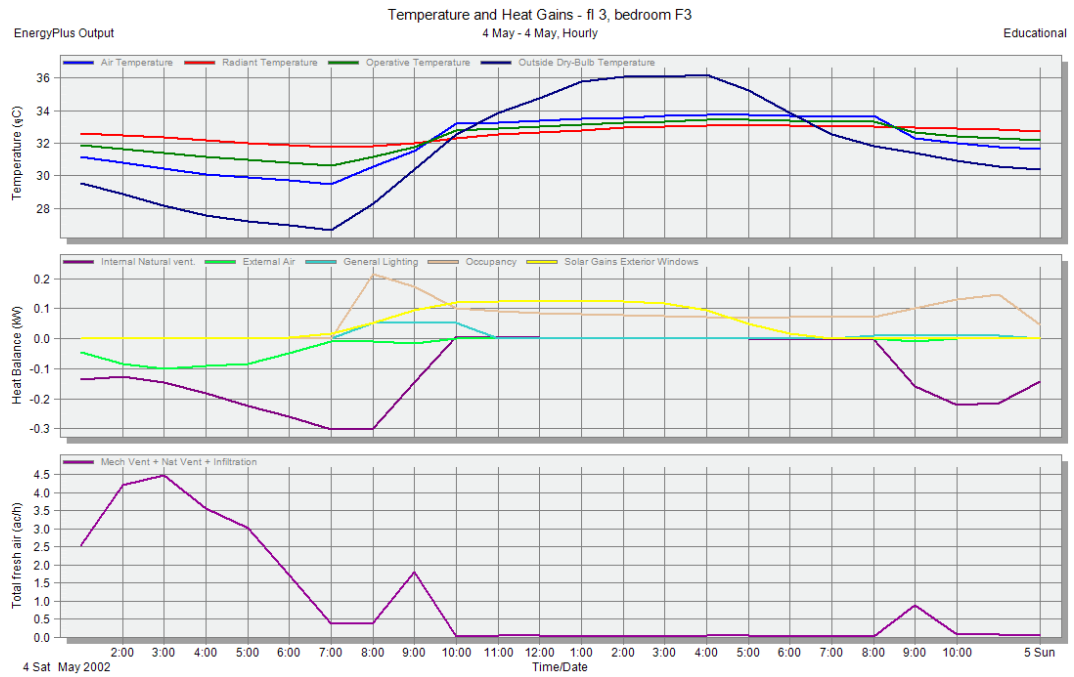
สภาวะความร้อนอาคาร



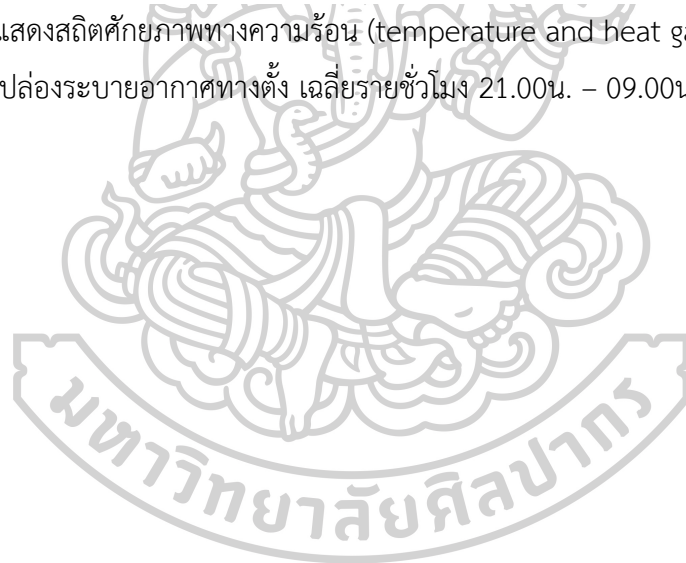
ภาพที่ 82 แสดงศักยภาพทางความร้อน (heat gain) ภายในห้องนอนชั้น 2 (บน) และ ห้องนอนชั้น 3 (ล่าง) เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 3-9 พ.ค.



ภาพที่ 83 แสดงสถิติศักยภาพทางความร้อน (temperature and heat gain) ในห้องนอนชั้น 2 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 4 พ.ค.



ภาพที่ 84 แสดงสถิติสภาพทางความร้อน (temperature and heat gain) ในห้องนอนชั้น 3 กรณีมีปล่องระบายอากาศทางตั้ง เฉลี่ยรายชั่วโมง 21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 4 พ.ค.



ภาคผนวก ง

ประสิทธิภาพความร้อนในอาคาร

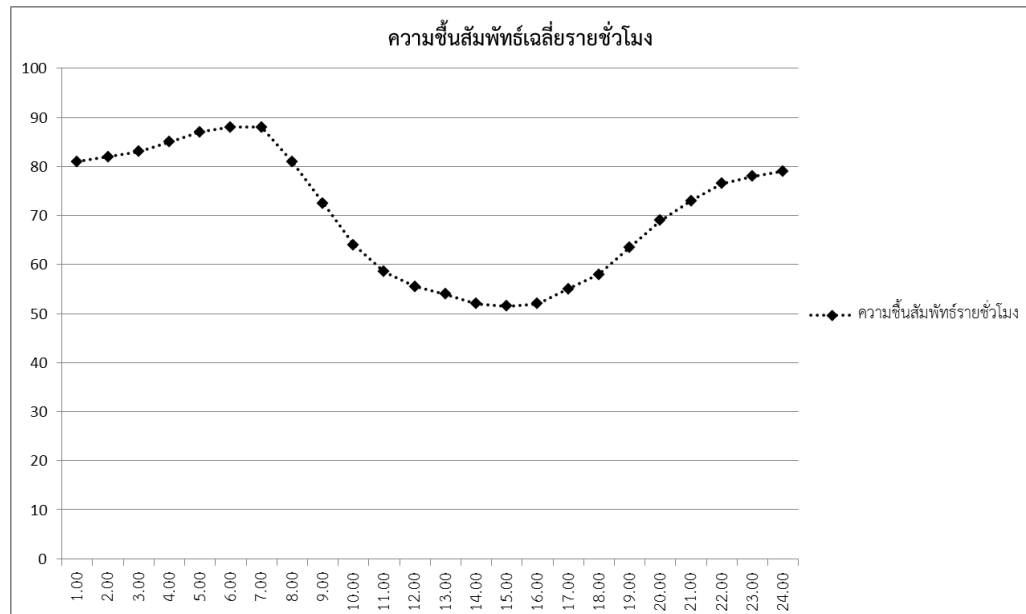
ตารางที่ 6 แสดงสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) และความร้อนจากแสงอาทิตย์ (SHCG)

วัสดุ	สัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)	สัมประสิทธิ์ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (SHCG)
Single glazing		
Clear glass, 1/8 in (3 mm) thick	1.0	0.86
Clear glass, 1/4 in. (6 mm) thick	0.94	0.81
Heat-absorbing or tinted	0.6–0.8	0.5–0.7
Reflective	0.2–0.5	0.2–0.4
Double glazing		
Clear	0.84	0.73
Bronze	0.5–0.7	0.4–0.6
Low-e clear	0.6–0.8	0.5–0.7
Spectrally selective	0.4–0.5	0.3–0.4
Triple-clear	0.7–0.8	0.6–0.7
Glass block	0.1–0.7	
Interior shading		
Venetian blinds	0.4–0.7	
Roller shades	0.2–0.6	
Curtains	0.4–0.8	
External shading		
Eggcrate	0.1–0.3	
Horizontal overhang	0.1–0.6	
Vertical fins	0.1–0.7	
Trees	0.2–0.7	

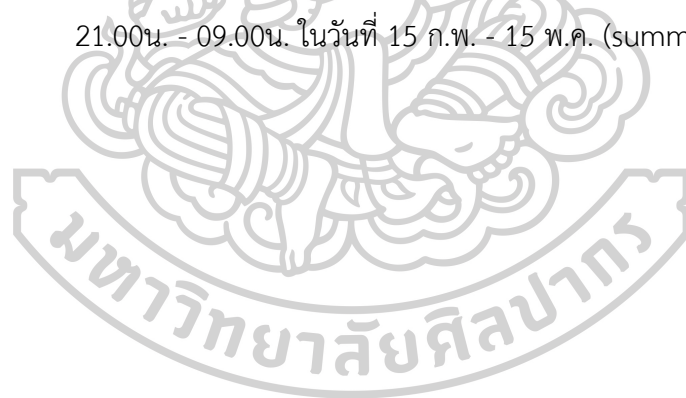
ที่มา : Norbert Lechner, 2015

ภาคผนวก จ

ประสิทธิภาพความชื้นในอาคาร

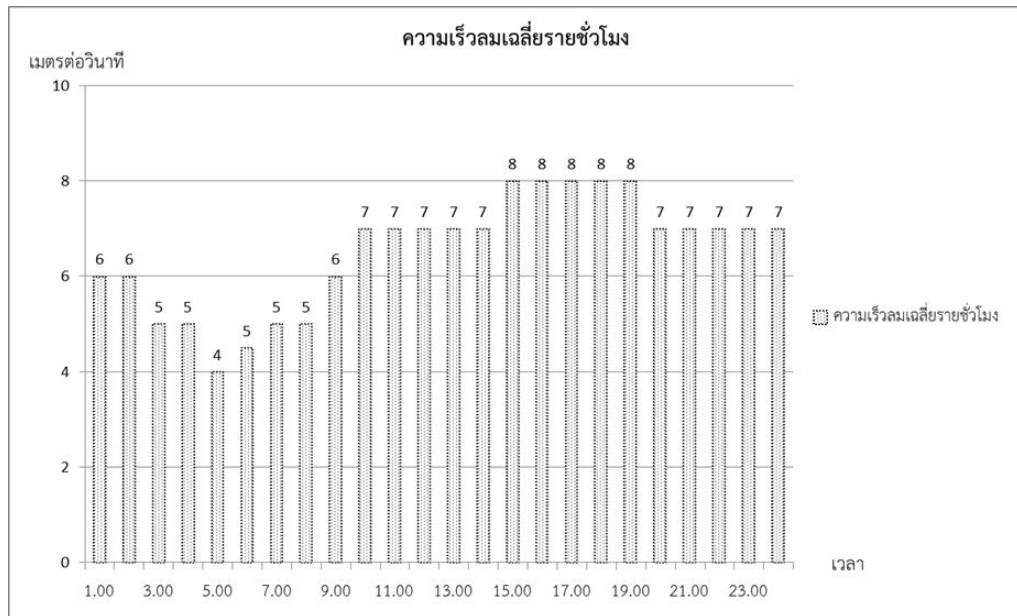


ภาพที่ 85 แสดงสถิติศักยภาพทางความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมง ปี 2013 - 2017 เฉลี่ยรายชั่วโมง
21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 15 ก.พ. - 15 พ.ค. (summer)



ภาคผนวก ฉ

ศักยภาพความเร็วลมในประเทศไทย



ภาพที่ 86 แสดงสถิติศักยภาพทางความเร็วลมรายชั่วโมง ปี 2013 - 2017 เฉลี่ยรายชั่วโมง
21.00น. - 09.00น. ในวันที่ 15 ก.พ. - 15 พ.ค. (summer)



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พรรณวรรณ ทองอ่อน
วัน เดือน ปี เกิด	6 เมษายน 2535
สถานที่เกิด	กระบี่
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตสงขลา คณะสถาปัตยกรรม สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สำเร็จการศึกษา 2557
ที่อยู่ปัจจุบัน	69/6 ถ.โคกชัน ต.ทับเที่ยง อ.เมืองตรัง จ.ตรัง 92000
ผลงานตีพิมพ์	การประชุมวิชาการระดับชาติ “สถาปัตยกรรมกระบวนทัศน์”
รางวัลที่ได้รับ	-

