แนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

นายชลธิษฐ์ ถนัดศิลปกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN: 974-17-4293-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STACK VENTILATION DESIGN GUIDELINES FOR HOUSES IN THAILAND

Mr. Cholatit Thanadsilapakul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN: 974-17-4293-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย
โดย	นายชลธิษฐ์ ฉนัดศิลปกุล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…….. ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

…….. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

…….. กรรมการ
(อาจารย์พิรัส พัชรเศวต)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชลธิษฐ์ ถนัดศิลปกุล: แนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย (STACK VENTILATION DESIGN GUIDELINES FOR HOUSES IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษา: ผศ. ธนิต จินดาวณิค, อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ.ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 254 หน้า. ISBN: 974-17-4293-2

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เสนอแนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศ เพื่อปรับสภาวะน่าสบายภายในอาคาร สำหรับบ้านพักอาศัยขนาดกลางในประเทศไทย โดยศึกษาผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics)

วิธีดำเนินการศึกษาในเบื้องต้นมีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ และความเร็วลมจากบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาขนาด 4 ห้องนอน เพื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองสภาพที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และปรับให้ถูกต้องแล้วจึงนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการศึกษาการออกแบบปล่องระบายอากาศ โดยการทดสอบปล่องระบายอากาศแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา กับมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา และในแต่ละกรณียังแบ่งการศึกษาออกเป็นกรณีย่อยอีกอย่างละ 6 รูปแบบ หลังจากนั้นจึงนำรูปแบบของปล่องระบายอากาศที่มีความเหมาะสมที่สุดไปประยุกต์เพื่อการใช้งานจริง และประเมินผลประสิทธิภาพหลังจากมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแล้วทั้งในกรณีที่ภายนอกอาคารมีลม และไม่มีลม

ผลการศึกษาพบว่าในช่วงเวลาที่ไม่มีลม และไม่มีผลของการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด ผลของปล่องระบายอากาศจะช่วยให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง ภายในโถงอาคารชั้น 1 เพิ่มขึ้นจาก 0.07 ACH เป็น 1.76 ACH หรือประมาณ 25 เท่า และปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศนี้จะเพิ่มขึ้นอีกถ้ามีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้านให้มีอุณหภูมิลดต่ำลง ส่วนในเรื่องของระดับความเร็วลมภายในอาคารนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การออกแบบให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด จะต้องประกอบไปด้วยทั้งการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ และการระบายอากาศลักษณะที่เป็นการพัดผ่านตลอด เพราะจากการทดสอบชี้ให้เห็นว่า แม้ภายนอกอาคารจะมีลม แต่ไม่มีการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด มีแต่เพียงการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ ก็ไม่ช่วยให้เกิดประโยชน์ทางด้านการปรับเย็นให้กับอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต……...……...……
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา……
ปีการศึกษา	2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม…….

4574117625: MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD : STACK VENTILATION/ COMPUTER FLUID DYNAMICS/ BUOYANCY EFFECT

CHOLATIT THANADSILAPAKUL: STACK VENTILATION DESIGN GUIDELINES FOR HOUSES IN THAILAND. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. THANIT CHINDAVANIG, THESIS CO-ADVISOR: DR. ATCH SRESHTHAPUTRA, 254 pp. ISBN: 974-17-4293-2.

The purpose of this research is to develop design guidelines for stack ventilation in medium-sized houses in Bangkok, Thailand, through the use of CFD (Computational Fluid Dynamics).

Initially, a 4-bedroom house located in a suburban area of Bangkok was selected as a case-study house. The indoor and outdoor thermal/airflow conditions were measured and recorded on site in order to compare and calibrate the measurement results with that simulated by the computer program. Once a calibrated model was obtained, the model was then used further for analyses of 2 design options; with and without attic heat gain. For each option, 6 characteristics of stack were tested. The most efficient stack design was then applied to the case-study house in terms of a design prototype. Finally, post-retrofit evaluations of stack were performed using 2 different outdoor conditions; with and without the outside wind.

The results indicate that, at the time of no wind and no cross ventilation, roof stack helps increase the air exchange rate by 25 times (i.e., from 0.07 ACH to 1.76 ACH). The air exchange rate will also increase if the surrounding is cooler by designing proper landscape. Even that, the relative indoor air speed will not significantly increase. However, the efficiency of natural ventilation depends not only upon the use of stacks, but also good design of in lets and outlets, which generates effective cross ventilation. Additionally, this study suggests that, despite the outdoor wind, if cross ventilation is neglected, stack ventilation alone is not an effective means of cooling the space.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Architecture	Student's signature……...……...……
Field of study	Architecture	Advisor's signature …….……
Academic year	2003	Co-advisor's signature ……...…….

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้คงจะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้หากไม่ได้รับการสนับสนุน และช่วยเหลืออย่างดียิ่งในด้านต่างๆ ดังนี้

ผศ.ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนคำติชมต่างๆ สำหรับการแก้ไขเนื้อหาในงานวิจัยชิ้นนี้

ผศ.ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลข้อมูล

อ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ทุ่มเทแรงกาย แรงใจ และเวลาอย่างมากในการสอนเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม CFD ซึ่งหากไม่ได้อาจารย์ งานวิจัยชิ้นนี้คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

ผศ. พรรณชลัท สุริโยธิน และ อ.พิรัส พัชรเศวต ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ในการแก้ไขเนื้อหาในงานวิจัยชิ้นนี้

คณาจารย์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้อันมีค่าในสาขาวิชาต่างๆ ที่ได้เรียน

ครอบครัววิกรยานนท์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูล

บัณฑิตวิทยาลัย และสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้

พี่เอ (สุบิน วงศ์ฝั้น) เพื่อนคนเดียวในสาขาที่อยู่เรียนกันมาตลอดระยะเวลา 2 ปี

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ-คุณแม่ที่เป็นกำลังใจ และดูแลด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอไว้อาลัยแด่ รศ. สมสิทธิ์ นิตยะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฏ
สารบัญแผนภูมิ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2
1.4 นิยามศัพท์ 2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศักยภาพการใช้ลมในการระบายอากาศในประเทศไทย 6
2.2 ประเภทของปล่องระบายอากาศ 9
2.3 การวิเคราะห์และประเมินผลการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศ 17
2.4 บทความทางวิชาการ และงานวิจัย 22
2.5 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ภายในอาคาร 26
2.6 สิ่งที่ควรตระหนักถึงในการใช้ปล่องระบายอากาศ 27

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาศักยภาพของลมในประเทศไทย 30
3.2 การศึกษารายละเอียดของปล่องระบายอากาศ 30

หน้า

3.3 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายใน และภายนอกอาคารเบื้องต้น 31
3.4 การบันทึกผล และวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้ 38
3.5 การทดสอบปล่องระบายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational fluid dynamics) 39
3.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศ 42
3.7 การออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย 43
3.8 การวิเคราะห์ผลการออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ 43
3.9 สรุปผลการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย 44

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละกรณี 45
4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ในแต่ละกรณี 64
4.3 สรุปผลการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายในอาคารพักอาศัยกรณีศึกษา 78
4.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพ 79
4.5 การทดสอบปล่องระบายอากาศ 83
4.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศ 95
4.7 การออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ 102
4.8 ผลการออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ 105
4.9 การวิเคราะห์ผลการออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ 111
4.10 การทดสอบการออกแบบปล่องระบายอากาศภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและระดับความเร็วลมจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว 118
4.11 ผลการทดสอบการออกแบบปล่องระบายอากาศภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและระดับความเร็วลมจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว 120
4.12 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการออกแบบปล่องระบายอากาศภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และระดับความเร็วลมจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว 132

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปการออกแบบปล่องระบายอากาศ 137
5.2 ข้อเสนอแนะ 145

หน้า

รายการอ้างอิง **146**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 150

ภาคผนวก ข 156

ภาคผนวก ค 171

ภาคผนวก ง 182

ภาคผนวก จ 188

ภาคผนวก ฉ 210

ภาคผนวก ช 222

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ **235**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะภูมิอากาศตามช่วงเวลาของจังหวัดที่เป็นตัวแทนภาค 7
ตารางที่ 2.2 อัตราการระบายอากาศในอาคาร 27
ตารางที่ 4.1 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.1 48
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.2 51
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.1 54
ตารางที่ 4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.2 58
ตารางที่ 4.5 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.3 62
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัด ณ สถานที่จริง และผลที่ได้จากการจำลองสภาพ 82
ตารางที่ 5.1 ราคาค่าก่อสร้าง การเพิ่มเติมปล่องระบายอากาศโดยประมาณ 143

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 รายละเอียด และการทำงานของปล่องดักอากาศ 10
รูปที่ 2.2 ปล่องดักอากาศที่มีทางติดต่อกับทางน้ำใต้ดิน 11
รูปที่ 2.3 รูปตัดปล่องดักอากาศที่ใช้ในเมือง BAM 12
รูปที่ 2.4 ปล่องดักอากาศที่มีกระบังดักลม 12
รูปที่ 2.5 การไหลของอากาศเนื่องจากแรงลอยตัวผ่านทางปล่องระบายอากาศ 15
รูปที่ 2.6 การทำความเย็นในอาคาร โดยอาศัยแรงลอยตัวของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ 16
รูปที่ 2.7 การเกิดโฟกัสรวมกันของเสียง และการสะท้อนของเสียงภายในปล่อง 28
รูปที่ 2.8 การออกแบบผังโถงทางเข้าห้องเพื่อแก้ปัญหาการกระแทกของประตู 29
รูปที่ 3.1 บ้านพักอาศัยกรณีศึกษาเมื่อมองจากภายนอก 31
รูปที่ 3.2 ภาพภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา 32
รูปที่ 3.3 ผังพื้นของบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา 33
รูปที่ 3.4 เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความชื้น HOBO RH TEMP พร้อมหัวสัญญาณ 34
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลม 35
รูปที่ 3.6 เครื่องเก็บข้อมูล Opus 200 35
รูปที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิพื้นผิว 37
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น.ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง 80
รูปที่ 4.2 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น.ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง 80
รูปที่ 4.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 83
รูปที่ 4.4 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 83

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 84

รูปที่ 4.6 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 84

รูปที่ 4.7 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 85

รูปที่ 4.8 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 85

รูปที่ 4.9 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 86

รูปที่ 4.10 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 86

รูปที่ 4.11 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 87

รูปที่ 4.12 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา 87

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.13 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……. 88

รูปที่ 4.14 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……. 88

รูปที่ 4.15 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……. 89

รูปที่ 4.16 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา …… 89

รูปที่ 4.17 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……..... 90

รูปที่ 4.18 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……..… 90

รูปที่ 4.19 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา …..... 91

รูปที่ 4.20 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……... . 91

รูปที่ 4.21 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……... 92

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.22 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……..… 92

รูปที่ 4.23 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ….…… 93

รูปที่ 4.24 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ….…… 93

รูปที่ 4.25 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……. 94

รูปที่ 4.26 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ สูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า-ออกขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ……..… 94

รูปที่ 4.27 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงปากปล่อง ระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า ……. 105

รูปที่ 4.28 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงปากปล่อง ระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า ……. 105

รูปที่ 4.29 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงลักษณะ ช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 …….. 106

รูปที่ 4.30 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงลักษณะ ช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 …….. 106

รูปที่ 4.31 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพ แวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูร้อน …….. 107

รูปที่ 4.32 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพ แวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูร้อน …….. 107

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.33 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูหนาว 108

รูปที่ 4.34 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูหนาว 108

รูปที่ 4.35 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน 109

รูปที่ 4.36 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน 109

รูปที่ 4.37 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว 110

รูปที่ 4.38 ความเร็วลมภายในอาคารเวลา 13.00 น. เมื่อรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว 110

รูปที่ 5.1 ตัวอย่างแบบอาคารที่ได้รับการออกแบบให้มีการใช้ปล่องระบายอากาศ 139

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 2.1 กระบวนการทำความเย็นผ่านปล่องดักอากาศ 10

แผนภูมิที่ 2.2 ปล่องดักอากาศที่มีทางติดต่อกับทางน้ำใต้ดิน 11

แผนภูมิที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของทางเข้า-ออกอากาศกับอัตราส่วน
ร้อยละ (%) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดปล่องกับพื้นที่ใช้งาน 22

แผนภูมิที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลของปล่องดักอากาศรูปแบบต่างๆ
กับทิศทางลมที่มากระทำ 23

แผนภูมิที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของทางเข้า-ออกอากาศกับอัตราส่วน
ร้อยละ (%) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดปล่องกับพื้นที่ใช้งาน 24

แผนภูมิที่ 2.6 การเพิ่มอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของขนาดช่อง
เปิดอากาศเข้า และออก 25

แผนภูมิที่ 3.1 รูปแบบในการทดสอบปล่องระบายอากาศ 42

แผนภูมิที่ 3.2 รูปแบบในการออกแบบปรับปรุงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่อง
ระบายอากาศ เพื่อการนำไปใช้จริง 43

แผนภูมิที่ 4.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.1
(วันที่ 25-26มิถุนายน 2546) 46

แผนภูมิที่ 4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.2
(วันที่ 26-27มิถุนายน 2546) 49

แผนภูมิที่ 4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.1
(วันที่ 27-28มิถุนายน 2546) 52

แผนภูมิที่ 4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.2
(วันที่ 28-29มิถุนายน 2546) 56

แผนภูมิที่ 4.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.3
(วันที่ 29-30มิถุนายน 2546) 60

แผนภูมิที่ 4.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ตลอด 24 ชั่วโมง
ในแต่ละกรณี 64

แผนภูมิที่ 4.7 สรุปการเปรียบเทียบอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ตลอด 24 ชั่วโมง
ในแต่ละกรณี 65

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 6.00-17.00 น. ในแต่ละกรณี 69
แผนภูมิที่ 4.9 สรุปการเปรียบเทียบอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 6.00-17.00 น. ในแต่ละกรณี 70
แผนภูมิที่ 4.10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 18.00-5.00 น. ในแต่ละกรณี 74
แผนภูมิที่ 4.11 สรุปการเปรียบเทียบอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 18.00-5.00 น. ในแต่ละกรณี 75
แผนภูมิที่ 4.12 การเปรียบเทียบความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศรูปแบบต่างๆ กัน 96
แผนภูมิที่ 4.13 การเปรียบเทียบความเร็วลมภายในอาคารชั้น 2 เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศรูปแบบต่างๆ กัน 97
แผนภูมิที่ 4.14 การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศรูปแบบต่างๆ กัน 98
แผนภูมิที่ 4.15 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออกของปล่องระบายอากาศ เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศรูปแบบต่างๆ กัน 99
แผนภูมิที่ 4.16 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศรูปแบบต่างๆ กัน 100
แผนภูมิที่ 4.17 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ 112
แผนภูมิที่ 4.18 การเปรียบเทียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ 113
แผนภูมิที่ 4.19 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ 114

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.20 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ 115
แผนภูมิที่ 4.21 การเปรียบเทียบความเร็วลมภายในอาคารช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 120
แผนภูมิที่ 4.22 การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 121
แผนภูมิที่ 4.23 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคารช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 122
แผนภูมิที่ 4.24 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate).. 123
แผนภูมิที่ 4.25 การเปรียบเทียบความเร็วลมภายในอาคารช่วงฤดูหนาว และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 124
แผนภูมิที่ 4.26 การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ช่วงฤดูหนาว และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 125
แผนภูมิที่ 4.27 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคารช่วงฤดูหนาว และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 126
แผนภูมิที่ 4.28 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ช่วงฤดูหนาวและมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) . 127
แผนภูมิที่ 4.29 การเปรียบเทียบความเร็วลมภายในอาคารช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร, และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 128

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.30 การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร, และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 129

แผนภูมิที่ 4.31 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคารช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร,และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 130

แผนภูมิที่ 4.32 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร, และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) 131

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

แนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมในปัจจุบัน ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมากมายมหาศาลให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อลดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด อันสะท้อนไปสู่แนวความคิดในเรื่องสถาปัตยกรรมยั่งยืน (Sustainable Architecture) ซึ่งแนวความคิดนี้ก่อให้เกิดกระแสของการอนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม โดยที่ทรัพยากรธรรมชาติสิ่งหนึ่งที่มีความน่าสนใจและสอดคล้องกับแนวความคิดดังกล่าว นั่นก็คือ "**ลม**"

"**ลม**" คือ ทรัพยากรอย่างหนึ่ง สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ และมีอยู่อย่างมากมายไม่มีวันหมด เป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถสร้างสภาวะน่าสบายให้เกิดขึ้น ลมจะช่วยระบายอากาศ และทำให้เหงื่อที่ผิวหนังของร่างกายเกิดการระเหย ทำให้เรารู้สึกเย็นได้ ดังนั้น หากมีการแสวงหาประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติมาช่วยในการระบายอากาศ และเกิดการระเหยในระดับที่มีความเหมาะสม ก็ย่อมเป็นการสร้างสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ให้เกิดขึ้นได้ โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาระบบเครื่องกล

การออกแบบงานสถาปัตยกรรมประเภทที่พักอาศัยในเขตร้อนชื้นอย่างในประเทศไทยเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายโดยที่ไม่ต้องใช้เครื่องกล (Passive Cooling Design) เพื่อคงรักษาไว้ซึ่งเสน่ห์แห่งสุนทรียภาพในการอยู่อาศัย และลดการใช้พลังงานจากการปรับอากาศโดยใช้เครื่องกล อันจะนำไปสู่ในเรื่องของการประหยัดพลังงานในอาคารนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งหนึ่งในหลายวิธีนั้น ก็คือการใช้การระบายอากาศ (Ventilation) แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลอากาศของประเทศไทย โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค และคณะ พบว่าสภาวะของลมในประเทศไทยนั้น ถ้าจะกล่าวถึงเรื่องของความเร็ว ส่วนหนึ่งก็สามารถที่จะสร้างความสบายให้เกิดขึ้นได้ แต่ที่จะมีปัญหา คือ สภาวะของลมที่มีนั้น ประมาณครึ่งหนึ่งเป็นลมสงบ ส่วนปริมาณลมที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้นั้นก็มีค่อนข้างน้อย ดังนั้น การปรับอากาศภายในอาคารด้วยวิธีไม่ใช้เครื่องกล หรือใช้ลมที่เกิดโดยทั่วไปจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวนั้น จึงอาจจะไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามลมสามารถที่จะเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เมื่อมีความต่างกันของความดันหรืออุณหภูมิ เราจึงสามารถที่จะอาศัยคุณสมบัติดังกล่าวมาเป็นตัวช่วยเสริมในการสร้างให้เกิดกระแสลม เพื่อสร้างสภาวะน่าสบายให้กับภายในอาคาร ซึ่งวิธีการหนึ่งที่จะนำมาศึกษานั้นก็คือ **การใช้ปล่องระบายอากาศ (Stack Ventilation)** โดยมีหลักการพื้นฐานคือ การเคลื่อนตัวเข้าแทนที่กันของอากาศที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยที่อากาศร้อนกว่าจะลอยตัวสูงขึ้นและมีอากาศที่เย็นกว่าเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ หรือที่เรียกว่า "**Stack Effect หรือ Buoyancy Effect**" ซึ่งจะสามารถช่วยในการเหนี่ยวนำให้อากาศเกิดการเคลื่อนตัวได้ แม้ในเวลาที่ไม่มีลม

จากความสำคัญดังกล่าว จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการนำประโยชน์จากธรรมชาติมาผสมผสานกับเทคโนโลยีในการออกแบบสถาปัตยกรรม ซึ่งหากได้มีการศึกษาถึงรูปแบบและวิธีออกแบบปล่องระบายอากาศที่เหมาะสม ย่อมเป็นแนวทางในการออกแบบอาคาร โดยเริ่มจาก "**บ้าน**" ซึ่งเป็นอาคารพักอาศัยขนาดเล็ก เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาระบบการทำงาน และรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ ทั้งจากทฤษฎี, ผลงานทางวิชาการ, และสมการการคำนวณ ตลอดจนศึกษาการวิเคราะห์ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics)

1.2.2 ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบปล่องระบายอากาศ

1.2.3 เสนอแนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศ เพื่อปรับสภาวะน่าสบายภายในอาคาร สำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้ จะทำการศึกษาเฉพาะปล่องระบายอากาศที่ใช้กับบ้านพักอาศัยเท่านั้น

1.3.2 การวิจัยนี้มุ่งเน้นเฉพาะการระบายอากาศโดยใช้หลักของการลอยตัวหรือการเคลื่อนตัวเข้าแทนที่กันของอากาศที่มีอุณหภูมิต่างกันเท่านั้น ไม่ได้รวมถึงการใช้ปล่องดักอากาศ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

1.3.3 การวิจัยนี้ไม่ได้รวมถึงการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross ventilation)

1.3.4 การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่เรื่องของการสร้างสภาวะน่าสบาย ผ่านทางการระบายอากาศและระดับความเร็วลมภายในอาคาร จะไม่รวมผลกระทบจากการส่งผ่านความร้อน และค่า MRT (Mean Radiant Temperature) ซึ่งจะมีผลต่อสภาวะน่าสบายเช่นกัน

1.3.5 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD โดยเป็นการจำลองสภาพในลักษณะที่เป็น 2 มิติ

1.4 นิยามศัพท์

1.4.1 การระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ (Stack Ventilation) คือ การที่อากาศที่มีอุณหภูมิสูงลอยตัวสูงขึ้น เนื่องจากมีความหนาแน่นที่น้อย และก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำเอาอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และความหนาแน่นมากกว่าเข้ามาแทนที่ หรือที่เรียกว่า Stack Effect หรือ Buoyancy

1.4.2 ความสูงของปล่องระบายอากาศ คือ ระยะที่วัดตั้งแต่จุดกึ่งกลางของหน้าต่างลมเข้าไปจนถึงจุดกึ่งกลางของหน้าต่างลมออก

1.4.3 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) คือ ผลรวมตลอด 24 ชั่วโมงของผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่วัดได้กับ Degree day base ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ค่า Degree day base เท่ากับ 18.33 องศาเซลเซียส

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

เนื่องจากการวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการศึกษา ดังนั้น ในเบื้องต้นจึงต้องเลือกบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา เพื่อเก็บข้อมูล อันได้แก่ อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิผิว, และความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริง และนำข้อมูลเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำการปรับค่าต่างๆ ที่จะต้องป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด แล้วจึงนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการศึกษาการออกแบบปล่องระบายอากาศ

1.5.1 ศึกษาศักยภาพการใช้ลมในประเทศไทย ทั้งในเรื่องของความเร็ว, ความถี่, และทิศทาง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบปล่องระบายอากาศ

1.5.2 ศึกษารายละเอียดของปล่องระบายอากาศ

- ศึกษาการทำงาน, ข้อดี-ข้อเสีย, สมการการคำนวณ รวมทั้งการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics) โดยจะทำการศึกษาทั้งในส่วนที่เป็นทฤษฎี, วิทยานิพนธ์ในอดีต, วารสารสิ่งพิมพ์, และบทความทางวิชาการต่างๆ
- รวบรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบปล่องระบายอากาศ อันได้แก่ ความสูงระหว่างหน้าต่างลมเข้าถึงหน้าต่างลมออก, ขนาดพื้นที่หน้าต่างลมเข้า, อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก, อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เพื่อนำไปเป็นตัวแปรในการทดสอบประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศ

1.5.3 เลือกบ้านพักอาศัยรูปแบบมาตรฐานทั่วไป เพื่อเก็บข้อมูลอันได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร, อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร, และความเร็วลมที่เกิดขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลในเบื้องต้นที่จะนำไปใช้ในการออกแบบปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

- **การกำหนดรูปแบบการเก็บข้อมูลพื้นฐาน**

<u>กรณีที่1</u>: ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ

โดยใช้แผ่นโฟมหนา 1 นิ้ว ปิดทางขึ้น-ลงบริเวณช่องบันไดทั้งหมดให้สนิท รวมทั้งปิดหน้าต่างที่อยู่ ณ ช่องบันไดนั้นด้วย เพื่อไม่ให้มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ

กรณีที่ 1.1: ปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.2: เปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2: มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ

โดยนำแผ่นโฟมที่ปิดทางขึ้น-ลงบันไดออกหมด

กรณีที่ 2.1: เปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.2: เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้า ที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3: เปิดหน้าต่างทั้งหมด

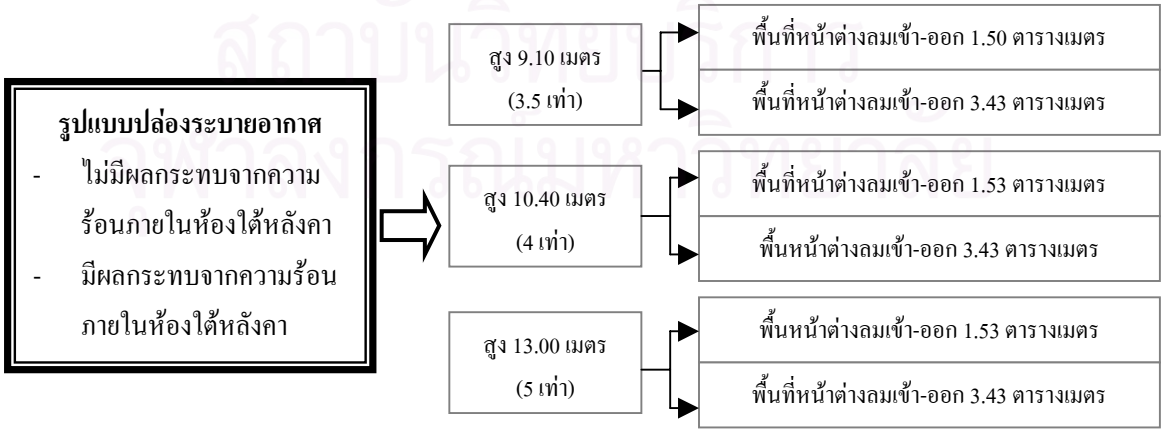
หมายเหตุ: ในกรณีที่ 2.1 และ 2.2 การเปิดหน้าต่างลมเข้า และออก จะอยู่ในทิศอับลม เพื่อศึกษาผลกระทบของปล่องระบายอากาศเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลกระทบจากลมภายนอก

1.5.4 การบันทึกและเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้

- การวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ
- การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) โดยแบ่งเป็นช่วงเวลาเช้า (6.00-17.00 น.), เย็น (18.00-5.00 น.), และตลอด 24 ชั่วโมง

1.5.5 การทดสอบปล่องระบายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD

- วิเคราะห์ผลอุณหภูมิ และระดับความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารกรณีศึกษาผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics) เพื่อปรับค่าผลที่ได้ให้มีความใกล้เคียงกับผลที่วัดได้ ณ สถานที่จริง ตลอดจนคำนวณอัตราการระบายอากาศภายในอาคารกรณีศึกษา
- ขั้นตอนและรูปแบบการทดสอบปล่องระบายอากาศ แบ่งเป็นดังนี้

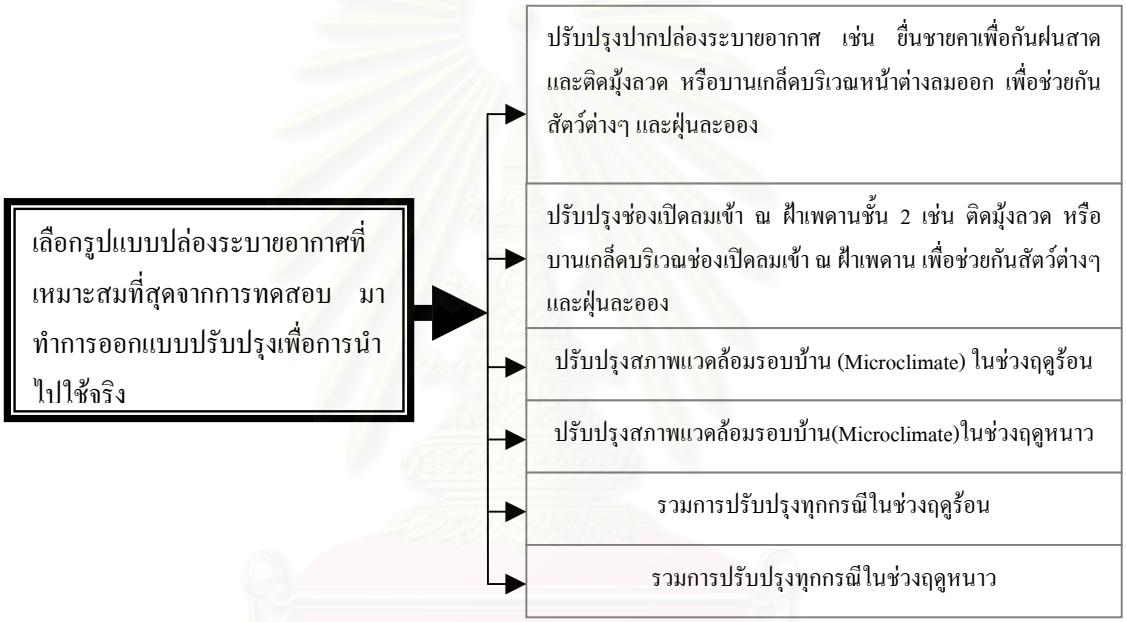


หมายเหตุ: ในการทดสอบกำหนดให้หน้าต่างลมออก และช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 รวมทั้งขนาดพื้นที่หน้าตัดแนวขวางของปล่องระบายอากาศมีพื้นที่เท่ากับหน้าต่างลมเข้า

1.5.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศ โดยพิจารณาจาก ความเร็วลม, อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour), อุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออก, และความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกอาคาร

1.5.7 ออกแบบปล่องระบายอากาศโดยเลือกรูปแบบปล่องระบายอากาศจากการทดสอบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบให้กับบ้านพักอาศัยจริง ตลอดจนประเมินผลหลังมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง

- ขั้นตอนและรูปแบบการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ เพื่อนำไปใช้จริง



1.5.8 สรุปผลการออกแบบปล่องระบายอากาศ เพื่อนำไปสู่แนวทางที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงประโยชน์และศักยภาพของปล่องระบายอากาศ ที่จะมาเป็นส่วนช่วยในการสร้างสภาวะน่าสบายให้กับบ้านพักอาศัย เพื่อช่วยลดภาระในการปรับอากาศ

1.6.2 เป็นแนวทางในการปรับปรุงองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ รวมทั้งปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ที่จะมีผลต่อการการออกแบบปล่องระบายอากาศ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุด

1.6.3 ผลการศึกษาสามารถที่จะเป็นแนวทางในการออกแบบ ตลอดจนเป็นเครื่องชี้วัดประสิทธิภาพปล่องระบายอากาศสำหรับสถาปัตยกรรมประเภทบ้านพักอาศัย และสามารถที่จะพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับสถาปัตยกรรมรูปแบบต่างๆ ในภูมิภาคร้อนชื้นอย่างเช่นในประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อพิจารณา และสรุปข้อมูลอุณหภูมิอากาศของจังหวัดต่างๆ จากการเก็บข้อมูลของผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค และคณะ สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิอากาศของประเทศไทยจะค่อนข้างสูง และมีความชื้นอยู่มาก ทำให้อุณหภูมิส่วนใหญ่อยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย จะมีเพียงบางช่วงเวลาเท่านั้น เช่น ในช่วงฤดูหนาวที่อุณหภูมิจะตกอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย แต่ก็เป็นส่วนน้อย ซึ่งถ้าต้องการจะปรับอุณหภูมิให้เกิดสภาวะน่าสบาย สามารถทำได้โดย 2 วิธีการหลัก ๆ นั่นคือ

- การใช้เครื่องปรับอากาศ
- การใช้การระบายอากาศ ไม่ว่าจะเป็นวิธีทางธรรมชาติหรือใช้เครื่องกล

ดังนั้น หากเราจะสร้างสภาวะน่าสบายให้กับการอยู่อาศัยในอาคาร โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาระบบเครื่องกล (Active Cooling) การใช้ลมอันเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมากมายมหาศาล และสามารถที่จะเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ และใคร่ควรที่จะศึกษาเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลักๆ ดังต่อไปนี้

- ศักยภาพการใช้ลมในประเทศไทย
- ประเภทของปล่องระบายอากาศ
- การวิเคราะห์และประเมินผลการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศ
- บทความทางวิชาการ และงานวิจัย
- อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ภายในอาคาร
- สิ่งที่ควรตระหนักถึงในการใช้ปล่องระบายอากาศ

2.1 ศักยภาพการใช้ลมในการระบายอากาศในประเทศไทย

อิทธิพลของทิศทาง และคุณลักษณะของกระแสลมนั้น ได้เคยมีการศึกษาโดยใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยามาทำการวิเคราะห์ และการคำนวณทางสถิติ โดยได้จัดตัวแทนจังหวัดของแต่ละภูมิภาคมาทำการศึกษา แบ่งเป็น (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543)

จากเกณฑ์การจัดตัวแทนของแต่ละภูมิภาคนี้ ได้สรุปออกมาเป็นตารางแสดงการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะภูมิอากาศตามช่วงเวลาของจังหวัดที่เป็นตัวแทนภาค ดังนี้

จังหวัด	ช่วงอุณหภูมิอยู่ในเดือน			ช่วงความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเดือน			ความเร็วลม				ทิศทางลมเด่น
	<22°C	22 -29°C	>29°C	<20%	20-75%	>75%	เฉลี่ย (m/s)	%	กลางวัน (m/s)	กลางคืน (m/s)	
เชียงใหม่	ม.ค.-ธ.ค.	ก.พ.-ธ.ค.	เม.ย.-มิ.ย.	-	ม.ค.-มิ.ย.	มิ.ย.-พ.ย.	0.347	24.26	1.72	1.4	ต.ต / ต , ต , น
ขอนแก่น	-	ม.ค.-ธ.ค.	มี.ค.-ก.ค.	-	ม.ค.-มิ.ย. ต.ค.-ธ.ค.	เม.ย.-ธ.ค.	0.14	23.27	0.97	0.22	ต.ต. / ต
นครราชสีมา	-	ม.ค.-ธ.ค.	มี.ค.-ก.ค.	-	ม.ค.-ส.ค. ต.ค.-ธ.ค.	พ.ค.-พ.ย.	0.2	23.31	1.03	0.34	ต.อ. / น , ต.ต. / ต , ต
นครสวรรค์	-	ม.ค.-ก.พ. พ.ค.-ธ.ค.	ก.พ.-ก.ค.	-	ม.ค.-ก.ค. พ.ย.-ธ.ค.	พ.ค.-พ.ย.	0.44	36.15	0.96	0.67	ต
กรุงเทพฯ	-	ม.ค.-มี.ค. มิ.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-ส.ค. ต.ค.-ธ.ค.	-	ม.ค.-ส.ค. ต.ค.-ธ.ค.	ก.พ.-ต.ค. ธ.ค.	0.52	37.44	1.48	0.92	ต
จันทบุรี	-	ม.ค.-ธ.ค.	มี.ค.-พ.ค.	-	ม.ค.-มี.ค. พ.ย.-ธ.ค.	ก.พ.-พ.ย.	0.1	33.82	0.8	0.29	ต.ต. / ต , ต , ต.อ. / น
กาญจนบุรี	-	ม.ค.-ก.พ. พ.ค.-ธ.ค.	ก.พ.-ส.ค.	-	ม.ค.-ส.ค. พ.ย.-ธ.ค.	มิ.ย.-พ.ย.	0.08	16.68	0.88	0.27	ต.ต. ต.อ. / ต
สงขลา	-	ม.ค.-มี.ค. พ.ค.-ธ.ค.	ก.พ.-ก.ค.	-	ม.ค.-ก.ย.	ม.ค.-ธ.ค.	0.28	20.67	2.13	1.34	ต.ต. , ต.อ. , ต.อ. / น
ภูเก็ต	-	ม.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-พ.ค.	-	ม.ค.-พ.ค. ธ.ค.	เม.ย.-พ.ค. ธ.ค.	0.29	26.47	1.75	0.45	ต

ตารางที่ 2.1 การศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะภูมิอากาศตามช่วงเวลาของจังหวัดที่เป็นตัวแทนภาค (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543)

<u>หมายเหตุ</u>: 1. ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) และเปอร์เซนต์ เป็นความเร็วลมเฉลี่ยของทุกทิศทางลมเด่นที่สุด
2. ทิศทางลมเด่นเรียงตามลำดับจากความเร็วลมเฉลี่ยมากไปน้อย
3. ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s) กลางวันและกลางคืนเป็นความเร็วลมเฉลี่ยทุกทิศทาง

2.1.1 ความเร็ว

เมื่อพิจารณาความเร็วลมที่เกิดขึ้น พบว่าส่วนหนึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถที่จะสร้างความสบายให้กับผู้อยู่อาศัยได้ โดยมนุษย์จะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิจริง 0.4 องศาเซลเซียส เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น 0.25 เมตรต่อวินาที หรือ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ปัญหาที่จะนำมาใช้ออกแบบ คือ ปริมาณของลมในประเทศไทยส่วนมากเป็นลมสงบ

2.1.2 ความถี่

จากการสรุปผลความถี่ของลม (%) ตลอดทั้งปี พบว่าความถี่ของลมในปริมาณที่จะสามารถใช้ในการออกแบบได้นั้นจะค่อนข้างน้อย ดังนั้น การระบายอากาศที่เกิดขึ้นอาจจะไม่เพียงพอ หากจะพึ่งการใช้ลมที่เกิดโดยทั่วไปจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวมาช่วยในการสร้างให้เกิดสภาวะน่าสบาย

2.1.3 ทิศทาง

ในความเป็นจริงแล้ว จะพบว่าลมที่เกิดขึ้นนั้นจะมาในเกือบทุกทิศทาง โดยส่วนมากจะมีทิศทางลมเด่นมากกว่า 1 ทิศทาง ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับบริเวณที่ตั้ง ช่วงฤดูกาล และเวลา

2.1.4 สรุปศักยภาพของการใช้ลมในประเทศไทย

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของลมในประเทศไทยนั้น พบว่าความเร็วลมในเวลากลางวันจะสูงและมีปริมาณมากกว่าในเวลากลางคืน และปริมาณลมประมาณครึ่งหนึ่งเป็นลมสงบ ส่วนปริมาณลมที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นมีปริมาณค่อนข้างน้อย ดังนั้น ในการที่จะออกแบบอาคารให้มีความสบายโดยการรับลมที่เกิดโดยทั่วไปจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวนั้น จึงอาจจะไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามการใช้ลมกับการออกแบบอาคารนั้น ก็ใช่ว่าจะเป็นไปไม่ได้เลยเสียทีเดียว เนื่องจากลมสามารถที่จะเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เมื่อมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ หรือความดัน ซึ่งจากคุณสมบัติของลมดังกล่าวนี้ ทำให้สามารถที่จะนำไปใช้กับการออกแบบอาคาร เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสลมและการระบายอากาศภายในอาคารได้ แม้ปริมาณลมภายนอกอาคารจะอยู่ในระดับที่น้อยก็ตาม

ดังนั้น หากจะออกแบบอาคารที่คำนึงถึงการสร้างสภาวะน่าสบาย ซึ่งสำหรับในประเทศไทยนั้นอยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 22-29 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 20-75 เปอร์เซนต์ โดยไม่ใช้เครื่องกล (Passive Cooling Design) การนำคุณสมบัติการเคลื่อนที่ของลมมาประสานกับการออกแบบอาคารก็เป็นสิ่งที่น่าศึกษาเพื่อประเมินและพัฒนาประสิทธิภาพต่อไป ซึ่งหนึ่งในวิธีการออกแบบนั้นก็คือ **การระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ (Stack Ventilation)**

2.2 ประเภทของปล่องระบายอากาศ

ปล่องระบายอากาศที่ได้รับการออกแบบให้ประสานเข้ากับสถาปัตยกรรมเพื่อประโยชน์ใช้สอยในเรื่องของการปรับสภาวะน่าสบายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับพื้นที่ภายในอาคาร สามารถพบเห็นได้ 2 ลักษณะ คือ

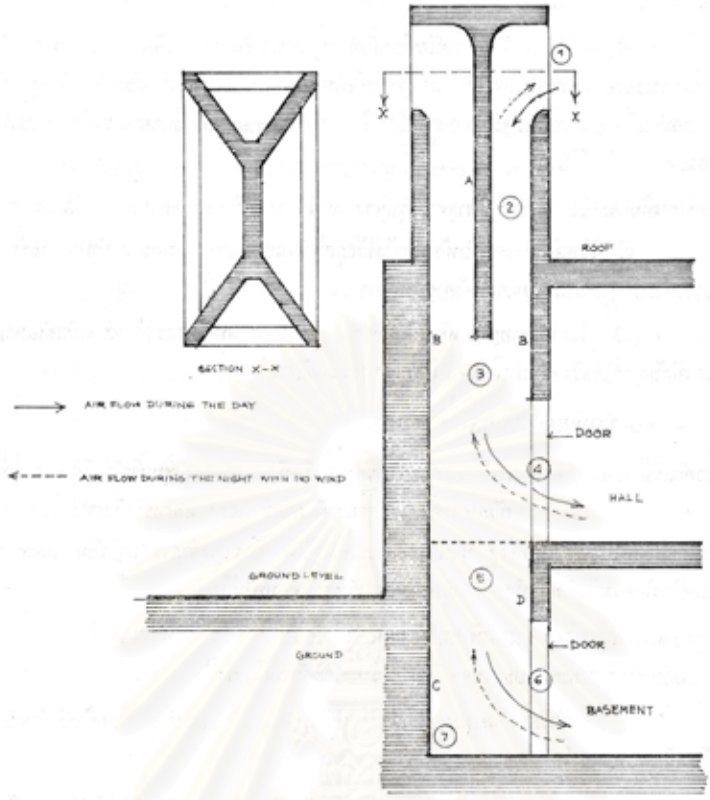
2.2.1 ปล่องดักอากาศเข้า

ปล่องลักษณะนี้ออกแบบขึ้นเพื่อให้เกิดการถ่ายเทของอากาศระหว่างภายนอกและภายในอาคาร พบมากในภูมิอากาศแบบร้อน-แห้ง โดยมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องได้แก่

- ช่องที่ดักลมเข้า ควรอยู่ในทิศที่มีลมประจำพัดผ่าน
- ช่องลมออก ซึ่งควรหันไปในทิศอับลม
- อุณหภูมิของผิวผนังปล่อง ที่จะช่วยควบคุมอุณหภูมิของลมที่ผ่านเข้ามาในปล่อง

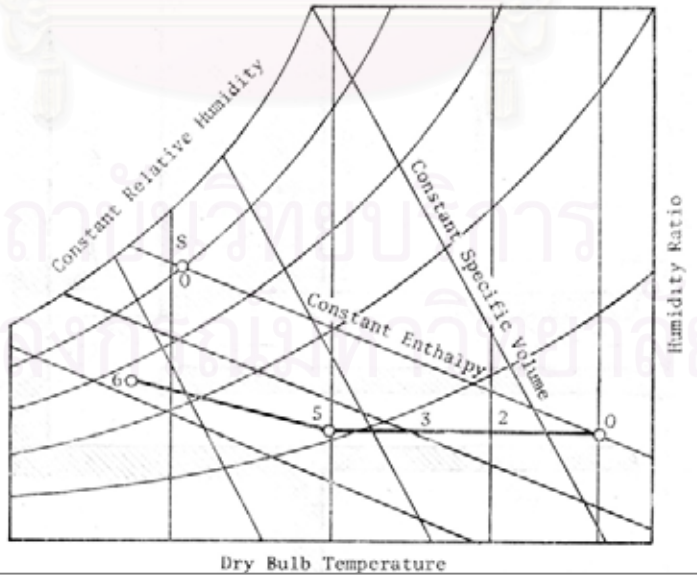
2.2.1.1 หลักการทำงาน

สำหรับปล่องดักอากาศเข้านั้น ในเวลากลางวันที่อุณหภูมิภายนอกสูง แต่อุณหภูมิภายในปล่องจะต่ำกว่า อันเนื่องจากผนังของปล่องถูกทำให้เย็นในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้น อากาศที่ร้อนจากภายนอกจะถูกเหนี่ยวนำลงสู่ปล่อง และจะเย็นลงเพราะจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผนังปล่องซึ่งเย็นกว่า ส่วนในเวลากลางคืน ผนังปล่องก็จะคายความร้อนซึ่งสะสมตลอดช่วงเวลากลางวันออกสู่ภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ในขณะเดียวกันก็จะได้รับลมเย็นจากภายนอกที่จะพัดผ่านปล่องเข้าสู่ภายในอาคาร



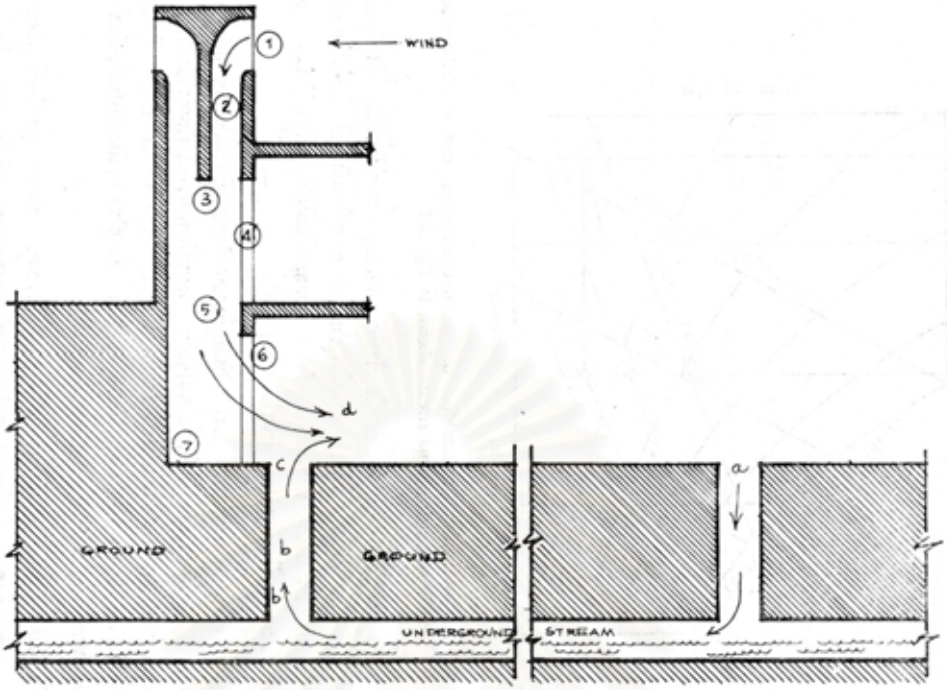
รูปที่ 2.1

รายละเอียด และการทำงานของปล่องดักอากาศ (สมัยศารท สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2523: 44)



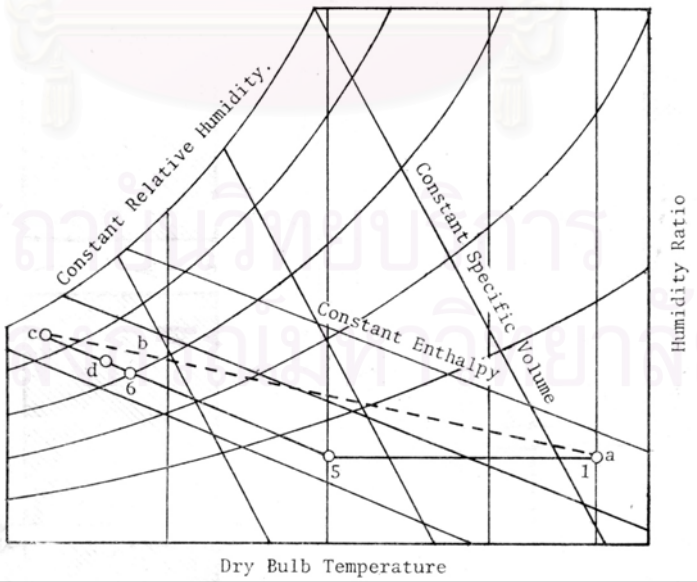
แผนภูมิที่ 2.1

กระบวนการทำความเย็นผ่านปล่องดักอากาศ ชี้ให้เห็นว่าสามารถที่จะสร้างความเย็นได้โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องปรับอากาศ (สมัยศารท สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2523: 45)



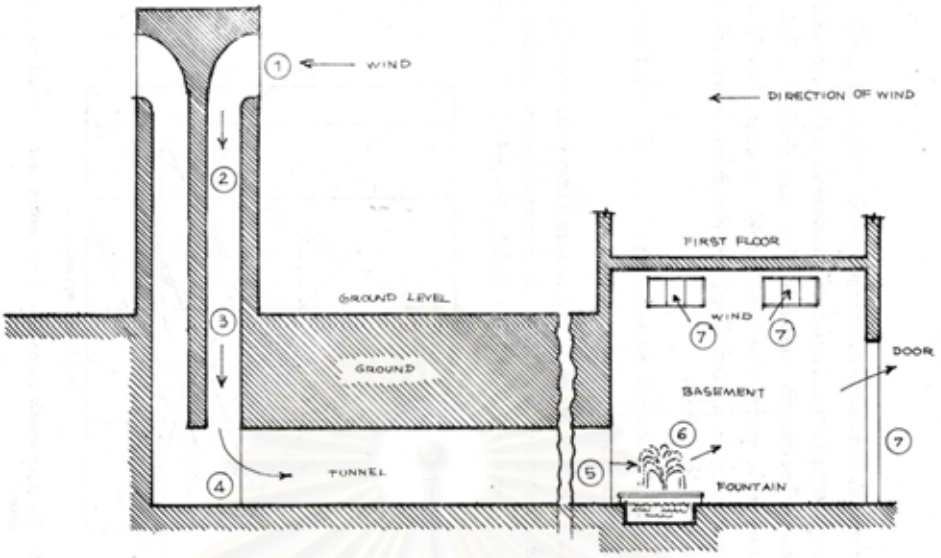
รูปที่ 2.2

ปล่องดักอากาศที่มีทางติดต่อกับทางน้ำใต้ดิน เมื่อลมที่พัดผ่านน้ำใต้ดิน (a ⟶ c) รวมกับลมที่มาทางปล่อง (1 ⟶ d) ก็จะเพิ่มความเย็นได้ (สมัยศารท สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2523: 47)



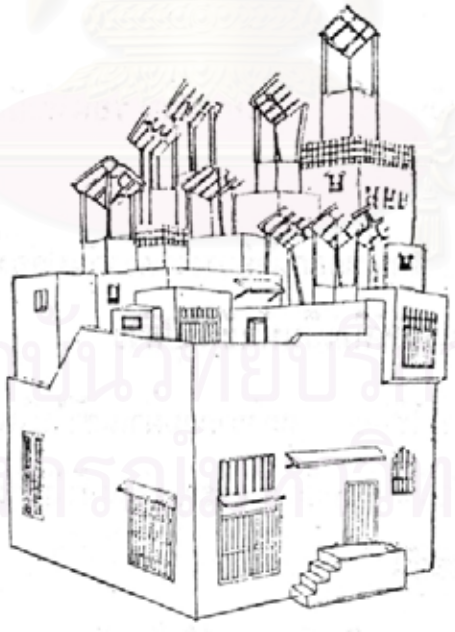
แผนภูมิที่ 2.2

ปล่องดักอากาศที่มีทางติดต่อกับทางน้ำใต้ดิน จะเห็นได้ว่า ณ จุด c อากาศมีความเย็นจัดและมีความชุ่มชื้น จึงใช้เป็นพื้นที่ในการเก็บรักษาอาหาร (สมัยศารท สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2523: 48)



รูปที่ 2.3

รูปตัดของปล่องดักอากาศที่ใช้ในเมือง BAM ซึ่งหอมีความสูง 50 เมตรจากระดับพื้นห้องใต้ดิน และมีอุโมงค์ใต้ดินเชื่อมปล่องกับภายในอาคาร ซึ่งจะได้รับความเย็นและความชื้นจากดิน, น้ำ, หญ้า, ไม้พุ่ม, และต้นไม้ที่อยู่เหนือดิน (สมัยศารท สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2523: 46)



รูปที่ 2.4

ปล่องดักอากาศขนาด 3x2 ฟุต และสูงจากระดับดาดฟ้า 3 ฟุต มีกระบังดักลมทำมุม 45° กับทิศทางลมประจำ ลมที่ผ่านปล่องจะได้รับการเพิ่มความชื้นโดยมีเหยือกน้ำวางที่ก้นปล่อง ซึ่งน้ำนี้จะระเหยเมื่อมีลมผ่าน ทำให้น้ำเย็นลงและดื่มได้โดยไม่ต้องใช้ตู้เย็น (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2523: 147)

2.2.1.2 ข้อดีของปล่องดักอากาศ

- ก่อให้เกิดกระแสลมภายในพื้นที่ที่ติดกับปล่อง โดยจะมีช่องเปิดในการควบคุมลมที่ผ่านปล่องเข้ามาในอาคาร
- เนื่องจากมีช่องเปิดในการควบคุมลมจากปล่องที่จะพัดเข้าสู่อาคาร ทำให้ช่วยลดความเสียหายที่เกิดจากลมพายุได้ เพราะเมื่อปิดช่องเปิดนี้ก็จะทำให้ลมที่พัดเข้ามาในปล่องพัดผ่านไปออกยังช่องเปิดที่อยู่ด้านอับลม โดยจะไม่พัดผ่านเข้ามาในอาคาร

2.2.1.3 ข้อเสียของปล่องดักอากาศ

- หากลมภายนอกมีอุณหภูมิสูงมาก ก็จะทำให้ลมที่พัดผ่านปล่องเข้าสู่อาคารนั้นยังมีอุณหภูมิที่สูงอยู่
- ทิศทางของลมที่พัดจากปากปล่องซึ่งอยู่ระดับสูงลงมาปะทะพื้นด้านล่าง จะทำให้เกิดแรงดันลมที่จะพัดเข้าสู่พื้นที่ในอาคารให้เบนขึ้นด้านบน ทำให้ลมไม่ผ่านระดับตัวของผู้ใช้อาคาร
- ต้องมีการติดตั้งมุ้งลวดบริเวณปากทางเข้าของช่องลม เพื่อป้องกันฝุ่น, นก, และแมลงต่างๆ ซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณลมที่จะเข้าปล่องลดลง
- พื้นที่ภายในอาคารจะเสียความอบอุ่นในช่วงฤดูหนาว หากไม่สามารถปิดช่องเปิดที่ติดอยู่กับตัวปล่องได้สนิท

2.2.2 ปล่องระบายอากาศ

เมื่อลมเคลื่อนที่จากภายนอกอาคารพัดผ่านพื้นที่ภายในอาคาร การระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross Ventilation) ก็มีประสิทธิภาพพอที่จะก่อให้เกิดความเย็นได้ อย่างไรก็ตาม ศักยภาพของลมที่เกิดตามธรรมชาตินั้นไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้ตลอดทั้งวัน เช่น เวลาที่ลมสงบ หรือ สภาพแวดล้อมถูกล้อมรอบด้วยสิ่งกีดขวางทางลม แต่ก็มีหนทางหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดการระบายอากาศภายในอาคาร นอกเหนือจากการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross Ventilation) นั่นก็คือ การระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ (Stack Ventilation) โดยการใช้หลักการลอยตัวของอากาศ (Buoyancy) โดยจะสามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามตึกแถวเก่าๆ, โรงงานต่างๆ เป็นต้น โดยมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องได้แก่

- ระดับอุณหภูมิภายในปล่องระบายอากาศ
- ระดับอุณหภูมิภายนอกอาคาร
- ระดับความสูงระหว่างทางเข้าของอากาศและทางออกของอากาศ

- พื้นที่หน้าตัดปล่อง
- ทิศทางของช่องเปิดลมออก ซึ่งจะต้องอยู่ในทิศที่อับลม

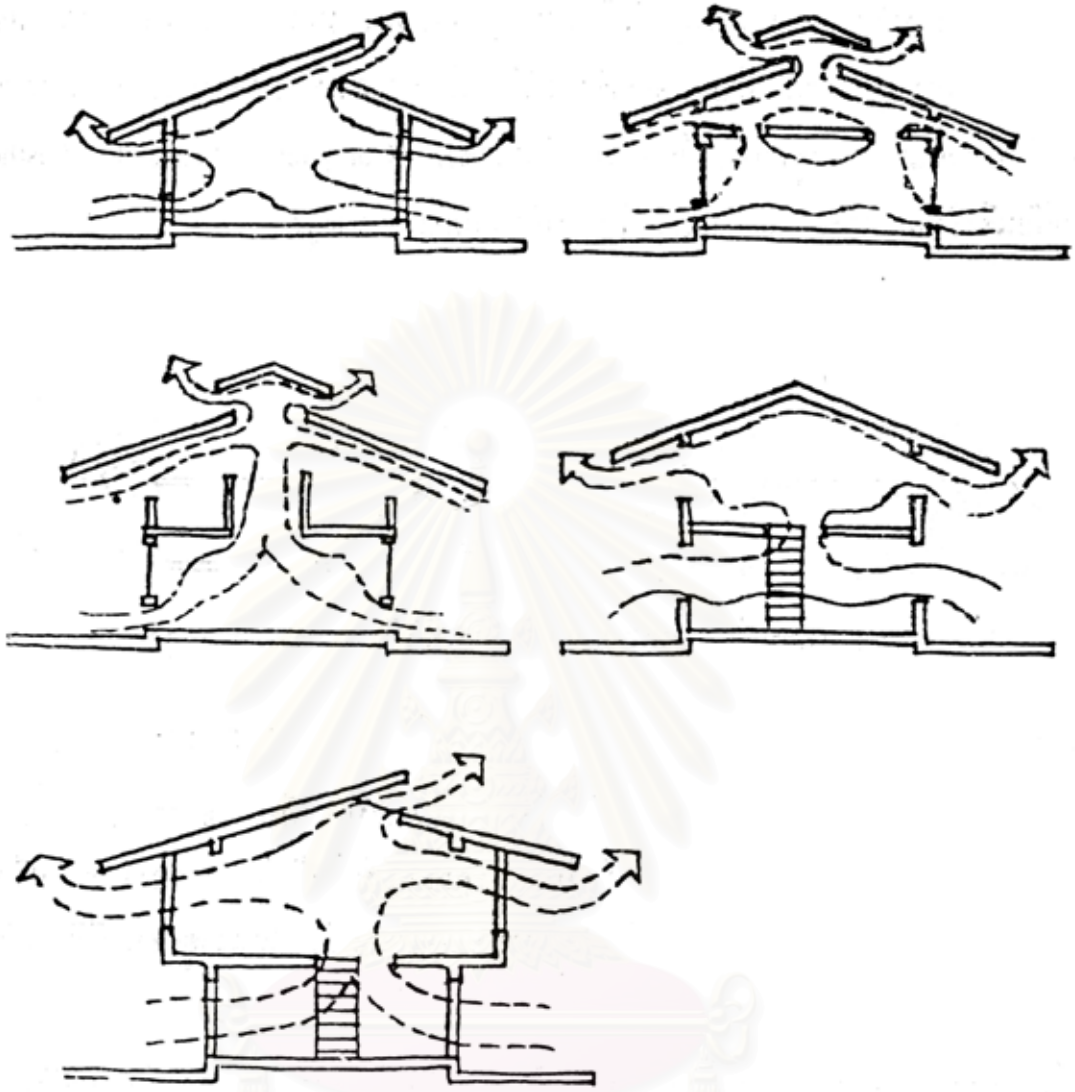
2.2.2.1 หลักการทำงาน

เมื่อเราพิจารณาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จะพบว่าความร้อนที่เกิดสะสมขึ้นนั้นมาจากมากมายหลายแหล่ง ไม่ว่าจะเป็น

- การนำความร้อน (Conduction heat gain)
- การพาความร้อน (Ventilation heat gain)
- การแผ่รังสีความร้อน (Solar heat gain)
- การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration heat gain)
- ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment heat gain)
- ความร้อนที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร (Occupancy heat gain)
- ความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting heat gain)

ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายในอาคารสูงขึ้น ความหนาแน่นของอากาศก็จะลดลง ทำให้ลอยตัวสูงขึ้น ส่งผลให้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และมีความหนาแน่นมากเคลื่อนตัวเข้ามาแทน ก่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในอาคาร

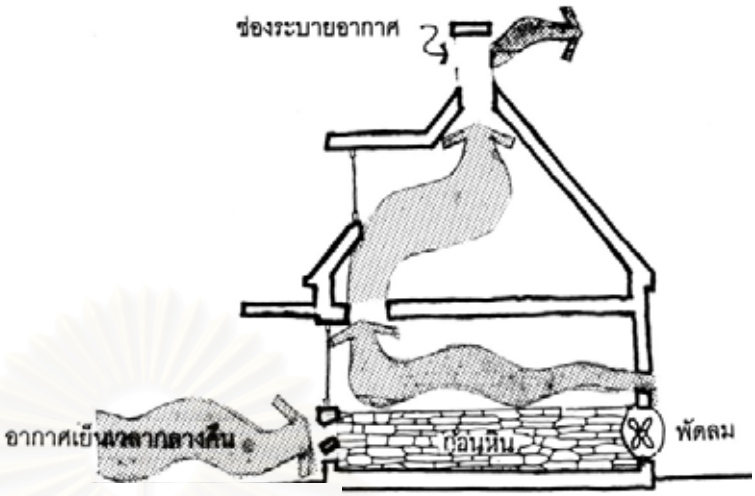
หลักการโดยสรุปของปล่องระบายอากาศประเภทนี้คือ เมื่อมีความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างหน้าต่างลมเข้า ซึ่งจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า และหน้าต่างลมออก ซึ่งจะอยู่ในระดับที่สูงกว่า และเมื่อมีอุณหภูมิภายนอกอาคารต่ำกว่าอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกแล้ว การระบายอากาศตามธรรมชาติก็จะสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยหลักการ ที่เรียกว่า “**Stack Effect**” หรือ “**Buoyancy**” ดังนั้น การที่ปล่องประเภทนี้จะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นก็จะต้องมีความต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกอาคารกับภายในอาคารบริเวณหน้าต่างลมออก หรือปล่องด้านบน, ความสูงระหว่างหน้าต่างลมเข้าและหน้าต่างลมออก, ตลอดจนขนาดพื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออกที่มีความเหมาะสม



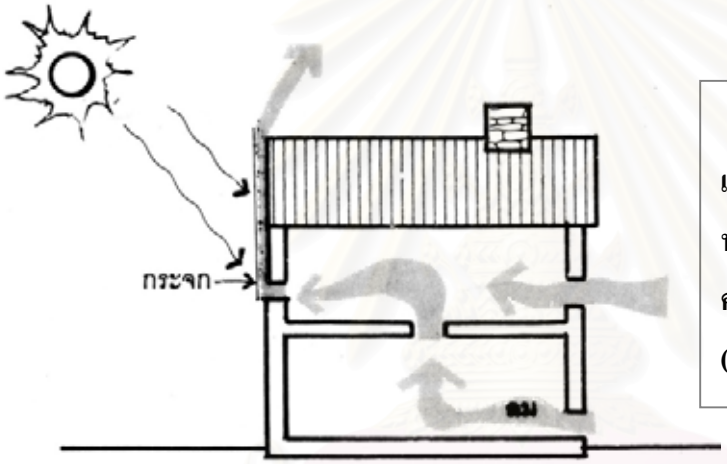
รูปที่ 2.5

การไหลของอากาศเนื่องจากแรงลอยตัว (Buoyancy Force) ผ่านทางปล่องระบายอากาศ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ในขณะที่ไม่มีลมพัด (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2523: 136)

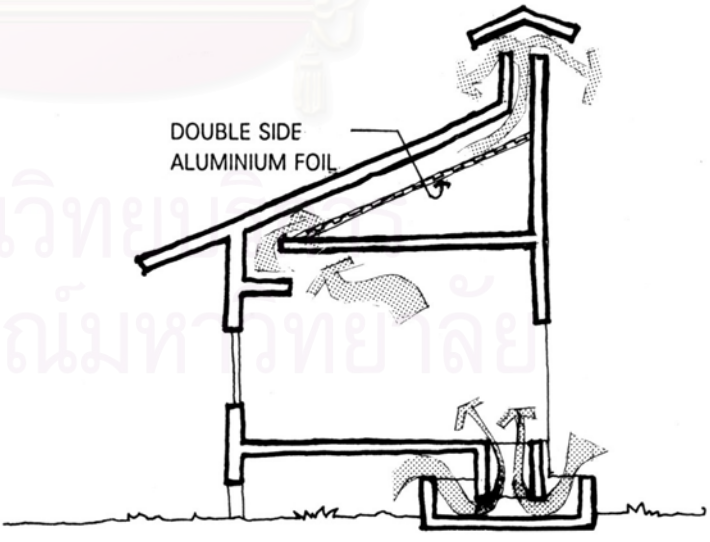
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การทำความเย็นโดยพื้นอาคารด้วยก้อนหินที่อากาศไหลผ่านได้ (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539: 116)



การทำปล่องโดยให้ผนังด้านนอกเป็นกระจก มีช่องว่างอากาศไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว และติดฉนวนกันความร้อนที่ผนังด้านในอาคาร (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539: 117)



การทำความเย็นโดยพื้นอาคารด้วยก้อนหินที่อากาศไหลผ่านได้ (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539: 118)

รูปที่ 2.6

การทำความเย็นในอาคาร โดยอาศัยแรงลอยตัวของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539)

2.2.2.2 ข้อดีของปล่องระบายอากาศ

- เกิดการระบายอากาศภายในอาคาร แม้เมื่อความเร็วลมภายนอกอาคารตามธรรมชาติจะไม่เอื้อต่อการระบายอากาศก็ตาม

2.2.2.3 ข้อเสียของปล่องระบายอากาศ

- การที่ให้ผนังปล่องต้องสะสมความร้อนเพื่อเร่งแรงลอยตัวของอากาศนั้น จะต้องตระหนักถึงการถ่ายเทความร้อนจากผนังปล่องเข้าสู่อาคาร ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องใส่ใจในการออกแบบ

2.3 การวิเคราะห์และประเมินผลการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศ

2.3.1 การวิเคราะห์และประเมินผลการระบายอากาศโดยโปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD (Computational Fluid Dynamics) คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคาดคะเนการไหลเวียนและการระบายอากาศ โดยใช้สมการ Continuity และ Momentum ซึ่งจะครอบคลุมการไหลเวียนของของไหล ผลวิเคราะห์ที่แสดงออกมาจะทำให้เราทราบถึงพฤติกรรมของกระแสลม, ความเร็วลม, ความดันอากาศ และอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากภาพจำลองที่ถูกสร้างขึ้น รายละเอียดสามารถดูได้ที่บทที่ 3 หัวข้อ 3.5

2.3.2 การวิเคราะห์และประเมินผลโดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์คำนวณ

2.3.2.1 การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{\frac{2(g)(\triangle H_{NPL})(T_i-T_o)}{T_i}}$$

ที่มา: (ASHRAE, 2001: 26.11)

เมื่อ Q คือ อัตราการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ (SI Units: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

Cd คือ ค่าสัมประสิทธิ์ มีค่าเท่ากับ $0.40+0.0045 \mid T_i-T_o \mid$

A คือ ขนาดพื้นที่ช่องเปิดลมเข้า (SI Units: ตารางเมตร)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ 9.865 เมตรต่อวินาที^{2}

H_{NPL} คือ ระดับความสูงระหว่างทางเข้าของอากาศถึงทางออกของอากาศ (SI Units: เมตร)

T_o คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (SI Units: เคลวิน)

T_i คือ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ความสูง H_{NPL} (SI Units: เคลวิน)

<u>หมายเหตุ</u>: สูตรการคำนวณอัตราการระบายอากาศดังกล่าว ใช้ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ความสูง H_{NPL} มากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร แต่ถ้าหากว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ความสูง H_{NPL} มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารให้เปลี่ยน $\frac{T_i - T_o}{T_i}$ เป็น $\frac{T_o - T_i}{T_o}$

$$Q_s = (C)(A)\sqrt{\frac{(T_i - T_o)\,h}{T_i}}$$

ที่มา: (Stein, and Reynolds, 1992: 127)

เมื่อ Q_s คือ อัตราการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ (SI Units: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของช่องเปิด กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 91.1 (SI Units) โดยมีสมมติฐานว่าประสิทธิผลการระบายอากาศจะเกิดขึ้นเท่ากับ 65% ของค่าสูงสุด เนื่องจาก ข้อจำกัดของช่องเปิดตามสภาพความเป็นจริง (แต่ถ้าประสิทธิผลการระบายอากาศจะเกิดขึ้นเท่ากับ 50% ค่าสัมประสิทธิ์จะเท่ากับ 70)

A คือ พื้นที่ช่องเปิดลมออก หรือหน้าตัดแนวขวางของปล่อง (SI Units: ตารางเมตร) โดยที่พื้นที่ช่องเปิดลมเข้าต้องมีขนาดอย่างน้อยเท่ากับพื้นที่ช่องเปิดลมออก หรือหน้าตัดแนวขวางของปล่อง

h คือ ระดับความสูงระหว่างทางเข้าของอากาศถึงทางออกของอากาศ (SI Units: เมตร)

T_o คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (SI Units: เคลวิน)

T_i คือ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ความสูง h (SI Units: เคลวิน)

2.3.2.2 การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศภายในอาคารที่เกิดจากแรงลม

$$Q_w = 1{,}000(C_v)(A)(v)$$

ที่มา: (Stein, and Reynolds, 1992: 127)

เมื่อ Q_w คือ อัตราการระบายอากาศที่เกิดจากแรงลม (SI Units: ลิตรต่อวินาที)

1,000 คือ ค่าที่นำไปคูณเพื่อทำลูกบาศก์เมตร ให้เป็นลิตร

C_v คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของลมที่กระทำกับช่องเปิด โดย

- ลมในทิศตั้งฉากกับช่องเปิด จะมีค่าเท่ากับ 0.5-0.6

- ลมในทิศทางที่ไม่ตั้งฉากกับช่องเปิด จะมีค่า 0.25-0.35

A คือ พื้นที่ช่องเปิดทางเข้าของอากาศ (SI Units: ตารางเมตร)

v คือ ความเร็วลม (SI Units: เมตรต่อวินาที)

2.3.2.3 การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศรวมภายในอาคาร

$$Q_{รวม} = \sqrt{Q^2_w + Q^2_s}$$

ที่มา: (Stein, and Reynolds, 1992: 128)

เมื่อ $Q_{รวม}$ คือ อัตราการระบายอากาศรวม (SI Units: ลิตรต่อวินาที)

Q_w คือ อัตราการระบายอากาศที่เกิดจากแรงลม (SI Units: ลิตรต่อวินาที)

Q_s คือ อัตราการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ (SI Units: ลิตรต่อวินาที)

2.3.2.4 การคำนวณหาระดับความเร็วลมภายในอาคารที่เกิดจากปล่องระบายอากาศ

$$VE_r = \frac{9.4\,(A_o)\,\sqrt{(T_{sa} - T_o)\,h}}{Ar}$$

ที่มา: (Meyer, 1983: 240)

เมื่อ VE_r คือ ความเร็วลมภายในห้อง (ฟุตต่อนาที)

A_o คือ ประสิทธิผลพื้นที่ช่องเปิด ซึ่งถูกปรับโดยใช้แผนภูมิที่ 2.6

A_r คือ พื้นที่หน้าตัดของห้อง (ตารางฟุต)

T_{sa} คือ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ระดับความสูง h (องศาฟาเรนไฮต์)

T_o คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอก (องศาฟาเรนไฮต์)

h คือ ระดับความสูงระหว่างทางเข้าของอากาศถึงทางออกของอากาศ (ฟุต)

9.4 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของช่องเปิด โดยกรณีนี้สมมติว่าประสิทธิผลของช่องเปิดอากาศเข้าและช่องเปิดอากาศออกเป็น 65% (แต่ถ้าประสิทธิผลของช่องเปิดอากาศเข้าและช่องเปิดอากาศออกเป็น 50% ค่าสัมประสิทธิ์จะเท่ากับ 7.2)

<u>หมายเหตุ</u>:

$$T_{sa} = T_{oa} + (\alpha/h_o \times I_H) - (\varepsilon \triangle R/h_o)$$

เมื่อ T_{oa} คือ อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอก (องศาฟาเรนไฮต์)

α คือ ค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิว (ไม่มีหน่วย)

h_o คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิว ที่เกิดจากการพาความร้อน (บีทียูต่อชั่วโมง องศาฟาเรนไฮต์ ตารางฟุต)

I_H คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น ณ ระนาบพื้นผิว (บีทียูต่อชั่วโมง ตารางฟุต)

ε คือ การแผ่รังสีออกของพื้นผิว

R คือ ความแตกต่างระหว่างรังสีคลื่นยาวบนพื้นผิว ที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมภายนอก กับปริมาณรังสีที่แผ่ออกโดย Black Body ที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (บีทียูต่อชั่วโมง ตารางฟุต)

- **สำหรับพื้นผิวระนาบนอน** ค่า R = 20, ε = 1, h_o = 3, และ $\varepsilon \triangle R/h_o$ = 7
- **สำหรับพื้นผิวระนาบตั้ง** ค่า R = 0 ดังนั้น $\varepsilon \triangle R/h_o$ = 0
- **สำหรับพื้นผิวที่มีสีอ่อน** ค่า α/h_o = 0.15
- **สำหรับพื้นผิวที่มีสีเข้ม** ค่า α/h_o = 0.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2.5 การคำนวณหาระดับความเร็วลมภายในอาคารที่มีแรงลมภายนอกช่วยเสริม

$$VEr = \frac{(A_o)(VE)(E)}{A_r}$$

ที่มา: (Meyer, 1983: 234)

เมื่อ VE_r คือ ความเร็วลมภายในห้อง (ฟุตต่อนาที)

A_o คือ ประสิทธิผลพื้นที่ช่องเปิด ซึ่งถูกปรับโดยใช้แผนภูมิที่ 2.6

Ar คือ พื้นที่หน้าตัดของห้อง (ตารางฟุต)

VE คือ ความเร็วลมเฉลี่ย (ฟุตต่อนาที)

E คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของลมที่กระทำกับช่องเปิด โดย

- **ลมในทิศตั้งฉากกับช่องเปิด จะมีค่าเท่ากับ 0.55**
- ลมในทิศทางที่ไม่ตั้งฉากกับช่องเปิด จะมีค่า 0.35

2.3.2.6 การคำนวณปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการระบายอากาศ

$$q_s = 1200(Q)(\triangle t)$$

ที่มา: (ASHRAE, 2001: 26.9)

เมื่อ q_s คือ ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการระบายอากาศ (SI Units: วัตต์)

1200 คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ

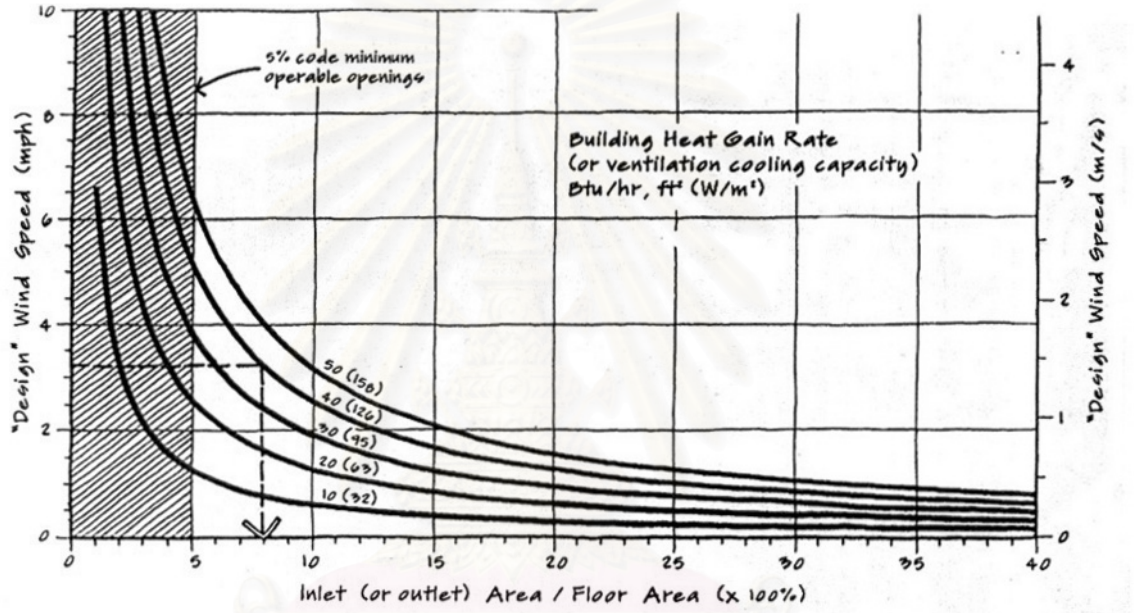
Q คือ อัตราการระบายอากาศ (SI Units: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

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

2.4 บทความทางวิชาการ และงานวิจัย

2.4.1 การหาขนาดของปล่องดักอากาศ (Brown, and Dekay, 2001: 190)

การศึกษานี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ต้องการให้เกิดขึ้น รวมทั้งปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศ กับอัตราส่วนร้อยละ (%) ระหว่างพื้นที่ช่องเปิดอากาศเข้า หรืออากาศออก กับพื้นที่ใช้งาน



แผนภูมิที่ 2.3

ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของทางเข้า-ออกของอากาศ กับอัตราส่วนร้อยละ (%) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดปล่องกับพื้นที่ใช้งาน (Brown, and Dekay, 2001: 187)

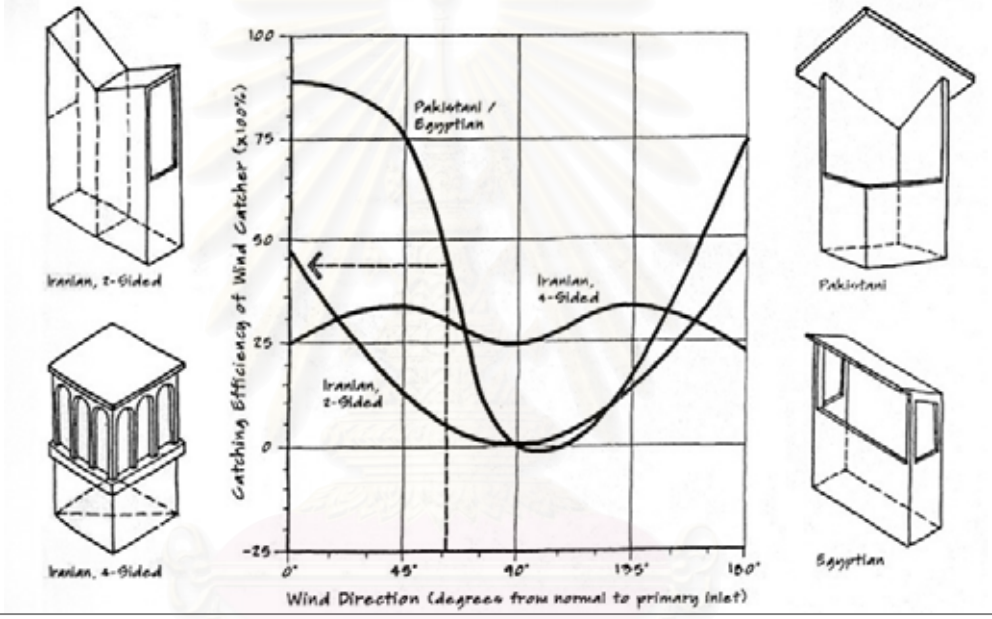
การศึกษานี้ได้กำหนดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารไว้ที่ 3 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 1.7 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า หรือมากกว่าที่กำหนดไว้ ให้คูณพื้นที่หน้าตัดของปล่องดักอากาศที่ได้จากกราฟด้วย

$$\frac{3\ ^{o}F}{^{o}F \text{ ที่เกิดขึ้นจริง}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{1.7\ ^{o}C}{^{o}C \text{ ที่เกิดขึ้นจริง}}$$

นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะการออกแบบปล่องดักอากาศไว้ว่า ควรออกแบบให้ช่องเปิดอากาศเข้ามีขนาดใหญ่ไม่เกินพื้นที่หน้าตัดของปล่อง และควรออกแบบให้ช่องเปิดอากาศออกนั้นมีขนาดเท่ากับช่องเปิดอากาศเข้า

2.4.2 การหาประสิทธิผลของปล่องดักอากาศ (Al-Megern, 1987: 191 อ้างถึงใน ใน Brown, and Dekay, 2001: 189)

การศึกษานี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลของปล่องดักอากาศในรูปแบบต่างๆ กับทิศทางลมที่มากระทำ



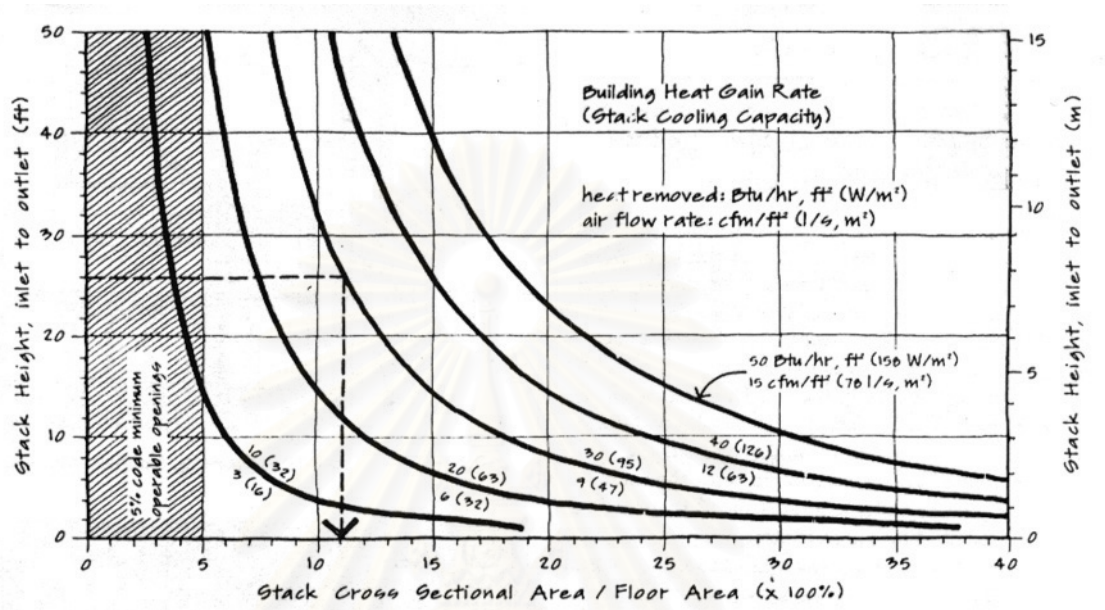
แผนภูมิที่ 2.4
ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลของปล่องดักอากาศในรูปแบบต่างๆ กับทิศทางลมที่มากระทำ (Brown, and Dekay, 2001: 189)

จากกราฟ ถ้าค่าประสิทธิผล (แกนตั้ง) สูงแสดงว่าจะมีอัตราการระบายอากาศที่สูง โดยที่พื้นที่หน้าตัดของปล่องมีขนาดเล็ก โดยกราฟได้แสดงให้เห็นว่า ปล่องแบบ Pakistani และ Egyptian จะมีค่าประสิทธิผลมากกว่าปล่องแบบ Iranian 2-Sides และ Iranian 4-Sides และการศึกษาปล่องดักอากาศทั้ง 4 รูปแบบ จะพบว่า

Egyptian	เหมาะสำหรับบริเวณที่มีลมพัดในทิศทางที่ค่อนข้างคงที่ใน 1 ทิศทาง
Pakistani	เหมาะสำหรับบริเวณที่ทิศทางลมค่อนข้างหลากหลาย แต่อยู่ใน 90 องศา
Iranian 2-Sides	เหมาะสำหรับบริเวณที่ทิศทางลมมีความผันแปร ขึ้นๆ ลงๆ ในทิศทางที่ตรงข้ามกัน
Iranian 4-Sides	เหมาะสำหรับบริเวณที่ทิศทางลมมาในหลายทิศทาง

2.4.3 การหาขนาดของปล่องระบายอากาศ (Brown, and Dekay, 2001: 187)

การศึกษานี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงระหว่างทางเข้าของอากาศและทางออกของอากาศ กับอัตราส่วนร้อยละ (%) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดปล่องกับพื้นที่ใช้งาน



แผนภูมิที่ 2.5

ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของทางเข้า-ออกของอากาศ กับอัตราส่วนร้อยละ (%) ระหว่างพื้นที่หน้าตัดปล่องกับพื้นที่ใช้งาน (Brown, G. Z., and Dekay, 2001: 187)

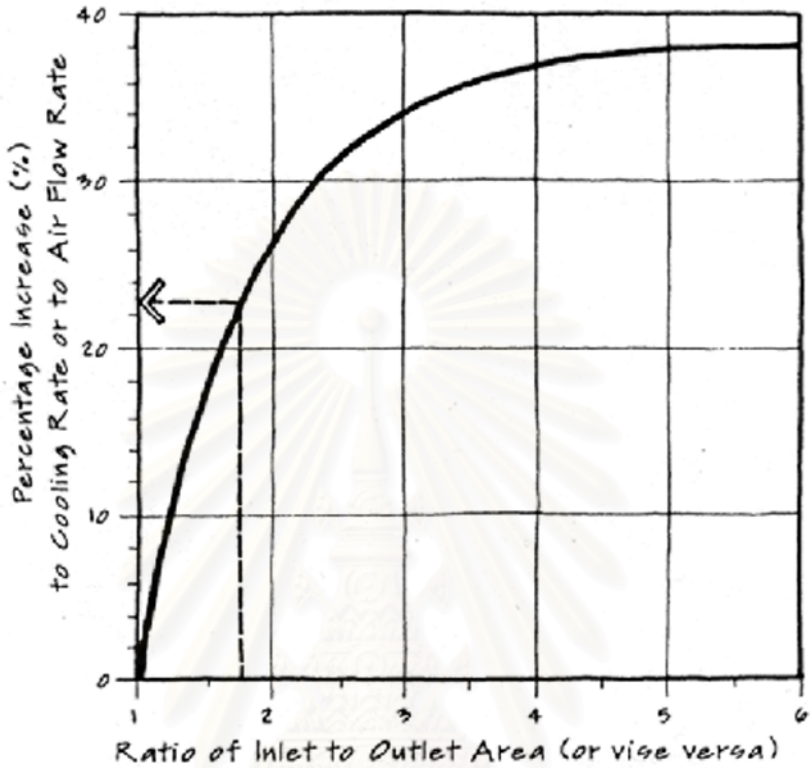
การศึกษานี้ได้กำหนดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารไว้ที่ 3 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 1.7 องศาเซลเซียส สำหรับกรณีที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ พื้นที่หน้าตัดของปล่องระบายอากาศที่ได้จากกราฟสามารถลดลงได้ โดยคูณด้วย

$$\sqrt{\frac{3\ ^{o}F}{^{o}F \text{ ที่เกิดขึ้นจริง}}} \qquad \text{หรือ} \qquad \sqrt{\frac{1.7\ ^{o}C}{^{o}C \text{ ที่เกิดขึ้นจริง}}}$$

2.4.4 การศึกษาการเพิ่มอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของช่องเปิดอากาศเข้าและช่องเปิดอากาศออก (ASHRAE, 1997: 25.13 อ้างถึงใน Brown, and Dekay, 2001: 187)

โดยทั่วไปอัตราการระบายอากาศจะเกิดขึ้นสูงสุดเมื่อช่องเปิดอากาศเข้าและช่องเปิดอากาศออกมีขนาดเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัตินั้นเป็นการยากที่จะออกแบบให้ช่องเปิดทั้ง 2 ตำแหน่งมีขนาดเท่า

กัน จากการศึกษาจึงได้พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างช่องเปิดอากาศเข้าต่อช่องเปิดอากาศออกนั้น สามารถที่จะเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้



แผนภูมิที่ 2.6
การเพิ่มอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของขนาดช่องเปิดอากาศเข้าและออก (ASHRAE, 1997: 25.13 อ้างถึงใน Brown, and Dekay, 2001: 187)

2.4.5 การเหนี่ยวนำให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติ โดยลมและอุณหภูมิ (Yuguo Li and Delsante, 2001: 59-71) [natural ventilation induced by combined wind and thermal forces]

การทดลองนี้เป็นการคำนวณอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศ ในพื้นที่ที่มีช่องเปิด 2 จุด ตัวแปรอิสระของการทดลอง คือ ความเร็วลม และอุณหภูมิ การทดลองนี้จะมุ่งไปที่

- <u>การระบายอากาศ โดยอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว</u> (Natural ventilation driven by thermal force alone) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแรงลอยตัวของอากาศที่มากขึ้น จะส่งผลให้อัตราการระบายอากาศ และอุณหภูมิมากขึ้นตามไปด้วย แต่การแปรผันดังกล่าวจะไม่เป็นในลักษณะเส้นตรง และถ้าเกิดการสูญเสียความร้อนให้กับผนังอาคาร ก็จะทำให้อัตราการระบายอากาศลดลงด้วย
- <u>การระบายอากาศ โดยมีลมเข้ามาช่วย</u> (Natural ventilation driven by assisting winds) ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของแรงลอยตัวของอากาศกับแรงลมที่มากขึ้น จะส่งผลให้อัตรา

ส่วนของการระบายอากาศกับแรงลม หรืออัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิกับแรงลมยกกำลัง 2 มากขึ้นตามไปด้วย การระบายอากาศแบบนี้มีสิ่งที่แตกต่างจากแบบแรก 2 ประการ คือ การมีลมเข้ามาช่วยเพิ่มปริมาณของมวลรวมของอากาศที่จะเข้ามาในอาคาร จะทำให้อัตราการระบายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเสมอ และข้อแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ การระบายอากาศจะดีที่สุดเมื่อ อัตราส่วนระหว่างแรงลอยตัวของอากาศกับแรงลมมีค่าเข้าใกล้ “0”

2.4.6 การทดลองและศึกษาเกี่ยวกับการลอยตัวของอากาศในโถงบันไดของอาคารสูง 3 ชั้น(Peppes, Santamouris, and Asimakopoulos, 2002: 497-506)

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแรงดันอากาศ, การถ่ายเทมวลอากาศ และความร้อน ที่เกิดขึ้นในช่องบันไดของอาคารสูง 3 ชั้นของอาคารพักอาศัย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลของอากาศระหว่างชั้นได้ โดยการสร้างสถานการณ์จำลองผ่านทาง CFD ซึ่งค่าที่ได้เมื่อเทียบกับการคำนวณโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์แล้วพบว่ามีความสอดคล้องกันมากมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% ซึ่งการทดลองต่อไปจะเป็นการศึกษากับอาคารที่มีความสูงที่มากขึ้น และมีรูปแบบของช่องบันไดที่แตกต่างกันออกไป เพื่อพัฒนาเป็นสูตรที่จะใช้ในการประเมินค่าของการถ่ายเทมวลและความร้อนในอากาศระหว่างระดับชั้นอาคารต่อไป

2.4.7 การเคลื่อนตัวเข้าแทนที่กันของอากาศผ่านพื้นที่ปิดล้อมขนาดเท่าจริง และความสำคัญของไอน้ำในอากาศ (Howell and Potts, 2002: 817-823)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ถ้าพื้นที่ของช่องเปิดอาคารลดน้อยลงแล้ว จะทำให้อัตราการระบายอากาศลดลง และส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องทดลองสูงขึ้น ตามกฎของพลังงานความร้อน (Thermodynamics) ข้อที่ 1

2.5 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ภายในอาคาร

เมื่อมีผู้ใช้สอยพื้นที่ภายในอาคาร จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ลดลง และทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ให้กับพื้นที่ภายในอาคาร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ใช้งาน, จำนวนคน, ขนาดพื้นที่ใช้งาน ซึ่งทาง ASHRAE ได้แนะนำอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ภายในอาคารไว้ดังนี้

ลักษณะพื้นที่ใช้งาน	จำนวนผู้ใช้อาคารสูงสุดโดยประมาณ (จำนวนคนต่อ 100 ตารางเมตร)	อัตราการระบายอากาศที่ต้องการ (ลิตรต่อวินาทีต่อคน)
พื้นที่สำนักงาน	7	10
ห้องประชุม	60	10
ห้องบรรยาย	150	7.5
ห้องเรียน	50	7.5
ห้องรับประทานอาหาร	70	10
บาร์ หรือห้องดื่มค็อกเทล	100	15*
ห้องเต้นรำ	100	12.5
ห้องสูบบุหรี่	70	30+
ห้องพักผู้ป่วยในโรงพยาบาล	10	12.5
ร้านค้า	20-30	0.1-1.5++
อาคารพักอาศัย	-	0.35ω

ตารางที่ 2.2
อัตราการระบายอากาศในอาคาร (ASHRAE, 1989)

* เป็นบริเวณที่ต้องการอากาศสะอาดในบางเวลา

\+ เป็นบริเวณที่แนะนำให้มีการดูดอากาศออกเป็นพิเศษ

++ หน่วยเป็น ลิตรต่อวินาทีต่อตารางเมตร

ω หน่วยเป็น Air change per hour แต่ค่าต่ำสุดจะต้องไม่น้อยกว่า 7.5 ลิตรต่อวินาทีต่อคน

2.6 สิ่งที่ควรตระหนักถึงในการใช้ปล่องระบายอากาศ

รศ.สมสิทธิ์ นิตยะ ได้ทำการศึกษา และออกแบบอาคารพักอาศัยร่วมกับการใช้ปล่องระบายอากาศ ได้เสนอถึงข้อควรตระหนักถึงในการที่จะออกแบบปล่องระบายอากาศ ดังนี้

2.6.1 อุณหภูมิของปล่องระบายอากาศ

ในการออกแบบปล่องอากาศ ในกรณีที่เป็นปล่องระบายอากาศออก ควรทำให้ผิวผนังปล่องมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง เพราะจะมีผลต่อแรงลอยตัวของอากาศ อาจจะทำโดยการเปลือยตัวปล่องให้ได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้มากที่สุด แต่ก็ต้องคำนึงถึงเรื่องของการป้องกันความร้อนที่

จะเข้าสู่ตัวบ้าน หรืออาจจะทำโดยการใช้ผนังปล่องเป็นส่วนหนึ่งของผนังอาคาร โดยให้ผนังด้านนอกเป็นกระจก เว้นช่องว่างอากาศไม่ควรต่ำกว่า 3 นิ้ว และที่ผนังอาคารด้านในติดฉนวนกันความร้อนไว้

2.6.2 ความฝืดของปล่องระบายอากาศ

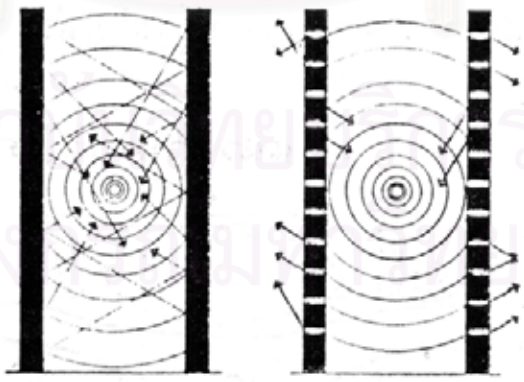
ควรออกแบบให้เกิดความฝืดภายในปล่องให้น้อยที่สุด โดยหลีกเลี่ยงการมีสิ่งกีดขวางทางลมภายในปล่อง และออกแบบพื้นที่หน้าตัดให้ใกล้เคียงกับรูปวงกลม หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้มากที่สุด เพราะจะทำให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวกับพื้นที่หน้าตัดต่ำ

2.6.3 ทิศทางการหันปากปล่องระบายอากาศ

หากเป็นปล่องประเภทระบายอากาศออก ควรหลีกเลี่ยงการหันปากปล่องไปทางด้านที่มีความกดอากาศสูง เพราะถ้าความกดอากาศภายนอกสูงกว่าภายในปล่องมาก จะเกิดการดูดอากาศกลับเข้าปล่องได้ ซึ่งจะต้องพิจารณาจากทิศทางในการพัดของลมส่วนใหญ่ในฤดูกาลต่างๆ, ภูมิสถาปัตยกรรมรอบอาคาร, และอาคารที่อยู่รายรอบที่ตั้ง ซึ่งล้วนแล้วแต่มีผลต่อการออกแบบปล่องระบายอากาศทั้งสิ้น

2.6.4 การสะท้อนของเสียงภายในปล่องระบายอากาศ

ลักษณะของปล่องที่มีความยาว และมีผนังที่ขนานกัน มีโอกาสสูงที่จะทำให้เกิดการสะท้อนของเสียงได้ ดังนั้น การออกแบบจึงควรหลีกเลี่ยงปล่องที่มีความยาวมากๆ และหากพื้นที่ใต้ปล่องเป็นพื้นที่ใช้สอยขนาดใหญ่ที่ใช้ร่วมกัน (Common Space) ก็จะสามารถลดปัญหาของเสียงลงได้



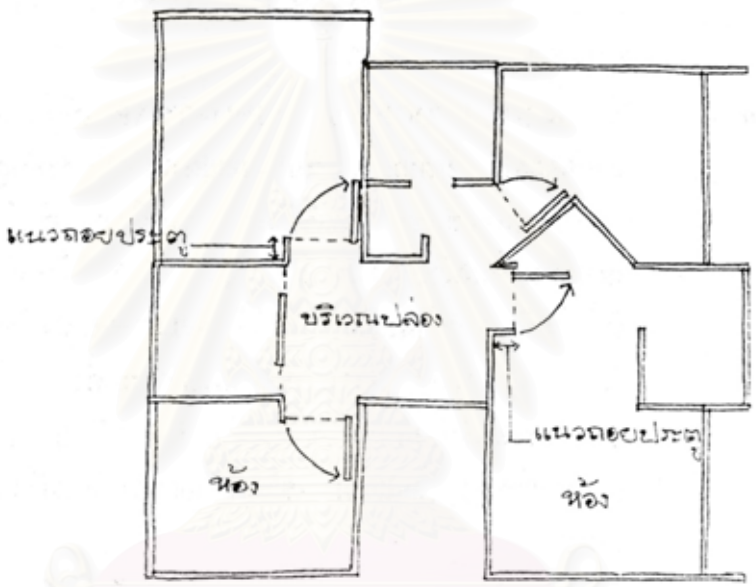
รูปที่ 2.7

การเกิดโฟกัสรวมกันของเสียง และการสะท้อนของเสียงภายในปล่องเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง

(Wilson, 1972: 88-89 อ้างถึงในสมสิทธิ์ นิตยะ, 2523: 150)

2.6.5 การกระเพื่อมของอากาศภายในปล่องระบายอากาศ

เนื่องจาก หากพื้นที่ใต้ปล่องเป็นโถงทางเข้าห้องภายในอาคาร เมื่อมีการเปิดหรือปิดประตูเกิดขึ้น จะทำให้อากาศภายในบริเวณปล่องเกิดการกระเพื่อมตัว ส่งผลให้เกิดการกระแทกของประตูได้ ปัญหานี้จะยิ่งพบมาก หากปากปล่องระบายอากาศหันไปในทิศทางที่มีความกดอากาศต่ำมากๆ หรือรูปร่างของปากปล่องที่สร้างความกดอากาศต่ำมากๆ แต่ก็สามารถหลีกเลี่ยงได้โดย การออกแบบให้ทางเข้าห้องมีระยะร่นจากแนวปล่องออกไปเล็กน้อย



รูปที่ 2.8
การออกแบบผังโถงทางเข้าห้องเพื่อแก้ปัญหาการกระแทกของประตู (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2523: 151)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เนื่องจากในการวิจัยนี้ จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการศึกษา ดังนั้น ในเบื้องต้นจึงต้องเลือกบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาเพื่อเก็บข้อมูล อันได้แก่ อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิผิว, และความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริง และนำข้อมูลเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำการปรับค่าต่างๆ ที่จะต้องป้อนเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด แล้วจึงนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการศึกษาการออกแบบปล่องระบายอากาศ

3.1 การศึกษาศักยภาพของลมในประเทศไทย

ศึกษาและวิเคราะห์ศักยภาพของลมในประเทศไทย ทั้งในเรื่องของความเร็ว, ความถี่, และทิศทาง ในจังหวัดที่เลือกเป็นตัวแทนของแต่ละภูมิภาคจากงานวิจัยซึ่งได้มีการศึกษา และเก็บรวบรวมข้อมูลไว้แล้ว (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543) ซึ่งได้แก่

ภาคเหนือ	-	เชียงใหม่
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	-	ขอนแก่น
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง	-	นครราชสีมา
ภาคกลางตอนบน	-	นครสวรรค์
ภาคตะวันออก	-	จันทบุรี
ภาคตะวันตก	-	กาญจนบุรี
ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	-	สงขลา
ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	-	ภูเก็ต

ทั้งนี้ เพื่อนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลศักยภาพของลมในประเทศไทยที่ได้ไปประกอบกับการออกแบบปล่องระบายอากาศ

3.2 การศึกษารายละเอียดของปล่องระบายอากาศ

3.2.1 ศึกษาระบบการทำงานของปล่องระบายอากาศ

โดยศึกษาในรายละเอียดที่เกี่ยวกับประเภทของปล่องระบายอากาศ, หลักการทำงานของปล่องระบายอากาศ, ข้อดี-ข้อเสีย, สมการการคำนวณเบื้องต้น รวมทั้งศึกษาการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์อัตราการระบายอากาศ และความเร็วลมที่เกิดขึ้น โดยจะทำการศึกษาทั้งในส่วนที่เป็นทฤษฎี, งานวิจัยในอดีต, วารสารสิ่งพิมพ์, และบทความทางวิชาการต่างๆ

3.2.2 รวบรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการการออกแบบปล่องระบายอากาศ อันได้แก่

- ความสูงระหว่างหน้าต่างลมเข้า และหน้าต่างลมออก
- พื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออก
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก
- อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

การศึกษาถึงตัวแปรดังกล่าวนี้ ทำเพื่อนำไปเป็นตัวแปรในการทดสอบการออกแบบปล่องระบายอากาศ

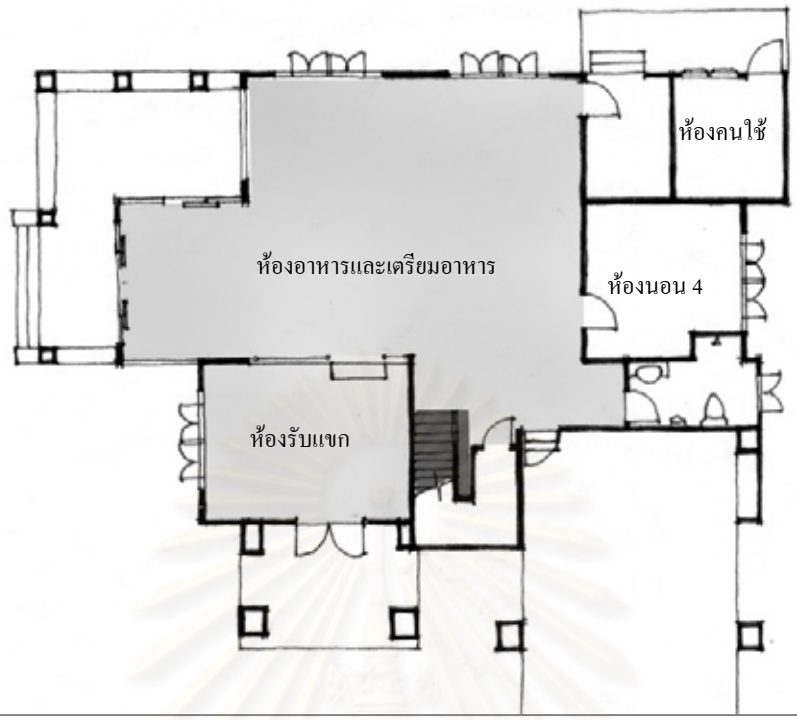
3.3 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกอาคารเบื้องต้น

การเก็บข้อมูลเบื้องต้นนี้ จะทำการเลือกบ้านพักอาศัยรูปแบบมาตรฐานทั่วไป ในที่นี้ได้เลือกบ้านพักอาศัยของครอบครัววิกรยานนท์ เป็นบ้านพักอาศัย 2 ชั้น ซึ่งในช่วงที่เก็บข้อมูลยังไม่มีผู้อยู่อาศัย และเฟอร์นิเจอร์ เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการออกแบบปล่องระบายอากาศ ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการศึกษาจะทำการวัดอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร, อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ตลอดจนอุณหภูมิพื้นผิว ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยได้แบ่งขั้นตอนการเก็บข้อมูลดังนี้

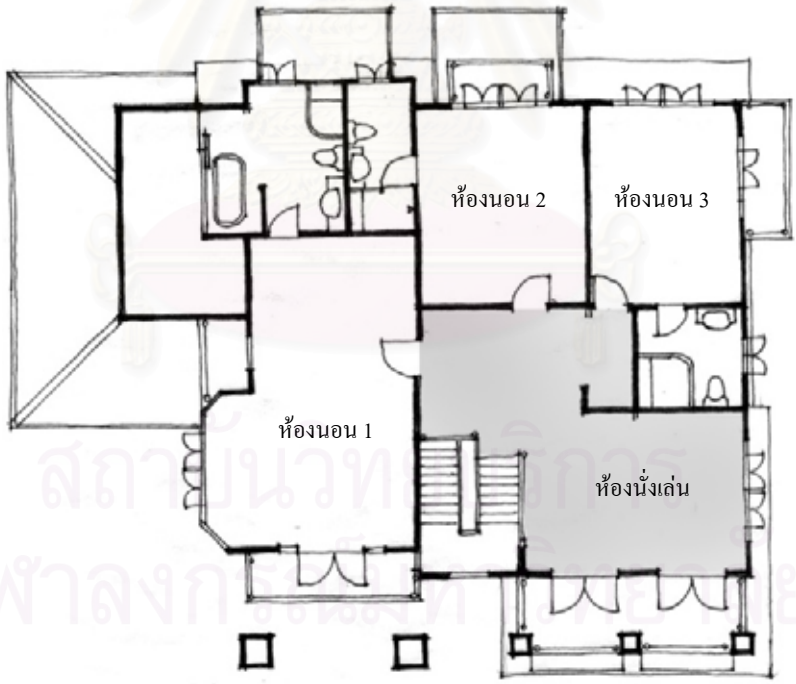
3.3.1 ภาพบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา

รูปที่ 3.1
ภาพบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาเมื่อมองจากภายนอก

รูปที่ 3.2
ภาพภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา บริเวณโถงชั้น 1 และช่องบันได



ผังพื้นชั้น 1



ผังพื้นชั้น 2

รูปที่ 3.3
ผังพื้นของบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา

3.3.2 การกำหนดรูปแบบการเก็บข้อมูล

การศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลได้กำหนดรูปแบบการเก็บข้อมูลออกเป็น 5 กรณี คือ

- **<u>กรณีที่1:</u> ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ**

โดยใช้แผ่นโฟมหนา 1 นิ้ว ปิดทางขึ้น-ลงบริเวณช่องบันไดทั้งหมดให้สนิท รวมทั้งปิดหน้าต่างที่อยู่ ณ ช่องบันไดนั้นด้วย เพื่อไม่ให้มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ

<u>กรณีที่ 1.1:</u> ปิดหน้าต่างทั้งหมด

<u>กรณีที่ 1.2:</u> เปิดหน้าต่างทั้งหมด

- **<u>กรณีที่ 2:</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ**

โดยนำแผ่นโฟมที่ปิดทางขึ้น-ลงบันไดออกหมด

<u>กรณีที่ 2.1:</u> เปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.2:</u> เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้า ที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.3:</u> เปิดหน้าต่างทั้งหมด

<u>หมายเหตุ:</u> ในกรณีที่ 2.1 และ 2.2 การเปิดหน้าต่างลมเข้า และออก จะอยู่ในทิศอับลม เพื่อศึกษาผลกระทบของปล่องระบายอากาศเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลกระทบจากลมภายนอก

3.3.3 อุปกรณ์เก็บข้อมูล

- **เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้น HOBO RH TEMP**

โดยใช้เครื่องเก็บข้อมูลจำนวน 7 เครื่อง เพื่อวัดอุณหภูมิอากาศ ประกอบเข้ากับหัวสัญญาณ (Sensor) 14 หัว เพื่อวัดอุณหภูมิพื้นผิว

รูปที่ 3.4
เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้น HOBO RH TEMP พร้อมหัวสัญญาณ (Sensor)

- **เครื่องวัดความเร็วลม และทิศทางลม**

เนื่องจากว่าเครื่องวัดความเร็ว และทิศทางลมนี้ไม่สามารถที่จะแสดงผลได้ จึงต้องต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล Opus 200

รูปที่ 3.5
เครื่องวัดความเร็วลม และทิศทางลม

- **เครื่องบันทึกข้อมูล Opus 200**

รูปที่ 3.6
เครื่องเก็บข้อมูล Opus 200

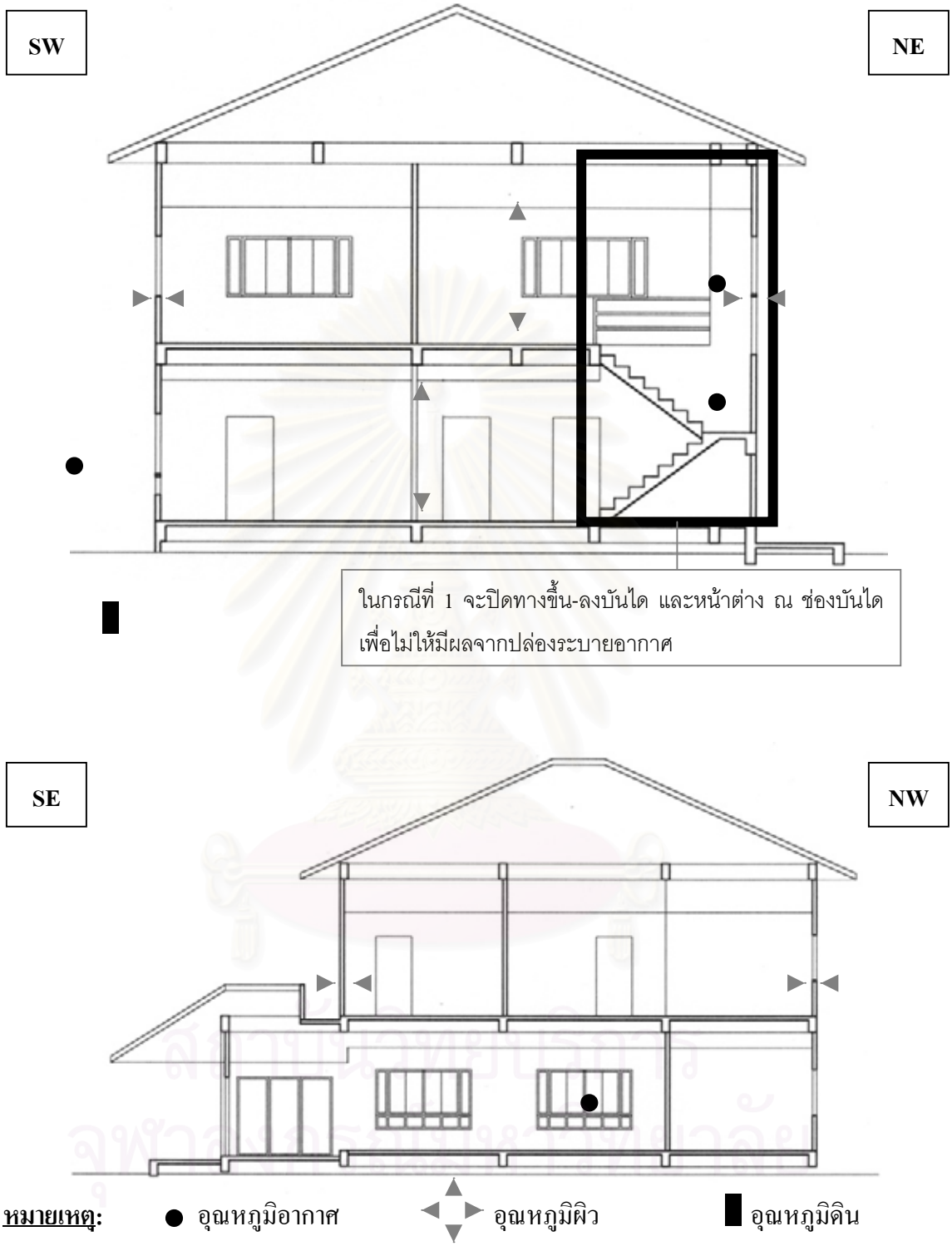
3.3.4 การกำหนดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล และหัวสัญญาณ (Sensor)

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งออกเป็นการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิพื้นผิว โดยได้กำหนดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ ดังนี้

- อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น
- อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได ที่ความสูง 1.00 เมตรจากระดับชานพักบันได
- อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได ที่ความสูง 2.50 เมตรจากระดับชานพักบันได
- อุณหภูมิผิวพื้นชั้น 1
- อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานชั้น 1
- อุณหภูมิผิวพื้นชั้น 2
- อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานชั้น 2
- อุณหภูมิผิวผนังภายใน และภายนอก ด้านทิศ NE, SE, NW,SW
- อุณหภูมิผิวหลังคา
- อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร

หมายเหตุ: ในการติดตั้งหัวสัญญาณ (Sensor) เพื่อวัดอุณหภูมิพื้นผิว ต้องใช้แผ่นโฟมหนา 1 นิ้ว มาปิดทับ ทั้งนี้เพื่อป้องกันผลกระทบอันเนื่องจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7
การติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และและอุณหภูมิพื้นผิว

3.3.5 การกำหนดช่วงเวลาวันเก็บข้อมูล

กำหนดช่วงเวลาเก็บข้อมูลกรณีละ 24 ชั่วโมง โดยให้เครื่องบันทึกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง เริ่มวันที่ 25 มิถุนายน 2546 ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2546

3.3.5.1 <u>กรณีที่1:</u> ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ

<u>กรณีที่ 1.1:</u> ปิดหน้าต่างทั้งหมด เริ่มวันที่ 25 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 26 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.

<u>กรณีที่ 1.2:</u> เปิดหน้าต่างทั้งหมด เริ่มวันที่ 26 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 27 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.

3.3.5.2 <u>กรณีที่ 2:</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ

<u>กรณีที่ 2.1:</u> ปิดหน้าต่างทั้งหมด ยกเว้น หน้าต่างที่อยู่ ณ ช่องบันได เริ่มวันที่ 27 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 28 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.

<u>กรณีที่ 2.2:</u> เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้า (ด้านอับลม) ที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่าง ณ ช่องบันได เริ่มวันที่ 28 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.

<u>กรณีที่ 2.3:</u> เปิดหน้าต่างทั้งหมด เริ่มวันที่ 29 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.

3.4 บันทึกผลและวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้

3.4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ

ในขั้นตอนนี้ เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในกรณีเดียวกันเท่านั้น ยังไม่สามารถที่จะนำข้อมูลดิบมาเปรียบเทียบต่างกรณีกัน

- อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2
- อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก
- อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก
- อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1
- อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour)

เนื่องจากว่า การวัดอุณหภูมิในแต่ละกรณีได้ทำในคนละวันกัน ดังนั้น จึงไม่สามารถนำข้อมูลดิบมาเปรียบเทียบกันต่างกรณีกันได้ ดังนั้น จึงต้องนำข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละกรณีมาทำให้เป็นอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ก่อน จึงจะนำมาเปรียบเทียบกันได้

- การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ตลอด 24 ชั่วโมง
- การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) เวลา 6.00-17.00 น.
- การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) เวลา 18.00-5.00 น.

3.4.3 สรุปผลอุณหภูมิภายในอาคารพักอาศัยกรณีศึกษา ที่เกิดจากการระบายอากาศ

สรุปผลที่เกิดขึ้น เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง และออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยต่อไป

3.5 การทดสอบปล่องระบายอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational fluid dynamics)

3.5.1 การจำลองสภาพ (Simulation) การไหลเวียนของอุณหภูมิ และอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational fluid dynamics)

การวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการศึกษาเกี่ยวกับการหาแนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยเหตุผลที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้มาเป็นเครื่องมือในการศึกษา เนื่องจากว่า การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของของไหลในอดีตที่เราเคยใช้กันอยู่จะมีอยู่ 2 วิธี คือ

- **โต๊ะน้ำ**

การศึกษาด้วยวิธีนี้จะสามารถตรวจสอบได้เพียงพฤติการการเคลื่อนตัวของของไหลเท่านั้น ไม่สามารถตรวจสอบในแง่ของปริมาณได้ อีกทั้งคุณสมบัติในเรื่องของความหนืดของน้ำกับอากาศก็จะมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ผลที่ตรวจสอบจึงไม่ถูกต้องและครบถ้วนเท่าที่ควร

- **อุโมงค์ลม**

การศึกษาด้วยวิธีนี้จะต้องทำหุ่นจำลองขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการศึกษา ซึ่งถ้าจะให้ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำจะต้องทำหุ่นจำลองมาตราส่วน 1:1 ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมาก

ด้วยเหตุผลดังกล่าว การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเข้ามาช่วยในการศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลเวียนของของอุณหภูมิ และอากาศ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ทั้งในเรื่องของผลการ

วิเคราะห์ที่ได้ที่ค่อนข้างละเอียดกว่าการใช้โต๊ะน้ำ และในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าการใช้อุโมงค์ลมมาก โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังกล่าวเป็นโปรแกรมประเภท "**CFD (Computational fluid dynamics)**" ซึ่งการคำนวณการไหลเวียนของของไหลนี้ได้พัฒนาขึ้นจากกฎ และทฤษฎีพลศาสตร์ของไหล โดยจะแก้สมการสมดุลของมวลอากาศ, โมเมนตัม, และพลังงาน ในลักษณะที่เป็นสมการ Differential ซึ่งจะแตกต่างจากสมการเชิง นอกจากนี้ ยังได้เพิ่มเติมอีก 2 สมการ คือ สมการพลังงานจลน์เทอบูเลนซ์ (Turbulence Kinetic Energy) และอัตราการแพร่กระจาย (Dissipation Rate) เข้าไปในการคำนวณอีกด้วย เนื่องจากการไหลของอากาศภายนอกเป็นแบบเทอบูเลนซ์

ในอดีตช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมา เราได้ใช้โปรแกรมประเภทนี้ในการออกแบบพาหนะ เช่น เครื่องบิน, รถยนต์, และเรือ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันเริ่มนิยมนำโปรแกรมนี้มาช่วยในการออกแบบอาคาร ไม่ว่าจะเป็นการไหลเวียนอากาศภายในอาคาร หรือภาระการรับแรงลมของอาคารสูง เพื่อให้มีความถูกต้องตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ โดยในการวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประเภท CFD (Computational fluid dynamics) ที่ชื่อ "**HEATX**" (Andrew & Prithiviraj, 1997) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย Texas A&M ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องมือหลักในการศึกษาหาแนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

3.5.2 การทดสอบปล่องระบายอากาศ

เนื่องจาก การออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยนี้จะทำการศึกษาผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของอุณหภูมิ และลักษณะของกระแสลมภายในอาคาร ตลอดจนบริเวณปากปล่องระบายอากาศ ดังนั้น จึงต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ทำการศึกษา โดยได้นำเอาอาคารกรณีศึกษาในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้า ที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) ซึ่งเป็นกรณีที่มีสภาพตรงกับหลักการของการออกแบบปล่องระบายอากาศ และไม่ได้รับผลกระทบจากแรงลมภายนอก มาทำการจำลองสภาพ โดยได้เลือกเวลา 13.00 น. เป็นช่วงเวลาที่นำมาทำการศึกษา แล้วจึงทำการเปรียบเทียบผลอุณหภูมิและความเร็วลมที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับข้อมูลที่ได้จากการวัด ณ สถานที่จริง และสมการคณิตศาสตร์ เพื่อปรับให้ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ก่อนที่จะนำโปรแกรมนี้ไปใช้ต่อไป และนอกจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้แล้ว การศึกษายังได้ใช้สมการคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาอัตราการระบายอากาศ และความรู้สึกเสมือนว่าอุณหภูมิลดลงที่เกิดขึ้น เนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศอีกด้วย โดยการทดสอบได้แบ่งรูปแบบในการศึกษา ดังนี้

3.5.2.1 ผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

การศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้เนื่องจากปล่องระบายอากาศในกรณีที่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา กับกรณีที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา โดยจะเปรียบเทียบที่ความสูง และขนาดพื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออกต่างๆ กัน

3.5.2.2 ความสูงของปล่องระบายอากาศ

เนื่องจากความสูงระหว่างหน้าต่างลมเข้ากับลมออกของบ้านพักอาศัยกรณีศึกษามีค่า 2.60 เมตร ดังนั้น การกำหนดความสูงของปล่องระบายอากาศได้กำหนดความสูงออกเป็น 3 ระดับ โดยจะคิดเป็นจำนวนเท่าของความสูงเดิม คือ

- ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร หรือ 3.5 เท่าของความสูงเดิม
- ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร หรือ 4 เท่าของความสูงเดิม
- ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร หรือ 5 เท่าของความสูงเดิม

หมายเหตุ: การทดสอบกำหนดให้เริ่มที่ความสูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม เนื่องจากความสูง 3 เท่าจะทำให้ระดับหน้าต่างลมออกอยู่ใกล้กับระดับพื้นที่ใช้งานชั้น 2 ซึ่งจะทำให้ความร้อนบริเวณนี้ถ่ายเทลงสู่ภายในอาคารมากขึ้น

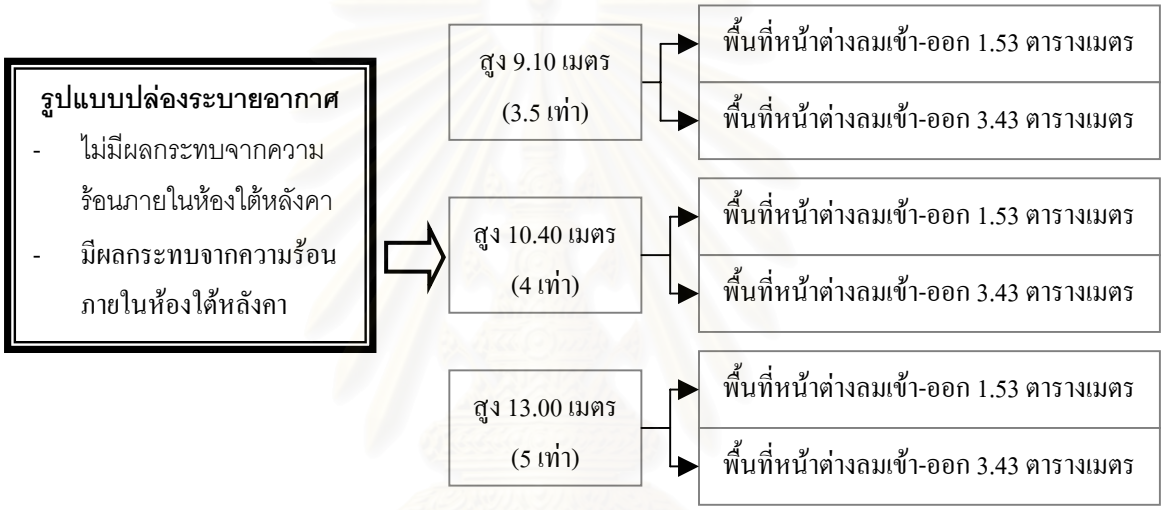
3.5.2.3 ขนาดพื้นที่หน้าต่างลมเข้า และลมออก

โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดให้พื้นที่หน้าต่างลมเข้ามีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก เพราะจะทำให้เกิดอัตราการระบายอากาศสูงที่สุด แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสภาพ ซึ่งเป็นในลักษณะ 2 มิติ จึงได้กำหนดให้ช่องเปิดมีขนาดความกว้างเท่ากัน แต่จะเปลี่ยนแปลงในเรื่องของความสูงช่องเปิด

- พื้นที่หน้าต่างลมเข้าและลมออกมีค่า 1.53 ตารางเมตร โดยกว้าง 1.32 เมตร สูง 1.16 เมตร ซึ่งเป็นขนาดพื้นที่เดิมของหน้าต่างที่มีอยู่
- พื้นที่ช่องหน้าต่างเข้าและลมออกมีค่า 3.43 ตารางเมตร โดยกว้าง 1.32 เมตร สูง 2.60 เมตร ซึ่งความสูงที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นค่าที่เท่ากับความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน โดยกำหนดให้ความกว้างของหน้าต่างคงที่

หมายเหตุ: ในการทดสอบกำหนดให้หน้าต่างลมออก และช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 รวมทั้งขนาดพื้นที่หน้าตัดแนวขวางของปล่องระบายอากาศมีพื้นที่เท่ากับหน้าต่างลมเข้า

ทั้งนี้ การศึกษาได้กำหนดตัวแปรคงที่ไว้ ดังนี้ คือ พื้นที่หน้าต่างลมเข้าที่ผนังอาคาร, พื้นที่ช่องเปิดลมเข้าที่ฝ้าเพดาน, พื้นที่หน้าต่างลมออกที่ผนังปล่อง, พื้นที่หน้าตัดของปล่อง จะมีขนาดเท่ากันทั้งหมด แต่เนื่องจากการศึกษาเป็นในลักษณะ 2 มิติ การแสดงผลที่ออกมา จึงไม่สามารถที่จะแสดงระยะต่างๆ ได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ นอกจากนี้ วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างปล่องระบายอากาศได้กำหนดให้ผนังปล่องใช้อิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร และในส่วนของหลังคาปล่องได้ใช้คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.15 เมตร



<u>หมายเหตุ</u>: ในการทดสอบกำหนดให้หน้าต่างลมออก และช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 รวมทั้งขนาดพื้นลมเข้า ณ ช่องบันได มีพื้นที่เท่ากับหน้าต่างลมเข้า

แผนภูมิที่ 3.1
รูปแบบในการทดสอบปล่องระบายอากาศ

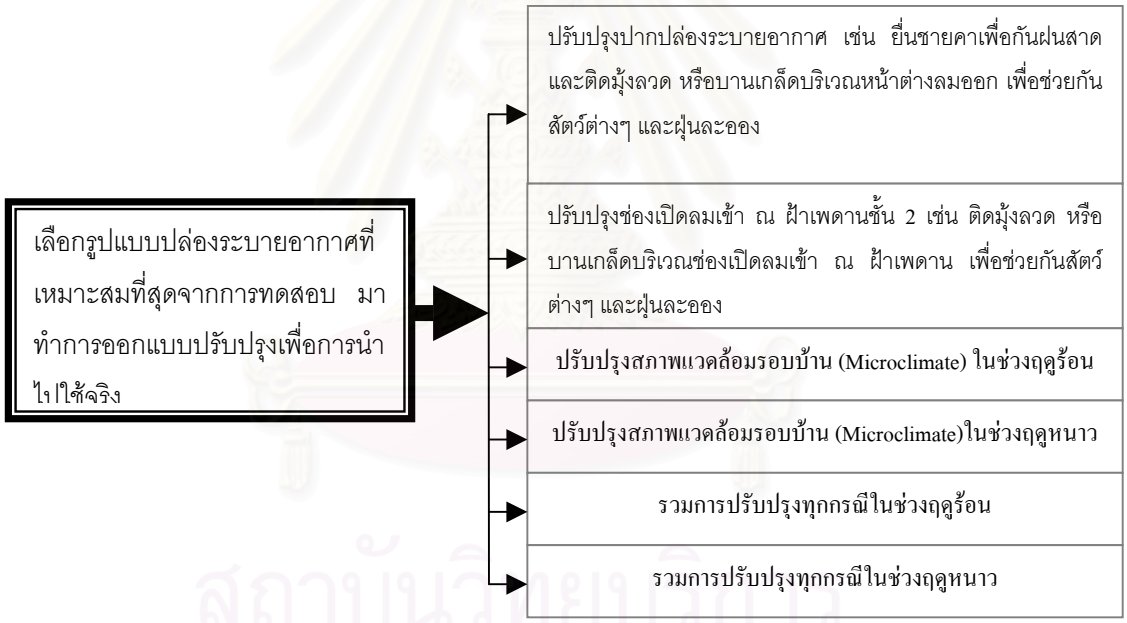
3.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศ

การศึกษานี้เป็นการนำเอาผลการทดสอบอุณหภูมิ และความเร็วลมที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD ตลอดจนการคำนวณอัตราการระบายอากาศ จากสมการทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ผล เพื่อหาข้อดี-ข้อเสียในแต่ละรูปแบบ อันนำไปสู่ทางเลือกรูปแบบของปล่องระบายอากาศที่เหมาะสมที่สุด ที่จะใช้ในการออกแบบสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยตัวบ่งชี้ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ระดับความเร็วลมภายในอาคาร, อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง,

อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก, และความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

3.7 การออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ สำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

เลือกรูปแบบของปล่องระบายอากาศจากการทดสอบที่เหมาะสมที่สุด เมื่อพิจารณาทั้งในแง่ของประสิทธิภาพการใช้งาน และในเรื่องของความงาม เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบให้กับบ้านพักอาศัยจริง ตลอดจนประเมินผลว่าหากมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบอื่นๆ เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานจริงแล้ว ประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศจะเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับก่อนทำการเปลี่ยนแปลง



แผนภูมิที่ 3.2
รูปแบบในออกแบบปรับปรุงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศเพื่อการนำไปใช้จริง

3.8 การวิเคราะห์ผลการออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ

นำผลที่ได้จากการจำลองสภาพ การออกแบบปรับปรุงในแต่ละรูปแบบมาเปรียบเทียบ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ และนำแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไปจำลองสภาพภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิ และระดับความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริง โดยได้ใช้

ข้อมูลอุณหภูมิและระดับความเร็วลมของเดือนเมษายน เป็นตัวแทนในช่วงฤดูร้อน และเดือนธันวาคม เป็นตัวแทนในช่วงฤดูหนาว

3.9 สรุปผลการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

สรุปผลการออกแบบองค์ประกอบต่างๆ ของปล่องระบายอากาศ ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งของปล่องระบายอากาศ, ความสูงของปล่องระบายอากาศ, ขนาดพื้นที่ของหน้าต่างลมเข้า-ออก ตลอดจนองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และการปรับปรุงสภาวะแวดล้อมรอบนอกตัวบ้าน (Microclimate) เพื่อนำไปสู่แนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

เนื่องจาก ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลนั้นเริ่มวันที่ 25 มิถุนายน 2546 ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2546 ซึ่งจะมีฝนตกลงมาในช่วงเวลาประมาณ 17.30-20.00 น. ของทุกวัน โดยการศึกษาได้กำหนดรูปแบบการเก็บข้อมูลออกเป็น 5 กรณี และทำการเก็บข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง กรณีละ 24 ชั่วโมง

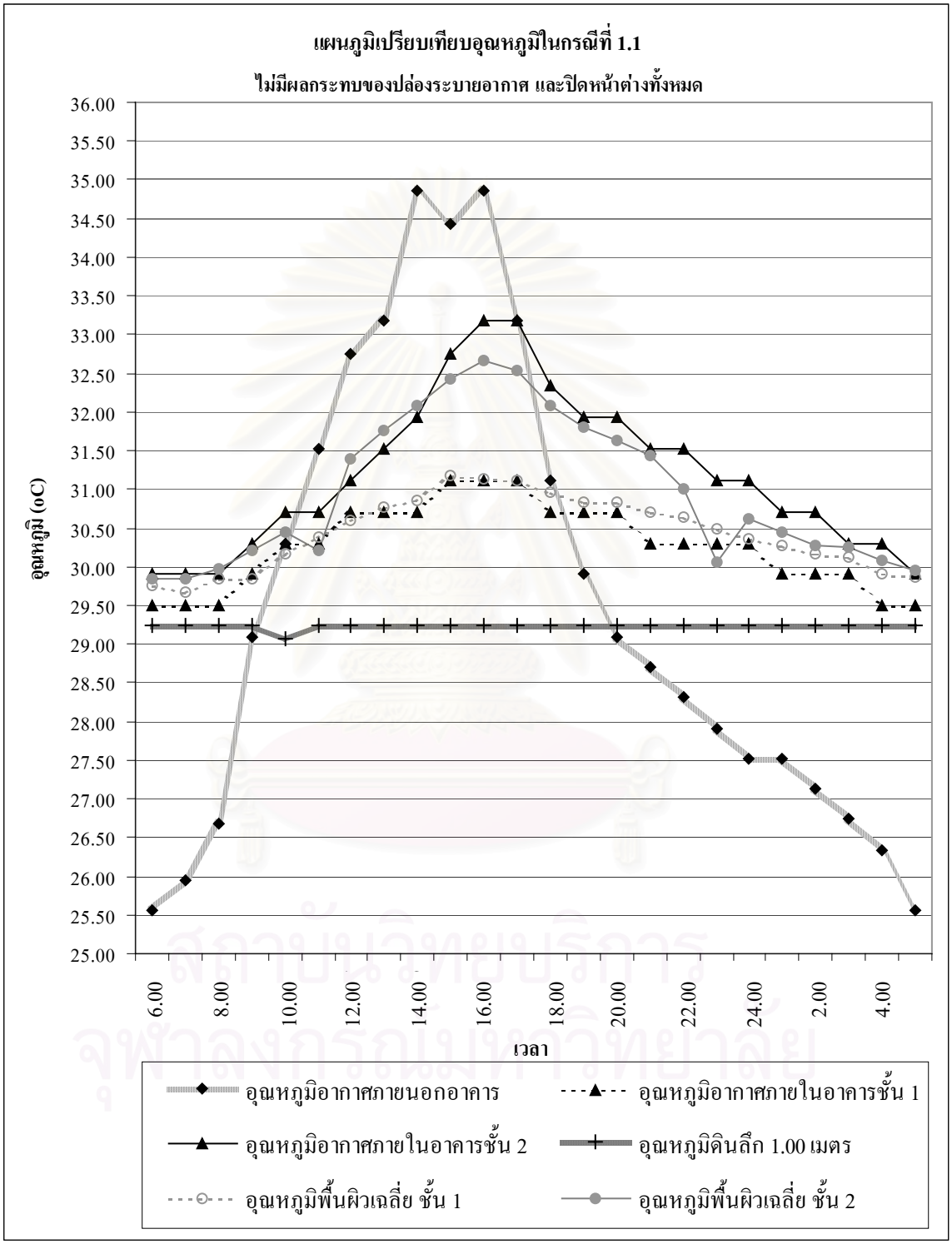
- **กรณีที่1: ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ**
  - กรณีที่ 1.1: ปิดหน้าต่างทั้งหมด เริ่มวันที่ 25 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 26 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.
  - กรณีที่ 1.2: เปิดหน้าต่างทั้งหมด เริ่มวันที่ 26 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 27 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.
- **กรณีที่ 2: มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ**
  - กรณีที่ 2.1: ปิดหน้าต่างทั้งหมด ยกเว้น หน้าต่างที่อยู่ ณ ช่องบันได เริ่มวันที่ 27 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 28 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.
  - กรณีที่ 2.2: เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้า ที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได เริ่มวันที่ 28 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 29 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.
  - กรณีที่ 2.3: เปิดหน้าต่างทั้งหมด เริ่มวันที่ 29 มิถุนายน 2546 เวลา 15.00 น. ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2546 เวลา 14.00 น.

หมายเหตุ: ในกรณีที่ 2.1 และ 2.2 การเปิดหน้าต่างลมเข้า และออก จะอยู่ในทิศอับลม เพื่อศึกษาผลกระทบของปล่องระบายอากาศเพียงอย่างเดียว ไม่มีผลกระทบจากลมภายนอก

4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละกรณี

อุณหภูมิที่นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบนั้น ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร, อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น, อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น, อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก, อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก, อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร, อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1, และอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2

4.1.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด)



แผนภูมิที่ 4.1

การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.1 (วันที่ 25-26 มิถุนายน 2546)

4.1.1.1 อุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิอากาศภายนอกจะมีความแปรปรวนสูง และจะลดต่ำลงในช่วงเวลาประมาณ 17.30 น. เนื่องจากว่ามีฝนตก ไปจนถึงเวลา 20.00 น. อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 25.57-34.85 องศาเซลเซียสโดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 31.03 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 27.99 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.51 องศาเซลเซียส

4.1.1.2 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารค่อนข้างน้อย อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.50-31.12 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.17 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.27 องศาเซลเซียส

4.1.1.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากที่สุด โดยเฉพาะช่วงเวลาบ่ายต่อเนื่องไปจนถึงช่วงค่ำ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.91-33.17 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 31.26 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 31.12 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 31.19 องศาเซลเซียส

4.1.1.4 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1 จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.68-30.96 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.43 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.44 องศาเซลเซียส

4.1.1.5 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในทุกช่วงเวลา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.84-32.66 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 31.12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.96 องศาเซลเซียส

4.1.1.6 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร

อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร จะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ 29.24 องศาเซลเซียส

4.1.1.7 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด)

ช่วงเวลา / ตำแหน่ง	ช่วงอุณหภูมิ ใน 1 วัน (ºC)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน (ºC)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางคืน (ºC)	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน (ºC)
อากาศภายนอก	25.57-34.85	31.03	27.99	29.51
อากาศภายในชั้น 1	29.50-31.12	30.38	30.17	30.27
อากาศภายในชั้น 2	29.91-33.17	31.26	31.12	31.19
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1	29.68-30.96	30.45	30.43	30.44
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2	29.84-32.66	31.12	30.80	30.96
ดินลึก 1.00 เมตร	29.07-29.25	29.24	29.25	29.24

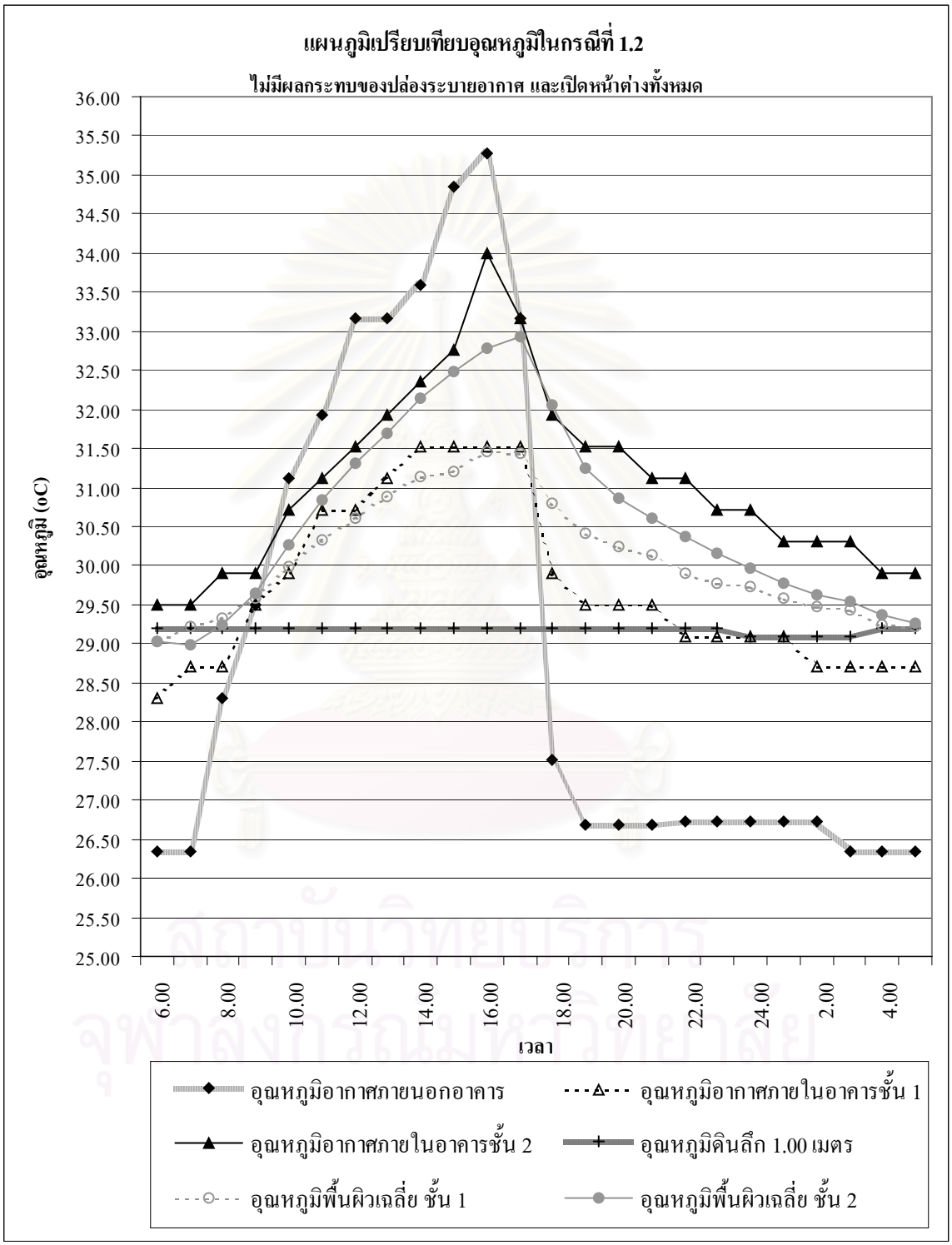
ตารางที่ 4.1

สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในกรณีที่ 1.1

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทั้งนี้เนื่องจากผลของการหน่วงความร้อนจากผนัง ส่วนอุณหภูมิอากาศชั้น 2 จะสูงกว่าทั้งนี้เนื่องจากได้รับความร้อนที่ถ่ายเทลงมาจากฝ้าเพดาน และไม่ได้รับการระบายออกสู่ภายนอกอาคาร เมื่อพิจารณาในเวลากลางคืนจะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารทั้งชั้น 1 และ 2 จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เนื่องจากความร้อนจากผนังจะเริ่มถ่ายเทเข้าสู่ในอาคารช่วงเวลาหัวค่ำ อีกทั้งในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอกจะลดลงอย่างรวดเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)



แผนภูมิที่ 4.2

การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.2 (วันที่ 26-27 มิถุนายน 2546)

4.1.2.1 อุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิอากาศภายนอกจะมีความแปรปรวนสูง และจะลดต่ำลงในช่วงเวลาประมาณ 17.30 น. เนื่องจากว่ามีฝนตกไปจนถึงเวลา 20.00 น. อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 26.34-35.27 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 31.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 26.69 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.04 องศาเซลเซียส

4.1.2.2 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารค่อนข้างน้อย อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.31-31.52 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.31 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.14 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.72 องศาเซลเซียส

4.1.2.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากที่สุด โดยเฉพาะช่วงเวลาสายต่อเนื่องไปจนถึงช่วงค่ำ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.91-33.17 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 31.36 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.78 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 31.07 องศาเซลเซียส

4.1.2.4 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ในช่วงเวลา 11.00-15.00 น. นอกจากนั้นจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.21-31.46 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.83 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.09 องศาเซลเซียส

4.1.2.5 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในทุกช่วงเวลา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.98-32.93 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-

17.00 น.) 30.94 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.59 องศาเซลเซียส

4.1.2.6 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร

อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร จะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ 29.20 องศาเซลเซียส

4.1.2.7 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

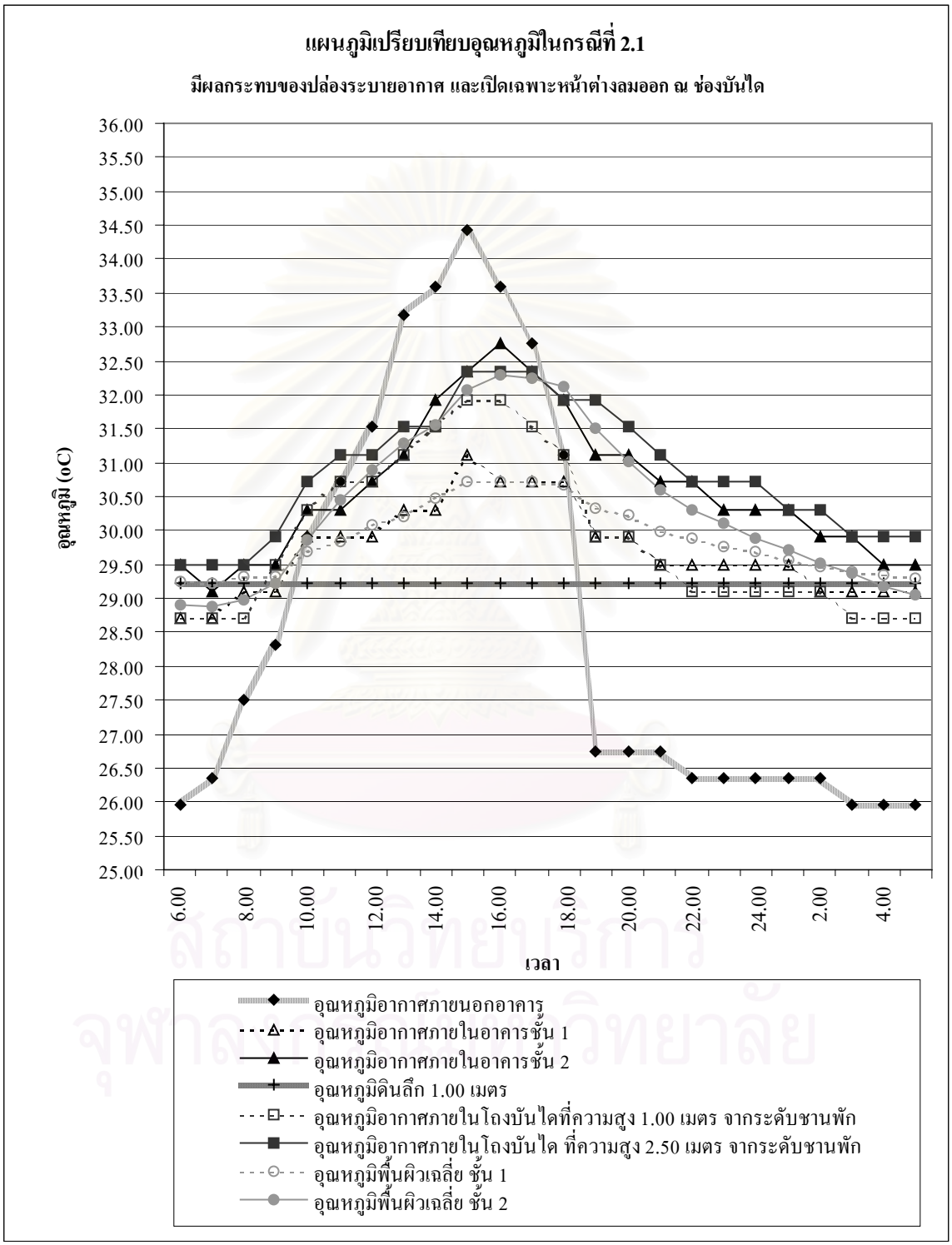
ช่วงเวลา / ตำแหน่ง	ช่วงอุณหภูมิ ใน 1 วัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางคืน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน (°C)
อากาศภายนอก	29.34-35.27	31.40	26.69	29.04
อากาศภายในชั้น 1	28.31-31.52	30.31	29.14	29.72
อากาศภายในชั้น 2	29.91-33.17	31.36	30.78	31.07
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1	29.21-31.46	30.35	29.83	30.09
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2	28.98-32.93	30.94	30.24	30.59
ดินลึก 1.00 เมตร	29.09-29.20	29.20	29.16	29.18

ตารางที่ 4.2

สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในกรณีที่ 1.2

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทั้งนี้เนื่องจากผลของการหน่วงความร้อนจากผนัง เช่นเดียวกับกรณีที่ 1.1 ส่วนอุณหภูมิอากาศชั้น 2 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากได้รับผลจากการที่เปิดหน้าต่าง ทำให้ความร้อนได้รับการระบายออกสู่ภายนอกอาคาร อย่างไรก็ตามอากาศที่ชั้น 2 ก็ยังคงร้อนกว่าชั้น 1 เพราะได้รับความร้อนที่ถ่ายเทลงมาจากฝ้าเพดาน เมื่อพิจารณาในเวลากลางคืนจะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารทั้งชั้น 1 และ 2 จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เช่นเดียวกับกรณีที่ 1.1

4.1.3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)



แผนภูมิที่ 4.3

การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.1 (วันที่ 27-28 มิถุนายน 2546)

4.1.3.1 อุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิอากาศภายนอกจะมีความแปรปรวนสูง และจะลดต่ำลงในช่วงเวลาประมาณ 17.30 น. เนื่องจากว่ามีฝนตกไปจนถึงเวลา 20.00 น. อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 25.95-34.43 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 26.74 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 28.69 องศาเซลเซียส

4.1.3.2 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารค่อนข้างน้อย อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.71-30.71 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 29.87 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.54 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.70 องศาเซลเซียส

4.1.3.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากที่สุด โดยเฉพาะช่วงเวลาบ่ายต่อเนื่องไปจนถึงช่วงค่ำ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.10-32.76 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.78 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.44 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.61 องศาเซลเซียส

4.1.3.4 อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก

อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก จะอยู่ในช่วง 28.71-31.93 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.34 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.89 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 ในช่วงเวลาประมาณ 11.00-18.00 น. ส่วนในเวลาอื่นๆ อุณหภูมิจะค่อนข้างใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศชั้น 1 และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศชั้น 2 จะพบว่าส่วนมากจะมีค่าต่ำกว่า จะมีเพียงช่วงเช้าเวลาประมาณ 6.00-12.00 น. ที่จะมีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.3.5 อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก

อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก จะอยู่ในช่วง 29.50-32.34 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.75 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.85 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก และอุณหภูมิอากาศชั้น 1 ในทุกช่วงเวลา และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศชั้น 2 จะพบว่ามีค่าสูงกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.1.3.6 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1 จะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.23-30.72 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 29.97 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.88 องศาเซลเซียส

4.1.3.7 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2 จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 แต่จะต่ำกว่าเป็นส่วนมาก จะมีช่วงเวลา 11.00-13.00 และ 18.00-19.00 ที่มีค่าสูงกว่า โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.88-32.28 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.20 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.37 องศาเซลเซียส

4.1.3.8 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร

อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร จะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ 29.23 องศาเซลเซียส

4.1.3.9 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

ช่วงเวลา / ตำแหน่ง	ช่วงอุณหภูมิ ใน 1 วัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางคืน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน (°C)
อากาศภายนอก	25.95-34.43	30.65	26.74	28.69
อากาศภายในชั้น 1	28.71-30.71	29.87	29.54	29.70

อากาศภายในชั้น 2	29.10-32.76	30.78	30.44	30.61
โถงบันได 1 เมตร	28.71-31.93	30.45	29.34	29.89
โถงบันได 2.50 เมตร	29.50-32.34	30.95	30.75	30.85
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1	29.23-30.72	29.97	29.80	29.88
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2	28.88-32.28	30.55	30.20	30.37
ดินลึก 1.00 เมตร	29.21-29.23	29.23	29.23	29.23

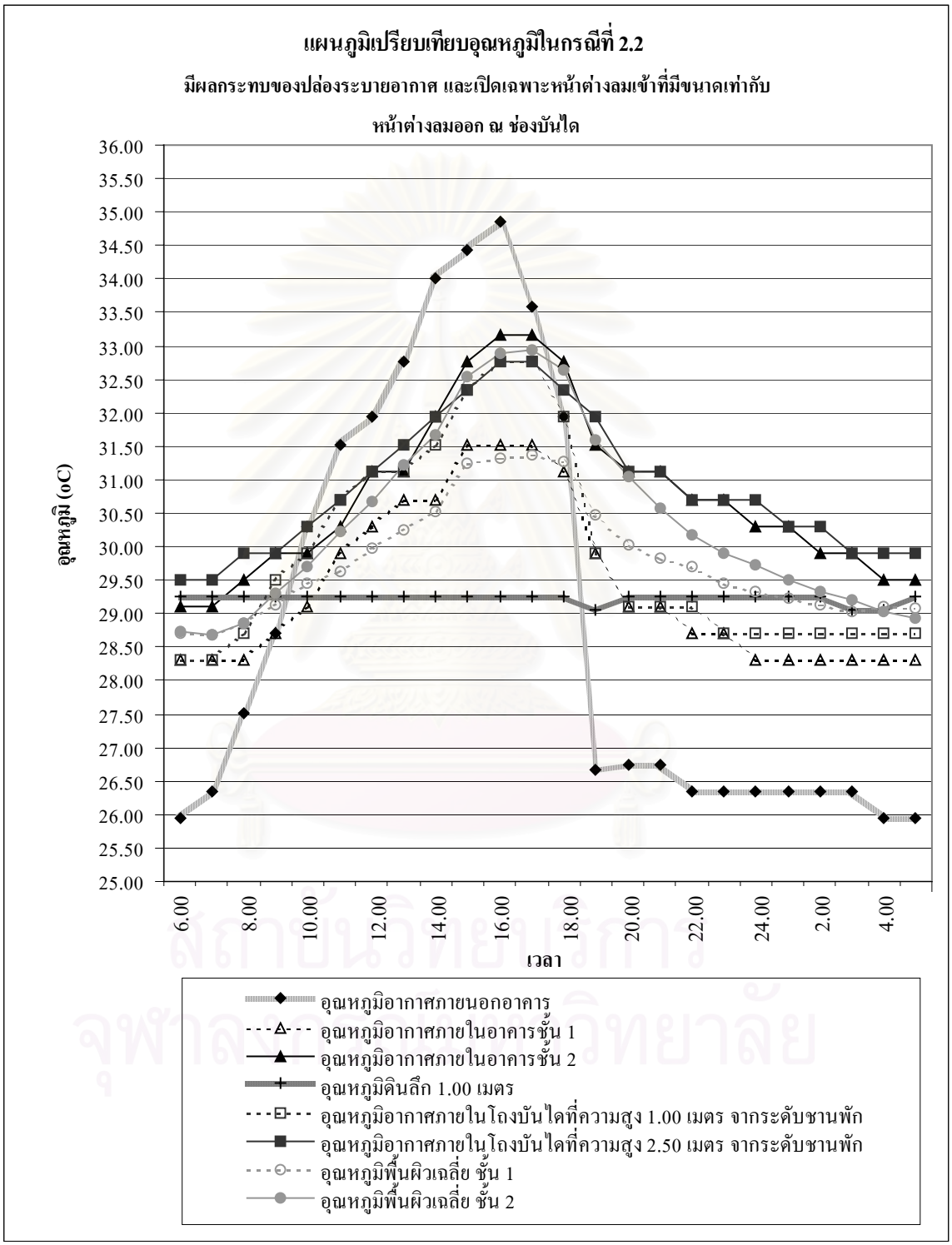
ตารางที่ 4.3

สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในกรณีที่ 2.1

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 และ 2 กับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยชั้น 1 และ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทั้งนี้เนื่องจากผลของการหน่วงความร้อนจากผนัง ส่วนอุณหภูมิอากาศชั้น 2 จะสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากได้รับความร้อนที่ถ่ายเทลงมาจากฝ้าเพดาน และไม่ได้รับการระบายออกสู่ภายนอกอาคาร อีกทั้งยังได้รับความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างลมออก เมื่อพิจารณาในเวลากลางคืนจะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารทั้งชั้น 1 และ 2 จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เนื่องจากความร้อนจากผนังจะเริ่มถ่ายเทเข้าสู่ในอาคารช่วงเวลาหัวค่ำ อีกทั้งในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอกจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)



แผนภูมิที่ 4.4

การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.2 (วันที่ 28-29 มิถุนายน 2546)

4.1.4.1 อุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิอากาศภายนอกจะมีความแปรปรวนสูง และจะลดต่ำลงในช่วงเวลาประมาณ 17.30 น. เนื่องจากว่ามีฝนตกไปจนถึงเวลา 20.00 น. อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 25.95-34.85 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.99 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 26.83 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 28.19 องศาเซลเซียส

4.1.4.2 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารค่อนข้างน้อย อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.31-31.52 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 29.91 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 28.87 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.39 องศาเซลเซียส

4.1.4.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากที่สุด โดยเฉพาะช่วงเวลาบ่ายต่อเนื่องไปจนถึงช่วงค่ำ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 29.10-32.76 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.92 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.61 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.77 องศาเซลเซียส

4.1.4.4 อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก

อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก จะอยู่ในช่วง 28.31-32.76 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.59 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.17 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.88 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 ในช่วง 9.00-18.00 น. แต่จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 2 ตลอดทั้งวัน

4.1.4.5 อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก

อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก จะอยู่ในช่วง 29.50-32.76 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 31.02 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.75 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน

30.88 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก ในช่วง 19.00-8.00 น. และและมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 ในทุกช่วงเวลา และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศชั้น 2 จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

4.1.4.6 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ในช่วงเวลา 11.00-17.00 น. นอกจากนั้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเล็กน้อย โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.69-31.36 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 29.93 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.64 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.79 องศาเซลเซียส

4.1.4.7 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในทุกช่วงเวลา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.67-32.93 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.62 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 30.13 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.38 องศาเซลเซียส

4.1.4.8 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร

อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร จะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ 29.25 องศาเซลเซียส

4.1.4.9 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

ช่วงเวลา / ตำแหน่ง	ช่วงอุณหภูมิ ใน 1 วัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางคืน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน (°C)
อากาศภายนอก	25.95-34.85	30.99	26.83	28.19
อากาศภายในชั้น 1	28.31-31.52	29.91	28.87	29.39
อากาศภายในชั้น 2	29.10-32.76	30.92	30.61	30.77
โถงบันได 1 เมตร	28.31-32.76	30.59	29.17	29.88
โถงบันได 2.50 เมตร	29.50-32.76	31.02	30.75	30.88

พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1	28.69-31.36	29.93	29.64	29.79
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2	28.67-32.93	30.62	30.13	30.38
ดินลึก 1.00 เมตร	29.07-29.25	29.25	29.25	29.23

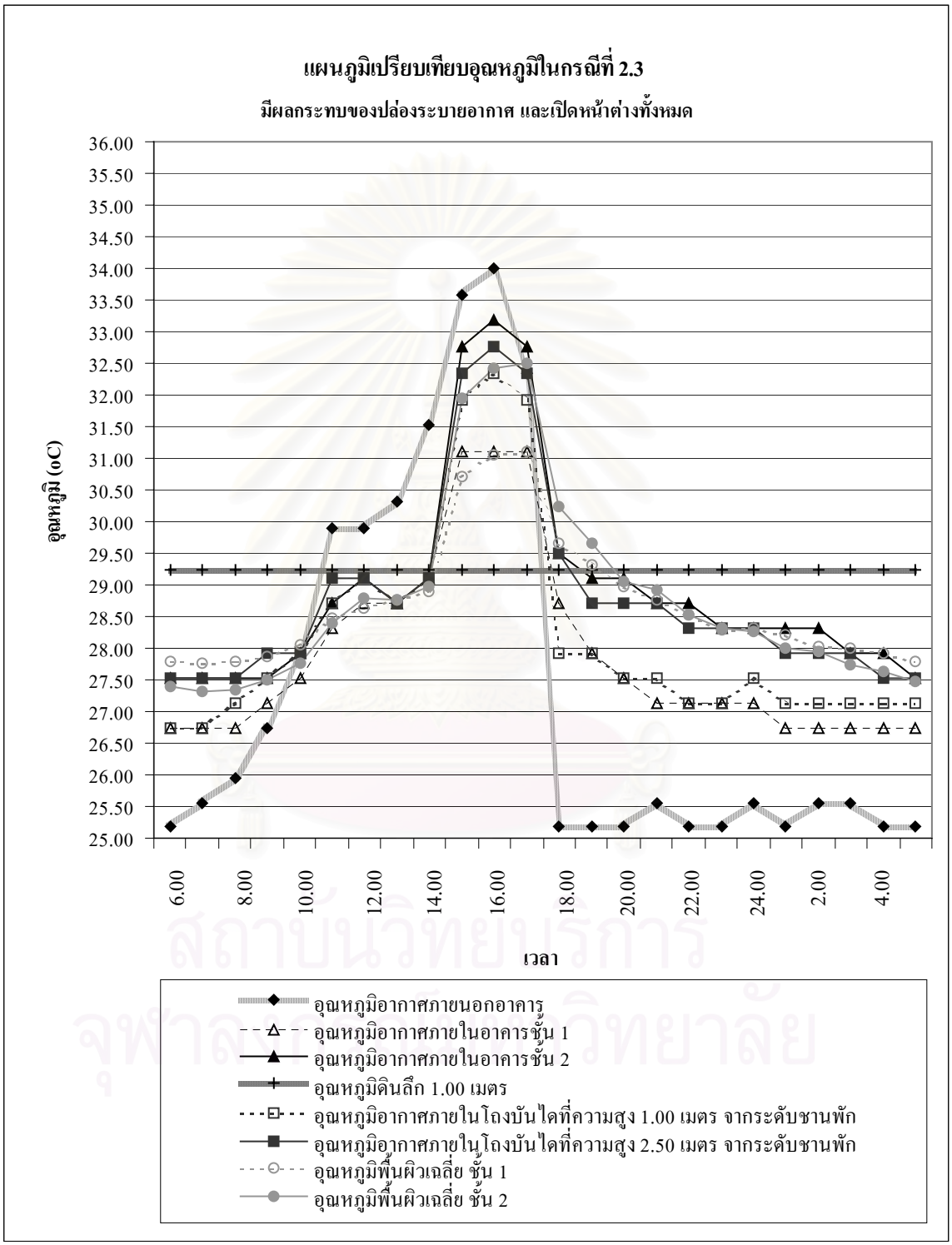
ตารางที่ 4.4

สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในกรณีที่ 2.2

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 และ 2 กับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยชั้น 1 และ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทั้งนี้เนื่องจากผลของการหน่วงความร้อนจากผนัง ส่วนอุณหภูมิอากาศชั้น 2 จะลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ทั้งนี้เนื่องจากได้รับผลของปล่องระบายอากาศที่มีการเปิดหน้าต่างลมเข้า ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำเอาอากาศจากภายนอกเข้าสู่อาคารและระบายออกสู่ภายนอกอาคารอีกครั้งทางหน้าต่างลมออก ทำให้ความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างลมออกลดลง และเมื่อพิจารณาในเวลากลางคืนจะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารทั้งชั้น 1 และ 2 จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เนื่องจากความร้อนจากผนังจะเริ่มถ่ายเทเข้าสู่ในอาคารช่วงเวลาหัวค่ำ อีกทั้งในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศภายนอกจะลดลงอย่างรวดเร็ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)



แผนภูมิที่ 4.5

การเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.3 (วันที่ 29-30 มิถุนายน 2546)

4.1.5.1 อุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิอากาศจะมีความแปรปรวนสูง และจะลดต่ำลงในช่วงเวลาประมาณ 17.30 น. เนื่องจากว่ามีฝนตกไปจนถึงเวลา 20.00 น. อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 26.28-35.12 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.71 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 26.74 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 28.72 องศาเซลเซียส

4.1.5.2 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารค่อนข้างน้อย อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.63-34.28 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.72 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.19 องศาเซลเซียส

4.1.5.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 มีความแปรปรวนตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากที่สุด โดยเฉพาะช่วงเวลาบ่ายต่อเนื่องไปจนถึงช่วงค่ำ อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.63-34.28 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.72 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.19 องศาเซลเซียส

4.1.5.4 อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก

อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก จะอยู่ในช่วง 26.73-32.34 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 28.65 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 29.47 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 อย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลา 15.00-17.00 น. ส่วนในเวลาอื่นจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 2 ตลอดทั้งวัน

4.1.5.5 อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก

อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก จะอยู่ในช่วง 28.63-33.87 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.61 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.53 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน

30.07 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพักในช่วง 15.00-7.00 น. และมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศชั้น 2 ตลอดทั้งวัน แต่จะพบว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 ในทุกช่วงเวลา

4.1.5.6 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 อย่างชัดเจนในช่วงเวลา 9.00-18.00 น. นอกจากนั้นจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.88-32.21 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.95 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.03 องศาเซลเซียส

4.1.5.7 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2

อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในทุกช่วงเวลา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 28.42-33.61 องศาเซลเซียส โดยจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) 30.39 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) 29.67 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน 30.03 องศาเซลเซียส

4.1.5.8 อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร

อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 เมตร จะมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ 29.23 องศาเซลเซียส

4.1.5.9 สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

ช่วงเวลา / ตำแหน่ง	ช่วงอุณหภูมิ ใน 1 วัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยกลางคืน (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน (°C)
อากาศภายนอก	28.63-34.28	30.65	29.72	28.72
อากาศภายในชั้น 1	28.63-34.28	30.65	27.19	27.89
อากาศภายในชั้น 2	28.63-34.28	29.72	30.19	28.91
โถงบันได 1 เมตร	26.73-32.34	30.28	28.65	29.47
โถงบันได 2.50 เมตร	28.63-33.87	30.61	29.53	30.07

พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 1	28.88-32.21	30.20	29.95	30.0
พื้นผิวเฉลี่ย ชั้น 2	28.42-33.61	30.39	29.67	30.03
ดินลึก 1.00 เมตร	29.23	29.23	29.23	29.23

ตารางที่ 4.5

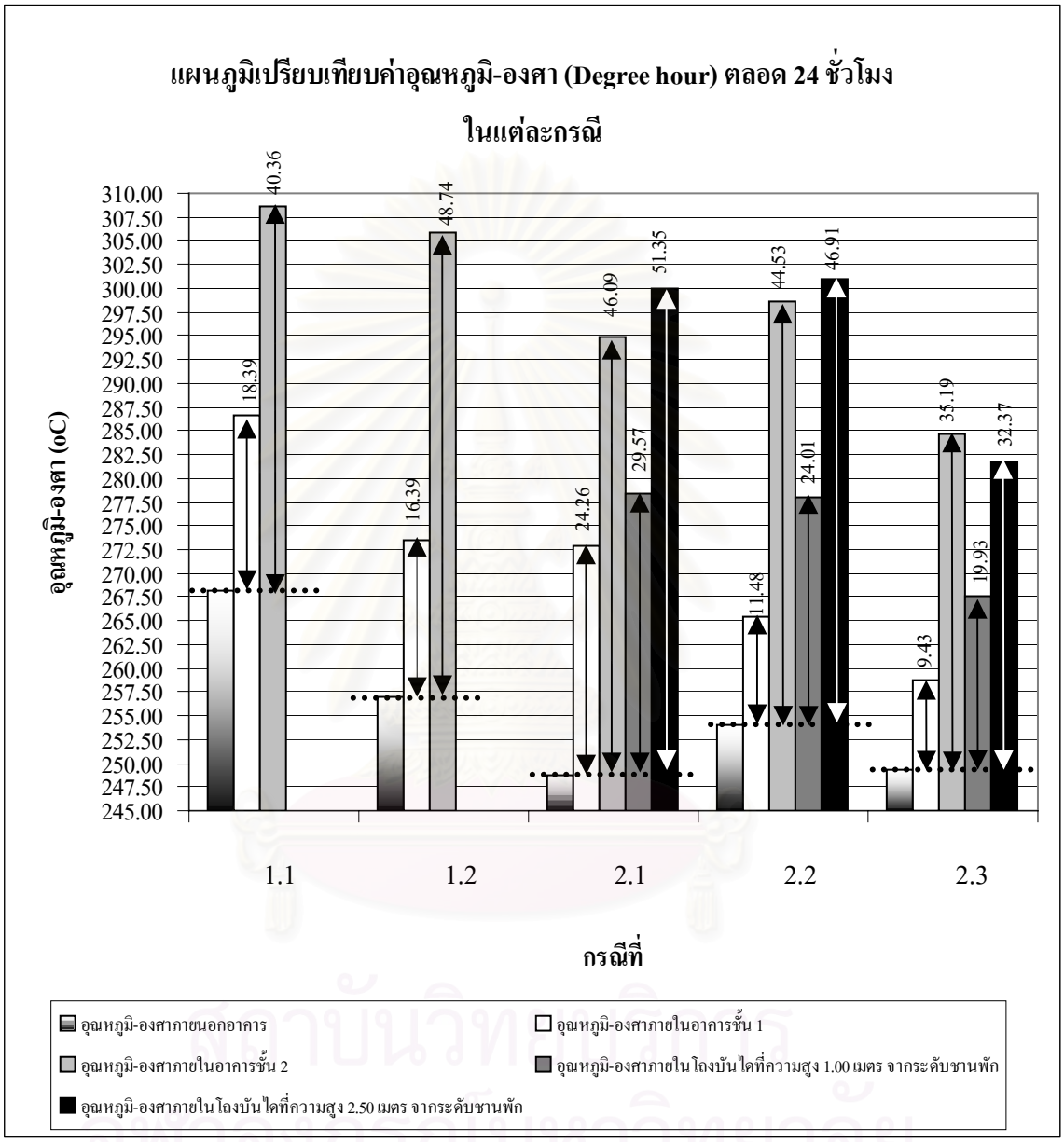
สรุปผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.3

จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศชั้น 1 และ 2 กับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยชั้น 1 และ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารทั้งนี้เนื่องจากผลของการหน่วงความร้อนจากผนัง รวมทั้งการได้รับผลของปล่องระบายอากาศ และการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด และเมื่อพิจารณาในเวลากลางคืนจะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารทั้งชั้น 1 และ 2 จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เช่นเดียวกับในกรณีอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ในแต่ละกรณี

4.2.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ตลอด 24 ชั่วโมง



กรณีที่ 1.1 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.2 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

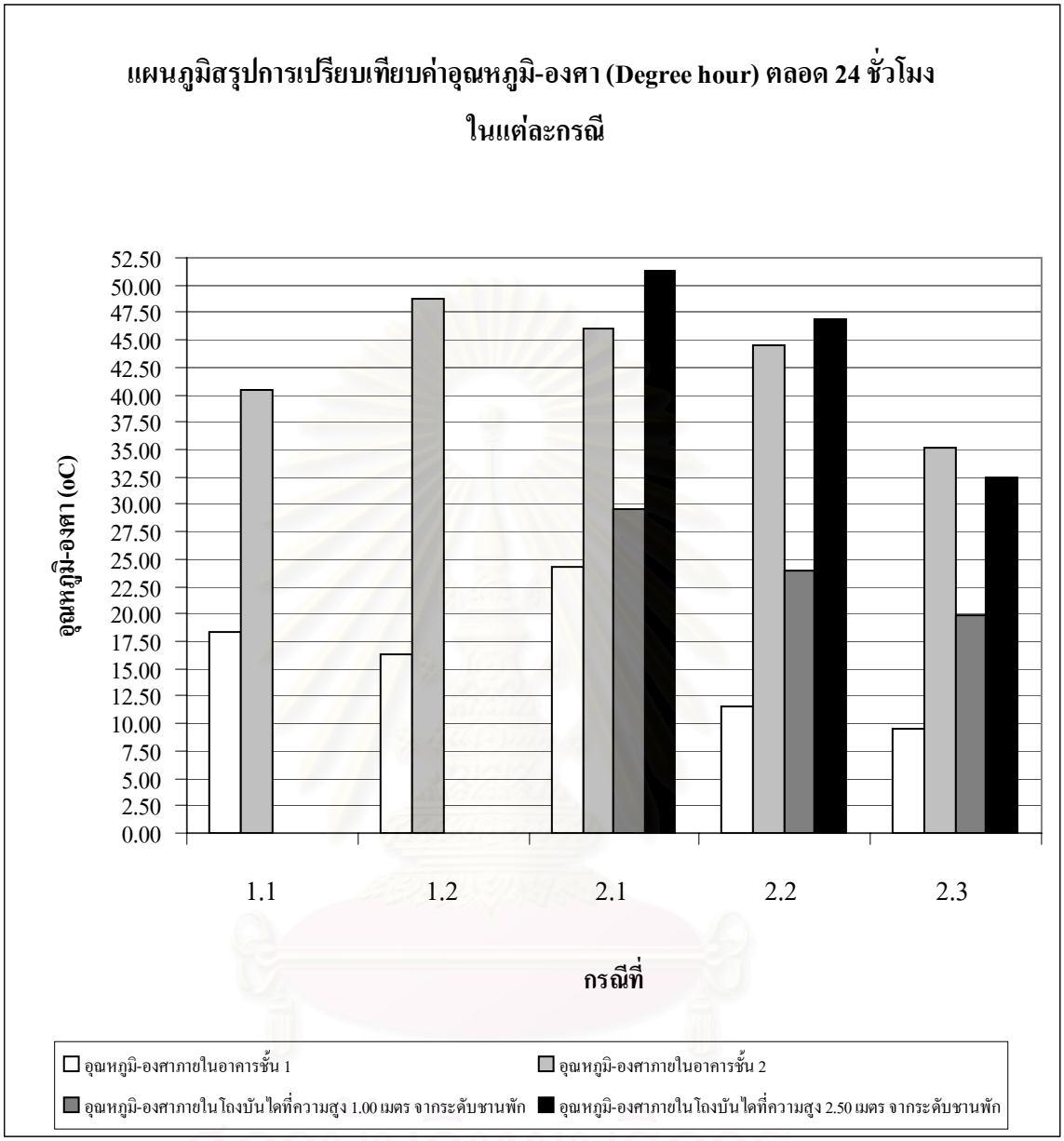
กรณีที่ 2.1 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.2 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

แผนภูมิที่ 4.6

การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละกรณี



กรณีที่ 1.1 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.2 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.1 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.2 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

แผนภูมิที่ 4.7

สรุปการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ตลอด 24 ชั่วโมง ในแต่ละกรณี

4.2.1.1 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 1 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

กรณีที่ 2.1 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างตรงลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 1.1 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.2 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.2 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก) ซึ่งไม่มีหน้าต่างให้เหนี่ยวนำลมจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ก็จะมีผลไม่ต่างกับกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด) ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะสูงกว่าในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) รวมทั้งในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) และกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) ซึ่งมีการเหนี่ยวนำลมจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารประกอบกับการได้รับอิทธิพลของปล่องระบายอากาศในการช่วยลดอุณหภูมิ

4.2.1.2 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 2 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

กรณีที่ 1.2 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.1 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.2 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 1.1 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

<u>กรณีที่ 2.3</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 นั้น จะมีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเป็นในกรณีใดก็ตาม และจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 เนื่องจากได้รับผลกระทบจากความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา

4.2.1.3 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพักกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

<u>กรณีที่ 2.1</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.2</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.3</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตรในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) และ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าต่ำสุด อันเนื่องจากได้รับผลกระทบจากแรงลมภายนอก ประกอบกับการได้รับอิทธิพลของปล่องระบายอากาศในการช่วยลดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 แต่จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย

4.2.1.4 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพักกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

<u>กรณีที่ 2.1</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

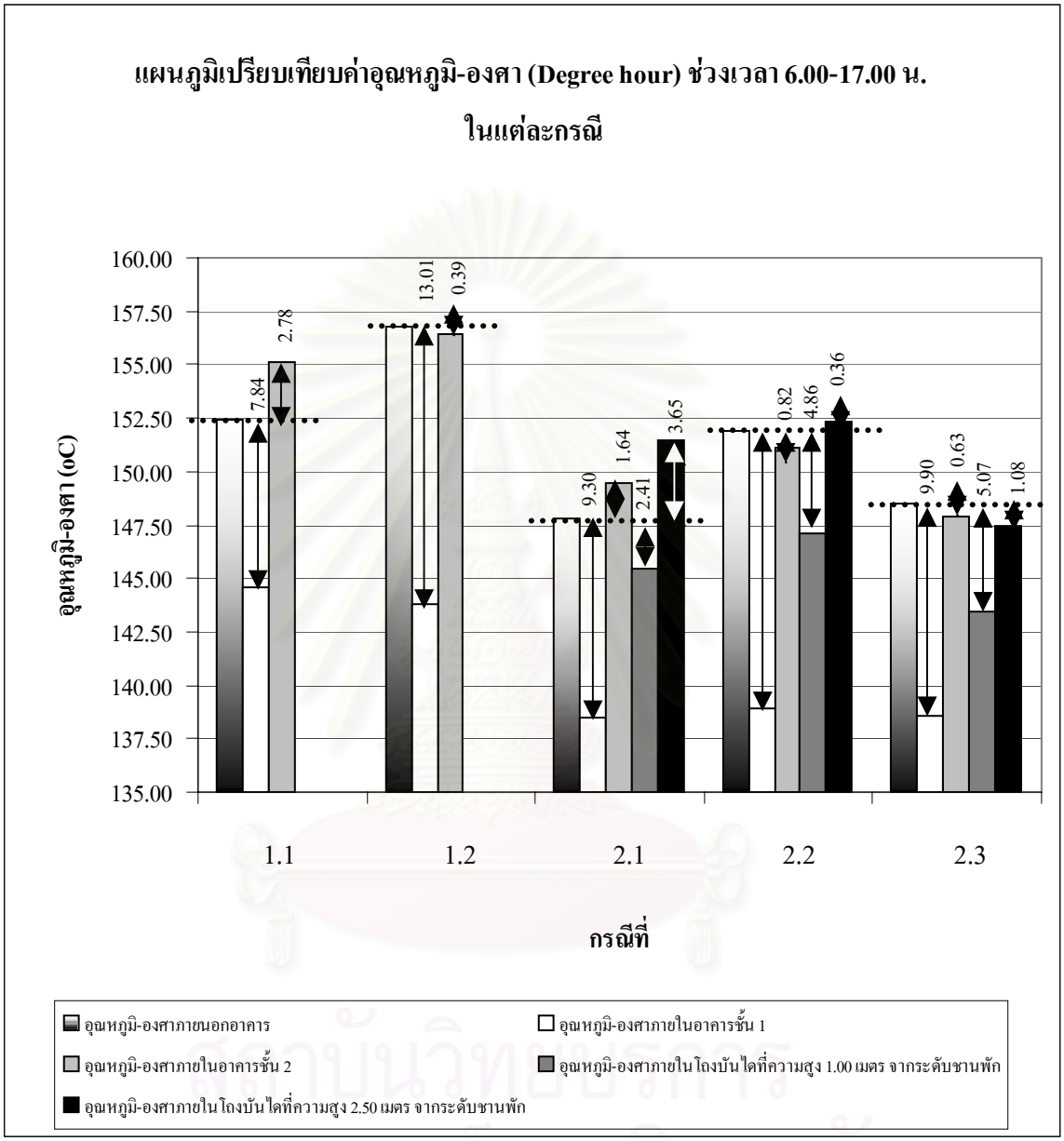
<u>กรณีที่ 2.2</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.3</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตรในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) และ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าต่ำสุด อันเนื่องจากได้รับผลกระทบจากแรงลมภายนอก ประกอบกับการได้รับอิทธิพลของปล่องระบายอากาศในการช่วยลดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

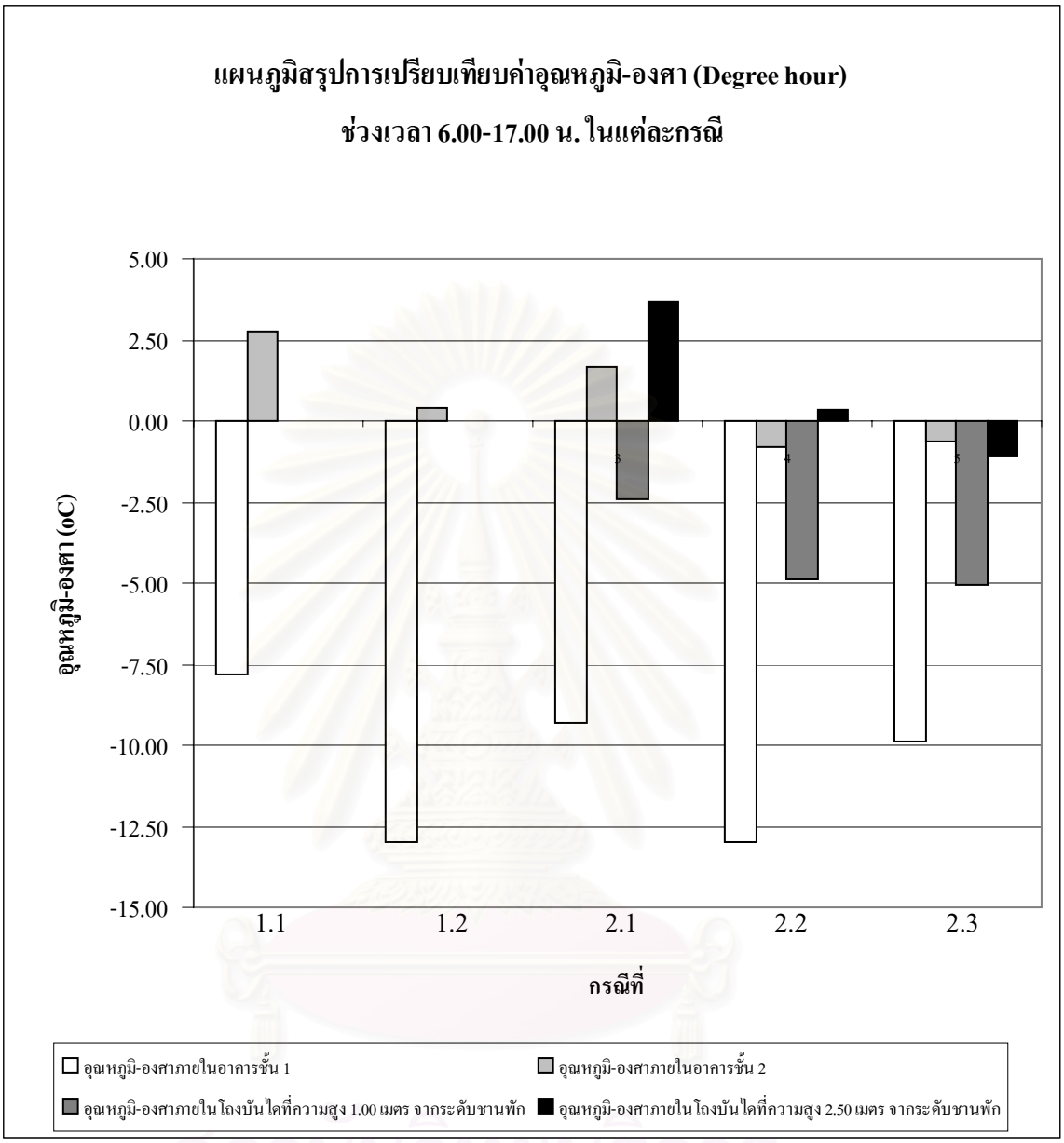
4.2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 6.00-17.00 น.



กรณีที่ 1.1 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด
กรณีที่ 1.2 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด
กรณีที่ 2.1 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได
กรณีที่ 2.2 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได
กรณีที่ 2.3 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

แผนภูมิที่ 4.8

การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 6.00-17.00 น.



กรณีที่ 1.1 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.2 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.1 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.2 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

แผนภูมิที่ 4.9

สรุปการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 6.00-17.00 น.

4.2.2.1 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 1 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

กรณีที่ 1.1 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.1 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.2 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 1.2 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า ในช่วงเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ไม่ว่าจะเป็นในกรณีใดก็ตาม โดยในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด) และ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) จะมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นกรณีที่ปิดหน้าต่างทั้งหมด ไม่มีลมมาช่วยในการลดอุณหภูมิ ถึงแม้ว่ากรณีที่ 2.1 จะมีการเปิดหน้าต่างลมออกบริเวณช่องบันได แต่ก็ไม่สามารถที่จะช่วยได้มาก ส่วนในกรณีที่มีการเปิดหน้าต่างเพื่อเหนี่ยวนำลมจากภายนอก ประกอบกับการได้รับอิทธิพลของปล่องระบายอากาศ จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิได้มากกว่า

4.2.2.2 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 2 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

กรณีที่ 1.1 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.1 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 1.2 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.3 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

<u>กรณีที่ 2.2</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลากลางวัน (6.00-17.00 น.) อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด) และ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ส่วนในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด), 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได), และ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีการเปิดหน้าต่างเพื่อเหนี่ยวนำลมจากภายนอกให้พัดผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร และได้รับอิทธิพลของปล่องระบายอากาศ ในการช่วยลดอุณหภูมิ

4.2.2.3 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพักกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

<u>กรณีที่ 2.1</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.2</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.3</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตรในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) จะมีค่าสูงที่สุด ส่วนในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได), และ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมภายนอกที่เข้ามาสู่ภายในอาคาร และอิทธิพลของปล่องระบายอากาศ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของทั้ง 3 กรณีจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1

โดยที่อุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 โดยจะสูงกว่าเล็กน้อย

4.2.2.4 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพักกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

<u>กรณีที่ 2.1</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

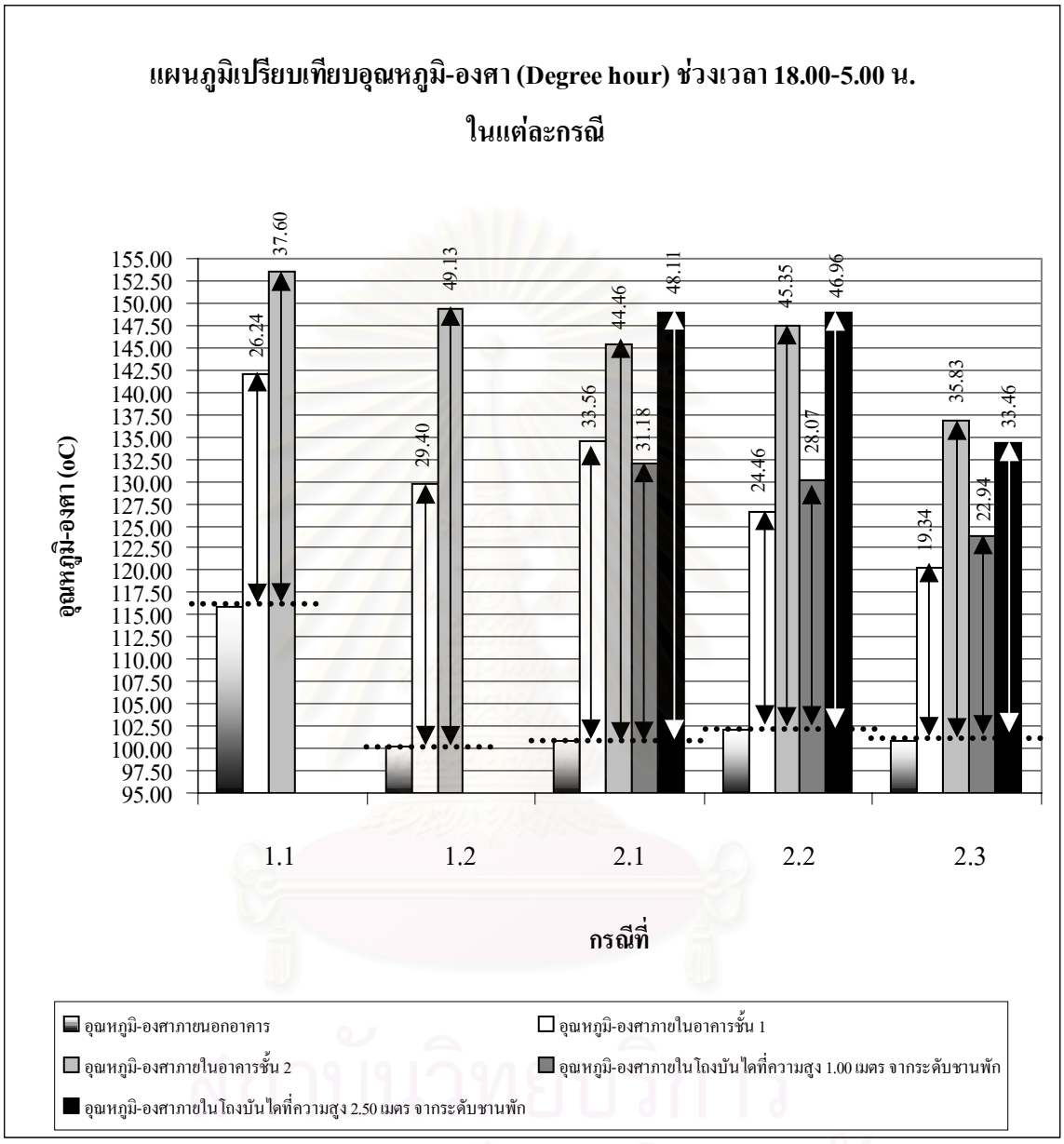
<u>กรณีที่ 2.2</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.3</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตรในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) จะมีค่าสูงที่สุด ส่วนในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) และกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าใกล้เคียงกัน อันเนื่องจากได้รับผลกระทบจากแรงลมภายนอก และอิทธิพลของปล่องระบายอากาศในการช่วยลดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 18.00-5.00 น.



กรณีที่ 1.1 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.2 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

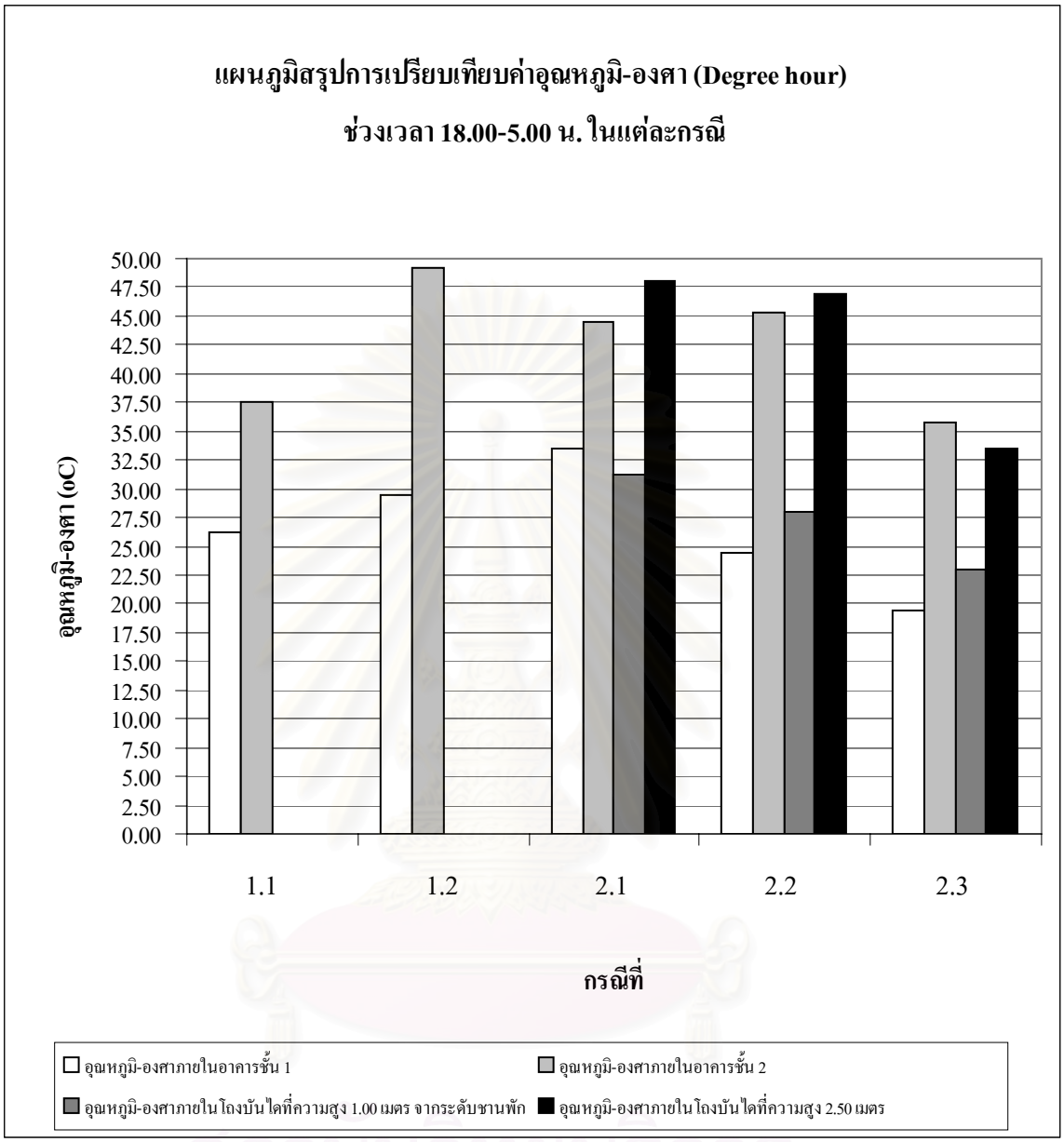
กรณีที่ 2.1 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.2 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

แผนภูมิที่ 4.10

การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 18.00-5.00 น.



กรณีที่ 1.1 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.2 คือ ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.1 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.2 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ เปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

แผนภูมิที่ 4.11

สรุปการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ช่วงเวลา 18.00-5.00 น.

4.2.3.1 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 1 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 1 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

กรณีที่ 2.1 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 1.2 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 1.1 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.2 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.3 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่า ในช่วงเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ไม่ว่าจะเป็นในกรณีใดก็ตาม เนื่องจากความร้อนที่สะสมในช่วงเวลากลางวัน โดยในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าต่ำสุดเนื่องจาก การได้รับอิทธิพลจากลมภายนอก และปล่องระบายอากาศมาช่วยในการลดอุณหภูมิ

4.2.3.2 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ระดับความสูง 1.00 เมตร จากพื้น

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในอาคารชั้น 2 กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

กรณีที่ 1.2 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.2 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 2.1 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

กรณีที่ 1.1 ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด

กรณีที่ 2.3 มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลากลางคืน (18.00-5.00 น.) อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น

1 ซึ่งเกิดจากความร้อนที่สะสมในช่วงเวลากลางวัน นอกจากนี้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 โดยในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศและเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าต่ำสุดเนื่องจาก การได้รับอิทธิพลจากลมภายนอก และปล่องระบายอากาศมาช่วยในการลดอุณหภูมิ

4.2.3.3 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพัก

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตร จากระดับชานพักกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

<u>กรณีที่ 2.1</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.2</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.3</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.00 เมตรในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได), 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได), และ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศและเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 โดยที่อุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 โดยจะสูงกว่าเล็กน้อย

4.2.3.4 อุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตร จากระดับชานพัก

เมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิ-องศา (Degree hour) ของอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 3.50 เมตร จากระดับชานพักกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในแต่ละกรณีแล้วจะสามารถเรียงลำดับอุณหภูมิจากมากไปน้อยได้ดังนี้

<u>กรณีที่ 2.1</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.2</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได

<u>กรณีที่ 2.3</u> มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด

จากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 2.50 เมตรในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) และ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด) จะมีค่าต่ำสุด อันเนื่องจากได้รับผลกระทบจากแรงลมภายนอก ประกอบกับการได้รับอิทธิพลของปล่องระบายอากาศในการช่วยลดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2

4.3 สรุปผลการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายในอาคารพักอาศัยกรณีศึกษา

ผลสรุปจากการทดลองพบว่า เมื่อพิจารณาในเรื่องของอุณหภูมิจะดีที่สุดเมื่อมีการเปิดหน้าต่างทั้งหมด หรือเป็นการรวมกันทั้งการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด และแบบปล่องระบายอากาศ (กรณีที่ 2.3) และเมื่อพิจารณาเฉพาะกรณีที่ 2 คือ มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ จะพบว่าการที่มีหน้าต่างลมเข้า จะส่งผลในเรื่องของอุณหภูมิภายในอาคารดีกว่ามีเพียงหน้าต่างลมออกอย่างเดียว นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลของปล่องระบายอากาศที่มีทั้งหน้าต่างลมเข้า และหน้าต่างลมออก กับการปิดหน้าต่างทั้งหมด (กรณีที่ 1.1) จะช่วยทำให้อุณหภูมิอากาศชั้น 1 ดีขึ้น ยกเว้นอุณหภูมิอากาศชั้น 2 ที่จะสูงกว่าการปิดหน้าต่างทั้งหมดเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งหน้าต่างลมออกของบ้านหลังนี้อยู่ในระดับที่เป็นพื้นที่ใช้งานของชั้น 2 ทำให้ได้รับผลของความร้อนบริเวณหลังคา ที่แผ่เข้ามาทางหน้าต่างลมออก

อย่างไรก็ตาม ผลของปล่องระบายอากาศในบ้านหลังนี้ยังไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้เนื่องจาก ในเบื้องต้นการออกแบบบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาที่นำมาทดลองนี้ ไม่ได้นำแนวความคิดของการลดอุณหภูมิภายในอาคารผ่านทางปล่องระบายอากาศมาใช้ ดังจะเห็นได้จากการที่อุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออกนั้นไม่แตกต่างจากอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากนัก หรือระดับความสูงระหว่างหน้าต่างลมเข้า และหน้าต่างลมออกที่ค่อนข้างน้อย ส่งผลให้ประสิทธิผลในการช่วยลดอุณหภูมิผ่านทางปล่องระบายอากาศที่เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย ดังนั้น หากมีการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบปล่องระบายอากาศ เช่น ความสูงของปล่องระบายอากาศ, ขนาดพื้นที่ช่องเปิดลมเข้า และลมออก ตลอดจนการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate) ก็จะสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิผลของปล่องระบายอากาศได้มากยิ่งขึ้น

4.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพ (Simulation)

4.4.1 การทดสอบอุณหภูมิ และระดับความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics) ตลอดจนการคำนวณอัตราการระบายอากาศ ผ่านสมการทางคณิตศาสตร์

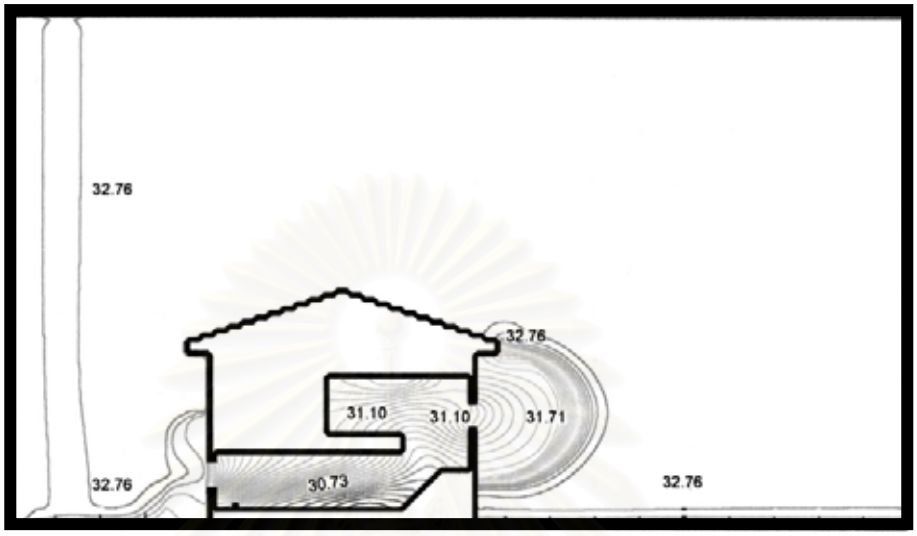
เนื่องจากขั้นตอนในการออกแบบปล่องระบายอากาศจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics) เป็นเครื่องมือในการศึกษาถึงพฤติกรรมของอุณหภูมิ และกระแสลมภายในอาคาร ตลอดจนบริเวณปากปล่องระบายอากาศ ดังนั้น จึงต้องนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับผลวัดได้จากสถานที่จริง และปรับให้มีค่าใกล้เคียงกันก่อนที่จะนำเครื่องมือนี้ไปใช้ในการออกแบบต่อไป นอกจากนี้ ยังได้มีการใช้สมการคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือช่วยในการศึกษาอัตราการระบายอากาศ เนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ

4.4.1.1 การจำลองสภาพ (Simulation) อุณหภูมิ และความเร็วลมภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics)

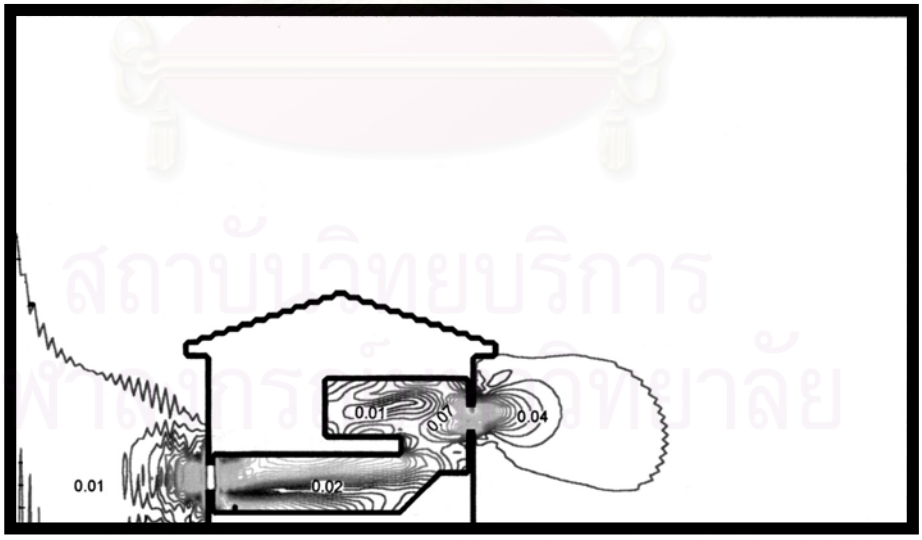
การจำลองสภาพ (Simulation) ได้นำเอาอาคารกรณีศึกษาในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้า ที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) ซึ่งเป็นกรณีที่มีสภาพตรงกับหลักการของการออกแบบปล่องระบายอากาศ และไม่ได้รับผลกระทบจากแรงลมภายนอก มาทำการจำลองสภาพ (Simulation) โดยช่วงเวลาที่เลือกมาทำการศึกษา คือ เวลา 13.00 น. เพื่อดูผลในเรื่องของอุณหภูมิภายในอาคาร และความเร็วลมที่เกิดขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัด ณ สถานที่จริง เพื่อปรับค่าให้ใกล้เคียงกัน แล้วจึงนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการออกแบบปล่องระบายอากาศต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **การจำลองสภาพอุณหภูมิ และความเร็วลมภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา เวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ ขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง**



รูปที่ 4.1
อุณหภูมิอากาศ (°C) ภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา เวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศของ ขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.2
ความเร็วลม (m/s) ภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา เวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ ขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

- **การคำนวณระดับความเร็วลมภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา เวลา 13.00 น. ที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศ ขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง**

การคำนวณระดับความเร็วลมที่เกิดจากปล่องระบายอากาศภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาด้วยสมการคณิตศาสตร์ ทำเพื่อเป็นการตรวจสอบระดับความเร็วลมที่ได้จากการประมวลผลผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกครั้งหนึ่ง

$$VE_r = \frac{9.4\,(A_o)\sqrt{(T_{sa} - T_o)\,h}}{A_r}$$

$$= \frac{9.4\,(16.67)\sqrt{(107.67-90.68)(8.67)}}{1{,}108.22}$$

= 1.76 ฟุตต่อนาที หรือ

= 0.01 เมตรต่อวินาที

หมายเหตุ: $T_{sa} = T_{oa} + (\alpha/h_o \times I_H) - (\varepsilon \triangle R/h_o)$

$= 90.68 + [0.15 \times (113.26)] - (0)$

$= 90.68 + 16.99$

= 107.67 องศาฟาเรนไฮต์

4.4.1.2 การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศ ที่เกิดขึ้นภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา เวลา 13.00 น. ที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ ขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

นำอาคารกรณีศึกษาในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้า (ด้านอับลม) ที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได) มาคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้น เนื่องจากการระบายอากาศ ณ สภาพปัจจุบัน ที่ยังไม่มีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ ผ่านทางสมการทางคณิตศาสตร์

- **การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศภายในบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา เวลา 13.00 น. ที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ ขณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{\frac{2(g)(\triangle H_{NPL})(T_o-T_i)}{T_o}}$$

$$Q = (0.41)(1.53)\sqrt{\frac{2(9.87)(2.60)(305.76-304.10)}{305.76}}$$

= 0.33 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 330.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 699.30 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 0.07 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045\,|\,T_i-T_o\,|$

$= 0.40+0.0045\,|\,304.10-305.76\,|$

$= 0.41$

4.4.2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัด ณ สถานที่จริง และผลที่ได้จากการจำลองสภาพ

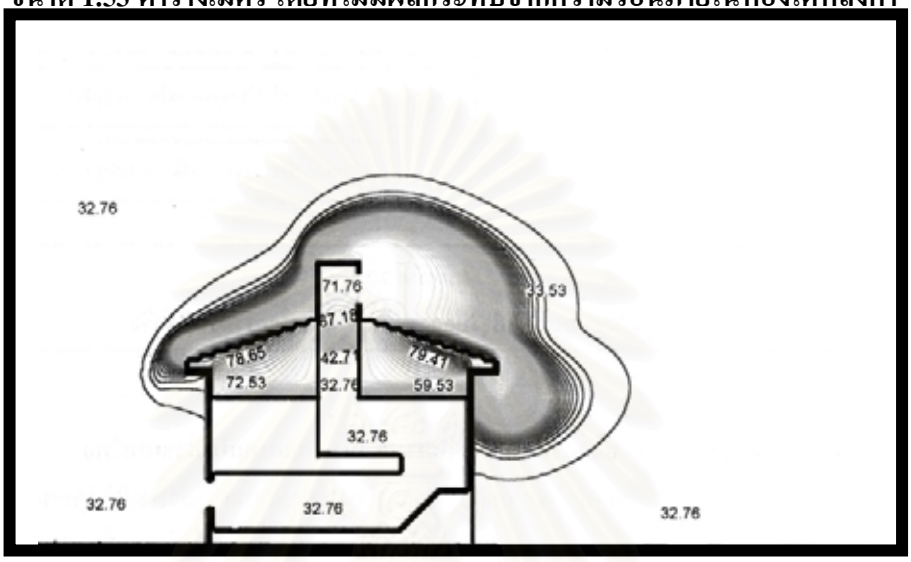
	วัด ณ สถานที่จริง	การจำลองสภาพ	สมการคณิตศาสตร์
อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (^oC)	32.76	32.76	-
อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 (^oC)	30.71	30.73	-
อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 (^oC)	31.12	31.10	-
อุณหภูมิอากาศ ณ หน้าต่างลมออก (^oC)	31.52	31.10	-
ความเร็วลม (m/s)	0.02	0.02	0.01
Air change per hour	-	-	0.07

ตารางที่ 4.6
ตารางเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัด ณ สถานที่จริง และผลที่ได้จากการจำลองสภาพ

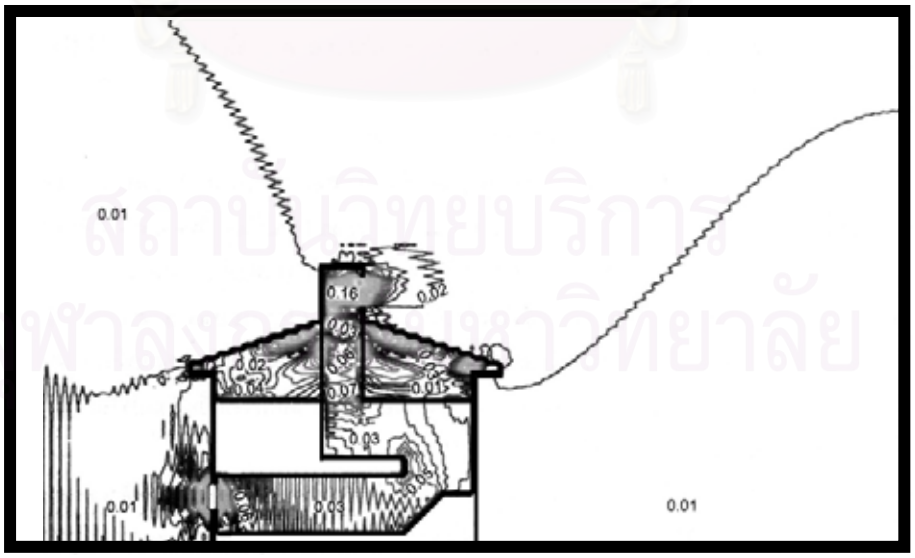
4.5 การทดสอบปล่องระบายอากาศ

4.5.1 ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.1.1 ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

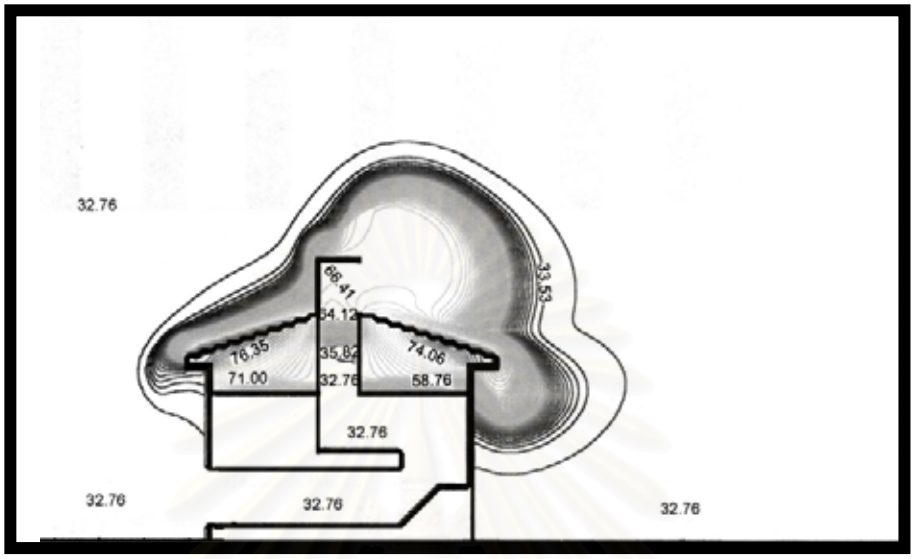


รูปที่ 4.3
อุณหภูมิอากาศ (°C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



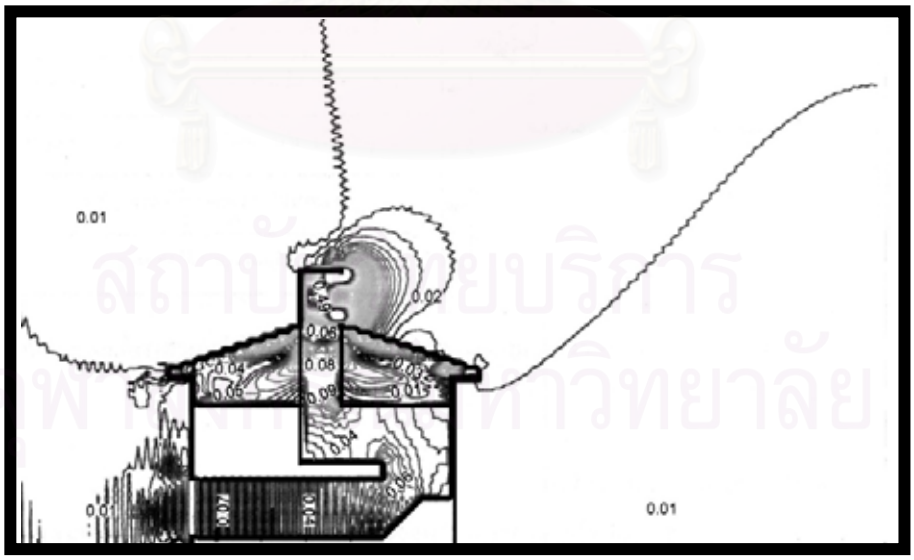
รูปที่ 4.4
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.1.2 ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.5

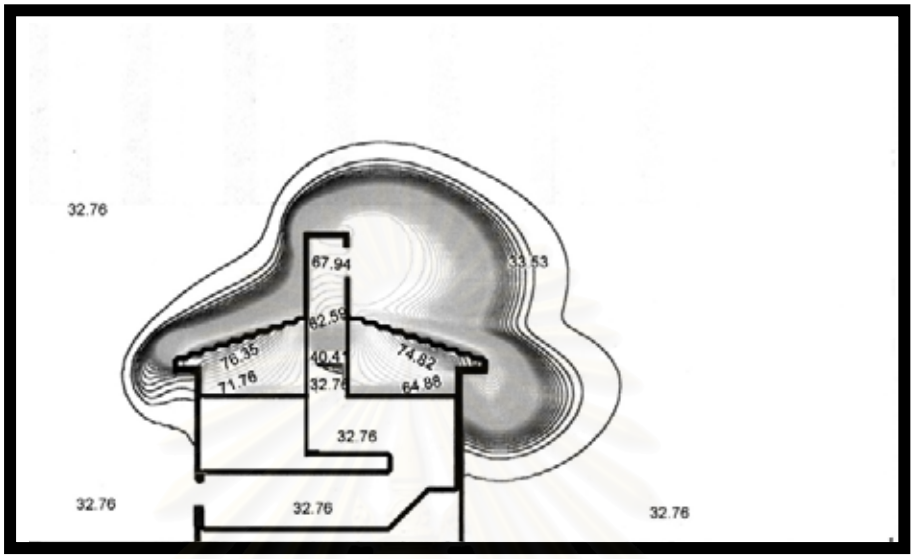
อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.6

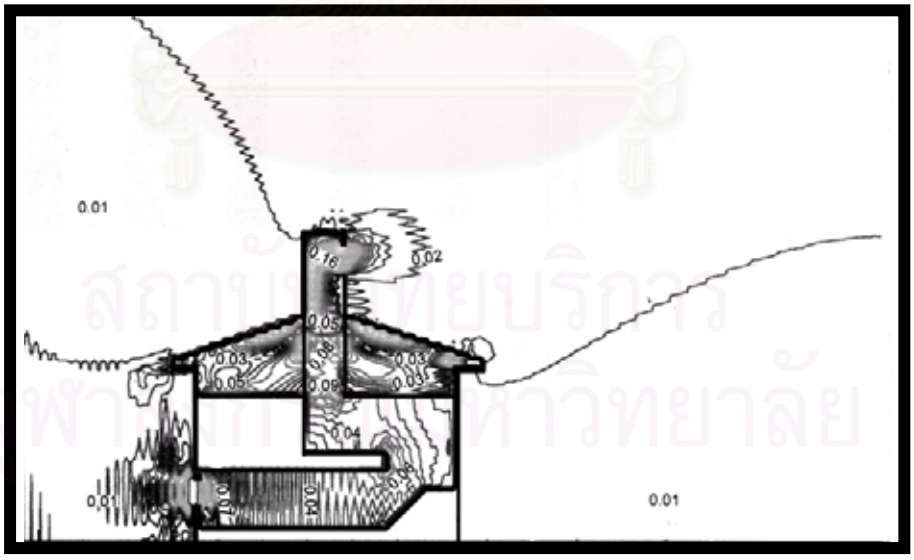
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.1.3 ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.7

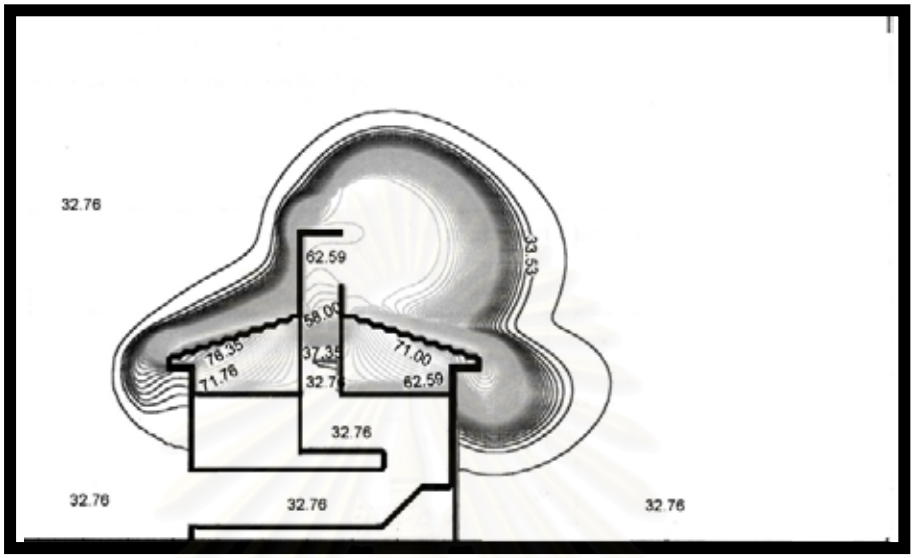
อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.8

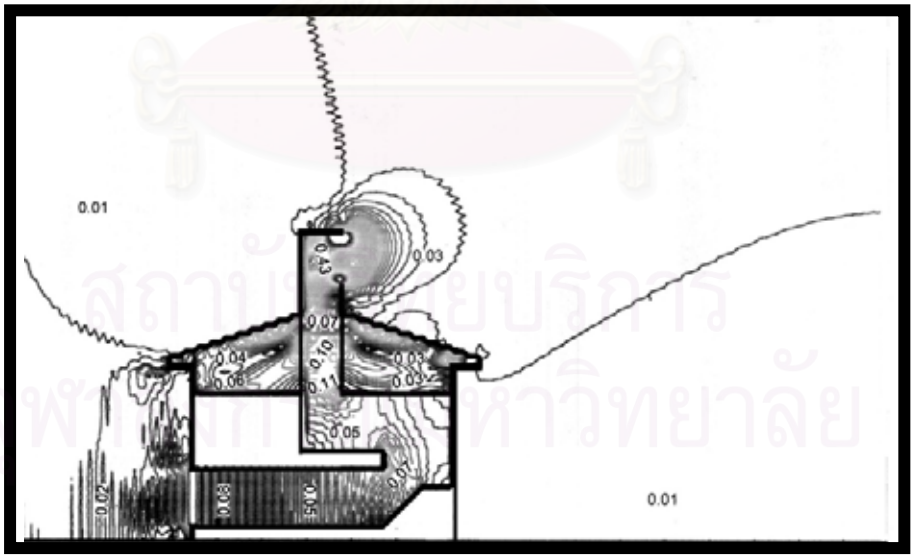
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.1.4 ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.9

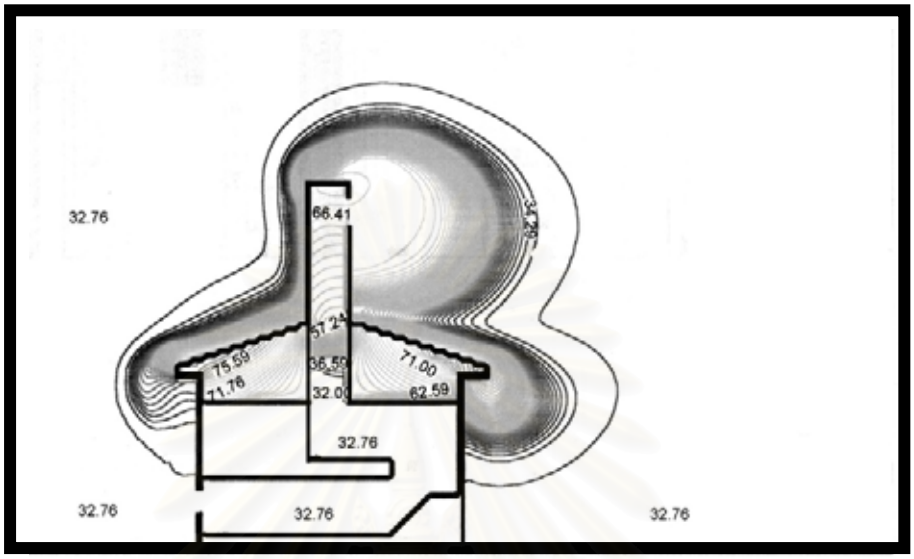
อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.10

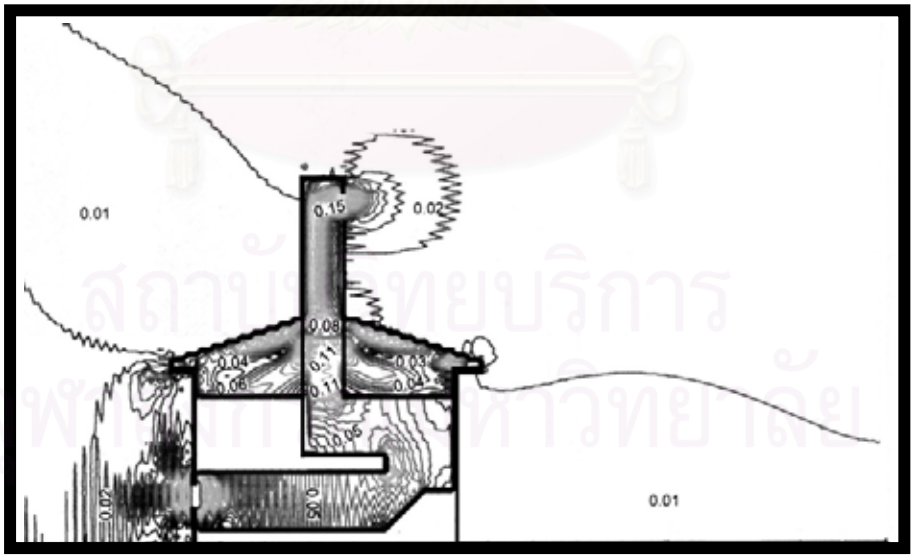
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.1.5 ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.11

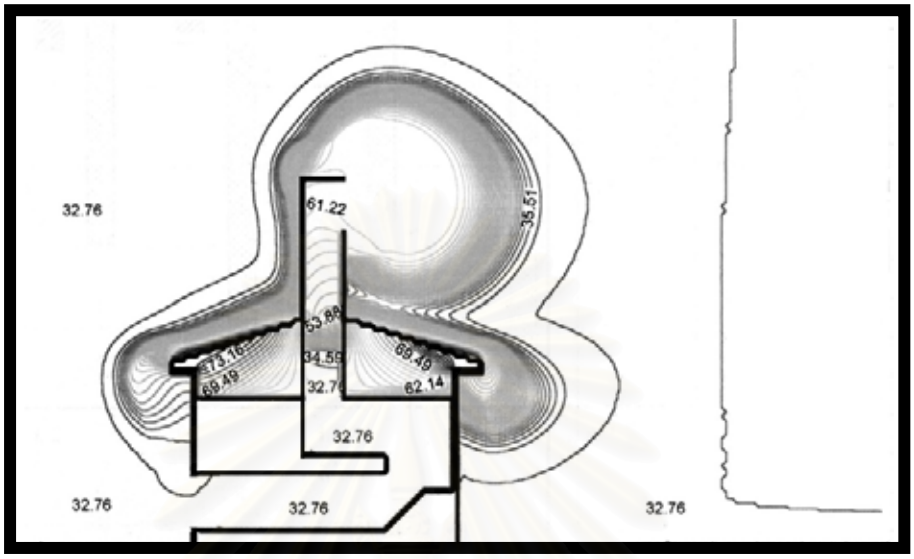
อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.12

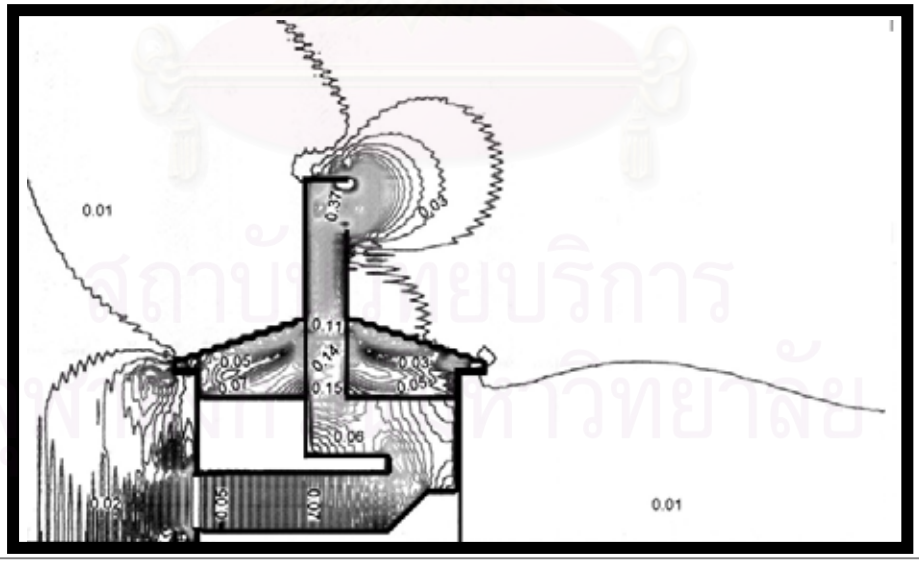
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.1.6 ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.13

อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

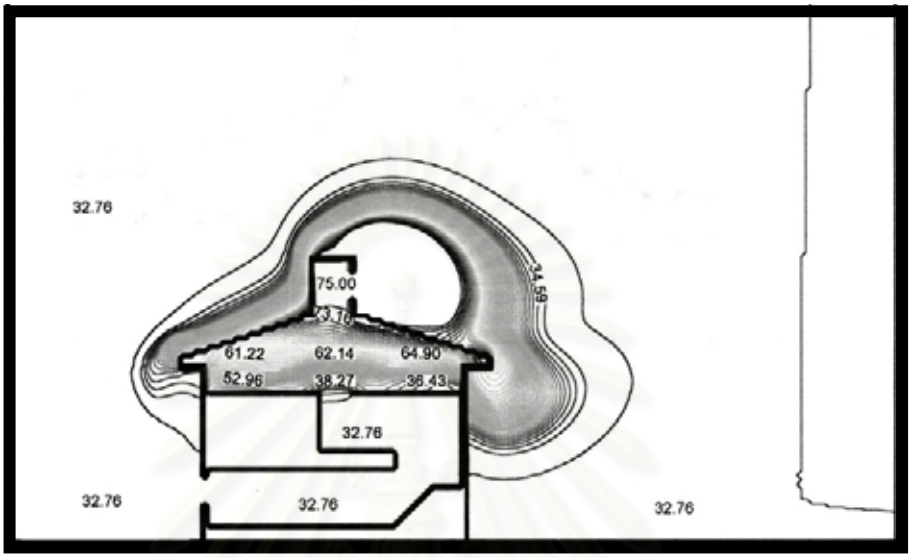


รูปที่ 4.14

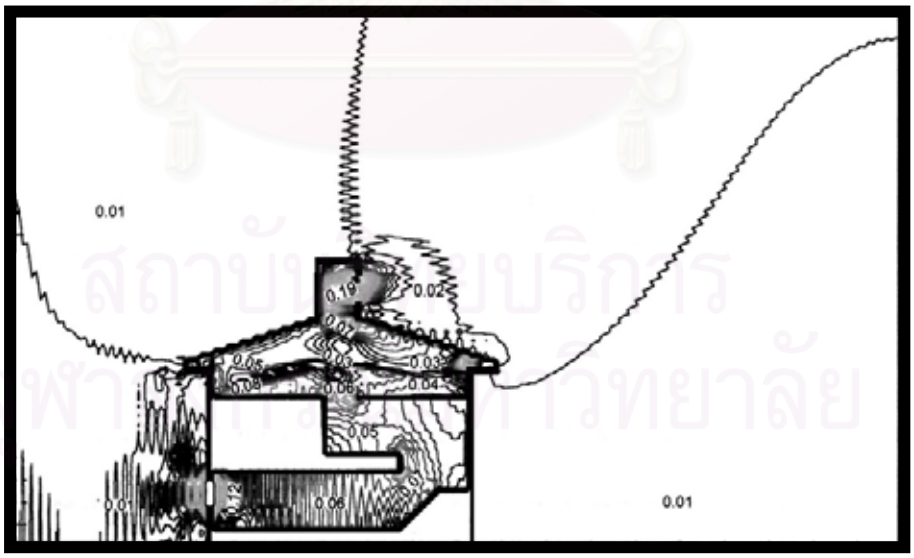
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.2 มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.2.1 ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

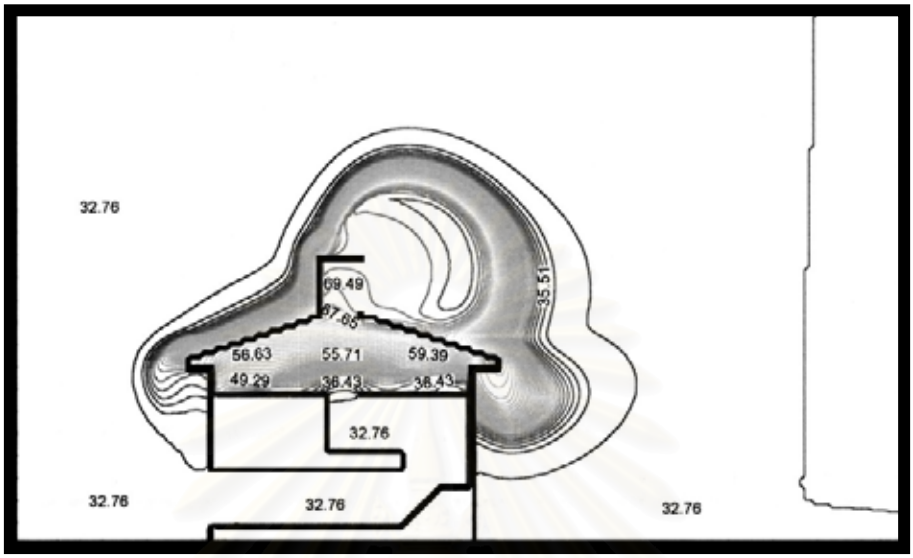


รูปที่ 4.15
อุณหภูมิอากาศ (°C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



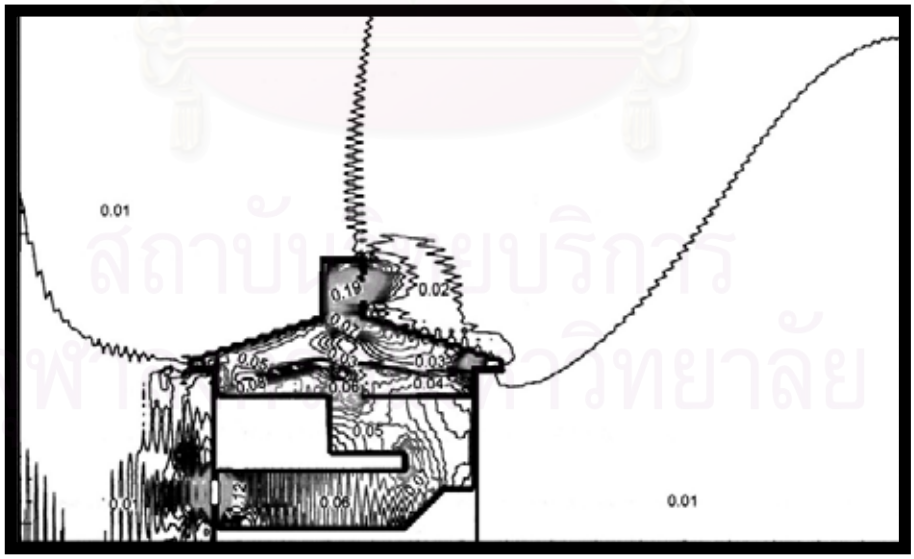
รูปที่ 4.16
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.2.2 ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.17

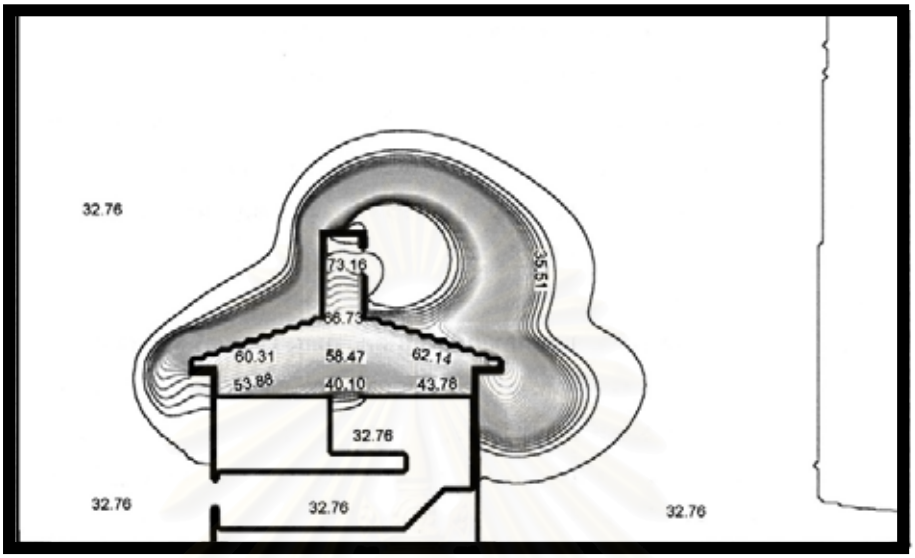
อุณหภูมิอากาศ (°C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.18

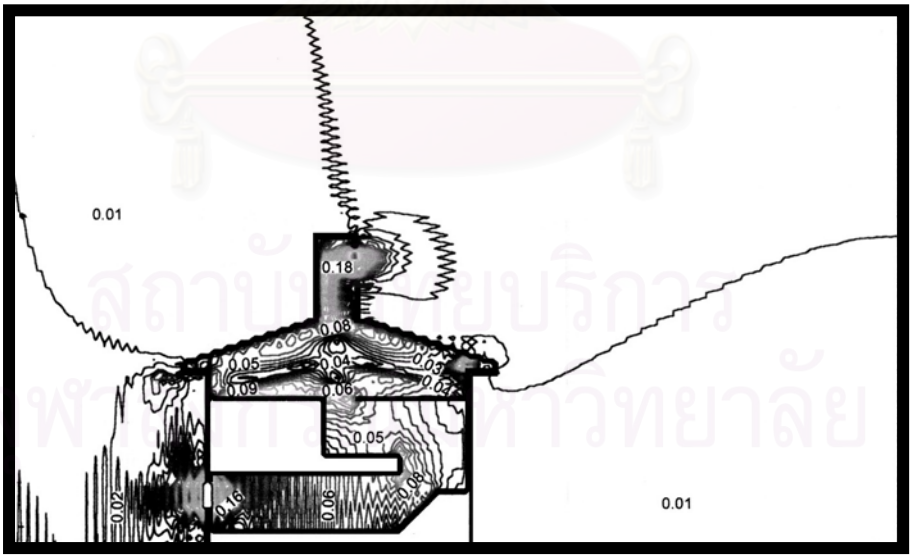
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.2.3 ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร



รูปที่ 4.19

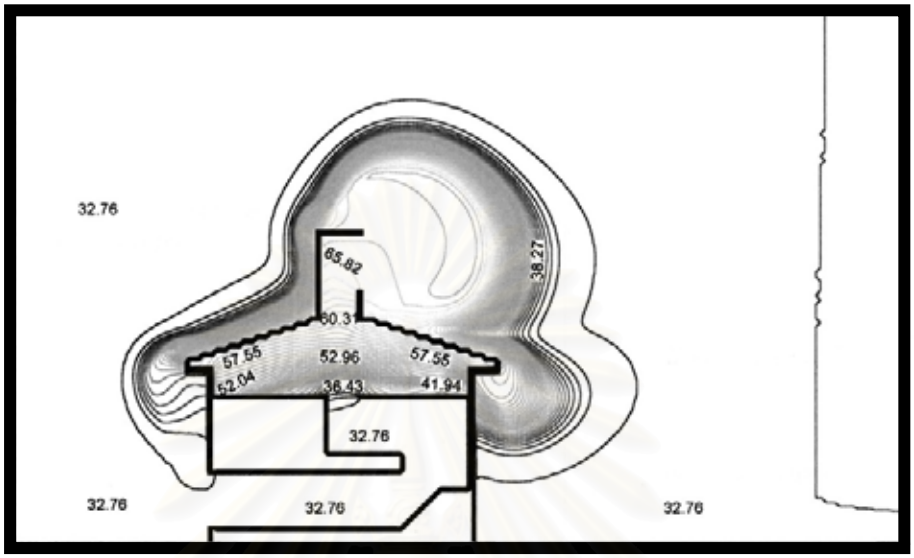
อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.20

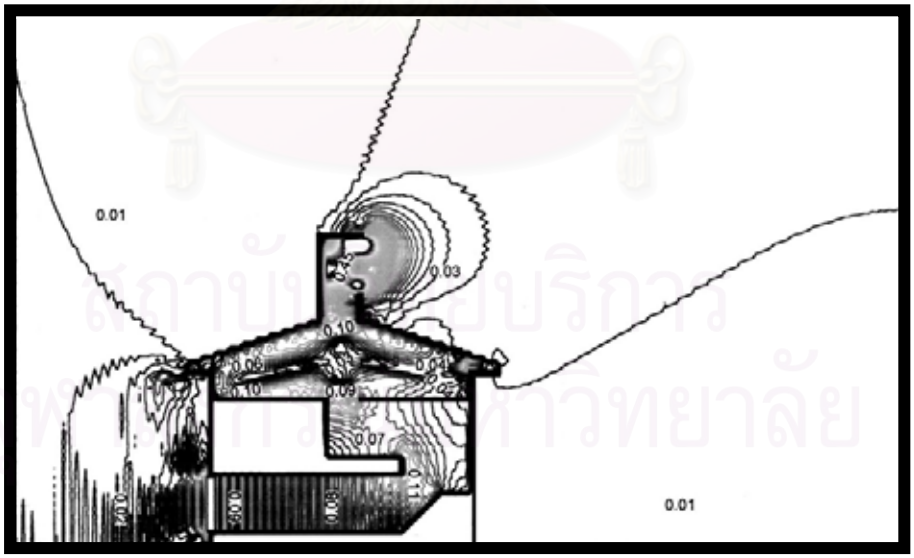
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.2.4 ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.21

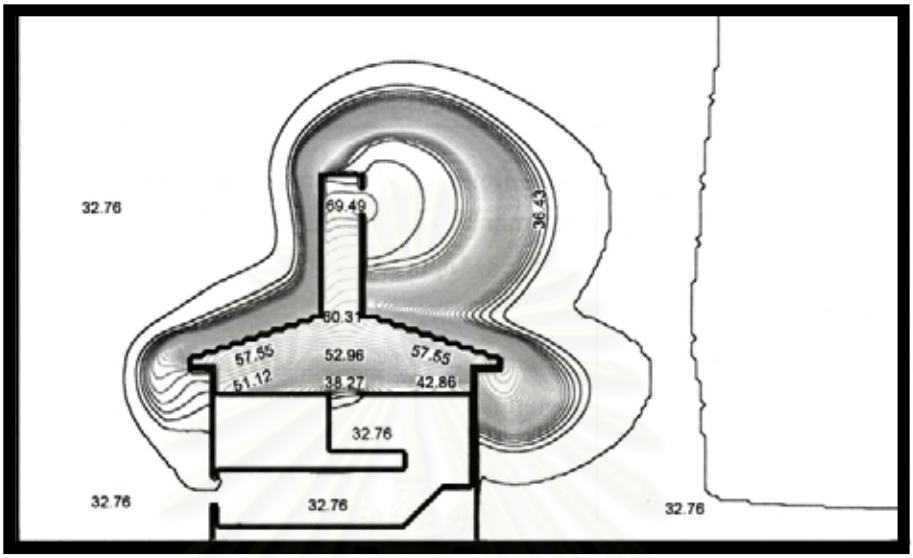
อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.22

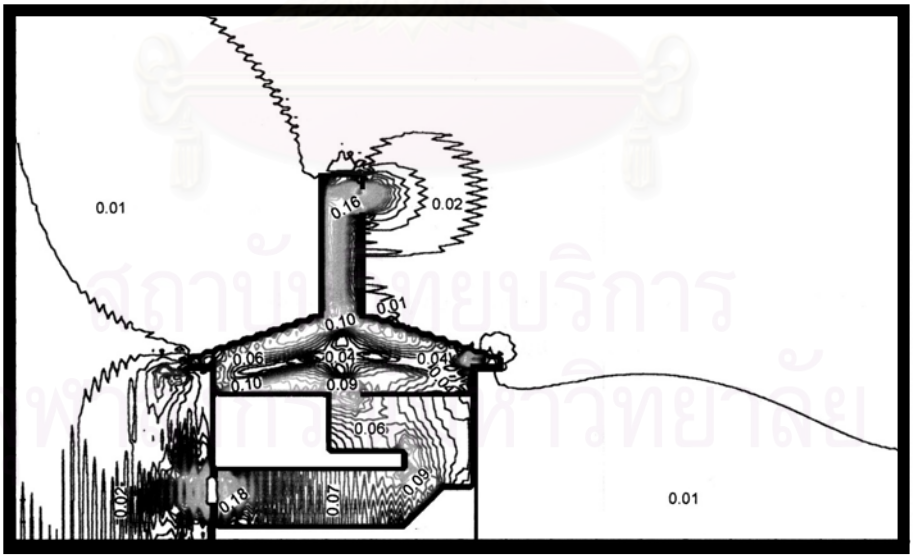
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.2.5 ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.23

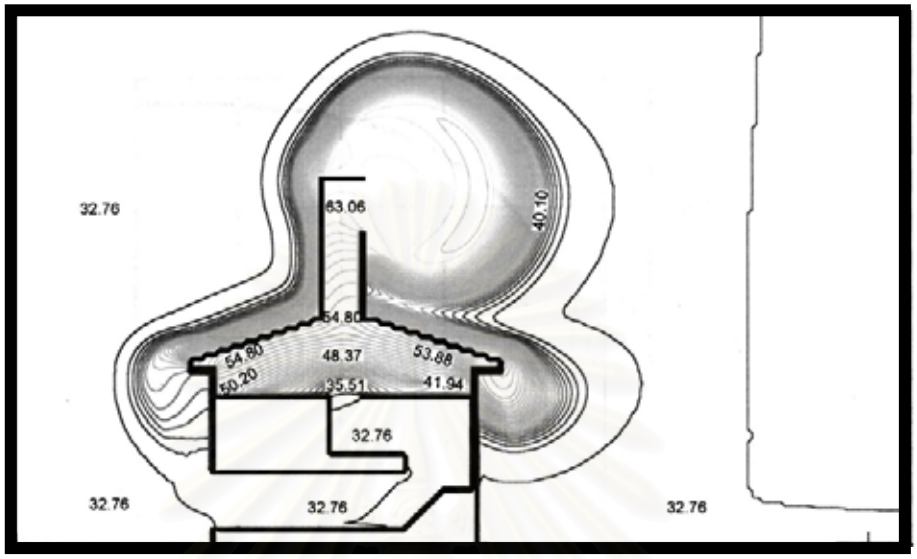
อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.24

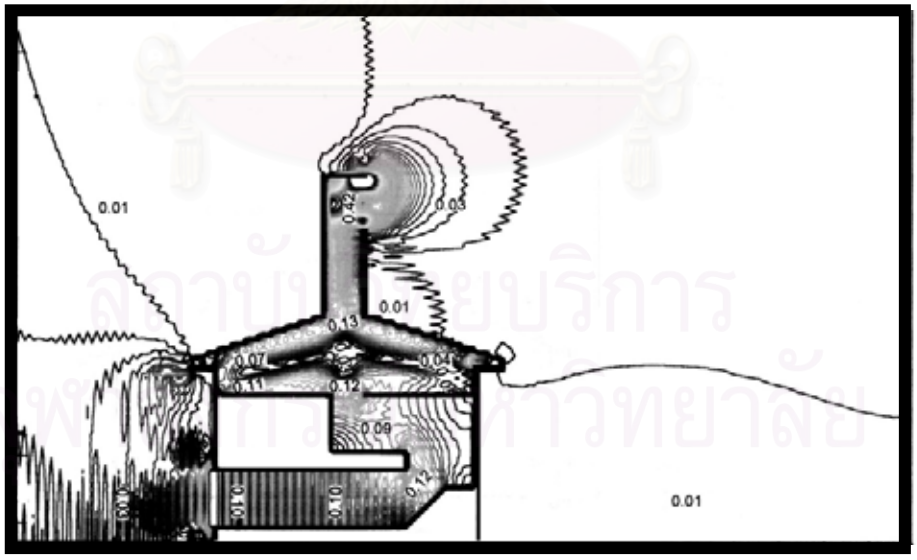
ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.5.2.6 ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.25

อุณหภูมิอากาศ (^{o}C) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา



รูปที่ 4.26

ความเร็วลม (m/s) ภายในอาคารเวลา 13.00 น. ที่เกิดขึ้นจากปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศ

จากการทดสอบประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศรูปแบบต่างๆ กัน โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD และการคำนวณผลทางสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งได้กำหนดการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นไว้ทั้งสิ้น 6 รูปแบบ ได้แก่

- ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร หรือ 3.5 เท่าของความสูงเดิม มีพื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออก 1.53 และ 3.43 ตารางเมตร
- ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร หรือ 4 เท่าของความสูงเดิม มีพื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออก 1.53 และ 3.43 ตารางเมตร
- ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร หรือ 5 เท่าของความสูงเดิม มีพื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออก 1.53 และ 3.43 ตารางเมตร

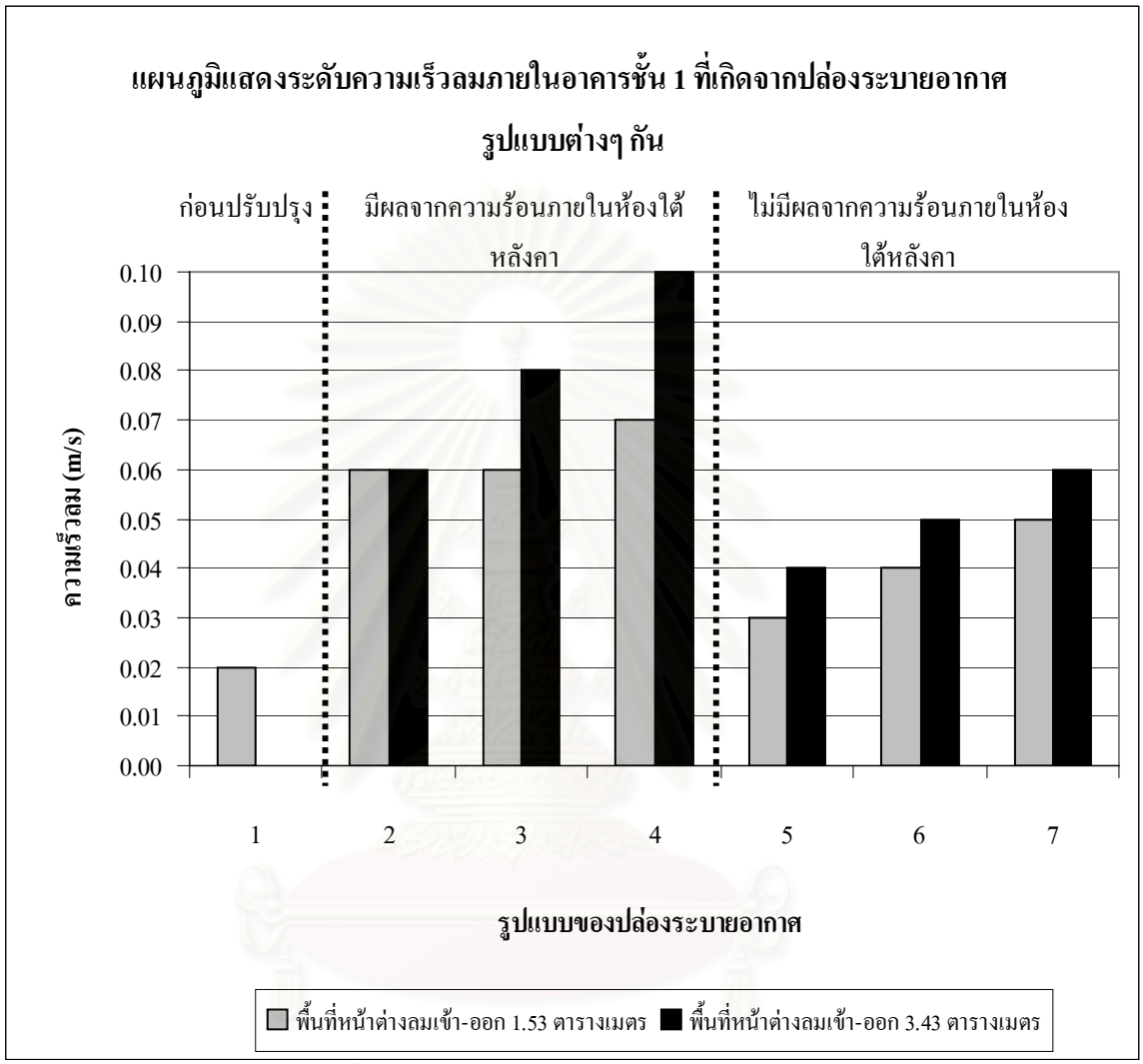
โดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ จะมุ่งไปที่การเปรียบเทียบกันของสิ่งที่เกิดขึ้นในอาคาร ดังนี้

- ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1
- ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 2
- ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก
- ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

ทั้งนี้ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำไปสู่แนวทางการตัดสินใจที่จะเลือกรูปแบบของปล่องระบายอากาศแบบใดแบบหนึ่งที่จะนำไปปรับปรุงและพัฒนาต่อไปเพื่อนำไปใช้จริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.1 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารชั้น 1 เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน



1 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 2.60 เมตร (ก่อนมีการปรับปรุง)

2 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

3 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

4 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

5 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

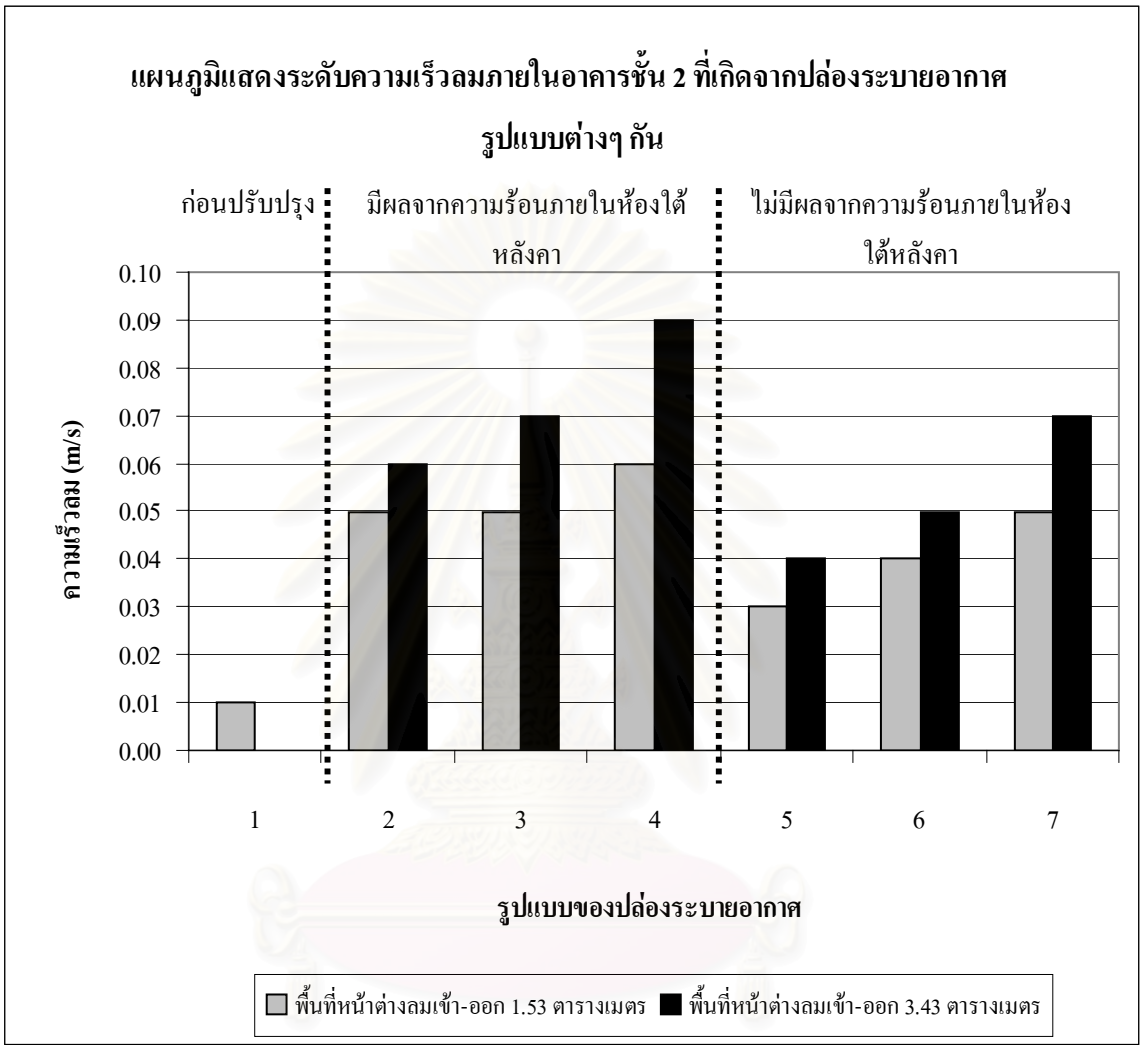
6 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

7 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

แผนภูมิที่ 4.12

การเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารชั้น 1 เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน

4.6.2 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารชั้น 2 เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน



1 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 2.60 เมตร (ก่อนมีการปรับปรุง)

2 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

3 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

4 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

5 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

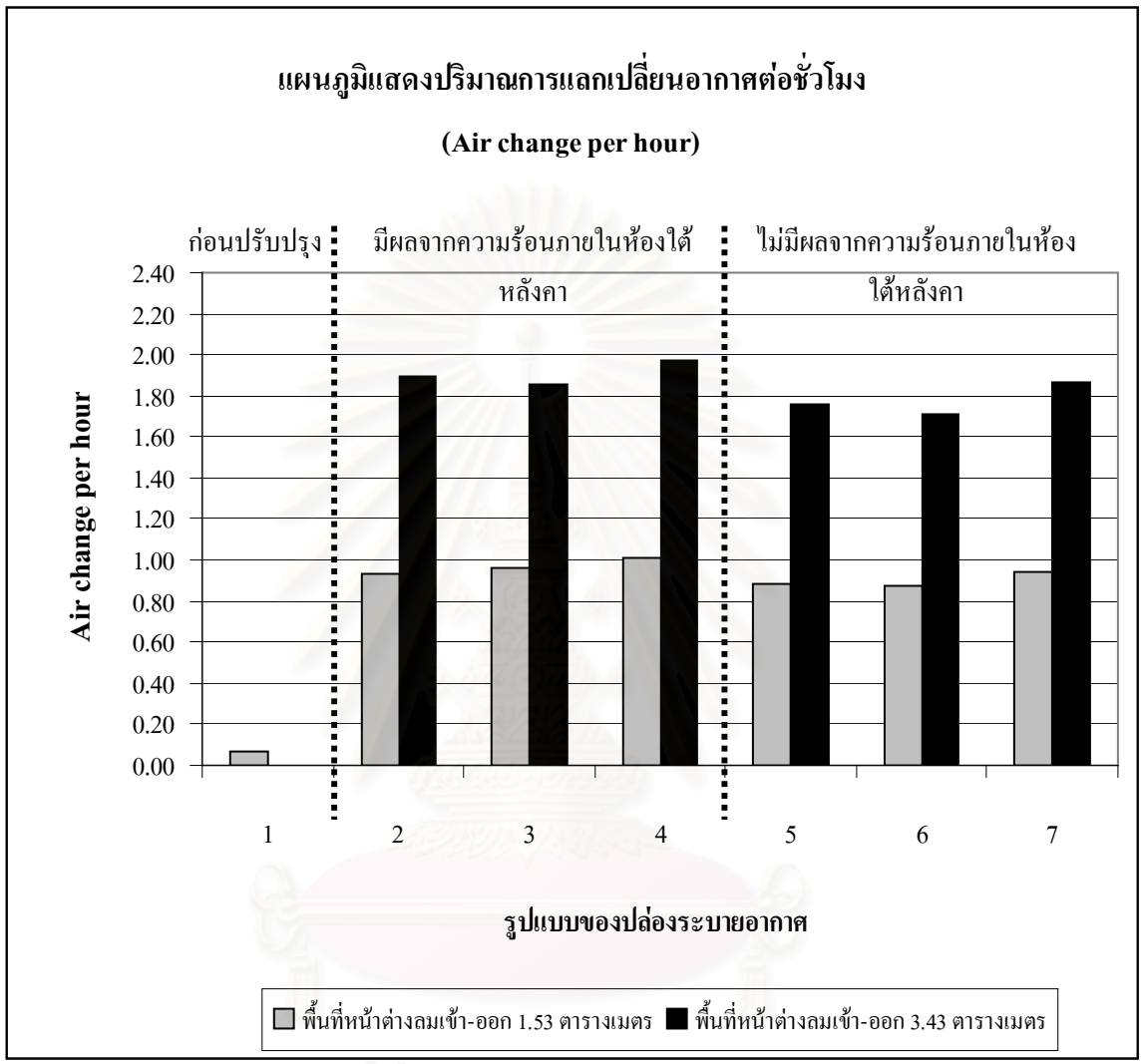
6 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

7 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

แผนภูมิที่ 4.13

การเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารชั้น 2 เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน

4.6.3 การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน



1 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 2.60 เมตร (ก่อนมีการปรับปรุง)

2 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

3 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

4 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

5 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

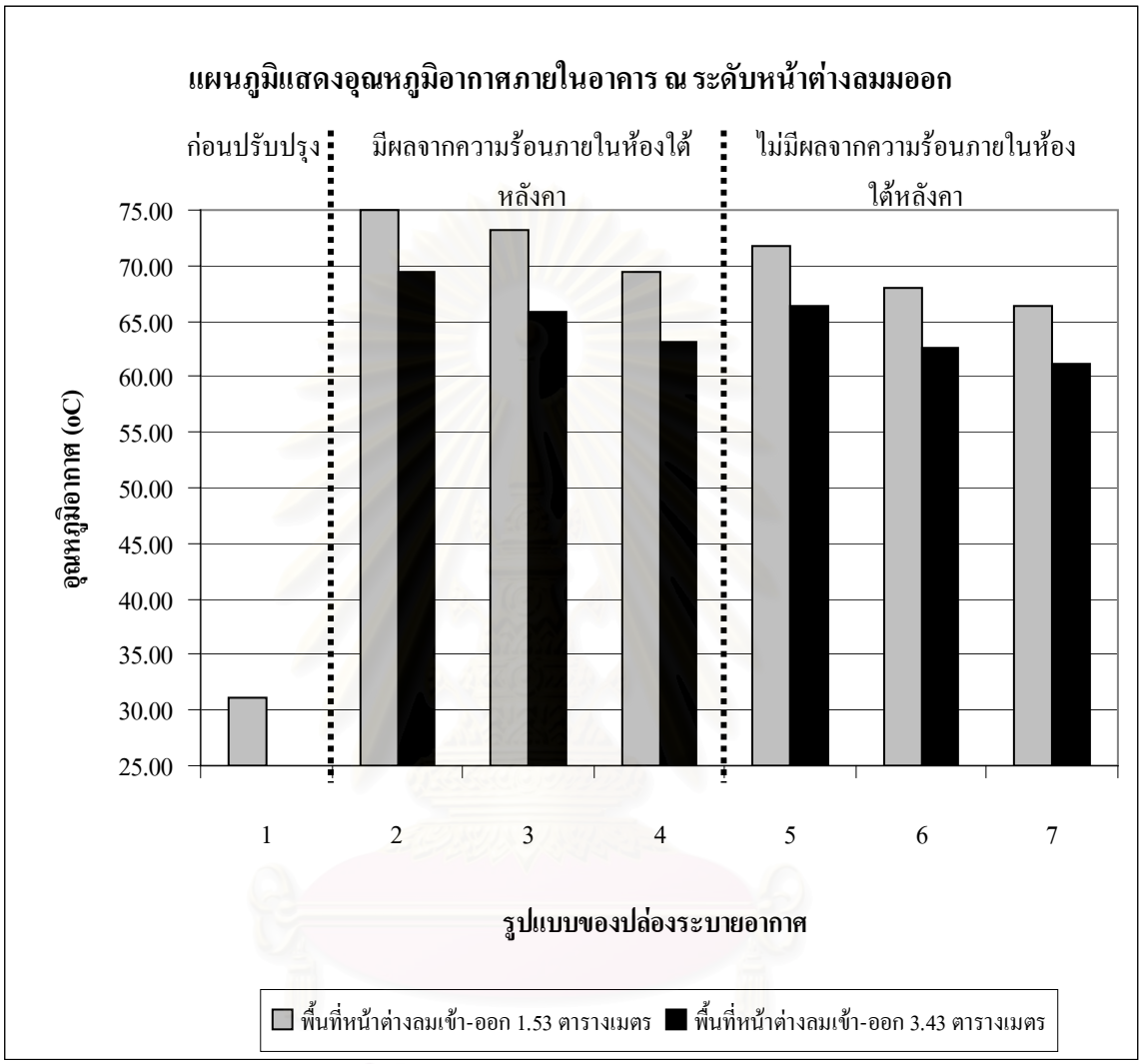
6 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

7 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

แผนภูมิที่ 4.14

การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน

4.6.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกของปล่องระบายอากาศ เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน



1 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 2.60 เมตร (ก่อนมีการปรับปรุง)

2 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

3 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

4 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

5 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

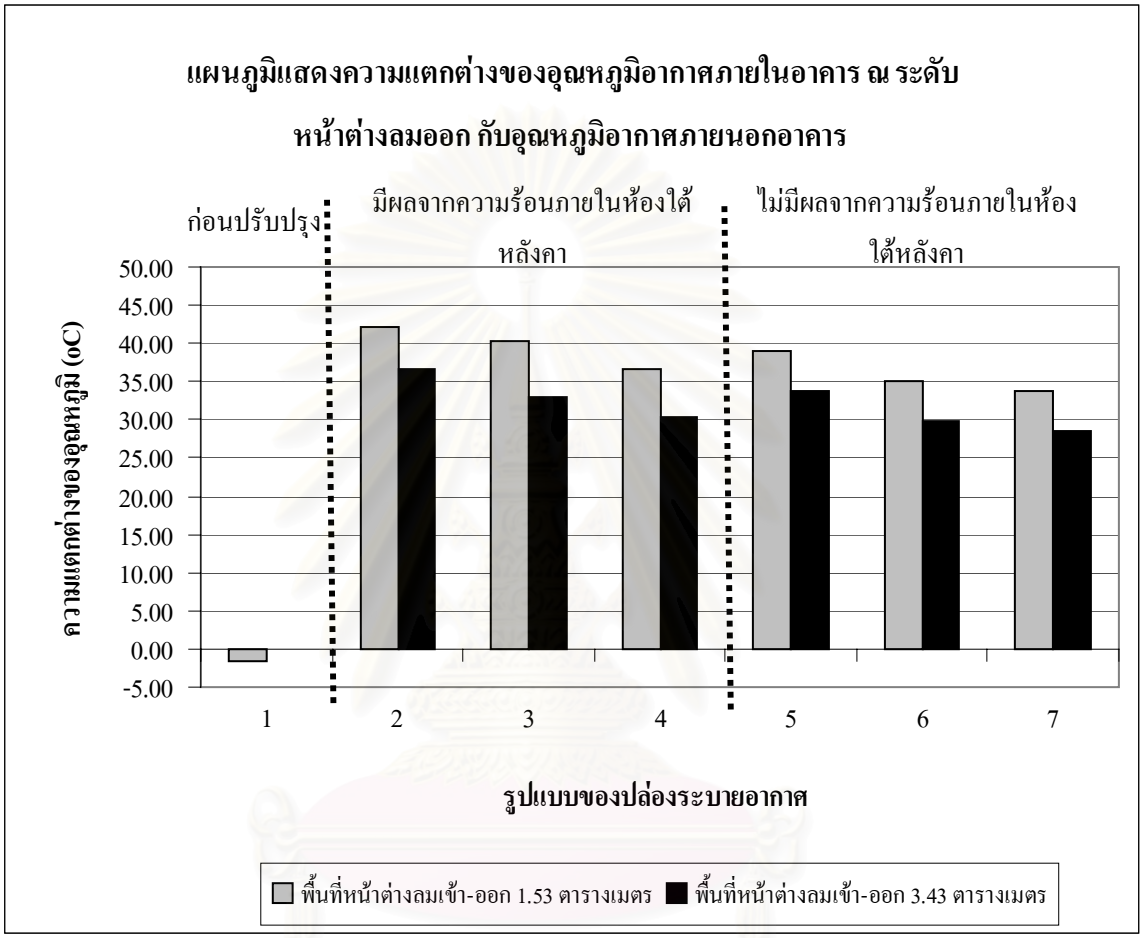
6 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

7 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

แผนภูมิที่ 4.15

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออกของปล่องระบายอากาศ เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน

4.6.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน



1 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 2.60 เมตร (ก่อนมีการปรับปรุง)

2 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

3 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

4 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

5 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (สูง 3.5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

6 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (สูง 4 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

7 คือ ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (สูง 5 เท่าของความสูงเดิม) ไม่มีผลจากความร้อนในห้องใต้หลังคา

แผนภูมิที่ 4.16

การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เวลา 13.00 น. ซึ่งเกิดจากการทดสอบปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ กัน

4.6.6 สรุปการวิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศ

4.6.6.1 ความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1

จากผลการศึกษาจะพบว่าผลจากความร้อนของห้องใต้หลังคามีผลทำให้ความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 เพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วลม ณ จุดอ้างอิง ที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศจะมีค่าแปรผันตามความสูง และขนาดช่องเปิดลมเข้า-ออกของปล่องระบายอากาศ อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่เกิดขึ้นจากการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศเพียงอย่างเดียวนี้อยู่ในปริมาณที่ความรู้สึกของมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้

4.6.6.2 ความเร็วลมภายในอาคารชั้น 2

จากผลการศึกษาจะพบว่าผลจากความร้อนของห้องใต้หลังคามีผลทำให้ความเร็วลมภายในอาคารชั้น 2 เพิ่มขึ้น โดยที่ความเร็วลม ณ จุดอ้างอิง ที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศจะมีค่าแปรผันตามความสูง และขนาดช่องเปิดลมเข้า-ออกของปล่องระบายอากาศเช่นเดียวกับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 แต่จะมีระดับความเร็วลมที่น้อยกว่า

4.6.6.3 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)

จากผลการศึกษาจะพบว่าผลจากความร้อนของห้องใต้หลังคามีผลทำให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงที่เกิดจากการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศจะมีค่าแปรผันตามความสูง และขนาดช่องเปิดลมเข้า-ออกของปล่องระบายอากาศ

4.6.6.4 อุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออกของปล่องระบายอากาศ

จากผลการศึกษาจะพบว่าผลจากความร้อนของห้องใต้หลังคามีผลทำให้อุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออกเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออกจะมีค่าแปรผกผันกับความสูงของปล่องระบายอากาศ และขนาดพื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออก กล่าวคือ ในกรณีที่ปล่องระบายอากาศมีความสูงมากขึ้น หรือมีขนาดพื้นที่หน้าต่างลมเข้า-ออกมากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออกของปล่องระบายอากาศจะลดต่ำลง นอกจากนี้ หากลักษณะของช่องเปิดมีสิ่งกีดขวางลมออกบริเวณด้านบนของช่องเปิด ก็จะทำให้อุณหภูมิบริเวณนี้สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิของช่องเปิดขนาด 1.53 ตารางเมตร กับ 3.43 ตารางเมตร

4.6.6.5 ความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

จากผลการศึกษาจะพบว่าผลจากความร้อนของห้องใต้หลังคามีผลทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารเพิ่มขึ้น โดยที่ความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารจะมีค่าแปรผกผันกับความสูงของปล่องระบายอากาศ และขนาดพื้นที่หน้าต่าง

4.6.6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายใน และภายนอกอาคาร

จากผลการศึกษาจะพบว่าก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศของบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่ได้รับผลกระทบจากปล่องระบายอากาศมากนัก แต่เมื่อพิจารณาจากผลการจำลองสภาพอุณหภูมิอากาศ เมื่อเพิ่มขนาดความสูงของปล่องระบายอากาศ จะพบว่าทำให้การเหนี่ยวนำอากาศจากภายนอกเข้ามาเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

4.7 การออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ

เนื่องจากรูปแบบของปล่องระบายอากาศที่นำมาใช้ทดสอบ ยังมีความไม่เหมาะสมบางประการที่จะนำมาใช้งานจริง ดังนั้น จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลง และปรับปรุงองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศบางอย่าง เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริง โดยได้เลือกรูปแบบของปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และมีพื้นที่หน้าต่างลมเข้า 3.43 ตารางเมตร ซึ่งมีความเหมาะสมในหลายประการ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบปล่องระบายอากาศอื่นๆ อาทิเช่น รูปแบบความสูงที่ไม่มากจนเกินไป, อัตราการระบายอากาศ และความเร็วลมที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับปล่องระบายอากาศที่ความสูง 10.40 และ 13.00 เมตร มาทำการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับบ้านพักอาศัย โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 5 รูปแบบ คือ

4.7.1 ปรับปรุงลักษณะปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า

เนื่องจากลักษณะของปากปล่องระบายอากาศที่นำมาทดสอบนั้น ยังไม่ได้คำนึงถึงเรื่องของการกันฝนที่จะสาด และการป้องกันสัตว์ที่จะเข้าสู่ภายในปล่อง ดังนั้น ในการนำไปใช้จริงจึงต้องคำนึงถึงในเรื่องนี้ด้วย ในการออกแบบจึงกำหนดให้มีมุ้งลวด หรือบานเกล็ดติดที่หน้าต่างลมออก และกำหนดให้มีชายคายื่นออกไป 1.50 เมตร เพื่อช่วยในการป้องกันฝนสาดเข้าสู่ภายในปล่อง อย่างไรก็

ตาม การยื่นชายคาออกไปนี้จะกระทำที่เพียงด้านเดียว คือ ด้านที่เป็นหน้าต่างลมออกของปล่องระบายอากาศ ส่วนอีก 3 ด้านที่เหลือจะปล่อยให้ผนังของปล่องได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่

4.7.2 ปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2

เนื่องจากลักษณะของช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 ที่นำมาทดสอบอาจจะยังไม่เหมาะสมเมื่อนำมาใช้งานจริง เนื่องจาก อาจจะมีฝุ่นละอองจากช่องใต้หลังคาลงมาสู่ในอาคาร ดังนั้น ในการใช้งานจริง จึงได้ออกแบบให้ช่องเปิดอยู่ในลักษณะแนวตั้ง และติดบานเกล็ด หรือมุ้งลวดเพื่อกรองฝุ่นที่จะลงมาในอาคาร

4.7.3 ปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน

จากการจำลองสภาพจะเห็นได้ชัดว่า ผลของปล่องระบายอากาศจะเหนี่ยวนำอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกอาคารเท่ากัน ดังนั้น หากมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน เพื่อลดอุณหภูมิอากาศรอบนอก ก็จะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารลงด้วย โดยในการศึกษานี้ ได้ยกเอาผลการวิจัย เรื่อง การวิเคราะห์ภาวะน่าสบาย และสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย (สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวณิค, 2536: 96) ในกรณีศึกษาซึ่งเป็นบ้านพักอาศัยของศาสตราจารย์ผุสดี ทิพทัส นั้น พบว่าในช่วงเวลา 13.00 น. ในขณะที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิ 32.11 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศรอบๆ บ้านจะอยู่ที่ 29.74 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าต่างกัน 2.37 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เป็นผลจากการปรับสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านด้วยการการมีบ่อน้ำ ตลอดจนมีการปลูกต้นไม้ทั้งใหญ่ และเล็ก ซึ่งเมื่อพิจารณากับบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา ซึ่งอากาศภายนอกอาคารมีอุณหภูมิ 32.76 เซลเซียส ดังนั้น หากมีการปรับสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านก็จะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายนอกลงได้โดยกำหนดให้อากาศภายนอกรอบตัวบ้านมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 30.39 องศาเซลเซียส

4.7.4 ปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว

เป็นการศึกษาเพื่อดูว่าหากอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารลดต่ำลง เช่น ในฤดูหนาวนั้น ผลของปล่องระบายอากาศจะช่วยสร้างให้เกิดสภาวะน่าสบายได้มากน้อยเพียงใด โดยสมมติให้อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร 28 องศาเซลเซียส และสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านมีอุณหภูมิ 25.63 องศาเซลเซียส

4.7.5 รวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน

การศึกษานี้เพื่อเป็นการดูว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงแล้ว ประกอบกับอุณหภูมิรอบอาคารที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพของการระบายอากาศจะเป็นเช่นไร

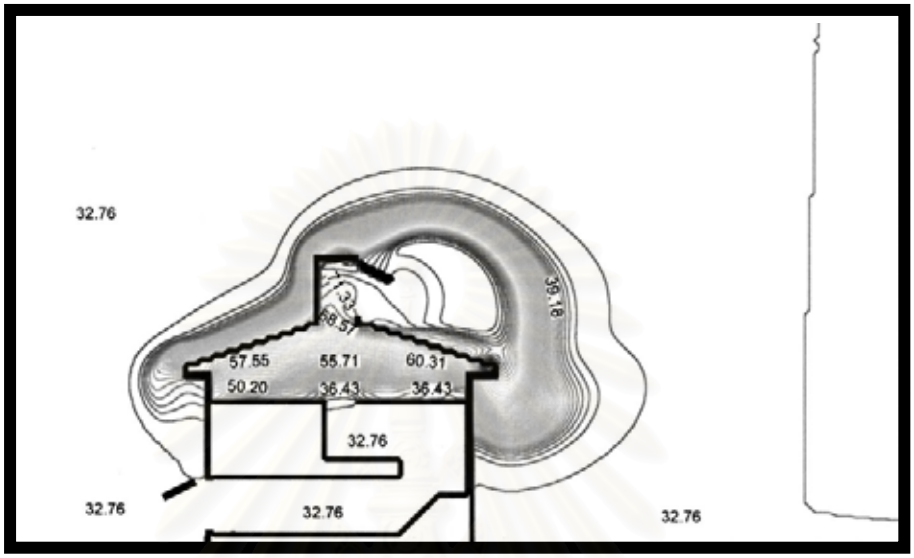
4.7.6 รวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว

การศึกษานี้เพื่อเป็นการดูว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงแล้ว ประกอบกับอุณหภูมิอากาศในฤดูหนาว และอุณหภูมิรอบอาคารที่ลดลง จะทำให้ประสิทธิภาพของการระบายอากาศจะเป็นเช่นไร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

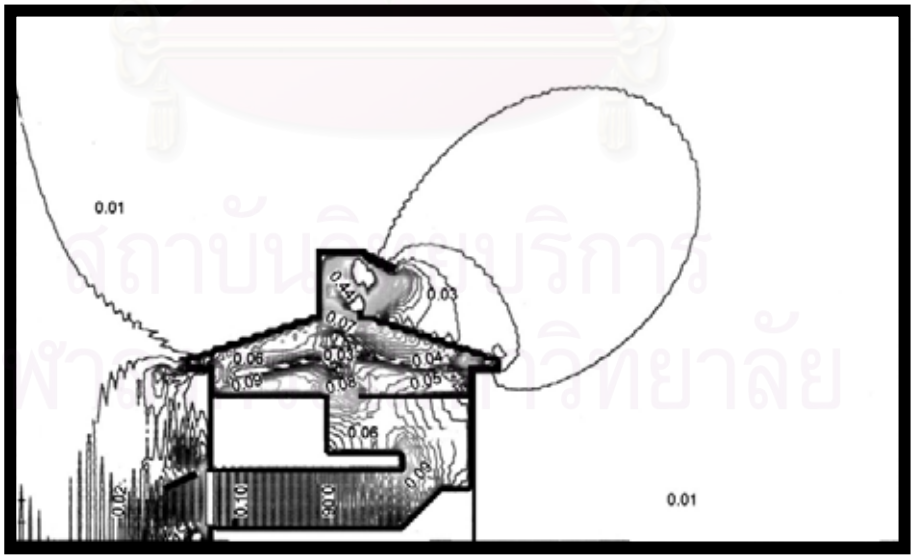
4.8 ผลการออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ

4.8.1 เมื่อมีการปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า โดยติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดและมีชายคายื่น 1.50 เมตร



รูปที่ 4.27

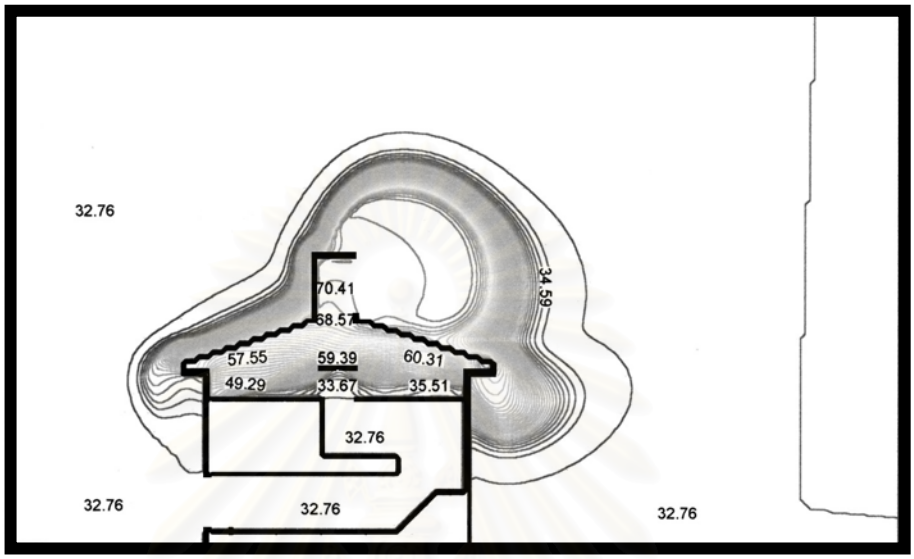
อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า



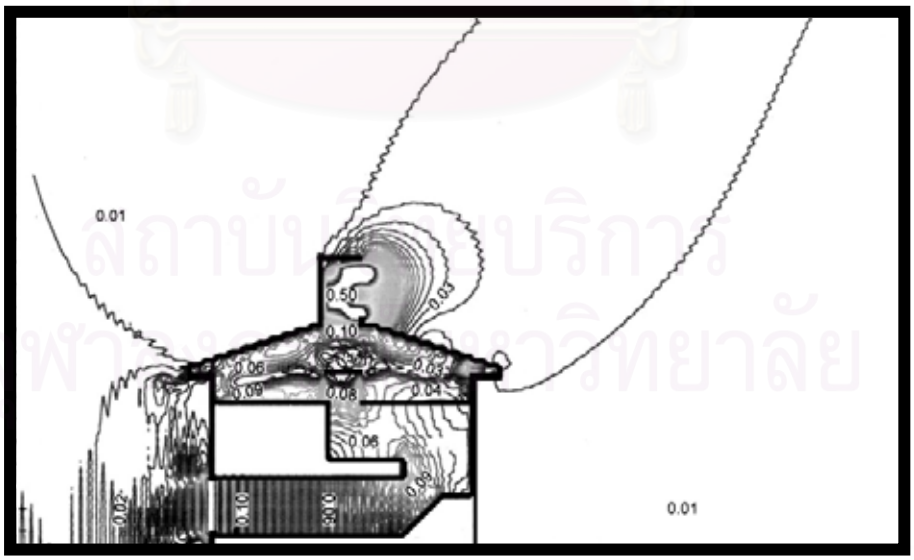
รูปที่ 4.28

ความเร็วลมภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า

4.8.2 เมื่อมีการปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 โดยติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดบริเวณช่องลมเข้า

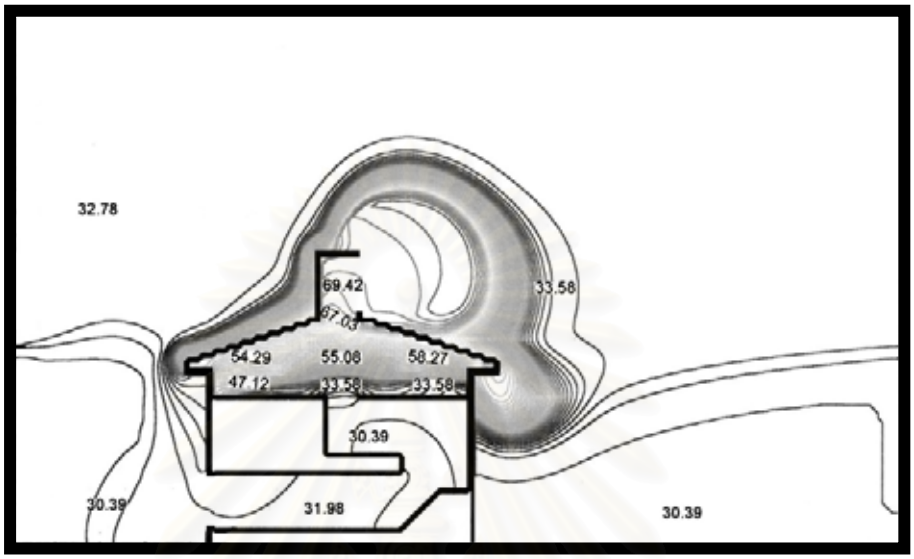


รูปที่ 4.29
อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2



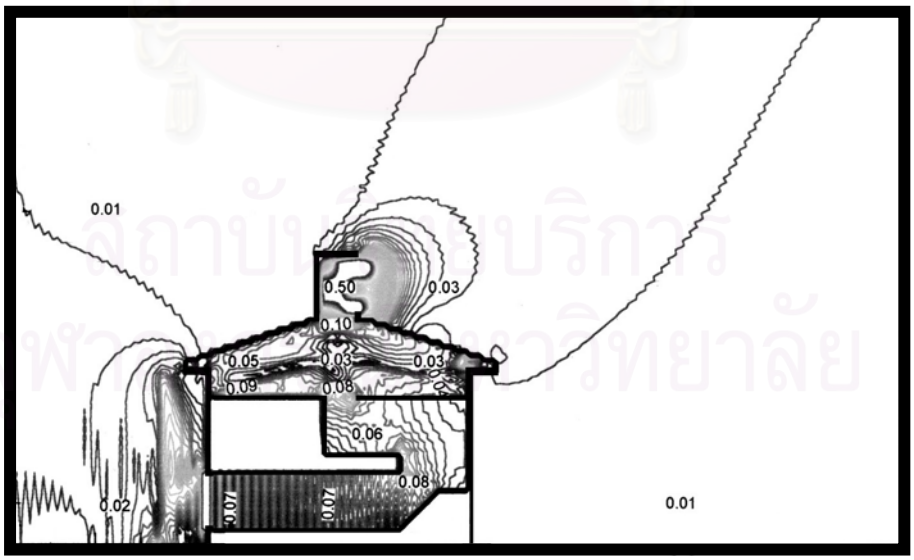
รูปที่ 4.30
ความเร็วลมภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2

4.8.3 เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.31

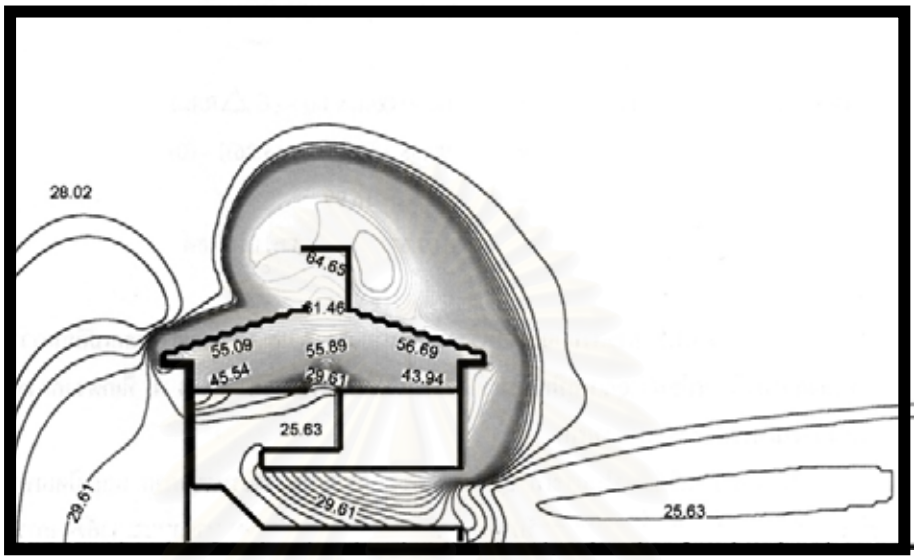
อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 4.32

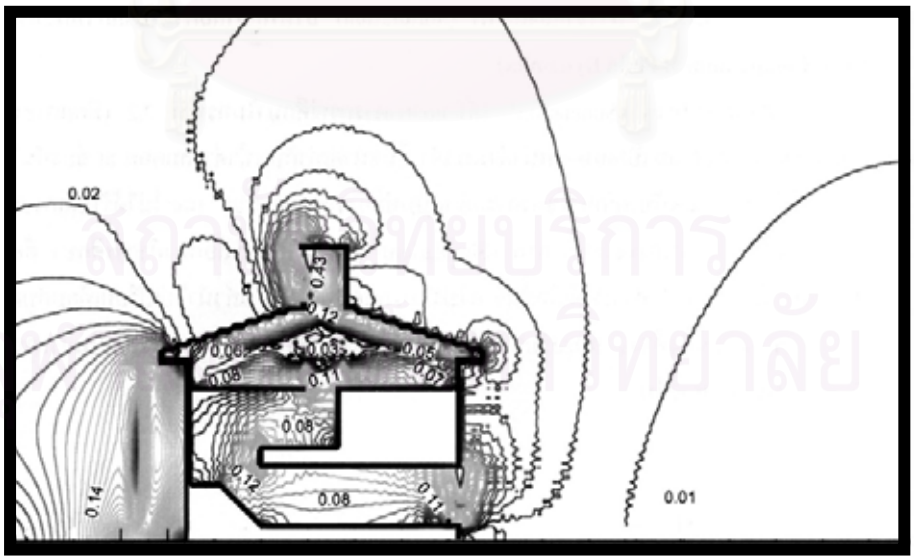
ความเร็วลมภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูร้อน

4.8.4 เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.33

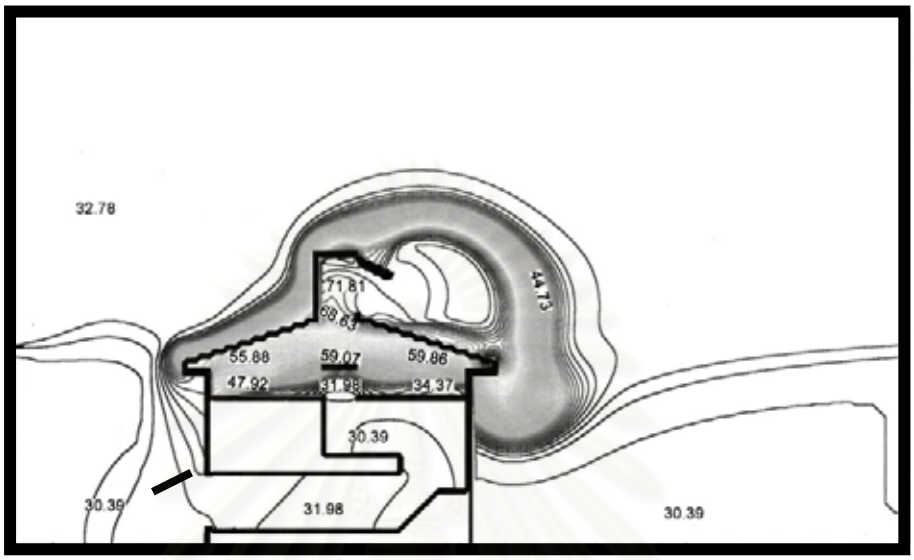
อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูหนาว



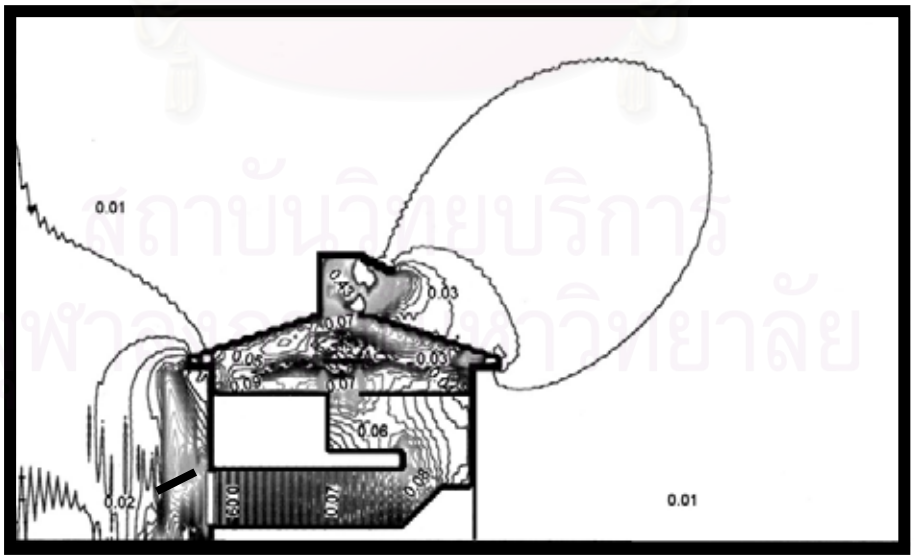
รูปที่ 4.34

ความเร็วลมภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านในช่วงฤดูหนาว

4.8.5 เมื่อรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน

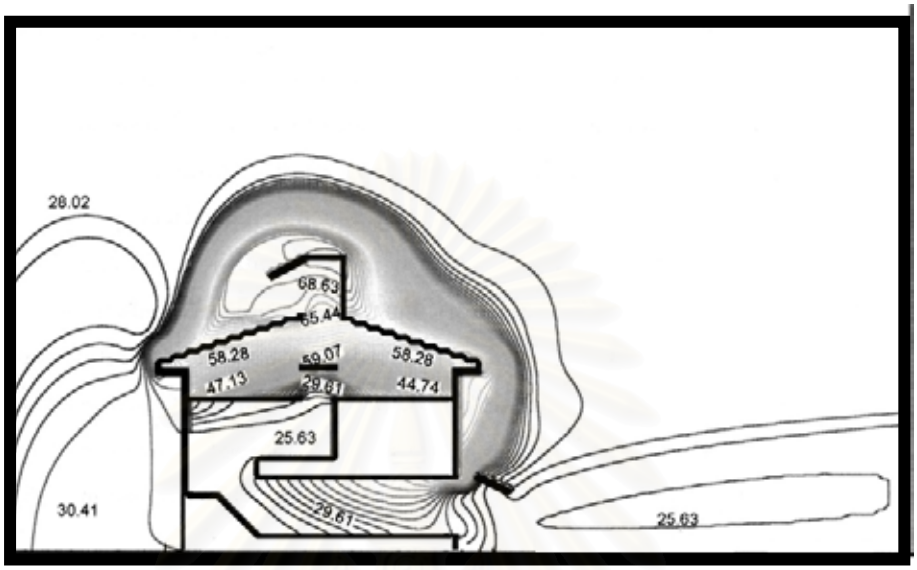


รูปที่ 4.35
อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันใน

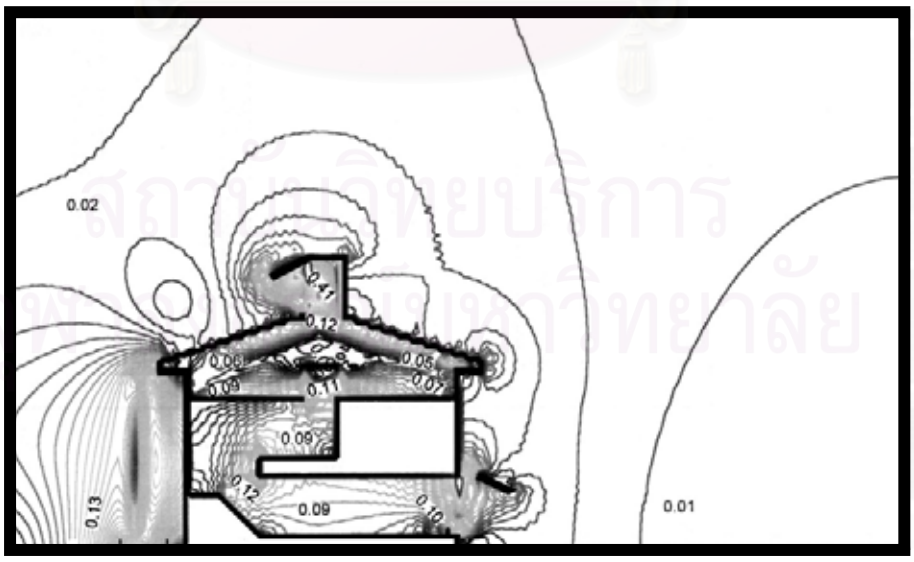


รูปที่ 4.36
ความเร็วลมภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วง

4.8.6 เมื่อรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว



รูปที่ 4.37
อุณหภูมิอากาศภายในอาคารเวลา 13.00 น.เมื่อมีการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันใน



รูปที่ 4.38
ความเร็วลมภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วง

4.9 การวิเคราะห์ผลการออกแบบองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของปล่องระบายอากาศเมื่อได้รับการออกแบบปรับปรุงเพื่อนำไปใช้จริง โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD และการคำนวณผลทางสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งได้กำหนดรูปแบบการออกแบบปรับปรุงไว้ทั้งสิ้น 6 รูปแบบ ได้แก่

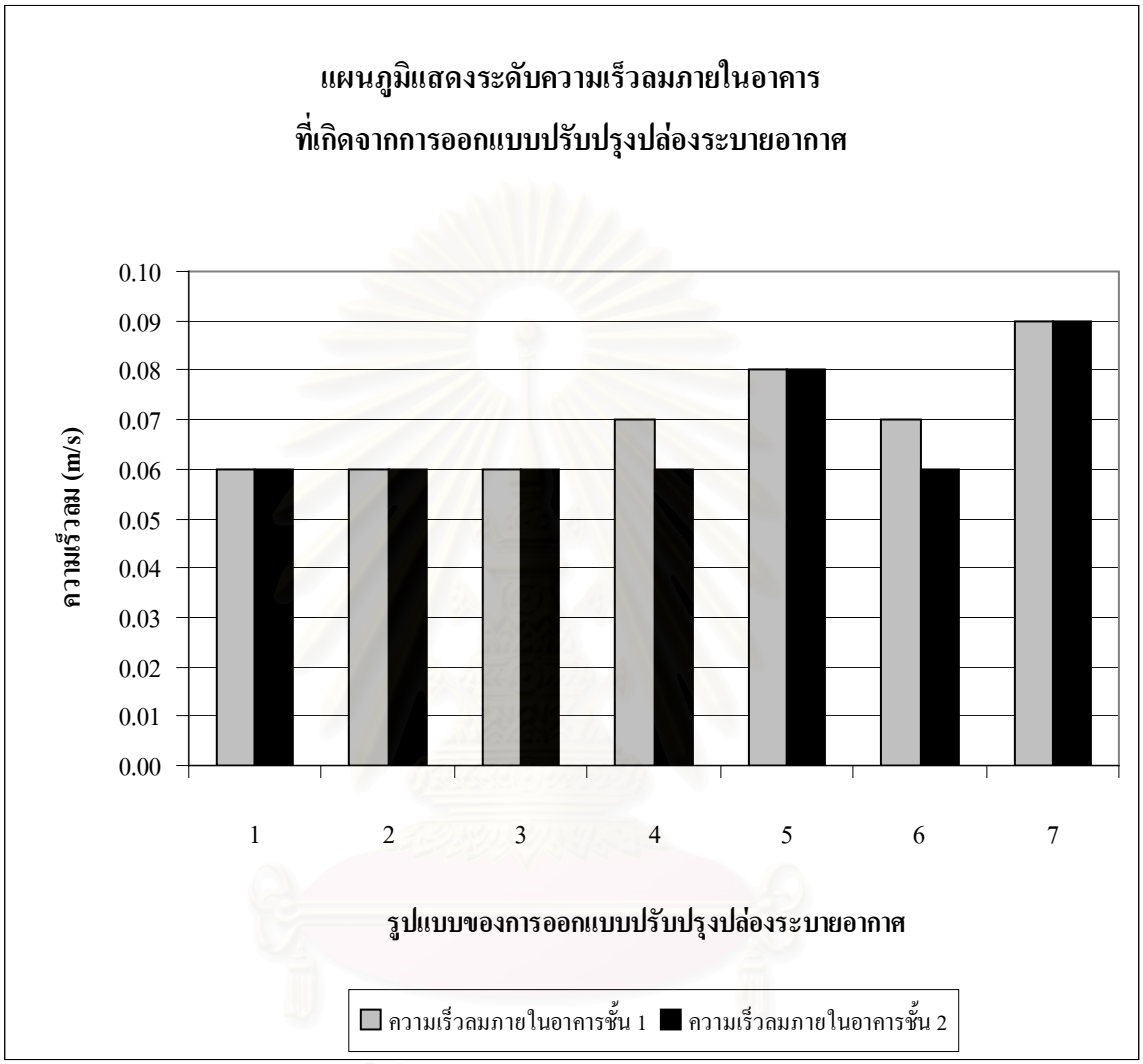
- การปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ ด้วยการยื่นชายคา 1.50 เมตร และติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดบริเวณหน้าต่างลมออก เพื่อป้องกันสัตว์และลดฝุ่นละอองที่จะเข้าสู่ในอาคาร
- การปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 ด้วยการออกแบบให้ช่องเปิดอยู่ในลักษณะแนวตั้ง และติดบานเกล็ด หรือมุ้งลวดเพื่อกรองฝุ่นที่จะลงมาในอาคาร
- การปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน
- การปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว
- การรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน
- การรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว

โดยการวิเคราะห์ผลการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศในรูปแบบต่างๆ จะมุ่งไปที่การเปรียบเทียบกันของสิ่งที่เกิดขึ้นในอาคาร ดังนี้

- ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1
- ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 2
- ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก
- ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

ทั้งนี้ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำไปสู่แนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

4.9.1 การเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ

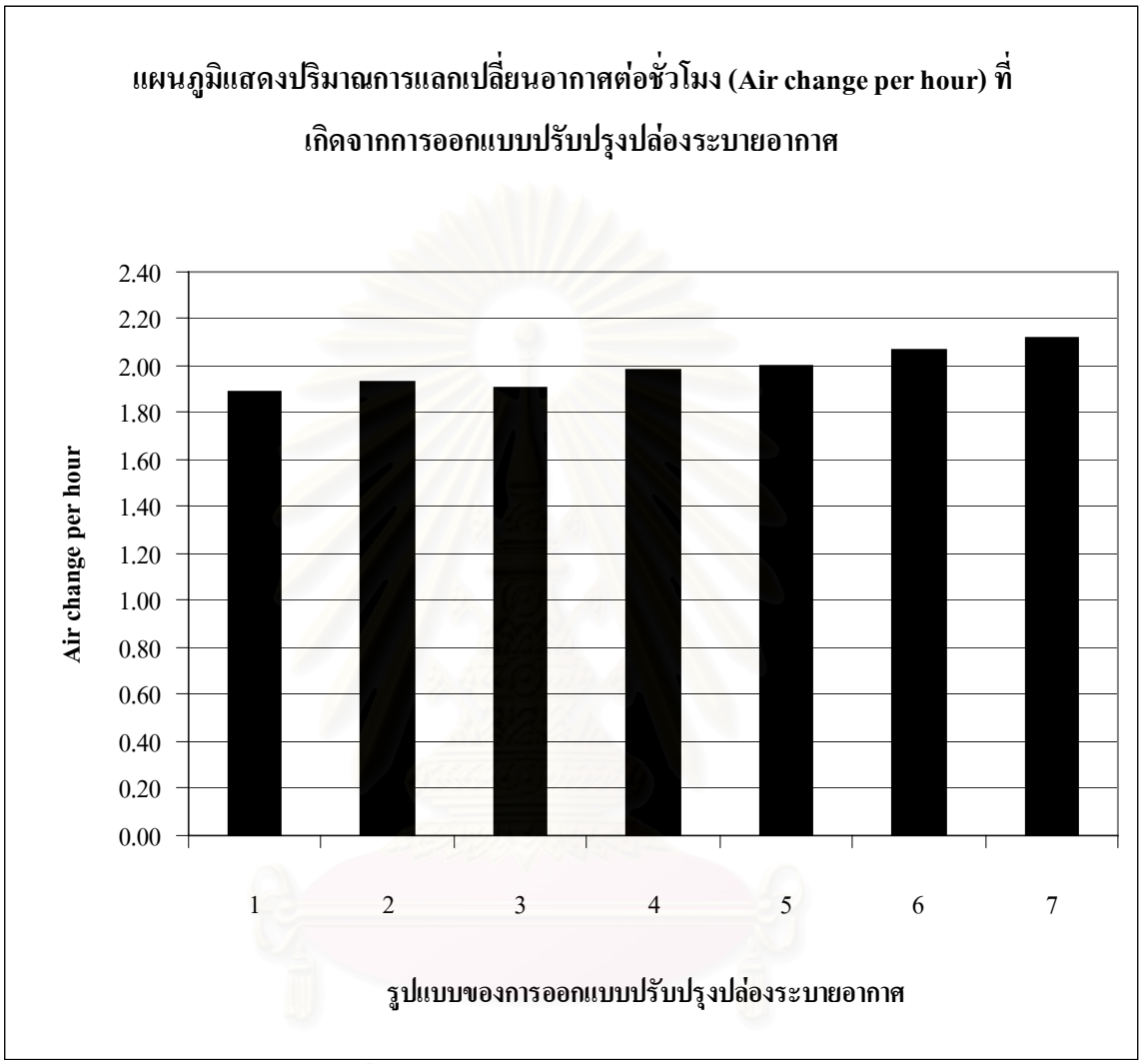


1 คือ รูปแบบเดิมก่อนมีการออกแบบปรับปรุง
2 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า
3 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2
4 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน
5 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว
6 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน
7 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว

แผนภูมิที่ 4.17

การเปรียบเทียบความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ

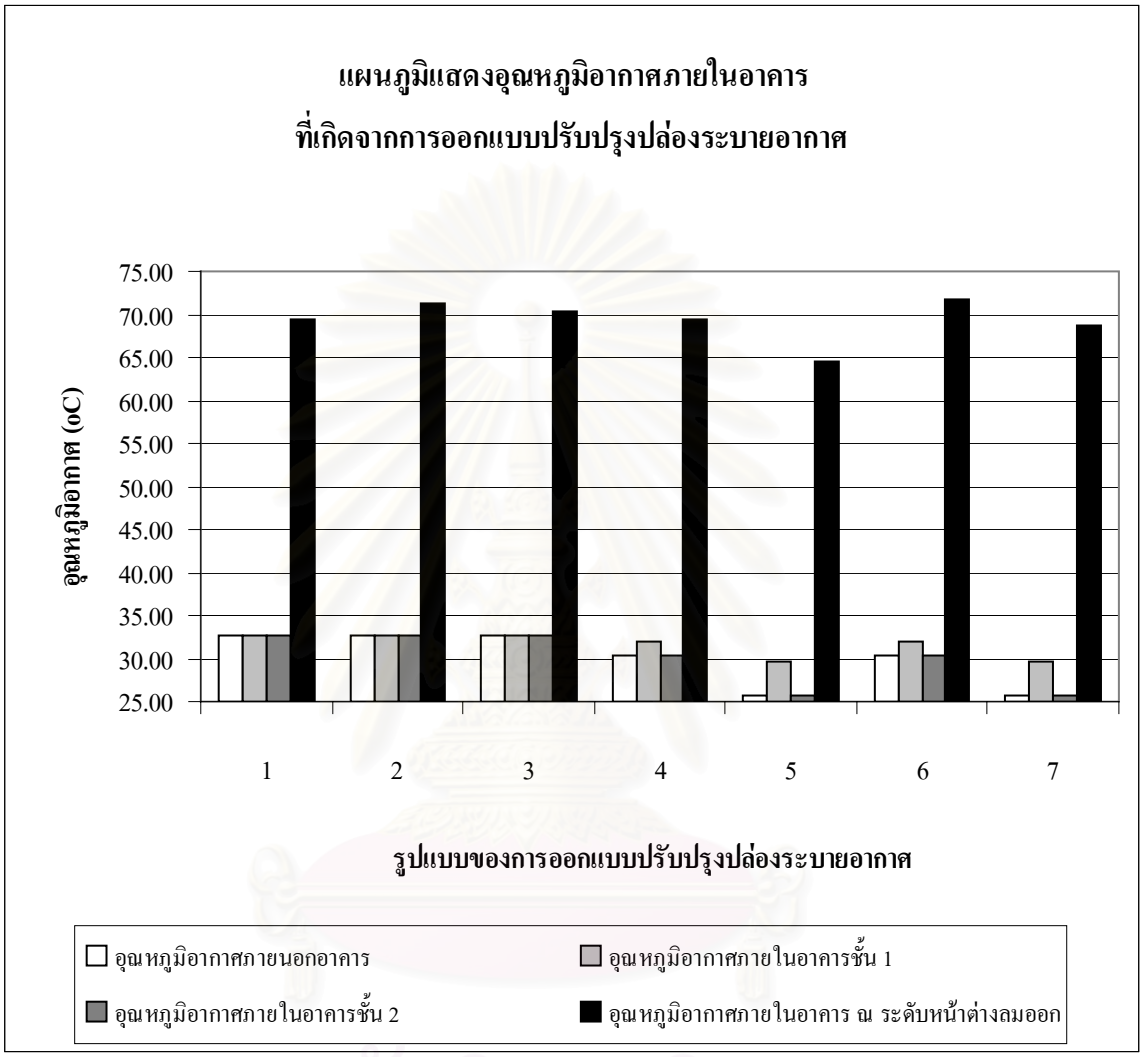
4.9.2 การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ



1 คือ รูปแบบเดิมก่อนมีการออกแบบปรับปรุง
2 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า
3 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2
4 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน
5 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว
6 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน
7 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว

แผนภูมิที่ 4.18
การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ

4.9.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ



1 คือ รูปแบบเดิมก่อนมีการออกแบบปรับปรุง

2 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า

3 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2

4 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน

5 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว

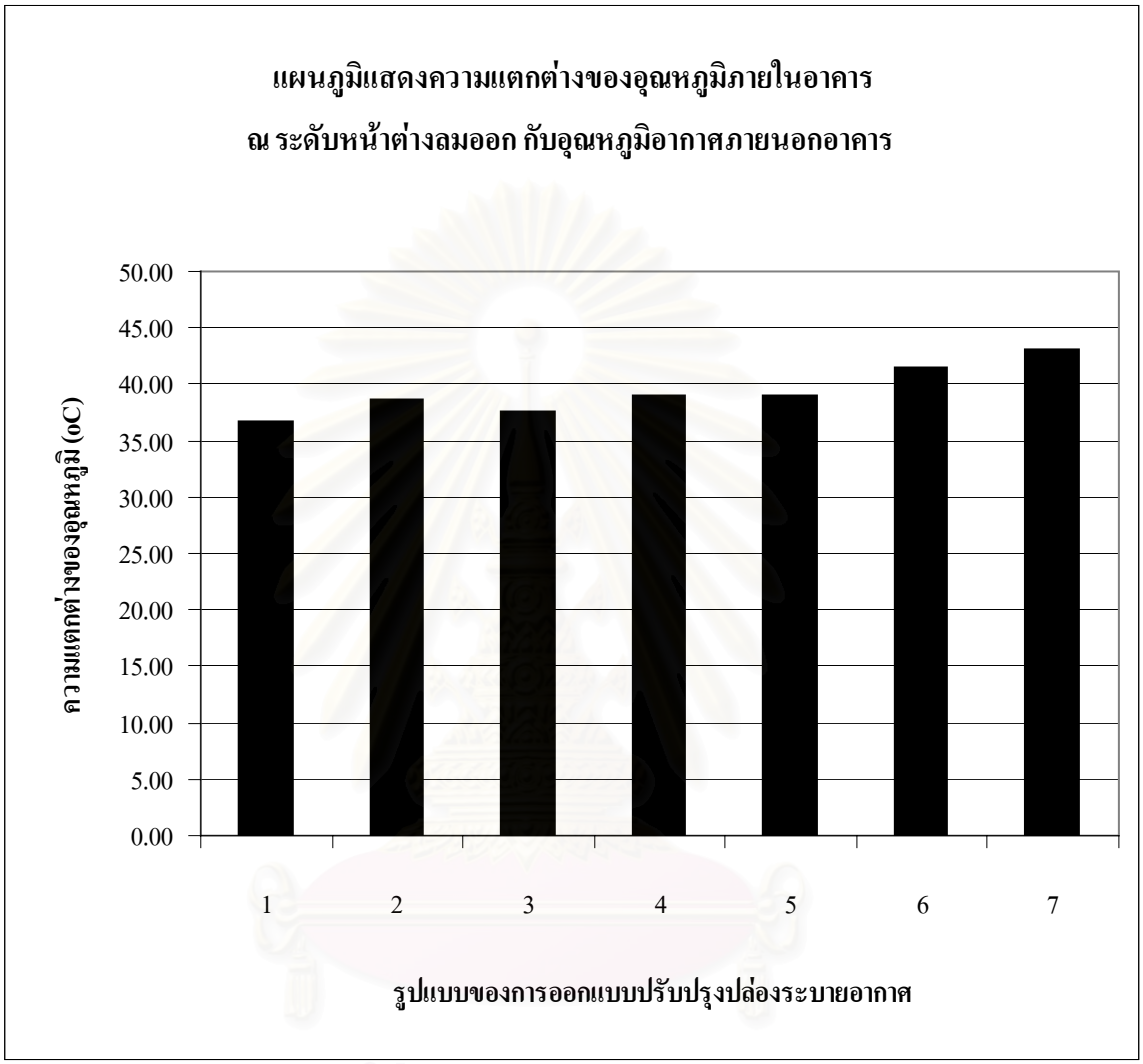
6 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน

7 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว

แผนภูมิที่ 4.19

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ

4.9.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ



1 คือ รูปแบบเดิมก่อนมีการออกแบบปรับปรุง
2 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า
3 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2
4 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน
5 คือ รูปแบบที่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว
6 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูร้อน
7 คือ รูปแบบที่มีการรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันในช่วงฤดูหนาว

แผนภูมิที่ 4.20

การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร เวลา 13.00 น. เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศ

4.9.5 สรุปผลการออกแบบปรับปรุงปล่องระบายอากาศกลางอาคารสูง 9.10 เมตร (3.5 เท่าของความสูงเดิม) และหน้าต่างลมเข้า – ออก มีพื้นที่ขนาด 3.43 ตารางเมตร เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริง

4.9.5.1 ความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1

เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงเฉพาะในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ ซึ่งหมายถึง การเพิ่มเติมชายคา และการติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดเข้าไปบริเวณที่เป็นช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 และบริเวณช่องเปิดลมออกที่ปากปล่องระบายอากาศ ผลปรากฏว่าไม่ได้ส่งผลต่อความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 ความเร็วลมมีค่าเท่ากับก่อนที่จะปรับปรุง แต่เมื่อมีการปรับปรุงในส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน ทั้งในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาวเข้ามาเกี่ยวข้อง จะมีผลกระทบต่อความเร็วลมภายในอาคารมากกว่าการปรับปรุงองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ แต่เนื่องจากว่าในฤดูหนาวลมจะเปลี่ยนทิศทางทำให้เกิดลมพัดเข้าสู่ภายในอาคารทางปล่องระบายอากาศ

4.9.5.2 ความเร็วลมภายในอาคารชั้น 2

ผลความเร็วลมภายในอาคารชั้น 2 ที่ได้จากการออกแบบปรับปรุงเหมือนกับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการปรับปรุงองค์ประกอบของปล่อง หรือว่าและการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน

4.9.5.3 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)

ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบการออกแบบปรับปรุงในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ ซึ่งหมายถึง การเพิ่มเติมชายคา และการติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดเข้าไป กับก่อนปรับปรุง แต่ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงจะเพิ่มขึ้นมากเมื่อมีการปรับปรุงในส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยที่ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงในช่วงฤดูหนาวจะมีค่ามากกว่าในช่วงฤดูร้อน และยิ่งถ้าหากรวมการปรับปรุงทุกกรณีเข้าด้วยกันก็จะยิ่งเพิ่มค่าปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง ให้สูงขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตาม ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับที่ได้มาตรฐานการระบายอากาศภายในบริเวณที่เป็นโถง (Oakley, 1961: 120) ซึ่งกำหนดให้มีการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับห้องโถงไว้ที่ 1 ACH

4.9.5.4 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1

เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงเฉพาะในส่วนที่เป็นองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ ซึ่งหมายถึง การเพิ่มเติมชายคา และการติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดเข้าไปบริเวณที่เป็นช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 และบริเวณช่องเปิดลมออกที่ปากปล่องระบายอากาศ ผลปรากฏว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารจะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร อันเนื่องมาจากผลกระทบของปล่องระบายอากาศที่ทำการเหนี่ยวนำเอาอากาศภายนอกอาคารเข้ามา แต่เมื่อมีการปรับปรุงในส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านเข้ามาร่วมด้วยพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ก็จะลดลง แต่จะมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกอาคารเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากได้รับผลกระทบจากปริมาณความร้อนที่อยู่ตามผนังและหลังคาของอาคารที่แพร่กระจายเข้ามา โดยอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ช่วงฤดูร้อนจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ช่วงฤดูหนาว

4.9.5.5 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2

ผลอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ที่ได้จากการออกแบบปรับปรุงเหมือนกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 แต่ในกรณีที่มีการปรับปรุงในส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านเข้ามาร่วมด้วยนั้น อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ทั้งนี้เนื่องจากได้รับผลกระทบจากปริมาณความร้อนที่อยู่ตามผนัง และหลังคาของอาคารที่แพร่กระจายเข้ามาน้อยกว่า อย่างไรก็ตาอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ก็จะยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารเล็กน้อย

4.9.5.6 อุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออก

เมื่อมีการออกแบบปรับปรุงส่วนที่เป็นองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ ซึ่งหมายถึง การเพิ่มเติมชายคา และการติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดเข้าไปบริเวณที่เป็นช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 และบริเวณหน้าต่างลมออกที่ปากปล่องระบายอากาศ ผลปรากฏว่าการใส่ชายคาเป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนี้มีค่าสูงขึ้นกว่าเมื่อก่อนที่จะมีการปรับปรุง และการติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดเข้าไปบริเวณที่เป็นช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น ณ บริเวณนี้ การปรับปรุงในส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านเพียงอย่างเดียวจะทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนี้ลดลง แต่เมื่อใส่ชายคาเข้าไปก็จะทำให้อุณหภูมิบริเวณนี้สูงขึ้น

4.9.5.7 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศอากาศภายนอกอาคาร

การออกแบบปรับปรุงส่วนที่เป็นองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ ซึ่งหมายถึง การเพิ่มเติมชายคา และการติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดเข้าไปบริเวณที่เป็นช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 และบริเวณหน้าต่างลมออกที่ปากปล่องระบายอากาศ ผลปรากฏว่าการใส่ชายคา จะมีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศอากาศภายนอกอาคาร มากกว่าเมื่อก่อนที่จะมีการปรับปรุง และการติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดเข้าไปบริเวณที่เป็นช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 และเมื่อมีการปรับปรุงในส่วนที่เป็นสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้านเข้ามาร่วมด้วยก็จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศอากาศภายนอกอาคารนี้สูงขึ้น และความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศนี้จะสูงขึ้นไปอีก เมื่อรวมการปรับปรุงทุกรูปแบบเข้าด้วยกัน โดยที่ช่วงฤดูหนาวจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออกกับอุณหภูมิอากาศอากาศภายนอกอาคารมากกว่าช่วงฤดูร้อน

4.10 การทดสอบการออกแบบปล่องระบายอากาศ ภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และระดับความเร็วลมจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว

การศึกษาในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบผลที่เกิดขึ้น เมื่อมีการรวมการปรับปรุงองค์ประกอบของปล่องระบายอากาศ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และระดับความเร็วลมของเดือนเมษายนเป็นตัวแทนของฤดูร้อน และใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และระดับความเร็วลมของเดือนธันวาคมเป็นตัวแทนช่วงฤดูหนาว รวมทั้งการทดสอบภายใต้สภาวะที่ไม่มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน เพื่อดูว่าภายใน 24 ชั่วโมง ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากปล่องระบายอากาศที่ได้รับการออกแบบปรับปรุงแล้วเป็นอย่างไรบ้าง โดยแบ่งรูปแบบการทดสอบเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

4.10.1 การทดสอบปล่องระบายอากาศที่ได้รับการออกแบบปรับปรุงในช่วงฤดูร้อน ประกอบกับการมีระดับความเร็วลมภายนอกอาคารที่เกิดขึ้นจริง แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

การศึกษานี้เพื่อเป็นการดูว่าภายใน 24 ชั่วโมงของช่วงฤดูร้อน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงแล้ว ประกอบกับการป้อนค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และระดับความเร็วลมภายนอกอาคารที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละช่วงเวลาของเดือนเมษายนเข้าไป ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบาย

อากาศเป็นอย่างไรบ้าง รวมทั้งศึกษาว่าในกรณีที่ไม่มีลมภายนอกอาคาร ผลการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศจะเป็นอย่างไร โดยได้เลือกเอาเวลา 13.00 น. ของเดือนเมษายนมาเป็นตัวแทนในการศึกษา

4.10.2 การทดสอบปล่องระบายอากาศที่ได้รับการออกแบบปรับปรุงในช่วงฤดูหนาว ประกอบกับการมีระดับความเร็วลมภายนอกอาคารที่เกิดขึ้นจริง แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

การศึกษานี้เพื่อเป็นการดูว่าภายใน 24 ชั่วโมงของช่วงฤดูหนาว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงแล้ว ประกอบกับการป้อนค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และระดับความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละช่วงเวลาของเดือนธันวาคมเข้าไป ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศเป็นอย่างไรบ้าง

4.10.3 การทดสอบปล่องระบายอากาศที่ได้รับการออกแบบปรับปรุงในช่วงฤดูร้อน ประกอบกับการมีระดับความเร็วลมภายนอกอาคารที่เกิดขึ้นจริง และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

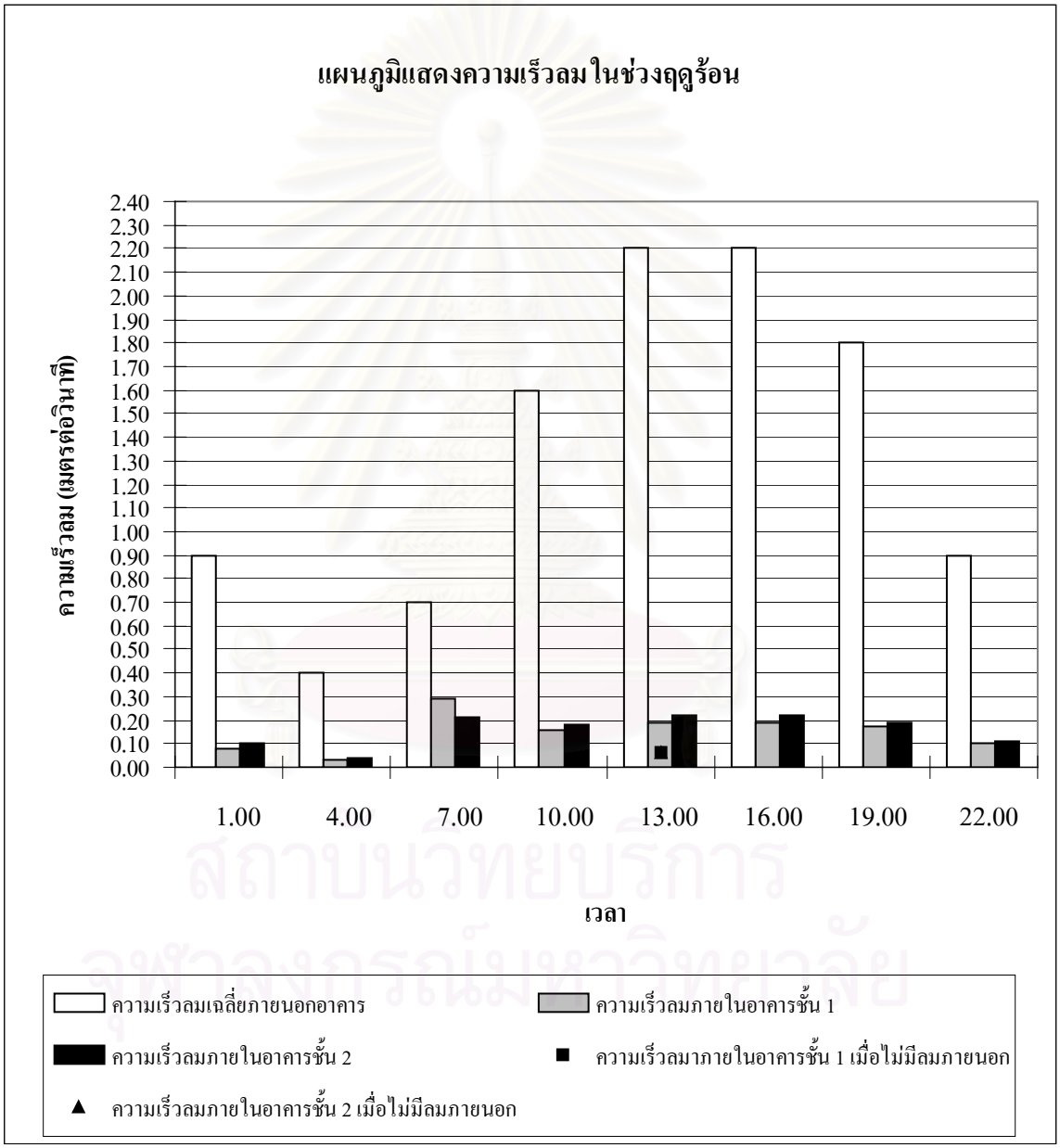
การศึกษานี้เพื่อเป็นการดูว่าภายใน 24 ชั่วโมงของช่วงฤดูร้อน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ เพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งานจริงแล้ว ประกอบกับการป้อนค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และระดับความเร็วลมที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละช่วงเวลาของเดือนเมษายนเข้าไป และยังมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศเป็นอย่างไรบ้าง รวมทั้งศึกษาว่าในกรณีที่ไม่มีลมภายนอกอาคาร แต่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน ผลการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศจะเป็นอย่างไร โดยได้เลือกเอาเวลา 13.00 น. ของเดือนเมษายนมาเป็นตัวแทนในการศึกษา

<u>หมายเหตุ</u>: การศึกษาในหัวข้อ 4.10 นี้ศึกษาเฉพาะผลการระบายอากาศที่เกิดจากปล่องระบายอากาศเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่ได้รวมถึงการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross ventilation) และการจำลองสภาพเป็นแบบ Steady State ซึ่งผลที่ออกมาจะเป็นเพียงแนวโน้มที่เกิดขึ้นเท่านั้น ในสถานการณ์จริงผลที่ได้จะมีความแตกต่างจากนี้เล็กน้อย

4.11 ผลการทดสอบการออกแบบปล่องระบายอากาศ ภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และระดับความเร็วลมจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว

4.11.1 ฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

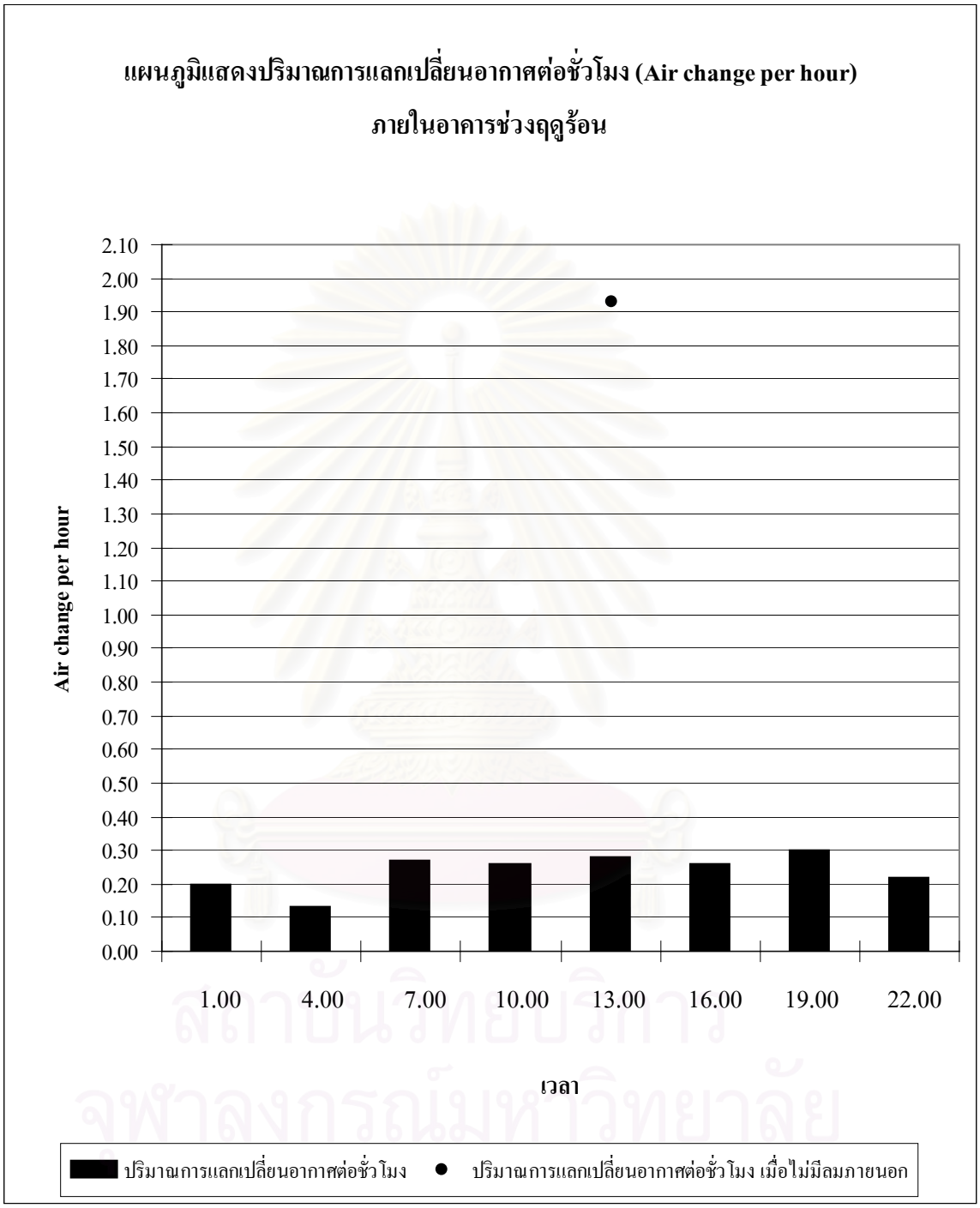
4.11.1.1 ความเร็วลมภายในอาคาร



แผนภูมิที่ 4.21
การเปรียบเทียบความความเร็วลมภายในอาคารช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

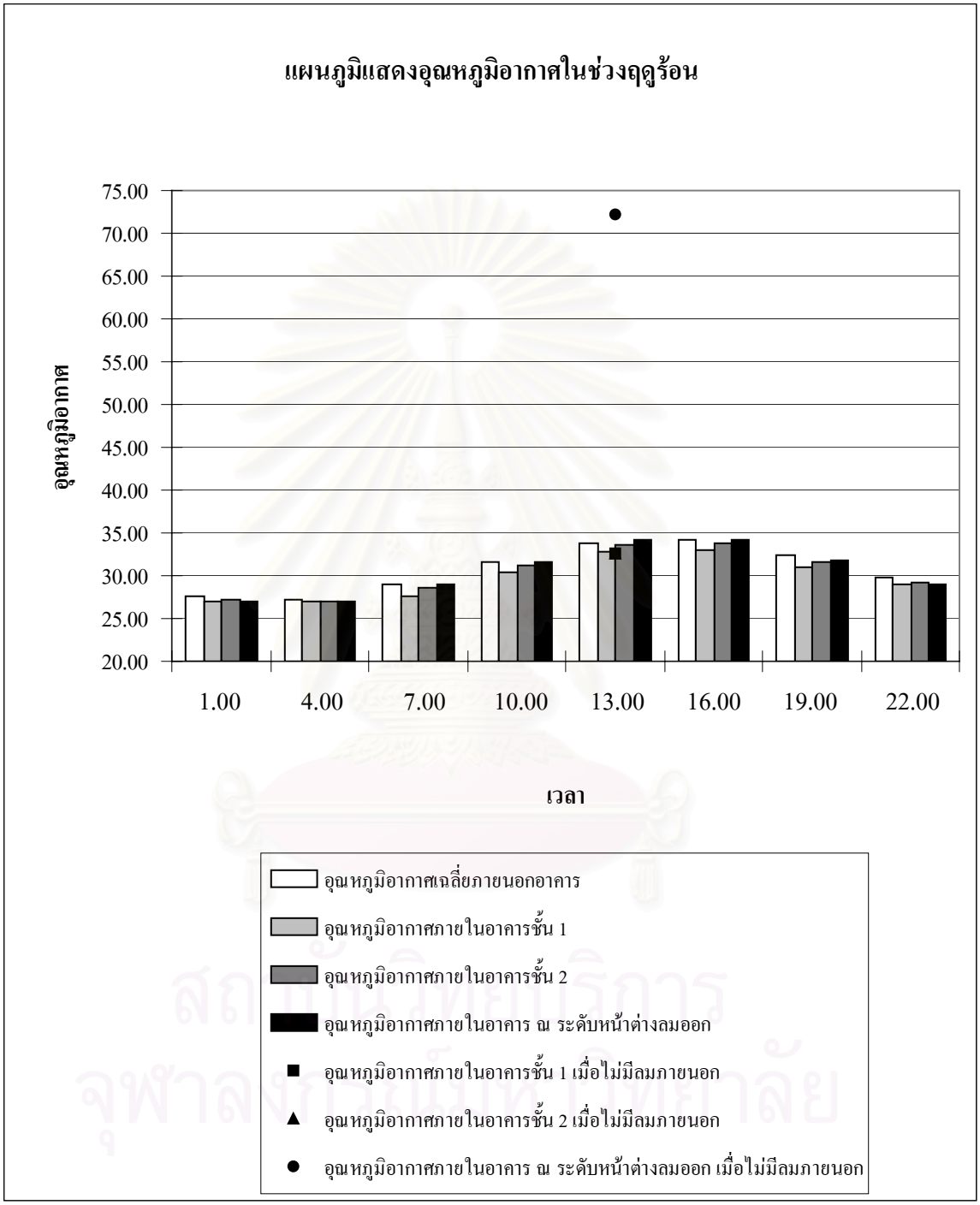
4.11.1.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)



แผนภูมิที่ 4.22

การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน

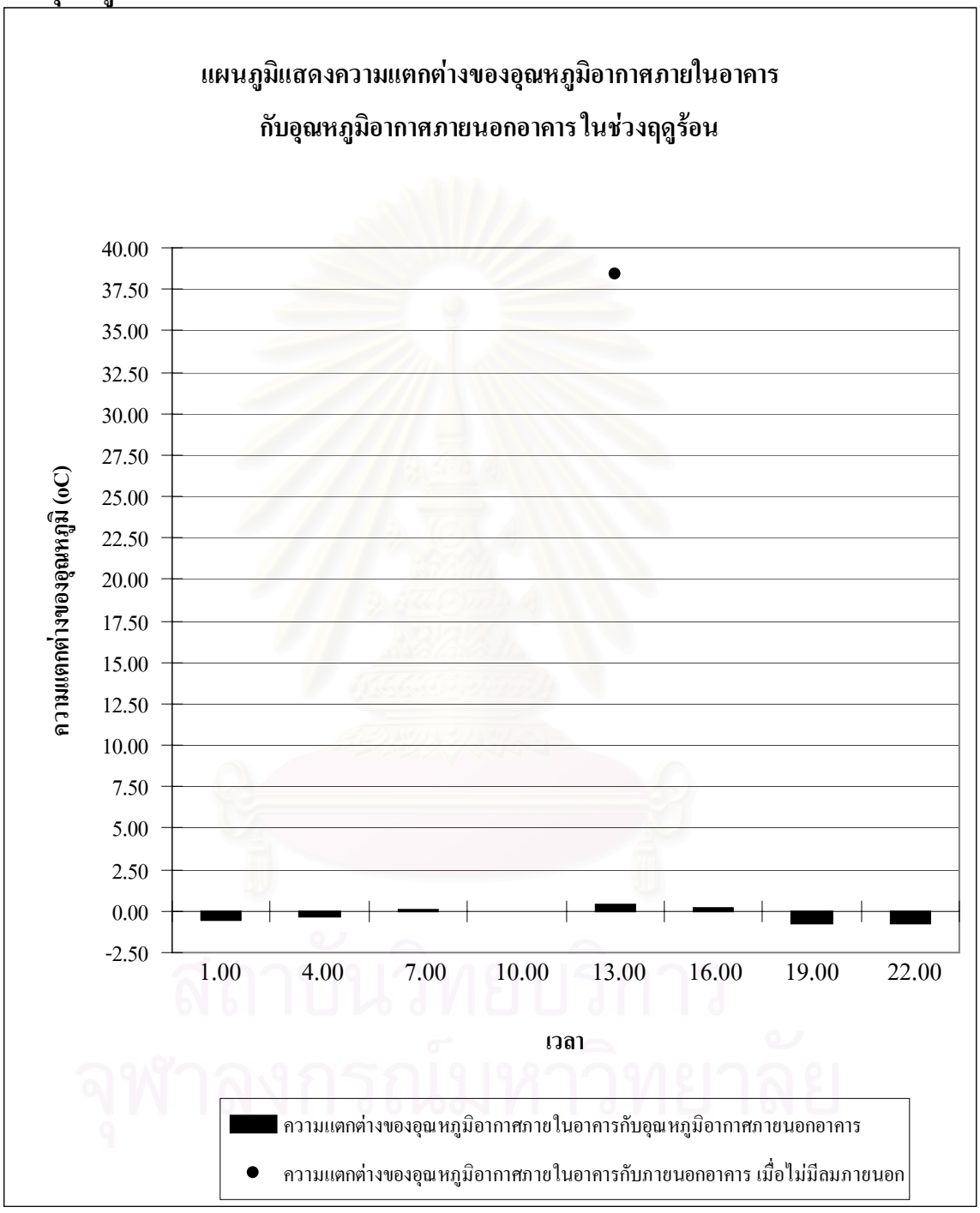
4.11.1.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร



แผนภูมิที่ 4.23

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

4.11.1.4 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

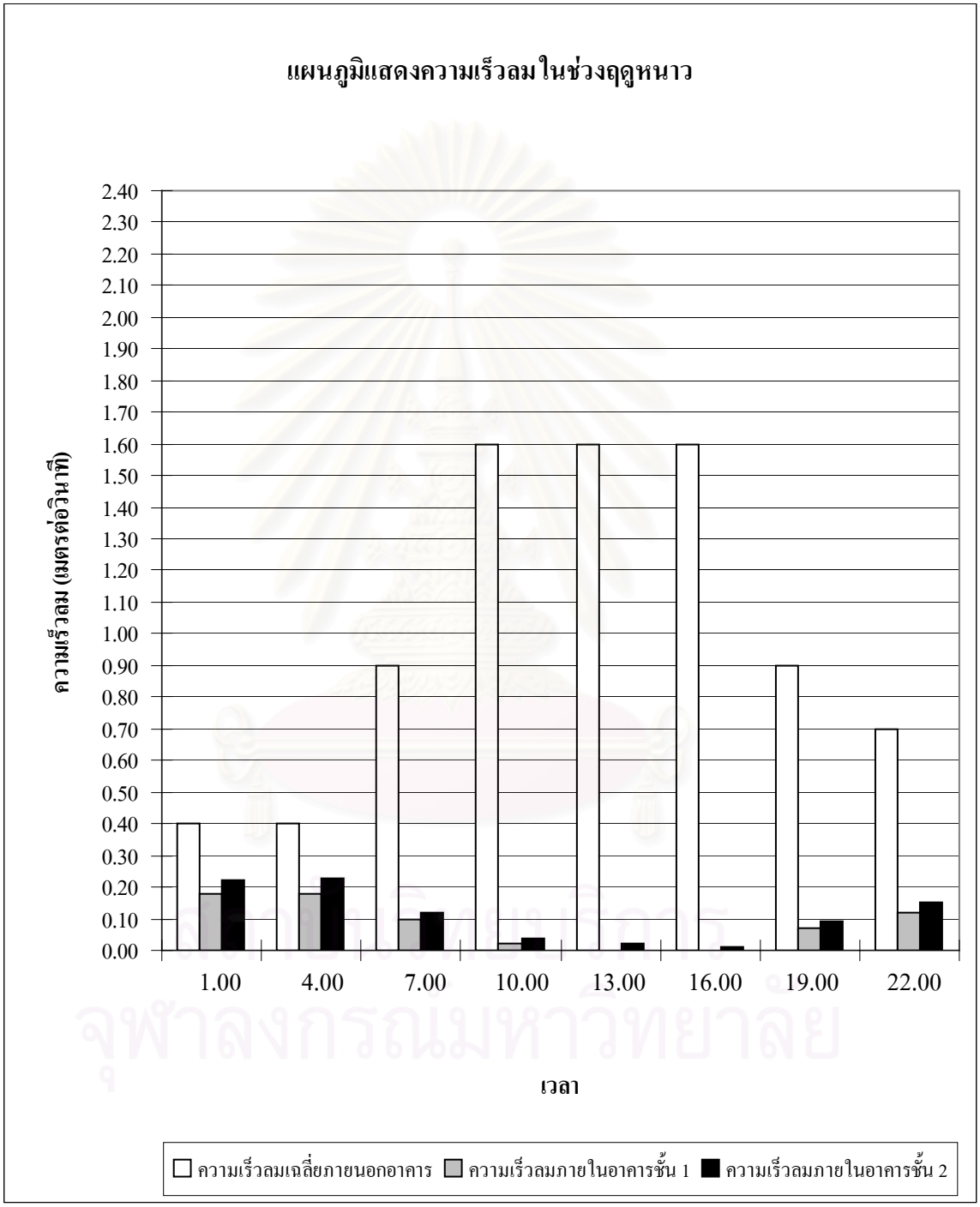


แผนภูมิที่ 4.24

การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ช่วงฤดูร้อน และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

4.11.2 ฤดูหนาว และมีลมภายนอกอาคาร แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

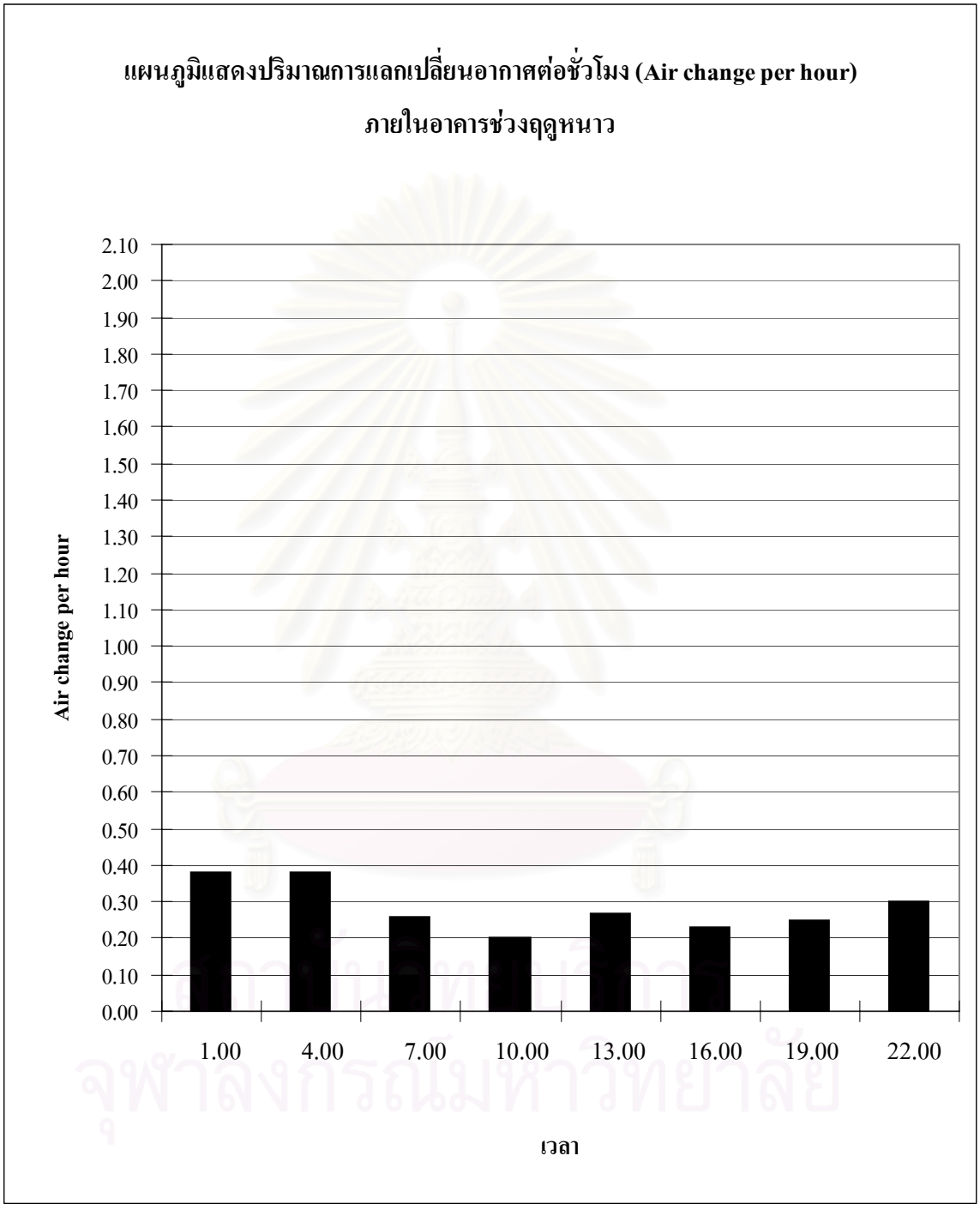
4.11.2.1 ความเร็วลมภายในอาคาร



แผนภูมิที่ 4.25

การเปรียบเทียบความความเร็วลมภายในอาคารช่วงฤดูหนาว และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

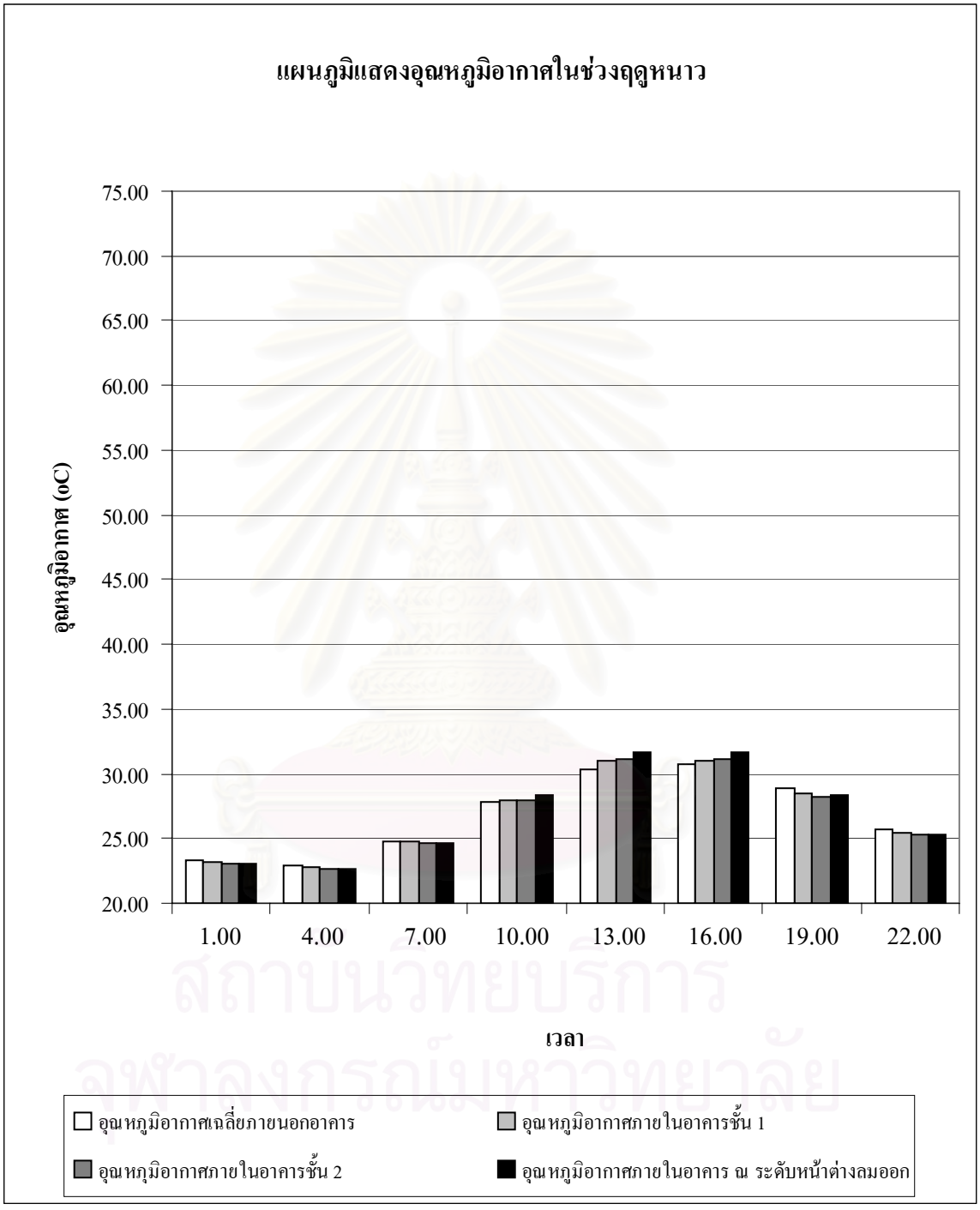
4.11.2.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)



แผนภูมิที่ 4.26

การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ช่วงฤดูหนาว และมีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน

4.11.2.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร

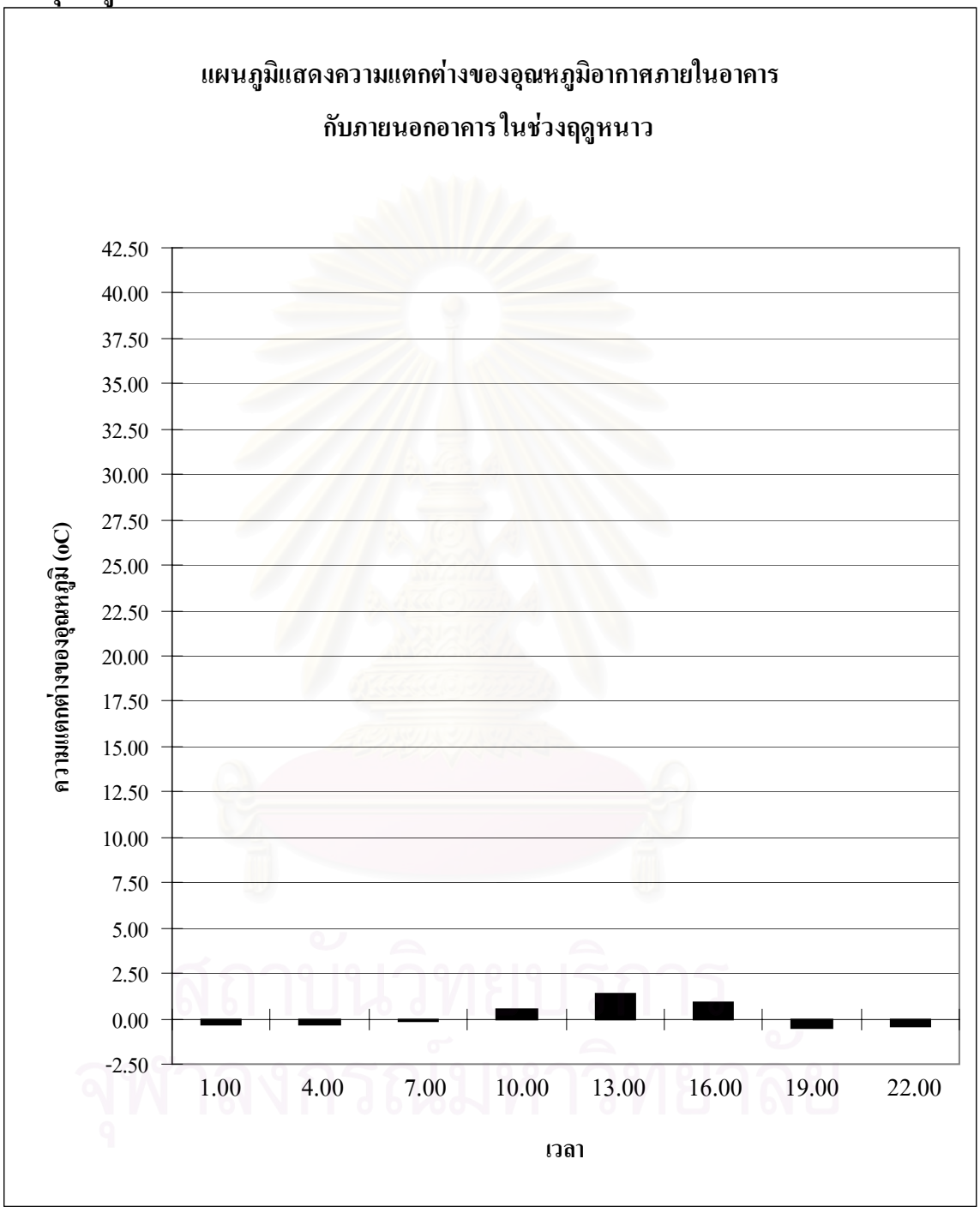


แผนภูมิที่ 4.27

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ช่วงฤดูหนาว มีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.11.2.4 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

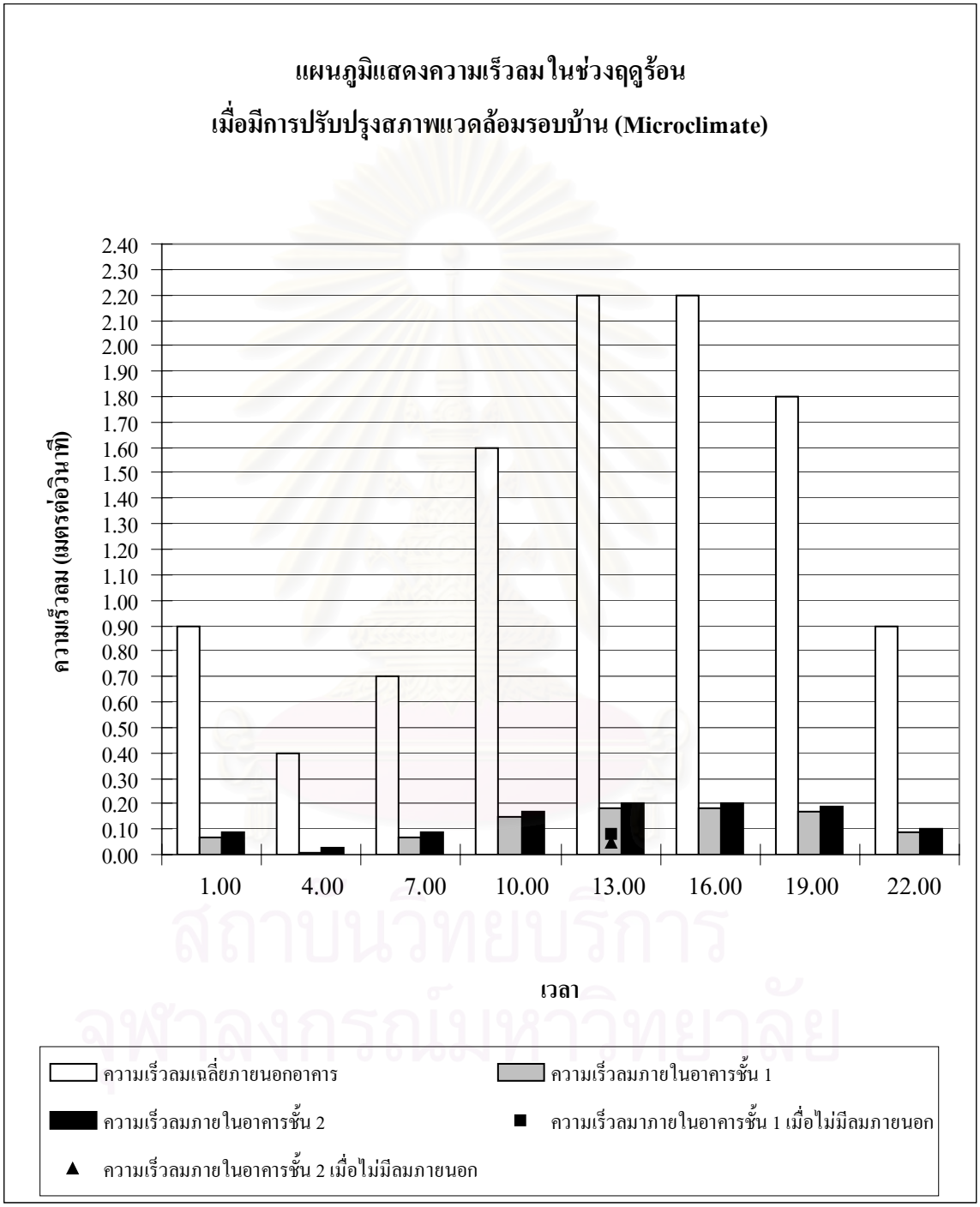


แผนภูมิที่ 4.28

การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ช่วงฤดูหนาว มีลมภายนอกอาคาร แต่ไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

4.11.3 ฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

4.11.3.1 ความเร็วลมภายในอาคาร

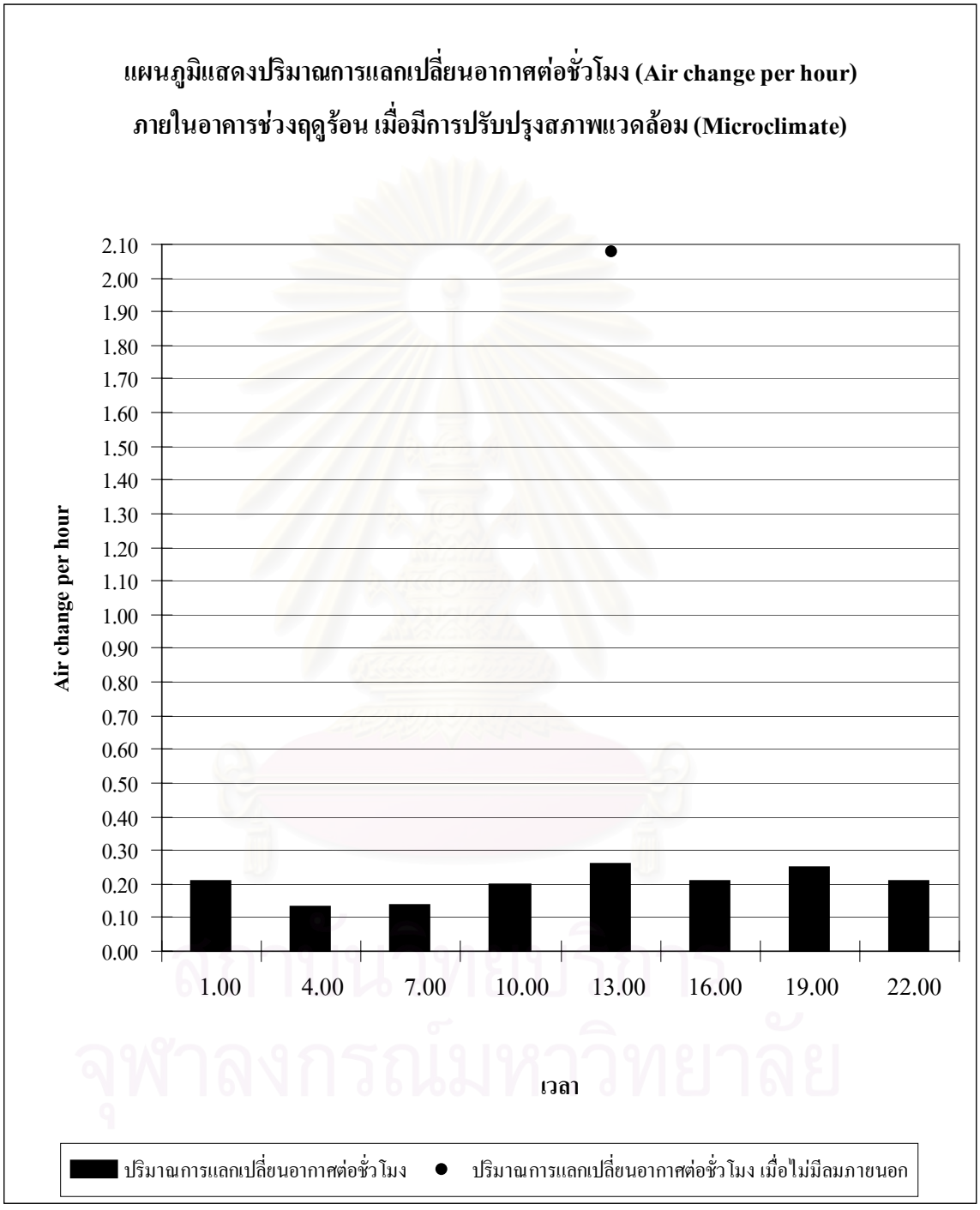


แผนภูมิที่ 4.29

การเปรียบเทียบความความเร็วลมภายในอาคารช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

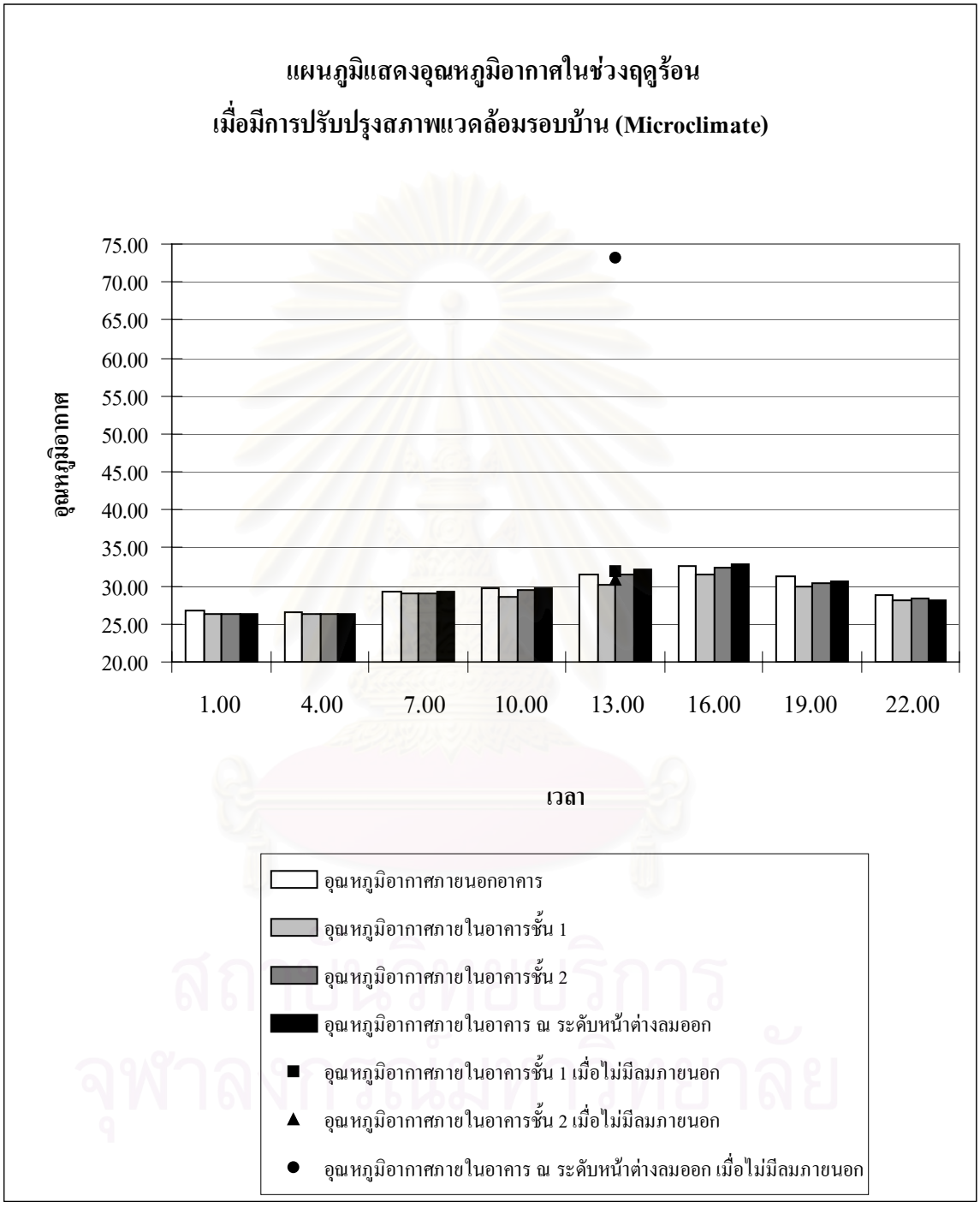
4.11.3.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)



แผนภูมิที่ 4.30

การเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

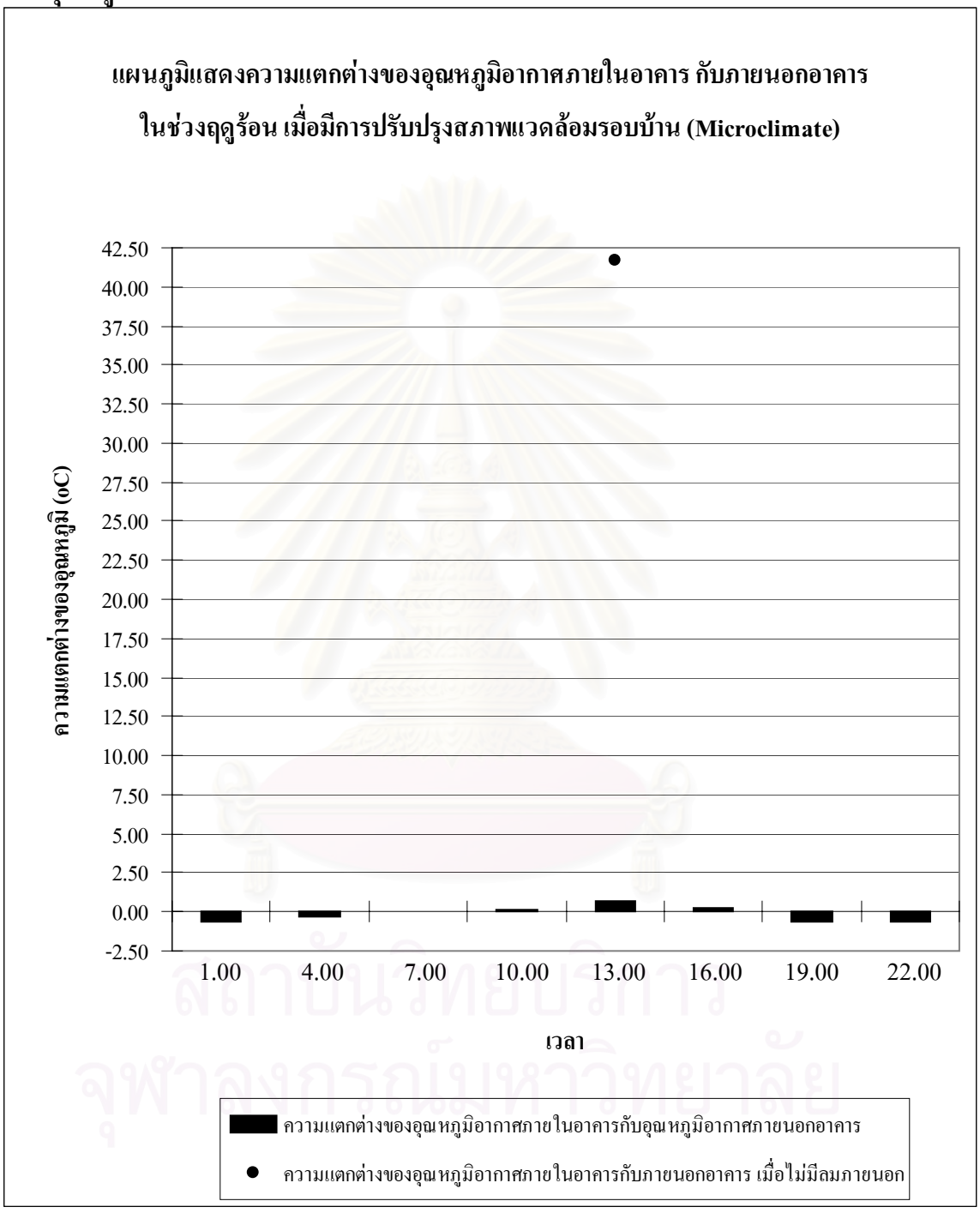
4.11.3.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร



แผนภูมิที่ 4.31

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

4.11.3.4 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร



แผนภูมิที่ 4.32

การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ช่วงฤดูร้อน, มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้าน (Microclimate)

4.12 การวิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศ ภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และระดับความเร็วลมจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว

จากผลการทดสอบปล่องระบายอากาศภายใต้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และระดับความเร็วลมจริงในช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาว ซึ่งได้กำหนดรูปแบบการออกแบบปรับปรุงไว้ทั้งสิ้น 3 รูปแบบ ได้แก่

- ช่วงฤดูร้อน มีลมภายนอกอาคาร แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) โดยเลือกเอาข้อมูลอากาศของเดือนเมษายนเป็นตัวแทนของข้อมูลอากาศในช่วงฤดูร้อน
- ช่วงฤดูหนาว มีลมภายนอกอาคาร แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) โดยเลือกเอาข้อมูลอากาศของเดือนธันวาคมเป็นตัวแทนของข้อมูลอากาศในช่วงฤดูหนาว
- ช่วงฤดูร้อน มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) โดยเลือกเอาข้อมูลอากาศของเดือนเมษายนเป็นตัวแทนของข้อมูลอากาศในช่วงฤดูร้อน

โดยการวิเคราะห์ผลการทดสอบปล่องระบายอากาศในช่วงฤดูต่างๆ จะมุ่งไปที่การเปรียบเทียบกันของสิ่งที่เกิดขึ้นในอาคาร ดังนี้

- ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2
- ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก
- ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.12.1 ช่วงฤดูร้อน มีลมภายนอกอาคาร แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

4.12.1.1 ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2

ในช่วงฤดูร้อน เมื่อภายนอกอาคารมีลม ส่งผลให้ความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 เพิ่มขึ้นจากในขณะที่ไม่มีลมภายนอกอาคาร โดยที่ความเร็วลมภายในอาคารช่วงเวลากลางวันจะมีค่าสูงกว่าในเวลากลางคืน โดยเฉพาะในช่วงเช้าประมาณ 7.00 น. ความเร็วลมอยู่ในช่วงที่ร่างกายมนุษย์สามารถรับรู้ได้ อย่างไรก็ตามความเร็วลมภายนอกไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความเร็วลมภายในอาคารมากนัก เนื่องจาก ไม่มีผลกระทบของการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross ventilation) ทำให้ภายในอาคารเป็นบริเวณที่มีความดันค่อนข้างสูง ทำให้ลมภายนอกพัดผ่านเข้าสู่อาคารได้ไม่เต็มที่

4.12.1.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)

ในช่วงฤดูร้อน เมื่อภายนอกอาคารมีลม ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณช่องใต้หลังคาลดลง ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิภายนอกอาคารลดลง ทำให้อัตราการระบายอากาศเนื่องจากปล่องระบายอากาศลดลง ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) จึงลดลงตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour) ระหว่างช่วงเวลาที่มีลมกับไม่มีลม ณ เวลา 13.00 น.

4.12.1.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2

โดยรวมแล้วในช่วงฤดูร้อน เมื่อภายนอกอาคารมีลมจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกอาคาร โดยที่อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1

4.12.1.4 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก

ในช่วงฤดูร้อน เมื่อภายนอกอาคารมีลมส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนี้ลดลง โดยจะยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ในช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำ ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าลดลงจนอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2

4.12.1.5 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

ในช่วงฤดูร้อน เมื่อภายนอกอาคารมีลมส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิภายนอกอาคารลดลงตามไปด้วย โดยที่เวลากลางวันอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร

4.12.2 ช่วงฤดูหนาว มีลมภายนอกอาคาร แต่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

4.12.2.1 ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2

ในช่วงฤดูหนาว เมื่อภายนอกอาคารมีลม โดยที่ลมจะมาในทิศตรงข้ามกับในช่วงฤดูร้อน ส่งผลให้ลมจากภายนอกพัดเข้าสู่ภายในอาคารทางปากปล่องระบายอากาศ โดยเฉพาะในเวลากลางคืน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าความเร็วลมในช่วงเวลากลางวันมีค่าสูงกว่าในเวลากลางคืน ทำให้ลมที่พัดมาปะทะกับผนังอาคารมีทิศทางที่พุ่งสูงขึ้นดันลมด้านบนให้พัดสูงเลยระดับปากปล่องระบายอากาศไป ทำให้ในเวลากลางวันไม่ค่อยมีลมจากภายนอกพัดเข้าสู่ปากปล่องระบายอากาศ

4.12.2.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)

ในช่วงฤดูหนาว เมื่อภายนอกอาคารมีลม ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณช่องใต้หลังคาลดลง ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิภายนอกอาคารลดลง ทำให้ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากปล่องระบายอากาศลดลง ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงจึงลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้ ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงในช่วงเวลากลางคืนจะมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน ทั้งนี้ เนื่องจากได้รับผลของลมที่พัดเข้าสู่ภายในอาคารทางปากปล่องระบายอากาศ และเมื่อเปรียบเทียบกับในช่วงฤดูร้อนจะพบได้ว่าปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงในช่วงฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อน

4.12.2.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2

โดยรวมแล้วในช่วงฤดูหนาว เมื่อภายนอกอาคารมีลมจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 สูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกอาคารในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคืน อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกอาคาร

นอกจากนี้ อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 เล็กน้อยในช่วงเวลากลางวัน และต่ำกว่าเล็กน้อยในช่วงเวลากลางคืน

4.12.2.4 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก

ในภาพรวมของช่วงฤดูหนาว เมื่อภายนอกอาคารมีลม ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนี้ลดลง โดยจะยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1, ชั้น 2 และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารในช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำ ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศบริเวณนี้จะมีค่าลดลงจนอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1, ชั้น 2 และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

4.12.2.5 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

เมื่อภายนอกอาคารมีลมส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิภายนอกอาคารลดลงตามไปด้วย โดยที่ช่วงเวลาสายจนถึงเย็นอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร ส่วนในเวลาหัวค่ำจนถึงช่วงเช้าอุณหภูมิภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร

4.12.3 ช่วงฤดูร้อน มีลมภายนอกอาคาร และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate)

4.12.3.1 ระดับความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2

เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในช่วงฤดูร้อนและมีลมภายนอกอาคาร จะพบว่าความเร็วลมภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ไม่แตกต่างจากเดิมก่อนที่จะมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมมากนัก โดยที่ความเร็วลมภายในอาคารช่วงเวลากลางวันจะมีค่าสูงกว่าในเวลากลางคืนเช่นเดิม

4.12.3.2 ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air change per hour)

เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในช่วงฤดูร้อนและมีลมภายนอกอาคาร จะส่งผลให้อัตราการระบายอากาศเนื่องจากปล่องระบายอากาศมีค่ามากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากอัตราการระบายอากาศรวม รวมอัตราการระบายอากาศที่เกิดจากแรงลมด้วย พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกับก่อนที่จะมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ทำให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงลดลงเล็กน้อย

4.12.3.3 อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2

เมื่อภายนอกอาคารมีลม และมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารบริเวณรอบบ้านต่ำลง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ต่ำกว่าก่อนที่จะมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทุกช่วงเวลา ยกเว้นในช่วงประมาณ 7.00 น. โดยที่อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 เช่นเดียวกับตอนที่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม และเมื่อเปรียบเทียบในขณะที่ไม่มีลมภายนอกอาคารพบว่าอุณหภูมิภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 จะสูงกว่าขณะที่มีลมเล็กน้อยเท่านั้น

4.12.3.4 อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก

เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ส่งผลให้ลมมีอุณหภูมิลดลง และเมื่อพัดผ่านหลังคาและบริเวณปากปล่องทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนี้มีค่าลดลงด้วย อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศบริเวณนี้ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ยกเว้นในช่วงเวลา 22.00-4.00 น. จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร แต่จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

4.12.3.5 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออกกับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

เมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารบริเวณรอบบ้านต่ำลง ส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตอนที่ยังไม่มีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ยกเว้นบางช่วงเวลาในตอนดึกเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปการออกแบบปล่องระบายอากาศ

เนื่องจาก ในเบื้องต้นการออกแบบบ้านพักอาศัยกรณีศึกษาที่นำมาทดลองนี้ ไม่ได้นำแนวความคิดของการลดอุณหภูมิภายในอาคารผ่านทางปล่องระบายอากาศมาใช้ ดังจะเห็นได้จากการที่อุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออกนั้นไม่แตกต่างจากอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากนัก หรือระดับความสูงระหว่างหน้าต่างลมเข้า และหน้าต่างลมออกที่ค่อนข้างน้อย ส่งผลให้ประสิทธิผลของปล่องระบายอากาศที่เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย ดังนั้น หากมีการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการออกแบบปล่องระบายอากาศ ซึ่งได้แก่ ความสูงของปล่องระบายอากาศ, ขนาดพื้นที่หน้าต่างลมเข้า และออก, ความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ระดับหน้าต่างลมออก กับอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร รวมทั้งการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายรอบบ้าน (Microclimate) ก็จะเป็นการช่วยสร้างสภาวะน่าสบายให้เกิดขึ้นภายในอาคารได้ เพื่อช่วยลดภาระการปรับอากาศภายในอาคารโดยใช้เครื่องกล

5.1.1 บทสรุปวิธีที่ใช้ในการศึกษาการออกแบบปล่องระบายอากาศ

การวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการศึกษาเกี่ยวกับการหาแนวทางการออกแบบปล่องระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัยในประเทศไทย โดยเหตุผลที่เลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจาก ในอดีตเราศึกษาพฤติกรรมของของไหลโดยใช้ โต๊ะน้ำ และอุโมงค์ลม ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้ต่างมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ความหนืดของน้ำแตกต่างจากอากาศ การใช้อุโมงค์ลมเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ซึ่งทำให้ผลการศึกษาที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นโปรแกรมประเภท **CFD (Computational fluid dynamics)** ที่ชื่อ "**HEATX**" (Andrew & Prithiviraj, 1997) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย Texas A&M ประเทศสหรัฐอเมริกา

5.1.2 บทสรุปการออกแบบปล่องระบายอากาศ

ลักษณะโดยสรุปของการออกแบบปล่องระบายอากาศที่ได้นำมาศึกษาในการวิจัยมีรายละเอียด ดังนี้

- อาศัยความร้อนจากห้องใต้หลังคาประกอบกับปล่องระบายอากาศ
- ความสูงจากระดับกึ่งกลางหน้าต่างลมเข้าถึงกึ่งกลางหน้าต่างลมออก 9.10 เมตร
- พื้นที่หน้าต่างลมเข้า 3.43 ตารางเมตร และหน้าต่างลมออก 3.43 ตารางเมตร
- พื้นที่ทางผ่านของลมบริเวณช่องบันได มีขนาด 3.43 ตารางเมตร

- พื้นที่ช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 มีขนาด 3.43 ตารางเมตร
- พื้นที่หน้าตัดของปล่องระบายอากาศมีขนาด 3.43 ตารางเมตร

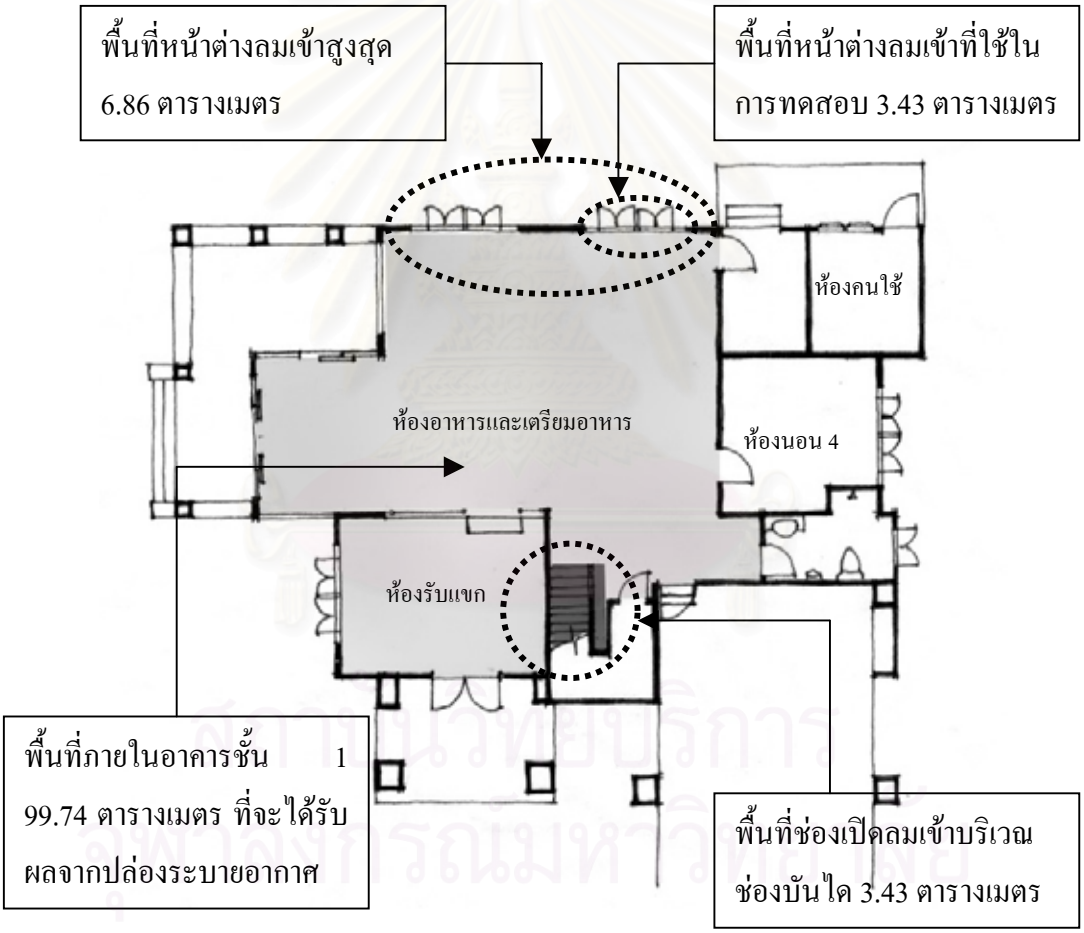
จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ปล่องระบายอากาศจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ดีในช่วงเวลากลางวัน และจากลักษณะโดยรวม ถ้าเปรียบเทียบพื้นที่หน้าต่างลมเข้าเป็นอัตราส่วนร้อยละต่อพื้นที่ภายในอาคารชั้น 1 จะเท่ากับร้อยละ 3.44 หรือ 3.44% จะส่งผลให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านพักอาศัยกรณีศึกษา โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ภายนอกอาคารไม่มีลม กล่าวคือ ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศภายในอาคารชั้น 1 จะเพิ่มจาก 0.07 ACH เป็น 1.76 ACH ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่า ปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศสำหรับพื้นที่ที่เป็นโถง (Oakley, 1961: 120) จะอยู่ที่ 1 ACH และปริมาณการแลกเปลี่ยนอากาศนี้จะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้านให้มีอุณหภูมิลดต่ำลง ส่วนในเรื่องของระดับความเร็วลมภายในอาคารจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น และอยู่ในระดับที่มนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้ และหากภายนอกอาคารมีลมก็จะส่งผลให้ระดับความเร็วลมภายในอาคารนี้เพิ่มขึ้นอีกได้เล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม การออกแบบให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะต้องประกอบไปด้วยทั้งการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ และการระบายอากาศลักษณะที่เป็นการพัดผ่านตลอด เพราะจากการทดสอบชี้ให้เห็นว่า แม้ภายนอกอาคารจะมีลม แต่หากไม่มีการระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด มีแต่เพียงการระบายอากาศผ่านปล่องระบายอากาศ ก็ไม่ช่วยให้เกิดประโยชน์แต่อย่างใด นอกจากนี้ การเสริมด้วยการปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบบ้านให้มีอุณหภูมิที่ลดต่ำลง ก็จะทำให้อากาศที่ได้รับการเหนี่ยวนำเข้าสู่ในอาคารมีอุณหภูมิที่ต่ำลงด้วย

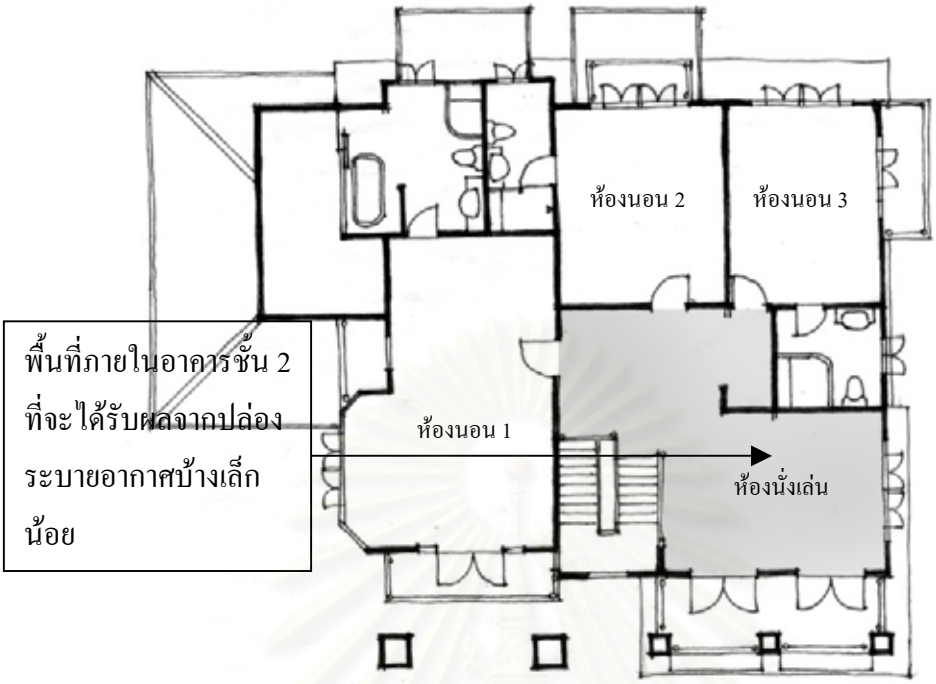
<u>หมายเหตุ</u>: ในการออกแบบหน้าต่างลมเข้า - ออก ของปล่องระบายอากาศมีข้อควรคำนึงถึงเพิ่มเติม คือ การออกแบบตำแหน่งของหน้าต่างลมเข้านั้นควรจะอยู่ในทิศทางที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์น้อย และควรมีชายคาหรือแผงกันแดดเพื่อลดผลกระทบในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนที่จะเข้ามาทางหน้าต่าง รวมทั้งการให้ตำแหน่งของหน้าต่างอยู่ในระดับที่ต่ำ เพราะลมที่พัดผ่านผิวดินจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ส่วนในเรื่องของตำแหน่งหน้าต่างลมออกนั้น จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า หากทำหน้าต่างลมออกเพียงด้านเดียว จะทำให้ลมในช่วงฤดูหนาวพัดย้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหน้าต่างลมออกบริเวณปากปล่องระบายอากาศ ดังนั้น วิธีที่จะแก้ไข ก็คือ ในกรณีที่มีหน้าต่างลมออกอยู่เพียงด้านเดียวจะต้องปิดหน้าต่างลมออกนี้ในช่วงฤดูหนาว หรืออีกกรณีหนึ่ง คือ ออกแบบให้มีหน้าต่างลมออก 2 ด้านอยู่ตรงข้ามกัน โดยในฤดูร้อนเปิดหน้าต่าง

ลมออกในด้านที่อับลม ส่วนเมื่อถึงในช่วงฤดูหนาวก็เปิดหน้าต่างลมออกในด้านตรงกันข้าม และปิดด้านเดิมที่เคยเปิดในช่วงฤดูร้อนเสีย ดังนั้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้ทำหน้าต่างลมออกนี้ควรที่จะเปิดปิดได้ เช่น หน้าต่างบานเกล็ดที่ปรับมุมได้จากภายในอาคาร

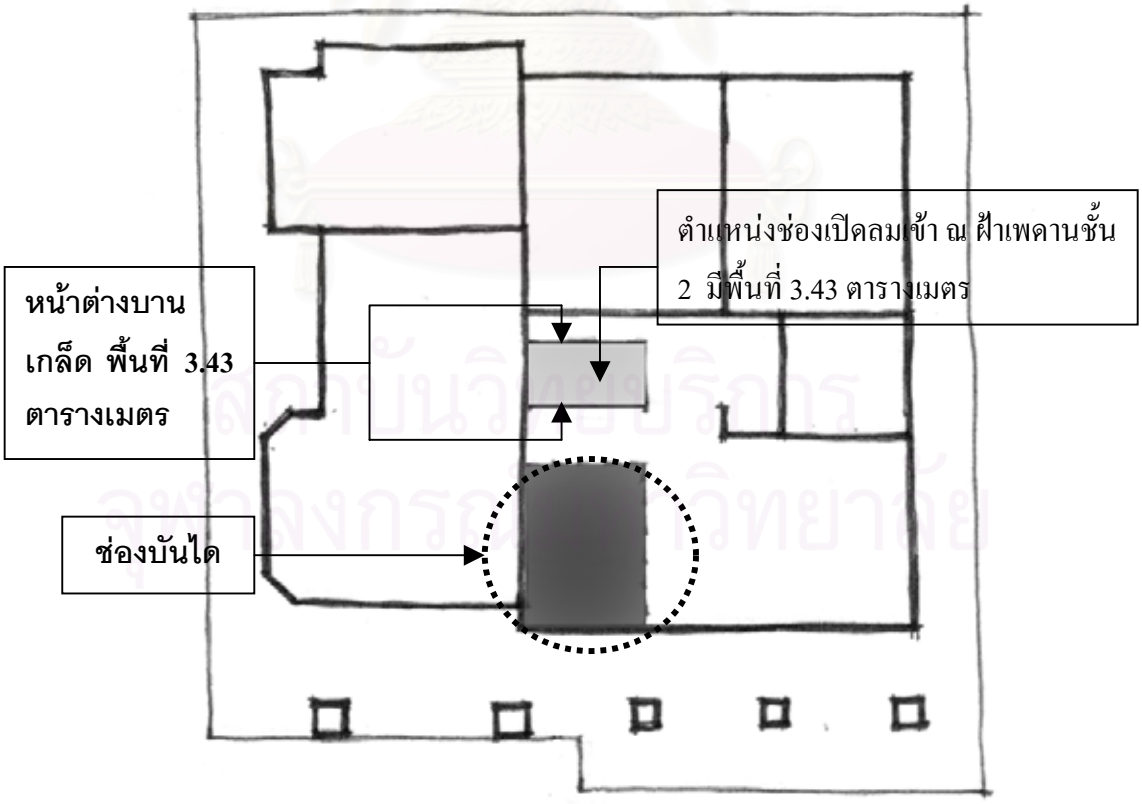
5.1.3 ตัวอย่างแบบอาคารที่ได้รับการออกแบบให้มีการใช้ปล่องระบายอากาศ



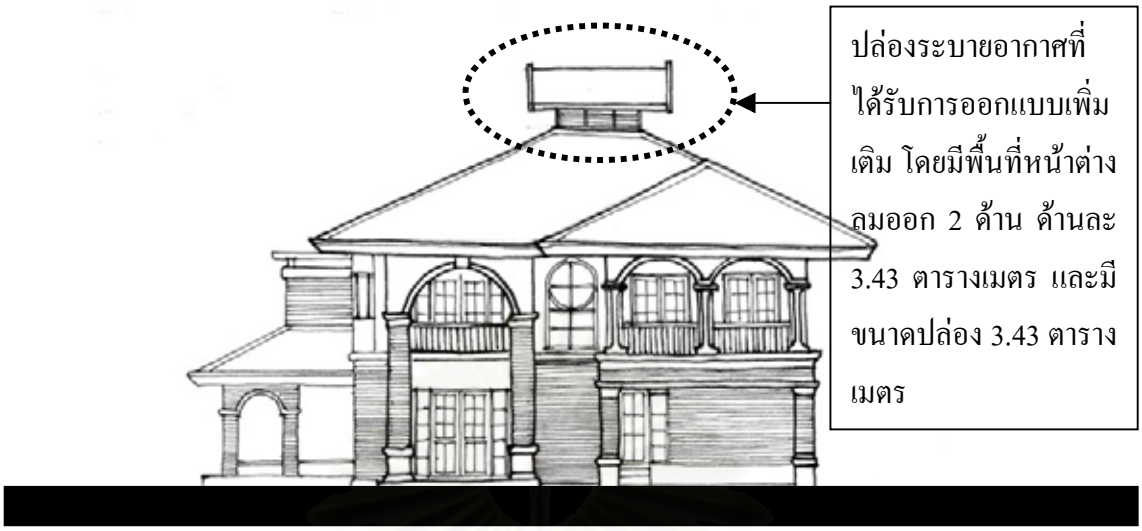
ผังพื้นชั้น 1



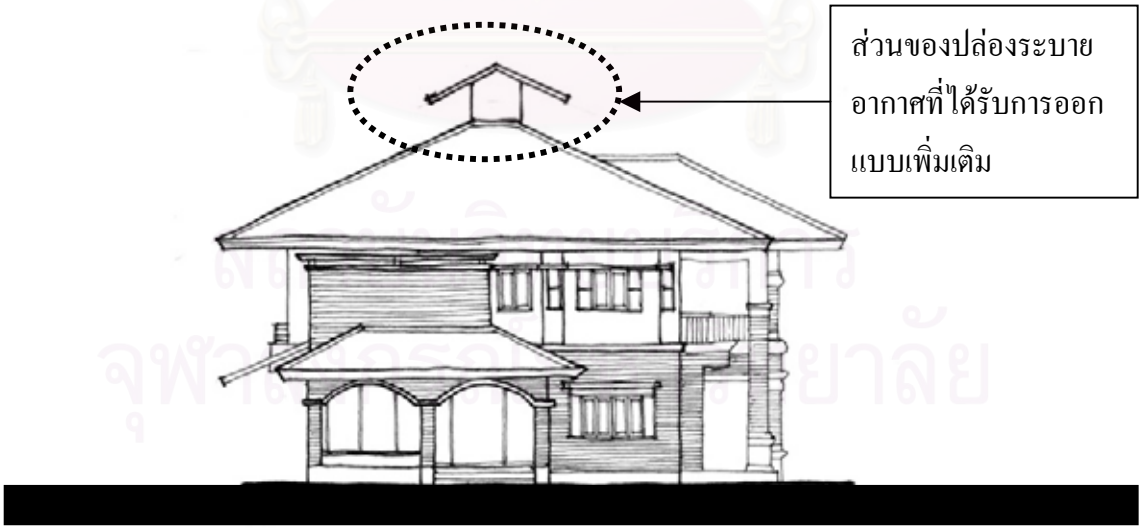
ผังพื้นชั้น 2



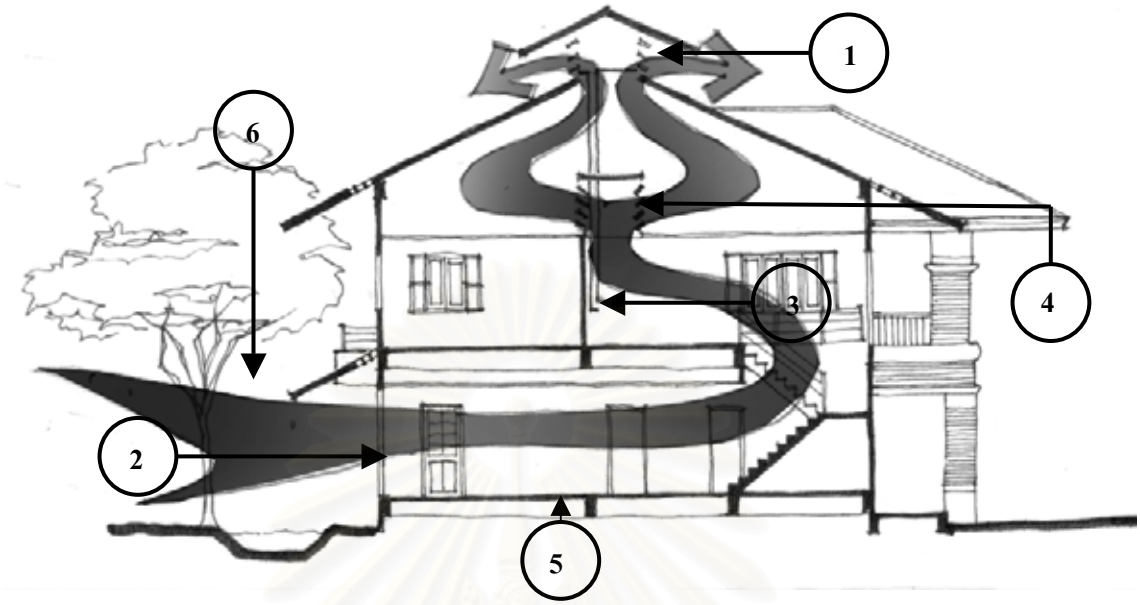
ผังฝ้าเพดานชั้น 2



รูปด้าน 1



รูปด้าน 2



รูปที่ 5.1
ตัวอย่างแบบอาคารที่ได้รับการออกแบบให้มีการใช้ปล่องระบายอากาศ

(1) การออกแบบหน้าต่างลมออกที่จะทำให้เกิดอัตราการระบายอากาศมากที่สุดนั้น จะต้องมีขนาดพื้นที่เท่ากับหน้าต่างลมเข้า แต่เนื่องจาก ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ค่อนข้างยาก ดังนั้น จึงควรออกแบบให้หน้าต่างลมออกมีขนาดพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับหน้าต่างลมเข้าให้มากที่สุด นอกจากนี้ ในทางปฏิบัติจริงจะต้องมีการติดตั้งบานเกล็ดหรือมุ้งลวดที่หน้าต่างลมออก เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและสัตว์ต่างๆ อีกทั้งการยื่นชายคา เพื่อป้องกันฝนสาดเข้าสู่ภายในปล่องระบายอากาศ และการกระทำดังกล่าวยังเป็นการช่วยเพิ่มอุณหภูมิอากาศ ณ ระดับหน้าต่างลมออกอีกด้วย

<u>หมายเหตุ:</u> ในส่วนของหน้าต่างลมออกมีข้อที่ควรคำนึงถึงในการใช้งาน คือ ถ้าจะให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศจากภายในออกดีที่สุดจะต้องเปิดหน้าต่างลมอออกเพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น โดยในฤดูร้อนจะเปิดหน้าต่างลมออกในด้านที่อับลม (ทิศเหนือหรือตะวันออกเฉียงเหนือ) ส่วนเมื่อถึงในช่วงฤดูหนาวก็เปิดหน้าต่างลมออกในด้านตรงกันข้าม (ทิศใต้หรือตะวันตกเฉียงใต้) และปิดด้านเดิมที่เคยเปิดในช่วงฤดูร้อนเสีย ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาทำหน้าต่างลมออกควรสามารถที่จะปิดเปิดได้ โดยควบคุมจากภายในอาคาร

(2) การวางตำแหน่งของหน้าต่างลมเข้านั้น ควรจะอยู่ในทิศทางที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์น้อย และควรมีชายคาหรือแผงกันแดด เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนที่จะเข้ามาทางหน้าต่าง

นอกจากนี้ การออกแบบให้มีหน้าต่างลมเข้าอยู่ติดพื้นดินก็จะเป็นประโยชน์ เนื่องจากว่า บริเวณใกล้ผิวดินนี้มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ลมที่พัดผ่านเข้าสู่อาคารมีอุณหภูมิต่ำด้วย

3 อุปกรณ์ในการปิด-เปิดบานเกล็ดของหน้าต่างลมออก โดยติดตั้งอยู่ภายในอาคาร

4 การปรับช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 ให้อยู่ในแนวตั้ง และติดบานเกล็ดหรือมุ้งลวด เพื่อลดฝุ่นละอองที่จะลงสู่ภายในอาคาร และควรออกแบบช่องเปิดบริเวณนี้ให้มีขนาดใกล้เคียงกับหน้าต่างลมเข้าเช่นเดียวกับการออกแบบหน้าต่างลมออก หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศ อาจจะทำการติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่บริเวณนี้

5 การออกแบบให้พื้นชั้น 1 อยู่ติดดินจะช่วยให้อุณหภูมิผิวพื้นเย็นตลอดทั้งวัน

6 การออกแบบปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) เพื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง เป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะช่วยให้ปล่องระบายอากาศมีประสิทธิภาพในการช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในบ้านให้ลดต่ำลง

แบบของอาคารที่แสดงอยู่นี้เป็นแบบที่ได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมจากอาคารกรณีศึกษา ที่ได้เข้าไปเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำมาทดสอบ ซึ่งในการออกแบบปล่องระบายอากาศเพิ่มเติมเข้าไปจากแบบเดิมนั้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ดังนี้

- **ชุดช่องเปิดลมเข้าที่ฝ้าเพดานชั้น 2**

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	
				หน่วยละ	รวม
1	วงกบ	2	ชุด	1,500	3,000
2	บานเกล็ดติดตายไม้เชอร่า	102	เมตร	25	2,550
3	โครงคร่าวไม้ 1 ½ x 3 x 2.50	10	ท่อน	80	800
	รวมค่าวัสดุ				6,350
	ค่าแรง 30%				1,905
	รวมราคาค่าก่อสร้างชุดช่องเปิดลมเข้าที่ฝ้าเพดานชั้น 2				**8,255**

- **ชุดปล่องระบายอากาศเหนือหลังคาเดิม**

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	
				หน่วยละ	รวม
1	เหล็กตัว C	10	เส้น	450	4,500
2	กระเบื้องซีแพคโมเนีย	143	แผ่น	12	1,716
3	ครอบสัน และครอบข้าง	80	แผ่น	25	1,600
4	ไม้ปิดเชิงชาย	6	แผ่น	220	1,320
5	ไม้เชิงชาย	6	แผ่น	270	1,620
6	ไม้ปิดจั่ว	2	ข้าง	1000	2,000
7	ชุดเกล็ดปรับมุม	2	ชุด	3850	7,700
8	ฝ้าแผ่นเรียบภายนอก	5	ตร.ม.	500	2,500
9	สี	เหมา			2,000
10	เบ็ดเตล็ด	เหมา			1000
	รวมค่าวัสดุ				**25,956**
	ค่าแรง 30 %				7,787
	รวมราคาชุดปล่องระบายอากาศเหนือหลังคาเดิม				**33,743**

- **รวมราคาค่าก่อสร้างทั้งหมด**

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	
				หน่วยละ	รวม
1	รวมราคาค่าก่อสร้างชุดช่องเปิดลมเข้าที่ฝ้าเพดานชั้น 2				8,255
2	รวมราคาชุดปล่องระบายอากาศเหนือหลังคาเดิม				33,743
	รวมราคาค่าก่อสร้างทั้งหมด				**41,998**

หมายเหตุ: ประเมินราคาค่าก่อสร้างเบื้องต้นโดย บริษัท เดียวแอนด์เซฟ จำกัด

ตารางที่ 5.1
ราคาค่าก่อสร้างการเพิ่มเติมปล่องระบายอากาศโดยประมาณ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษานี้เป็นการจำลองสภาพด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ในลักษณะ 2 มิติ ซึ่งทำให้การศึกษามีข้อจำกัด และจะทำให้ผลของการศึกษาเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรนำการจำลองสภา ในลักษณะ 3 มิติมาใช้ในการศึกษา ซึ่งจะทำให้การศึกษาสามารถที่จะลงในรายละเอียดได้ลึกกว่า และมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

5.2.2 เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการศึกษา การจำลองสภาพที่ใช้จึงเป็นการคำนวณในลักษณะ Steady State ซึ่งเป็นการจำลองการถ่ายเทความร้อนที่ผันแปรกับระยะเวลาที่ได้รับความร้อน (Time dependent) ซึ่งจะยังมีความคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์จริงอยู่บ้าง แต่หากว่าต้องการความละเอียดในการคำนวณที่มากกว่านี้ควรที่จะทำการคำนวณในลักษณะ Transient แต่ก็จะใช้เวลาที่ค่อนข้างนานมาก

5.2.3 เนื่องจากวิธีดำเนินการวิจัยนี้ เป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการจำลองสภาพ ดังนั้น จึงน่าที่จะมีการศึกษาโดยใช้การสร้างหุ่นจำลองเพื่อวัดในสภาพแวดล้อมจริง แล้วทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้น

5.2.4 การศึกษานี้กำหนดตำแหน่งของปล่องระบายอากาศไว้เพียงตำแหน่งเดียว คือ ตรงกลางอาคาร โดยอาศัยความร้อนจากใต้หลังคา และความร้อนจากผนังปล่องที่อยู่เหนือหลังคาเป็นหลัก ซึ่งความร้อนดังกล่าวเป็นสิ่งที่ได้จากธรรมชาติ ในการวิจัยครั้งต่อไปจึงน่าจะมีการศึกษาถึงผลกระทบของตำแหน่ง และรูปแบบของปล่องระบายอากาศ ที่เจาะลึกลงไปในรายละเอียดที่เพิ่มมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ตรึงใจ บูรณสมภพ. **การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน**. กรุงเทพฯ: อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2539.

มาลินี ศรีสุวรรณ. การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสลม กับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาระศาสตร์: การประชุมวิชาการประจำปี สถาปัตยกรรมและศาสตร์ที่เกี่ยวเนื่อง ครั้งที่ 4** (ปีการศึกษา 2543): 234-248.

สมสิทธิ์ นิตยะ. การระบายอากาศด้วยปล่อง. **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์** (ปีการศึกษา 2523): 126-170.

สมสิทธิ์ นิตยะ. **การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สมัยศารท สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. การทำความเย็นด้วยระบบ Passive. **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์** (ปีการศึกษา 2523): 38-56.

ภาษาอังกฤษ

American Soceity of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. **ASHRAE Handbook Fundamentals**. SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 1993.

American Soceity of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. **ASHRAE Handbook Fundamentals**. SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 2001.

Awbi, H. B. **Ventilation of Buildings**. London: E&FN Spon, 1998.

Boutet,T. S. **Controlling Air Movement: a Manual for Architects and Builders**. New York: McGraw-Hill Book, 1987.

Brown, G. Z. **Sun, Wind and Light: Architectural Design Strategies**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

Brown, G. Z. **Insideout : design procedures for passive environmental technologies. 2nd ed.** New York : John Wiley & Sons, 1992.

Chen, Z. D., and Yuguo Li. Buoyancy-driven displacement natural ventilation in a single-zone building with three-level openings. **Building and Environment** Vol. 37, No. 3 (March 2002): 295-303.

Etheridge, D.W. Nondimensional methods for natural ventilation design. **Building and Environment** Vol. 37, No. 11 (November 2002): 1057-1072.

Fry, M., Drew J. Tropical Architecture in the Humid Zones. New York: Van Nostrand Reinhold, 1956.

Givoni, B. Passive and low energy cooling of buildings. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

Green W. K. **Passive Cooling**. แปลโดย สมสิทธิ์ นิตยะ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

Howell, S. A., and Potts, I. On the Natural Displacement flow through a full-scale enclosure, and the importance of the radiative participation of the water vapor content of the anbient air. **Building and Environment** Vol. 37, No. 8-9 (August-September 2002): 817-823.

Jones, D. L. **Architecture and Environment, Bioclimatic Building Design**. New York: Overlook Press,1998.

Koenigsberger, O. H., T. Ingersoll, A. Mayhew, and S. Szokolay. **Manual of Tropical Housing and Building Part 1: Climatic Design**. London: Longman Group, 1974.

Meyer, W. T. Energy economics and building design. New York: McGraw-Hill, 1983.

Peppes, A. A., Santamouris, M., and Asimakopoulos, D. N. Buoyancy-driven flow through a stairwell. **Building and Environment** Vol. 36, No. 2 (February 2001): 167-180.

Peppes, A. A., Santamouris, M., and Asimakopoulos, D. N. Experimental and numiracle study of Buoyancy-driven stairwell flow in three storey building. **Building and Environment** Vol. 37, No. 5 (May 2002): 497-506.

Santamouris, M., and Asimakopoulos, D. Passive cooling of buildings. London : James & James (Science Publishers), 1996.

Sreshthaputra, A. Building design and operation for improving thermal comfort in naturally ventilated buildings in a hot – humid climate. **Ph.D. Dissertation**. Texas A&M University, College Station, USA, 2003.

Sreshthaputra, A.,Haberl, J., and Andrews, M. J. Improving building design and operation of a Thai Buddhist temple using transient coupled DOE-2/CFD simulations. Submitted to the **Energy and buildings Journal**. 2003.

Stein, B., and Reynolds, J. S. Mechanical and electrical equipment for buildings. 8th ed. New York: John Wiley & Sons, 1992.

Szokolay V. S. Ventilation. Stack Effect. **Energy conservation in buildings**, 9-1 - 9-6. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

Trost, J. Heating, ventilating, and air conditioning. Upper Saddle River, NJ.: Prentice Hall, 1999.

Yuguo Li and Delsante A. natural ventilation induced by combined wind and thermal forces. **Building and Environment** Vol. 36, No. 1 (January 2001): 59-71.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงอุณหภูมิอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-1: อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	78.01	25.56	79.41	26.34	78.71	25.95	78.71	25.95	79.31	26.28
7.00 น.	78.71	25.95	79.41	26.34	79.41	26.34	79.41	26.34	80.01	26.67
8.00 น.	80.02	26.68	82.95	28.31	81.53	27.52	81.53	27.52	80.71	27.06
9.00 น.	84.38	29.10	85.1	29.50	82.95	28.31	83.67	28.71	83.12	28.40
10.00 น.	86.55	30.31	88.01	31.12	85.83	29.91	86.55	30.31	85.24	29.58
11.00 น.	88.74	31.52	89.48	31.93	87.28	30.71	88.74	31.52	87.83	31.02
12.00 น.	90.96	32.76	91.71	33.17	88.74	31.52	89.48	31.93	87.83	31.02
13.00 น.	91.71	33.17	91.71	33.17	91.71	33.17	90.96	32.76	89.55	31.97
14.00 น.	94.73	34.85	92.46	33.59	92.46	33.59	93.21	34.01	91.74	33.19
15.00 น.	93.97	34.43	94.73	34.85	93.97	34.43	93.97	34.43	94.46	34.70
16.00 น.	94.73	34.85	95.49	35.27	92.46	33.59	94.73	34.85	95.21	35.12
17.00 น.	91.71	33.17	91.71	33.17	90.96	32.76	92.46	33.59	92.22	33.46
18.00 น.	88.01	31.12	81.53	27.52	88.01	31.12	89.48	31.93	85.31	29.62
19.00 น.	85.83	29.91	80.02	26.68	80.12	26.73	80.02	26.68	79.31	26.28
20.00 น.	84.38	29.10	80.02	26.68	80.12	26.73	80.12	26.73	79.31	26.28
21.00 น.	83.67	28.71	80.02	26.68	80.12	26.73	80.12	26.73	80.01	26.67
22.00 น.	82.95	28.31	80.12	26.73	79.41	26.34	79.41	26.34	79.31	26.28
23.00 น.	82.24	27.91	80.12	26.73	79.41	26.34	79.41	26.34	79.31	26.28
24.00 น.	81.53	27.52	80.12	26.73	79.41	26.34	79.41	26.34	80.01	26.67
1.00 น.	81.53	27.52	80.12	26.73	79.41	26.34	79.41	26.34	80.31	26.84
2.00 น.	80.82	27.12	80.12	26.73	79.41	26.34	79.41	26.34	80.01	26.67
3.00 น.	80.12	26.73	79.41	26.34	78.71	25.95	79.41	26.34	80.01	26.67
4.00 น.	79.41	26.34	79.41	26.34	78.71	25.95	78.71	25.95	79.31	26.28
5.00 น.	78.01	25.56	79.41	26.34	78.71	25.95	78.71	25.95	79.31	26.28
เฉลี่ยกลางวัน	**87.85**	**31.03**	**88.51**	**31.40**	**87.17**	**30.65**	**87.79**	**30.99**	**87.27**	**30.71**
เฉลี่ยกลางคืน	**82.38**	**27.99**	**80.04**	**26.69**	**80.13**	**26.74**	**80.30**	**26.83**	**80.13**	**26.74**
เฉลี่ยทั้งวัน	**85.11**	**29.51**	**84.27**	**29.04**	**83.65**	**28.69**	**84.04**	**28.91**	**83.70**	**28.72**

ตาราง ก-2: อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	85.10	29.50	82.95	28.31	83.67	28.71	82.95	28.31	82.12	27.84
7.00 น.	85.10	29.50	83.67	28.71	83.67	28.71	82.95	28.31	82.12	27.84
8.00 น.	85.10	29.50	83.67	28.71	84.38	29.10	82.95	28.31	82.12	27.84
9.00 น.	85.83	29.91	85.10	29.50	84.38	29.10	83.67	28.71	83.82	28.79
10.00 น.	86.55	30.31	85.83	29.91	85.83	29.91	84.38	29.10	84.53	29.18
11.00 น.	86.55	30.31	87.28	30.71	85.83	29.91	85.83	29.91	84.95	29.42
12.00 น.	87.28	30.71	87.28	30.71	85.83	29.91	86.55	30.31	85.67	29.82
13.00 น.	87.28	30.71	88.01	31.12	86.55	30.31	87.28	30.71	86.67	30.37
14.00 น.	87.28	30.71	88.74	31.52	86.55	30.31	87.28	30.71	87.38	30.77
15.00 น.	88.01	31.12	88.74	31.52	88.01	31.12	88.74	31.52	90.01	32.23
16.00 น.	88.01	31.12	88.74	31.52	87.28	30.71	88.74	31.52	90.01	32.23
17.00 น.	88.01	31.12	88.74	31.52	87.28	30.71	88.74	31.52	90.01	32.23
18.00 น.	87.28	30.71	85.83	29.91	87.28	30.71	88.01	31.12	85.67	29.82
19.00 น.	87.28	30.71	85.10	29.50	85.83	29.91	85.83	29.91	85.24	29.58
20.00 น.	87.28	30.71	85.10	29.50	85.83	29.91	84.38	29.10	83.53	28.63
21.00 น.	86.55	30.31	85.10	29.50	85.10	29.50	84.38	29.10	82.82	28.23
22.00 น.	86.55	30.31	84.38	29.10	85.10	29.50	83.67	28.71	82.82	28.23
23.00 น.	86.55	30.31	84.38	29.10	85.10	29.50	83.67	28.71	82.82	28.23
24.00 น.	86.55	30.31	84.38	29.10	85.10	29.50	82.95	28.31	82.82	28.23
1.00 น.	85.83	29.91	84.38	29.10	85.10	29.50	82.95	28.31	82.12	27.84
2.00 น.	85.83	29.91	83.67	28.71	84.38	29.10	82.95	28.31	82.12	27.84
3.00 น.	85.83	29.91	83.67	28.71	84.38	29.10	82.95	28.31	82.12	27.84
4.00 น.	85.10	29.50	83.67	28.71	84.38	29.10	82.95	28.31	82.12	27.84
5.00 น.	85.10	29.50	83.67	28.71	84.38	29.10	82.95	28.31	82.12	27.84
เฉลี่ยกลางวัน	**86.68**	**30.38**	**86.56**	**30.31**	**85.77**	**29.87**	**85.84**	**29.91**	**85.78**	**29.88**
เฉลี่ยกลางคืน	**86.31**	**30.17**	**84.44**	**29.14**	**85.16**	**29.54**	**83.97**	**28.87**	**83.03**	**28.35**
เฉลี่ยทั้งวัน	**86.49**	**30.27**	**85.50**	**29.72**	**85.47**	**29.70**	**84.90**	**29.39**	**84.41**	**29.11**

ตาราง ก-3: อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	85.83	29.91	85.10	29.50	85.10	29.50	84.38	29.10	83.53	28.63
7.00 น.	85.83	29.91	85.10	29.50	84.38	29.10	84.38	29.10	83.53	28.63
8.00 น.	85.83	29.91	85.83	29.91	85.10	29.50	85.10	29.50	83.53	28.63
9.00 น.	86.55	30.31	85.83	29.91	85.10	29.50	85.83	29.91	84.53	29.18
10.00 น.	87.28	30.71	87.28	30.71	86.55	30.31	85.83	29.91	85.24	29.58
11.00 น.	87.28	30.71	88.01	31.12	86.55	30.31	86.55	30.31	85.67	29.82
12.00 น.	88.01	31.12	88.74	31.52	87.28	30.71	88.01	31.12	86.38	30.21
13.00 น.	88.74	31.52	89.48	31.93	88.01	31.12	88.01	31.12	86.67	30.37
14.00 น.	89.48	31.93	90.22	32.34	89.48	31.93	89.48	31.93	87.38	30.77
15.00 น.	90.96	32.76	90.96	32.76	90.22	32.34	90.96	32.76	92.96	33.87
16.00 น.	91.71	33.17	93.21	34.01	90.96	32.76	91.71	33.17	93.71	34.28
17.00 น.	91.71	33.17	91.71	33.17	90.22	32.34	91.71	33.17	92.96	33.87
18.00 น.	90.22	32.34	89.48	31.93	89.48	31.93	90.96	32.76	90.1	32.28
19.00 น.	89.48	31.93	88.74	31.52	88.01	31.12	88.74	31.52	86.38	30.21
20.00 น.	89.48	31.93	88.74	31.52	88.01	31.12	88.01	31.12	86.38	30.21
21.00 น.	88.74	31.52	88.01	31.12	87.28	30.71	88.01	31.12	85.67	29.82
22.00 น.	88.74	31.52	88.01	31.12	87.28	30.71	87.28	30.71	85.67	29.82
23.00 น.	88.01	31.12	87.28	30.71	86.55	30.31	87.28	30.71	84.95	29.42
24.00 น.	88.01	31.12	87.28	30.71	86.55	30.31	86.55	30.31	84.95	29.42
1.00 น.	87.28	30.71	86.55	30.31	86.55	30.31	86.55	30.31	84.95	29.42
2.00 น.	87.28	30.71	86.55	30.31	85.83	29.91	85.83	29.91	84.95	29.42
3.00 น.	86.55	30.31	86.55	30.31	85.83	29.91	85.83	29.91	84.24	29.02
4.00 น.	86.55	30.31	85.83	29.91	85.10	29.50	85.10	29.50	84.24	29.02
5.00 น.	85.83	29.91	85.83	29.91	85.10	29.50	85.10	29.50	83.53	28.63
เฉลี่ยกลางวัน	**88.27**	**31.26**	**88.46**	**31.36**	**87.41**	**30.78**	**87.66**	**30.92**	**87.17**	**30.65**
เฉลี่ยกลางคืน	**88.01**	**31.12**	**87.40**	**30.78**	**86.80**	**30.44**	**87.10**	**30.61**	**85.50**	**29.72**
เฉลี่ยทั้งวัน	**88.14**	**31.19**	**87.93**	**31.07**	**87.11**	**30.61**	**87.38**	**30.77**	**86.34**	**30.19**

ตาราง ก-4: อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได ที่ความสูง 1.00 เมตรจากระดับชานพักบันได

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	84.38	29.10	83.67	28.71	83.67	28.71	82.95	28.31	82.12	27.84
7.00 น.	84.38	29.10	84.38	29.10	83.67	28.71	82.95	28.31	82.12	27.84
8.00 น.	85.83	29.90	85.10	29.50	83.67	28.71	83.67	28.71	82.82	28.23
9.00 น.	87.28	30.71	85.83	29.91	85.10	29.50	85.10	29.50	84.53	29.18
10.00 น.	88.01	31.12	86.55	30.31	86.55	30.31	85.83	29.91	85.24	29.58
11.00 น.	90.96	32.76	88.01	31.12	87.28	30.71	87.28	30.71	85.67	29.82
12.00 น.	88.01	31.12	88.01	31.12	87.28	30.71	88.01	31.12	86.38	30.21
13.00 น.	88.01	31.12	88.74	31.52	88.01	31.12	88.01	31.12	86.67	30.37
14.00 น.	88.74	31.52	89.48	31.93	88.74	31.52	88.74	31.52	87.38	30.77
15.00 น.	90.22	32.34	90.22	32.34	89.48	31.93	90.22	32.34	91.48	33.04
16.00 น.	89.48	31.93	90.96	32.76	89.48	31.93	90.96	32.76	92.22	33.46
17.00 น.	88.01	31.12	90.96	32.76	88.74	31.52	90.96	32.76	91.48	33.04
18.00 น.	88.74	31.52	88.01	31.12	88.01	31.12	89.48	31.93	88.24	31.24
19.00 น.	88.74	31.52	85.83	29.91	85.83	29.91	85.83	29.91	84.24	29.02
20.00 น.	88.01	31.12	85.83	29.91	85.83	29.91	84.38	29.10	83.53	28.63
21.00 น.	88.01	31.12	85.83	29.91	85.10	29.50	84.38	29.10	83.53	28.63
22.00 น.	86.55	30.31	85.10	29.50	84.38	29.10	84.38	29.10	82.82	28.23
23.00 น.	86.55	30.31	85.10	29.50	84.38	29.10	83.67	28.71	82.82	28.23
24.00 น.	85.83	29.90	85.10	29.50	84.38	29.10	83.67	28.71	83.53	28.63
1.00 น.	85.83	29.90	85.10	29.50	84.38	29.10	83.67	28.71	82.82	28.23
2.00 น.	85.10	29.50	84.38	29.10	84.38	29.10	83.67	28.71	82.82	28.23
3.00 น.	85.10	29.50	84.38	29.10	83.67	28.71	83.67	28.71	82.82	28.23
4.00 น.	85.10	29.50	84.38	29.10	83.67	28.71	83.67	28.71	82.82	28.23
5.00 น.	84.38	29.10	84.38	29.10	83.67	28.71	83.67	28.71	82.82	28.23
เฉลี่ยกลางวัน	**87.78**	**30.99**	**87.66**	**30.92**	**86.81**	**30.45**	**87.06**	**30.59**	**86.51**	**30.28**
เฉลี่ยกลางคืน	**86.50**	**30.28**	**85.29**	**29.60**	**84.81**	**29.34**	**84.51**	**29.17**	**83.57**	**28.65**
เฉลี่ยทั้งวัน	**87.14**	**30.63**	**86.47**	**30.26**	**85.81**	**29.89**	**85.78**	**29.88**	**85.04**	**29.47**

ตาราง ก-5: อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได ที่ความสูง 3.50 เมตรจากระดับชานพักบันได

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	86.55	30.31	84.38	29.10	85.10	29.50	85.10	29.50	83.53	28.63
7.00 น.	86.55	30.31	84.38	29.10	85.10	29.50	85.10	29.50	83.53	28.63
8.00 น.	86.55	30.31	85.83	29.91	85.10	29.50	85.83	29.91	83.53	28.63
9.00 น.	87.28	30.71	86.55	30.31	85.83	29.91	85.83	29.91	85.24	29.58
10.00 น.	88.01	31.12	87.28	30.71	87.28	30.71	86.55	30.31	85.24	29.58
11.00 น.	88.74	31.52	88.01	31.12	88.01	31.12	87.28	30.71	86.38	30.21
12.00 น.	88.74	31.52	88.74	31.52	88.01	31.12	88.01	31.12	86.38	30.21
13.00 น.	89.48	31.93	89.48	31.93	88.74	31.52	88.74	31.52	86.67	30.37
14.00 น.	90.22	32.34	89.48	31.93	88.74	31.52	89.48	31.93	87.38	30.77
15.00 น.	90.22	32.34	90.96	32.76	90.22	32.34	90.22	32.34	92.22	33.46
16.00 น.	90.96	32.76	91.71	33.17	90.22	32.34	90.96	32.76	92.96	33.87
17.00 น.	90.96	32.76	90.96	32.76	90.22	32.34	90.96	32.76	92.22	33.46
18.00 น.	89.48	31.93	89.48	31.93	89.48	31.93	90.22	32.34	90.1	32.28
19.00 น.	89.48	31.93	87.28	30.71	89.48	31.93	89.48	31.93	85.67	29.82
20.00 น.	89.48	31.93	87.28	30.71	88.74	31.52	88.01	31.12	85.67	29.82
21.00 น.	89.48	31.93	87.28	30.71	88.01	31.12	88.01	31.12	85.67	29.82
22.00 น.	88.01	31.12	86.55	30.31	87.28	30.71	87.28	30.71	84.95	29.42
23.00 น.	88.01	31.12	86.55	30.31	87.28	30.71	87.28	30.71	84.95	29.42
24.00 น.	88.01	31.12	86.55	30.31	87.28	30.71	87.28	30.71	84.95	29.42
1.00 น.	87.28	30.71	85.83	29.91	86.55	30.31	86.55	30.31	84.24	29.02
2.00 น.	87.28	30.71	85.83	29.91	86.55	30.31	86.55	30.31	84.24	29.02
3.00 น.	87.28	30.71	85.10	29.50	85.83	29.91	85.83	29.91	84.24	29.02
4.00 น.	86.55	30.31	85.10	29.50	85.83	29.91	85.83	29.91	83.53	28.63
5.00 น.	86.55	30.31	85.10	29.50	85.83	29.91	85.83	29.91	83.53	28.63
เฉลี่ยกลางวัน	**88.69**	**31.49**	**88.15**	**31.19**	**87.71**	**30.95**	**87.84**	**31.02**	**87.11**	**30.61**
เฉลี่ยกลางคืน	**88.07**	**31.15**	**86.49**	**30.27**	**87.35**	**30.75**	**87.35**	**30.75**	**85.15**	**29.53**
เฉลี่ยทั้งวัน	**88.38**	**31.32**	**87.32**	**30.73**	**87.53**	**30.85**	**87.59**	**30.88**	**86.13**	**30.07**

ภาคผนวก ข
ตารางแสดงอุณหภูมิพื้นผิว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1: อุณหภูมิผิวพื้นชั้น 1

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	85.99	29.99	84.32	29.07	84.65	29.25	83.65	28.69	84.34	29.08
7.00 น.	85.66	29.81	84.65	29.25	84.65	29.25	83.65	28.69	84.34	29.08
8.00 น.	85.99	29.99	84.99	29.44	84.99	29.44	83.99	28.88	84.34	29.08
9.00 น.	85.33	29.63	85.32	29.62	84.99	29.44	84.32	29.07	85.66	29.81
10.00 น.	86.33	30.18	85.66	29.81	85.32	29.62	84.99	29.44	85.99	29.99
11.00 น.	86.33	30.18	85.99	29.99	85.32	29.62	84.99	29.44	85.32	29.62
12.00 น.	86.67	30.37	86.33	30.18	85.66	29.81	85.32	29.62	85.65	29.81
13.00 น.	86.67	30.37	86.67	30.37	85.66	29.81	85.66	29.81	86.99	30.55
14.00 น.	86.67	30.37	87.01	30.56	85.99	29.99	85.99	29.99	86.99	30.55
15.00 น.	87.01	30.56	87.01	30.56	85.99	29.99	87.01	30.56	88.33	31.29
16.00 น.	87.01	30.56	87.01	30.56	85.99	29.99	87.01	30.56	88.67	31.48
17.00 น.	87.01	30.56	87.01	30.56	85.99	29.99	87.01	30.56	88.67	31.48
18.00 น.	87.01	30.56	86.33	30.18	85.99	29.99	87.01	30.56	88.65	31.47
19.00 น.	86.67	30.37	85.99	29.99	85.66	29.81	85.66	29.81	85.99	29.99
20.00 น.	86.67	30.37	85.66	29.81	85.66	29.81	85.32	29.62	85.99	29.99
21.00 น.	86.67	30.37	85.66	29.81	85.32	29.62	84.99	29.44	85.65	29.81
22.00 น.	86.67	30.37	85.32	29.62	85.32	29.62	84.99	29.44	85.32	29.62
23.00 น.	86.67	30.37	85.32	29.62	85.32	29.62	84.65	29.25	84.99	29.44
24.00 น.	86.33	30.18	85.32	29.62	85.32	29.62	84.32	29.07	84.99	29.44
1.00 น.	86.33	30.18	84.99	29.44	84.99	29.44	84.32	29.07	84.99	29.44
2.00 น.	86.33	30.18	84.99	29.44	84.99	29.44	84.32	29.07	84.66	29.26
3.00 น.	86.33	30.18	84.99	29.44	84.99	29.44	83.99	28.88	84.66	29.26
4.00 น.	85.99	29.99	84.65	29.25	84.99	29.44	83.99	28.88	84.66	29.26
5.00 น.	85.99	29.99	84.65	29.25	84.65	29.25	83.99	28.88	84.34	29.08
เฉลี่ยกลางวัน	**86.39**	**30.22**	**86.00**	**30.00**	**85.43**	**29.69**	**85.30**	**29.61**	**86.27**	**30.15**
เฉลี่ยกลางคืน	**86.47**	**30.26**	**85.32**	**29.62**	**85.27**	**29.59**	**84.80**	**29.33**	**85.41**	**29.67**
เฉลี่ยทั้งวัน	**86.43**	**30.24**	**85.66**	**29.81**	**85.35**	**29.64**	**85.05**	**29.47**	**85.84**	**29.91**

ตาราง ข-2: อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานชั้น 1

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	85.66	29.81	84.65	29.25	85.49	29.72	84.32	29.07	84.66	29.26
7.00 น.	85.66	29.81	85.32	29.62	85.49	29.72	84.32	29.07	84.66	29.26
8.00 น.	85.99	29.99	85.32	29.62	85.49	29.72	84.65	29.25	84.66	29.26
9.00 น.	86.67	30.37	85.99	29.99	85.32	29.62	85.32	29.62	85.66	29.81
10.00 น.	87.01	30.56	86.67	30.37	86.33	30.18	85.66	29.81	85.99	29.99
11.00 น.	87.35	30.75	87.35	30.75	86.33	30.18	85.99	29.99	85.99	29.99
12.00 น.	87.35	30.75	87.69	30.94	86.67	30.37	86.67	30.37	85.99	29.99
13.00 น.	87.69	30.94	88.03	31.13	86.67	30.37	87.01	30.56	86.99	30.55
14.00 น.	87.69	30.94	88.37	31.32	87.01	30.56	87.35	30.75	87.32	30.73
15.00 น.	88.37	31.32	88.37	31.32	87.69	30.94	88.37	31.32	89.35	31.86
16.00 น.	88.03	31.13	89.06	31.70	87.35	30.75	88.37	31.32	90.03	32.24
17.00 น.	88.03	31.13	88.71	31.51	87.31	30.73	88.37	31.32	90.03	32.24
18.00 น.	87.35	30.75	87.01	30.56	87.01	30.56	88.03	31.13	89.99	32.22
19.00 น.	87.35	30.75	86.30	30.17	86.33	30.18	86.67	30.37	86.99	30.55
20.00 น.	87.35	30.75	86.33	30.18	86.33	30.18	85.59	29.77	86.32	30.18
21.00 น.	87.01	30.56	86.33	30.18	85.99	29.99	85.66	29.81	85.99	29.99
22.00 น.	87.01	30.56	85.99	29.99	85.99	29.99	85.66	29.81	85.65	29.81
23.00 น.	86.67	30.37	85.66	29.81	85.66	29.81	85.32	29.62	85.32	29.62
24.00 น.	86.67	30.37	85.66	29.81	85.66	29.81	85.32	29.62	85.65	29.81
1.00 น.	86.67	30.37	85.66	29.81	85.66	29.81	85.32	29.62	85.32	29.62
2.00 น.	86.33	30.18	85.32	29.62	85.32	29.62	84.99	29.44	84.99	29.44
3.00 น.	86.33	30.18	85.32	29.62	85.32	29.62	84.99	29.44	84.99	29.44
4.00 น.	85.99	29.99	84.99	29.44	85.32	29.62	85.65	29.81	84.66	29.26
5.00 น.	85.99	29.99	84.99	29.44	85.49	29.72	85.65	29.81	84.66	29.26
เฉลี่ยกลางวัน	**87.13**	**30.63**	**87.13**	**30.63**	**86.43**	**30.24**	**86.37**	**30.20**	**86.78**	**30.43**
เฉลี่ยกลางคืน	**86.73**	**30.40**	**85.80**	**29.89**	**85.84**	**29.91**	**85.74**	**29.85**	**85.88**	**29.93**
เฉลี่ยทั้งวัน	**86.93**	**30.51**	**86.46**	**30.26**	**86.13**	**30.07**	**86.05**	**30.03**	**86.33**	**30.18**

ตาราง ข-3: อุณหภูมิผิวพื้นชั้น 2

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	87.35	30.75	86.33	30.18	85.66	29.81	85.32	29.62	84.99	29.44
7.00 น.	87.01	30.56	86.33	30.18	85.66	29.81	85.32	29.62	84.99	29.44
8.00 น.	87.01	30.56	86.33	30.18	85.66	29.81	85.32	29.62	84.66	29.26
9.00 น.	87.35	30.75	86.33	30.18	85.66	29.81	85.99	29.99	85.66	29.81
10.00 น.	87.35	30.75	86.67	30.37	86.33	30.18	86.33	30.18	85.99	29.99
11.00 น.	87.69	30.94	87.01	30.56	86.67	30.37	86.67	30.37	85.32	29.62
12.00 น.	87.69	30.94	87.35	30.75	86.67	30.37	87.01	30.56	85.99	29.99
13.00 น.	88.03	31.13	87.69	30.94	87.01	30.56	87.35	30.75	86.65	30.36
14.00 น.	88.03	31.13	88.03	31.13	87.69	30.94	87.69	30.94	86.99	30.55
15.00 น.	89.40	31.89	88.71	31.51	88.37	31.32	88.71	31.51	90.37	32.43
16.00 น.	89.75	32.08	88.71	31.51	88.71	31.51	89.40	31.89	91.06	32.81
17.00 น.	89.40	31.89	89.40	31.89	88.71	31.51	89.75	32.08	91.06	32.81
18.00 น.	89.06	31.70	89.06	31.70	88.71	31.51	89.40	31.89	89.33	31.85
19.00 น.	88.71	31.51	88.37	31.32	88.03	31.13	88.03	31.13	88.33	31.29
20.00 น.	88.37	31.32	88.37	31.32	87.69	30.94	87.69	30.94	87.66	30.92
21.00 น.	88.37	31.32	88.03	31.13	87.35	30.75	87.35	30.75	87.32	30.73
22.00 น.	87.69	30.94	88.03	31.13	87.01	30.56	87.01	30.56	86.99	30.55
23.00 น.	88.03	31.13	87.69	30.94	87.01	30.56	86.67	30.37	86.99	30.55
24.00 น.	88.03	31.13	87.35	30.75	86.67	30.37	86.67	30.37	86.65	30.36
1.00 น.	88.03	31.13	87.35	30.75	86.67	30.37	86.33	30.18	86.32	30.18
2.00 น.	87.69	30.94	87.01	30.56	86.33	30.18	86.33	30.18	86.32	30.18
3.00 น.	87.69	30.94	87.01	30.56	86.33	30.18	85.99	29.99	85.65	29.81
4.00 น.	87.69	30.94	86.67	30.37	85.99	29.99	85.66	29.81	85.65	29.81
5.00 น.	87.35	30.75	86.67	30.37	85.66	29.81	85.66	29.81	85.32	29.62
เฉลี่ยกลางวัน	**88.01**	**31.11**	**87.41**	**30.78**	**86.90**	**30.50**	**87.07**	**30.60**	**86.98**	**30.54**
เฉลี่ยกลางคืน	**88.06**	**31.14**	**87.63**	**30.91**	**86.95**	**30.53**	**86.90**	**30.50**	**86.88**	**30.49**
เฉลี่ยทั้งวัน	**88.03**	**31.13**	**87.52**	**30.84**	**86.93**	**30.52**	**86.99**	**30.55**	**86.93**	**30.52**

ตาราง ข-4: อุณหภูมิผิวฝ้าเพดานชั้น 2

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	85.99	29.99	83.99	28.88	83.99	28.88	84.32	29.07	83.35	28.53
7.00 น.	86.33	30.18	83.99	28.88	83.99	28.88	83.99	28.88	83.03	28.35
8.00 น.	86.67	30.37	84.99	29.44	84.32	29.07	84.65	29.25	83.35	28.53
9.00 น.	87.69	30.94	86.67	30.37	85.32	29.62	85.99	29.99	85.01	29.45
10.00 น.	88.71	31.51	88.03	31.13	87.35	30.75	87.01	30.56	85.66	29.81
11.00 น.	90.10	32.28	89.40	31.89	89.06	31.70	88.37	31.32	86.65	30.36
12.00 น.	90.79	32.66	90.44	32.47	90.44	32.47	89.40	31.89	87.32	30.73
13.00 น.	91.49	33.05	91.14	32.86	91.14	32.86	90.79	32.66	87.99	31.11
14.00 น.	92.55	33.64	92.20	33.44	91.14	32.86	91.85	33.25	88.32	31.29
15.00 น.	92.55	33.64	93.26	34.03	92.55	33.64	93.26	34.03	93.85	34.36
16.00 น.	93.26	34.03	93.98	34.43	92.91	33.84	93.98	34.43	94.91	34.95
17.00 น.	92.91	33.84	93.98	34.43	92.55	33.64	93.62	34.23	94.91	34.95
18.00 น.	90.79	32.66	90.79	32.66	91.85	33.25	92.55	33.64	90.99	32.77
19.00 น.	90.10	32.28	88.37	31.32	90.10	32.28	90.10	32.28	86.65	30.36
20.00 น.	89.75	32.08	87.35	30.75	88.71	31.51	88.71	31.51	85.99	29.99
21.00 น.	89.40	31.89	87.01	30.56	87.69	30.94	87.69	30.94	85.99	29.99
22.00 น.	88.03	31.13	86.67	30.37	87.01	30.56	87.01	30.56	84.99	29.44
23.00 น.	87.69	30.94	86.33	30.18	86.67	30.37	86.67	30.37	84.66	29.26
24.00 น.	87.01	30.56	85.99	29.99	86.33	30.18	86.33	30.18	84.99	29.44
1.00 น.	86.67	30.37	85.66	29.81	85.66	29.81	85.99	29.99	84.34	29.08
2.00 น.	86.33	30.18	85.32	29.62	85.32	29.62	85.32	29.62	84.34	29.08
3.00 น.	86.67	30.37	85.32	29.62	84.99	29.44	85.32	29.62	84.01	28.89
4.00 น.	86.33	30.18	84.99	29.44	84.65	29.25	84.99	29.44	83.68	28.71
5.00 น.	86.33	30.18	84.65	29.25	84.32	29.07	84.65	29.25	83.35	28.53
เฉลี่ยกลางวัน	**89.92**	**32.18**	**89.34**	**31.86**	**88.73**	**31.52**	**88.94**	**31.63**	**87.86**	**31.03**
เฉลี่ยกลางคืน	**87.93**	**31.07**	**86.54**	**30.30**	**86.94**	**30.52**	**87.11**	**30.62**	**85.33**	**29.63**
เฉลี่ยทั้งวัน	**88.92**	**31.62**	**87.94**	**31.08**	**87.84**	**31.02**	**88.02**	**31.12**	**86.60**	**30.33**

ตาราง ข-5: อุณหภูมิผิวผนังภายนอกด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	81.35	27.42	81.35	27.42	81.03	27.24	81.03	27.24	80.76	27.09
7.00 น.	82.01	27.78	82.01	27.78	81.03	27.24	81.03	27.24	80.76	27.09
8.00 น.	84.99	29.44	85.99	29.99	82.34	27.97	82.34	27.97	81.08	27.27
9.00 น.	87.35	30.75	88.03	31.13	83.99	28.88	84.65	29.25	83.05	28.36
10.00 น.	88.37	31.32	89.06	31.70	86.67	30.37	85.99	29.99	84.05	28.92
11.00 น.	89.75	32.08	90.44	32.47	87.69	30.94	87.35	30.75	85.99	29.99
12.00 น.	90.79	32.66	91.14	32.86	89.06	31.70	88.71	31.51	85.99	29.99
13.00 น.	92.20	33.44	91.85	33.25	90.10	32.28	90.44	32.47	87.32	30.73
14.00 น.	92.55	33.64	92.55	33.64	90.79	32.66	90.79	32.66	88.32	31.29
15.00 น.	92.55	33.64	92.91	33.84	91.49	33.05	92.91	33.84	93.14	33.97
16.00 น.	92.91	33.84	92.91	33.84	91.49	33.05	92.91	33.84	93.49	34.16
17.00 น.	91.49	33.05	92.20	33.44	91.14	32.86	92.20	33.44	92.79	33.77
18.00 น.	89.75	32.08	87.01	30.56	89.75	32.08	91.49	33.05	89.65	32.03
19.00 น.	88.71	31.51	85.66	29.81	85.99	29.99	85.66	29.81	84.66	29.26
20.00 น.	87.69	30.94	84.65	29.25	84.99	29.44	84.32	29.07	83.35	28.53
21.00 น.	87.01	30.56	84.32	29.07	84.32	29.07	83.65	28.69	82.70	28.17
22.00 น.	85.99	29.99	83.99	28.88	83.65	28.69	82.99	28.33	82.38	27.99
23.00 น.	85.32	29.62	83.65	28.69	83.32	28.51	82.66	28.14	82.05	27.81
24.00 น.	84.65	29.25	83.32	28.51	82.99	28.33	82.34	27.97	82.38	27.99
1.00 น.	84.32	29.07	83.32	28.51	82.66	28.14	82.01	27.78	82.05	27.81
2.00 น.	83.65	28.69	82.99	28.33	82.01	27.78	81.68	27.60	81.73	27.63
3.00 น.	82.99	28.33	82.66	28.14	81.68	27.60	81.68	27.60	81.41	27.45
4.00 น.	82.34	27.97	82.34	27.97	81.35	27.42	81.35	27.42	81.08	27.27
5.00 น.	81.68	27.60	82.01	27.78	81.03	27.24	81.03	27.24	80.76	27.09
เฉลี่ยกลางวัน	**88.86**	**31.59**	**89.20**	**31.78**	**87.24**	**30.69**	**87.53**	**30.85**	**86.40**	**30.22**
เฉลี่ยกลางคืน	**85.34**	**29.63**	**83.83**	**28.79**	**83.65**	**28.69**	**83.41**	**28.56**	**82.85**	**28.25**
เฉลี่ยทั้งวัน	**87.10**	**30.61**	**86.52**	**30.29**	**85.44**	**29.69**	**85.47**	**29.70**	**84.62**	**29.23**

ตาราง ข-6: อุณหภูมิผิวผนังภายในด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	85.99	29.99	84.65	29.25	83.99	28.88	83.65	28.69	83.03	28.35
7.00 น.	85.66	29.81	84.32	29.07	83.65	28.69	83.65	28.69	82.70	28.17
8.00 น.	85.99	29.99	84.32	29.07	83.99	28.88	83.65	28.69	83.03	28.35
9.00 น.	85.66	29.81	84.65	29.25	83.99	28.88	83.99	28.88	84.03	28.91
10.00 น.	85.99	29.99	85.32	29.62	84.32	29.07	84.32	29.07	84.35	29.08
11.00 น.	86.33	30.18	85.99	29.99	84.99	29.44	84.99	29.44	84.34	29.08
12.00 น.	87.01	30.56	86.67	30.37	85.32	29.62	85.66	29.81	84.34	29.08
13.00 น.	87.35	30.75	87.35	30.75	85.99	29.99	86.33	30.18	85.34	29.63
14.00 น.	87.69	30.94	88.03	31.13	86.67	30.37	87.01	30.56	85.99	29.99
15.00 น.	88.37	31.32	88.71	31.51	87.69	30.94	88.37	31.32	89.69	32.05
16.00 น.	88.71	31.51	89.40	31.89	88.03	31.13	89.06	31.70	90.37	32.43
17.00 น.	89.06	31.70	89.75	32.08	88.03	31.13	89.40	31.89	90.37	32.43
18.00 น.	89.06	31.70	88.71	31.51	88.37	31.32	89.06	31.70	90.32	32.40
19.00 น.	88.71	31.51	88.03	31.13	87.35	30.75	87.69	30.94	86.32	30.18
20.00 น.	88.71	31.51	87.69	30.94	87.01	30.56	87.01	30.56	85.99	29.99
21.00 น.	88.37	31.32	87.35	30.75	86.67	30.37	86.67	30.37	85.32	29.62
22.00 น.	88.03	31.13	87.01	30.56	86.33	30.18	85.99	29.99	84.99	29.44
23.00 น.	87.69	30.94	86.67	30.37	85.99	29.99	85.66	29.81	84.34	29.08
24.00 น.	87.35	30.75	86.33	30.18	85.66	29.81	85.32	29.62	84.34	29.08
1.00 น.	87.01	30.56	85.99	29.99	85.32	29.62	84.99	29.44	84.01	28.89
2.00 น.	87.01	30.56	85.66	29.81	84.99	29.44	84.65	29.25	83.68	28.71
3.00 น.	86.67	30.37	85.32	29.62	84.65	29.25	84.32	29.07	83.68	28.71
4.00 น.	86.33	30.18	84.99	29.44	84.32	29.07	83.99	28.88	83.35	28.53
5.00 น.	85.99	29.99	84.99	29.44	84.32	29.07	83.99	28.88	83.03	28.35
เฉลี่ยกลางวัน	**86.98**	**30.55**	**86.60**	**30.33**	**85.56**	**29.75**	**85.84**	**29.91**	**85.63**	**29.80**
เฉลี่ยกลางคืน	**87.58**	**30.88**	**86.56**	**30.31**	**85.92**	**29.95**	**85.78**	**29.88**	**84.95**	**29.42**
เฉลี่ยทั้งวัน	**87.28**	**30.71**	**86.58**	**30.32**	**85.74**	**29.85**	**85.81**	**29.89**	**85.29**	**29.61**

ตาราง ข-7: อุณหภูมิผิวผนังภายนอกด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 3.1	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	78.12	25.62	79.73	26.52	79.73	26.52	79.41	26.34	79.48	26.38
7.00 น.	79.73	26.52	80.70	27.06	80.05	26.69	79.41	26.34	79.48	26.38
8.00 น.	83.65	28.69	85.66	29.81	82.01	27.78	82.01	27.78	80.76	27.09
9.00 น.	93.98	34.43	91.14	32.86	85.32	29.62	86.33	30.18	83.05	28.36
10.00 น.	102.19	38.99	98.00	36.67	96.52	35.84	91.49	33.05	85.34	29.63
11.00 น.	105.35	40.75	99.13	37.29	99.50	37.50	94.34	34.63	89.69	32.05
12.00 น.	101.03	38.35	98.75	37.08	97.26	36.26	96.52	35.84	90.37	32.43
13.00 น.	96.89	36.05	97.63	36.46	96.89	36.05	95.43	35.24	91.71	33.17
14.00 น.	95.43	35.24	96.52	35.84	97.26	36.26	95.06	35.03	93.10	33.94
15.00 น.	94.70	34.83	94.70	34.83	95.06	35.03	95.43	35.24	98.52	36.96
16.00 น.	93.98	34.43	94.34	34.63	94.70	34.83	95.06	35.03	98.16	36.76
17.00 น.	92.55	33.64	93.26	34.03	93.62	34.23	94.34	34.63	96.70	35.94
18.00 น.	90.10	32.28	86.67	30.37	92.20	33.44	92.91	33.84	90.67	32.59
19.00 น.	88.71	31.51	85.99	29.99	87.35	30.75	87.01	30.56	85.65	29.81
20.00 น.	87.01	30.56	84.65	29.25	85.66	29.81	84.32	29.07	83.35	28.53
21.00 น.	85.66	29.81	83.99	28.88	84.32	29.07	82.99	28.33	82.05	27.81
22.00 น.	84.32	29.07	82.99	28.33	83.32	28.51	82.01	27.78	81.41	27.45
23.00 น.	83.65	28.69	82.66	28.14	82.66	28.14	81.68	27.60	81.08	27.27
24.00 น.	82.66	28.14	82.34	27.97	82.01	27.78	81.03	27.24	81.08	27.27
1.00 น.	82.01	27.78	81.68	27.60	81.35	27.42	80.70	27.06	80.44	26.91
2.00 น.	81.35	27.42	81.35	27.42	81.03	27.24	80.38	26.88	80.44	26.91
3.00 น.	80.38	26.88	81.03	27.24	80.70	27.06	80.05	26.69	80.12	26.73
4.00 น.	79.41	26.34	80.70	27.06	80.05	26.69	79.73	26.52	79.80	26.56
5.00 น.	78.44	25.80	80.05	26.69	79.73	26.52	79.41	26.34	79.80	26.56
เฉลี่ยกลางวัน	**93.13**	**33.96**	**92.46**	**33.59**	**91.49**	**33.05**	**90.40**	**32.45**	**88.86**	**31.59**
เฉลี่ยกลางคืน	**83.64**	**28.69**	**82.84**	**28.25**	**83.37**	**28.54**	**82.69**	**28.16**	**82.16**	**27.87**
เฉลี่ยทั้งวัน	**88.39**	**31.33**	**87.65**	**30.92**	**87.43**	**30.79**	**86.54**	**30.30**	**85.51**	**29.73**

ตาราง ข-8: อุณหภูมิผิวผนังภายในด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	83.99	28.88	82.66	28.14	82.66	28.14	81.68	27.60	81.73	27.63
7.00 น.	84.32	29.07	82.34	27.97	82.34	27.97	81.68	27.60	81.73	27.63
8.00 น.	84.32	29.07	82.99	28.33	82.66	28.14	82.01	27.78	81.73	27.63
9.00 น.	84.39	29.11	83.99	28.88	82.99	28.33	82.66	28.14	83.05	28.36
10.00 น.	85.32	29.62	85.99	29.99	84.32	29.07	83.65	28.69	83.70	28.72
11.00 น.	87.69	30.94	88.03	31.13	85.99	29.99	84.99	29.44	84.01	28.89
12.00 น.	89.75	32.08	89.75	32.08	87.69	30.94	86.67	30.37	84.99	29.44
13.00 น.	91.14	32.86	91.14	32.86	89.06	31.70	88.03	31.13	86.99	30.55
14.00 น.	91.49	33.05	91.85	33.25	89.75	32.08	89.40	31.89	87.99	31.11
15.00 น.	91.49	33.05	91.85	33.25	89.75	32.08	92.20	33.44	92.79	33.77
16.00 น.	91.49	33.05	91.85	33.25	90.10	32.28	92.20	33.44	93.14	33.97
17.00 น.	91.14	32.86	91.85	33.25	90.44	32.47	92.20	33.44	93.49	34.16
18.00 น.	90.79	32.66	90.44	32.47	90.10	32.28	91.85	33.25	91.06	32.81
19.00 น.	90.10	32.28	89.06	31.70	89.40	31.89	89.75	32.08	89.35	31.86
20.00 น.	89.40	31.89	88.03	31.13	88.37	31.32	88.37	31.32	87.66	30.92
21.00 น.	88.71	31.51	87.01	30.56	87.01	30.56	87.01	30.56	85.99	29.99
22.00 น.	88.37	31.32	85.99	29.99	86.33	30.18	85.66	29.81	84.99	29.44
23.00 น.	87.35	30.75	85.32	29.62	85.66	29.81	84.65	29.25	84.01	28.89
24.00 น.	87.01	30.56	84.99	29.44	84.99	29.44	83.99	28.88	83.68	28.71
1.00 น.	86.33	30.18	84.32	29.07	84.32	29.07	83.32	28.51	83.03	28.35
2.00 น.	85.66	29.81	83.99	28.88	83.99	28.88	82.99	28.33	82.70	28.17
3.00 น.	85.32	29.62	83.65	28.69	83.65	28.69	82.66	28.14	82.70	28.17
4.00 น.	84.65	29.25	83.32	28.51	82.99	28.33	82.34	27.97	82.38	27.99
5.00 น.	84.32	29.07	82.99	28.33	82.99	28.33	82.01	27.78	82.05	27.81
เฉลี่ยกลางวัน	**88.04**	**31.14**	**87.86**	**31.03**	**86.48**	**30.27**	**86.45**	**30.25**	**86.28**	**30.15**
เฉลี่ยกลางคืน	**87.33**	**30.74**	**85.76**	**29.87**	**85.82**	**29.90**	**85.38**	**29.66**	**84.97**	**29.43**
เฉลี่ยทั้งวัน	**87.69**	**30.94**	**86.81**	**30.45**	**86.15**	**30.08**	**85.92**	**29.95**	**85.62**	**29.79**

ตาราง ข-9: อุณหภูมิผิวผนังภายนอกด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	78.44	25.80	79.08	26.16	78.76	25.98	78.76	25.98	79.48	26.38
7.00 น.	78.44	25.80	79.41	26.34	79.08	26.16	79.08	26.16	79.80	26.56
8.00 น.	79.73	26.52	81.03	27.24	80.38	26.88	80.38	26.88	80.12	26.73
9.00 น.	82.34	27.97	83.32	28.51	82.01	27.78	82.34	27.97	82.08	27.82
10.00 น.	84.65	29.25	85.99	29.99	84.65	29.25	84.32	29.07	83.70	28.72
11.00 น.	86.67	30.37	88.03	31.13	86.33	30.18	86.67	30.37	85.65	29.81
12.00 น.	88.71	31.51	89.40	31.89	87.69	30.94	88.37	31.32	86.65	30.36
13.00 น.	90.44	32.47	90.10	32.28	89.40	31.89	89.75	32.08	87.99	31.11
14.00 น.	91.14	32.86	91.49	33.05	90.10	32.28	91.49	33.05	89.67	32.04
15.00 น.	92.91	33.84	92.20	33.44	92.20	33.44	92.20	33.44	93.14	33.97
16.00 น.	93.62	34.23	92.91	33.84	91.85	33.25	92.55	33.64	93.85	34.36
17.00 น.	91.49	33.05	91.85	33.25	90.44	32.47	91.85	33.25	92.44	33.58
18.00 น.	88.71	31.51	84.65	29.25	89.06	31.70	90.44	32.47	86.35	30.19
19.00 น.	87.35	30.75	82.66	28.14	82.34	27.97	83.32	28.51	82.38	27.99
20.00 น.	85.66	29.81	81.68	27.60	81.35	27.42	81.35	27.42	81.41	27.45
21.00 น.	84.65	29.25	81.68	27.60	80.70	27.06	80.70	27.06	80.76	27.09
22.00 น.	83.65	28.69	81.03	27.24	80.38	26.88	80.05	26.69	80.44	26.91
23.00 น.	82.99	28.33	81.03	27.24	80.05	26.69	79.73	26.52	80.44	26.91
24.00 น.	82.01	27.78	80.70	27.06	80.05	26.69	79.73	26.52	80.12	26.73
1.00 น.	81.68	27.60	80.38	26.88	79.73	26.52	79.41	26.34	80.12	26.73
2.00 น.	81.03	27.24	80.05	26.69	79.73	26.52	79.41	26.34	80.12	26.73
3.00 น.	80.38	26.88	80.05	26.69	79.41	26.34	79.08	26.16	80.12	26.73
4.00 น.	79.41	26.34	79.73	26.52	79.08	26.16	79.08	26.16	79.80	26.56
5.00 น.	78.76	25.98	79.73	26.52	78.76	25.98	79.08	26.16	79.80	26.56
เฉลี่ยกลางวัน	**86.55**	**30.30**	**87.07**	**30.59**	**86.07**	**30.04**	**86.48**	**30.27**	**86.21**	**30.12**
เฉลี่ยกลางคืน	**83.02**	**28.35**	**81.11**	**27.29**	**80.89**	**27.16**	**80.95**	**27.19**	**80.99**	**27.22**
เฉลี่ยทั้งวัน	**84.79**	**29.33**	**84.09**	**28.94**	**83.48**	**28.60**	**83.71**	**28.73**	**83.60**	**28.67**

ตาราง ข-10: อุณหภูมิผิวผนังภายในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	83.99	28.88	82.01	27.78	82.66	28.14	81.35	27.42	81.73	27.63
7.00 น.	83.65	28.69	82.01	27.78	82.66	28.14	81.35	27.42	81.73	27.63
8.00 น.	84.32	29.07	82.34	27.97	82.66	28.14	81.68	27.60	81.73	27.63
9.00 น.	84.32	29.07	82.66	28.14	82.99	28.33	82.34	27.97	83.05	28.36
10.00 น.	83.99	28.88	84.32	29.07	83.65	28.69	82.99	28.33	83.38	28.54
11.00 น.	84.65	29.25	85.32	29.62	84.32	29.07	83.99	28.88	83.35	28.53
12.00 น.	85.66	29.81	85.99	29.99	84.99	29.44	84.65	29.25	84.34	29.08
13.00 น.	86.33	30.18	87.01	30.56	85.66	29.81	85.99	29.99	85.66	29.81
14.00 น.	87.35	30.75	88.03	31.13	86.33	30.18	86.67	30.37	85.32	29.62
15.00 น.	88.03	31.13	88.03	31.13	87.69	30.94	88.71	31.51	89.01	31.67
16.00 น.	88.71	31.51	89.06	31.70	88.03	31.13	89.06	31.70	90.03	32.24
17.00 น.	89.06	31.70	89.40	31.89	88.03	31.13	89.40	31.89	90.37	32.43
18.00 น.	89.06	31.70	88.37	31.32	88.03	31.13	89.40	31.89	88.99	31.66
19.00 น.	88.71	31.51	87.01	30.56	87.35	30.75	87.69	30.94	86.32	30.18
20.00 น.	88.03	31.13	85.66	29.81	86.33	30.18	86.33	30.18	83.35	28.53
21.00 น.	87.35	30.75	84.99	29.44	85.66	29.81	84.99	29.44	84.34	29.08
22.00 น.	87.01	30.56	84.32	29.07	84.99	29.44	83.99	28.88	83.68	28.71
23.00 น.	86.33	30.18	83.99	28.88	84.32	29.07	83.32	28.51	83.03	28.35
24.00 น.	85.66	29.81	83.65	28.69	83.99	28.88	82.99	28.33	82.70	28.17
1.00 น.	85.32	29.62	82.99	28.33	83.99	28.88	82.34	27.97	82.38	27.99
2.00 น.	85.32	29.62	82.99	28.33	83.65	28.69	82.34	27.97	82.38	27.99
3.00 น.	84.99	29.44	82.66	28.14	83.32	28.51	82.01	27.78	82.05	27.81
4.00 น.	84.32	29.07	82.34	27.97	82.99	28.33	81.68	27.60	82.05	27.81
5.00 น.	83.99	28.88	82.34	27.97	82.99	28.33	81.68	27.60	81.73	27.63
เฉลี่ยกลางวัน	**85.84**	**29.91**	**85.52**	**29.73**	**84.97**	**29.43**	**84.85**	**29.36**	**84.98**	**29.43**
เฉลี่ยกลางคืน	**86.34**	**30.19**	**84.28**	**29.04**	**84.80**	**29.33**	**84.06**	**28.92**	**83.58**	**28.66**
เฉลี่ยทั้งวัน	**86.09**	**30.05**	**84.9**	**29.39**	**84.89**	**29.38**	**84.46**	**29.14**	**84.28**	**29.04**

ตาราง ข-11: อุณหภูมิผิวผนังภายนอกด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	78.44	25.80	80.05	26.69	79.08	26.16	78.76	25.98	78.84	26.02
7.00 น.	79.08	26.16	80.38	26.88	79.41	26.34	79.08	26.16	79.16	26.20
8.00 น.	81.03	27.24	82.66	28.14	81.03	27.24	80.70	27.06	79.80	26.56
9.00 น.	84.99	29.44	85.32	29.62	82.99	28.33	82.99	28.33	82.41	28.01
10.00 น.	87.01	30.56	87.69	30.94	85.99	29.99	85.32	29.62	87.35	30.75
11.00 น.	89.06	31.70	89.75	32.08	87.69	30.94	87.35	30.75	85.99	29.99
12.00 น.	90.44	32.47	91.49	33.05	89.75	32.08	89.06	31.70	86.32	30.18
13.00 น.	91.49	33.05	92.55	33.64	91.85	33.25	90.44	32.47	87.32	30.73
14.00 น.	93.26	34.03	93.98	34.43	92.91	33.84	92.55	33.64	90.35	32.42
15.00 น.	99.88	37.71	99.88	37.71	96.89	36.05	100.26	37.92	98.52	36.96
16.00 น.	102.97	39.43	104.94	40.52	98.00	36.67	102.19	38.99	102.26	39.03
17.00 น.	95.79	35.44	99.50	37.50	95.06	35.03	100.26	37.92	100.75	38.19
18.00 น.	97.44	36.36	89.06	31.70	90.79	32.66	95.43	35.24	89.70	32.06
19.00 น.	88.37	31.32	85.99	29.99	83.99	28.88	83.32	28.51	81.08	27.27
20.00 น.	86.67	30.37	84.32	29.07	83.32	28.51	81.03	27.24	80.12	26.73
21.00 น.	85.32	29.62	83.65	28.69	82.34	27.97	80.05	26.69	79.48	26.38
22.00 น.	83.99	28.88	82.99	28.33	81.68	27.60	79.41	26.34	79.48	26.38
23.00 น.	83.32	28.51	82.66	28.14	81.35	27.42	79.41	26.34	79.48	26.38
24.00 น.	82.34	27.97	82.34	27.97	81.03	27.24	79.08	26.16	79.48	26.38
1.00 น.	82.01	27.78	82.01	27.78	80.70	27.06	79.08	26.16	79.48	26.38
2.00 น.	81.35	27.42	81.68	27.60	80.05	26.69	79.08	26.16	79.48	26.38
3.00 น.	80.38	26.88	81.68	27.60	80.05	26.69	79.08	26.16	79.48	26.38
4.00 น.	79.73	26.52	81.03	27.24	79.73	26.52	79.08	26.16	79.16	26.20
5.00 น.	79.08	26.16	80.70	27.06	79.41	26.34	78.76	25.98	79.16	26.20
เฉลี่ยกลางวัน	**89.45**	**31.92**	**90.68**	**32.60**	**88.39**	**31.33**	**89.08**	**31.71**	**88.26**	**31.25**
เฉลี่ยกลางคืน	**84.17**	**28.98**	**83.18**	**28.43**	**82.04**	**27.80**	**81.07**	**27.26**	**80.47**	**26.93**
เฉลี่ยทั้งวัน	**86.81**	**30.45**	**86.93**	**30.52**	**85.21**	**29.56**	**85.07**	**29.49**	**84.36**	**29.09**

ตาราง ข-12: อุณหภูมิผิวผนังภายในด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	85.32	29.62	85.32	29.62	84.32	29.07	84.32	29.07	83.68	28.71
7.00 น.	85.32	29.62	84.99	29.44	84.32	29.07	83.99	28.88	83.35	28.53
8.00 น.	85.32	29.62	85.32	29.62	84.32	29.07	84.32	29.07	83.68	28.71
9.00 น.	85.66	29.81	85.32	29.62	84.65	29.25	84.65	29.25	84.35	29.08
10.00 น.	85.99	29.99	86.33	30.18	85.32	29.62	85.32	29.62	84.68	29.27
11.00 น.	86.67	30.37	87.01	30.56	86.33	30.18	85.99	29.99	84.66	29.26
12.00 น.	87.35	30.75	88.03	31.13	87.01	30.56	87.01	30.56	85.32	29.62
13.00 น.	88.37	31.32	88.71	31.51	88.03	31.13	87.69	30.94	86.65	30.36
14.00 น.	89.06	31.70	89.75	32.08	89.75	32.08	88.71	31.51	87.32	30.73
15.00 น.	90.44	32.47	90.44	32.47	90.10	32.28	90.79	32.66	91.75	33.19
16.00 น.	90.10	32.28	92.20	33.44	90.79	32.66	91.85	33.25	93.14	33.97
17.00 น.	89.06	31.70	92.55	33.64	91.14	32.86	92.55	33.64	93.85	34.36
18.00 น.	89.06	31.70	91.85	33.25	91.14	32.86	92.55	33.64	91.37	32.98
19.00 น.	89.06	31.70	90.79	32.66	90.10	32.28	91.14	32.86	89.01	31.67
20.00 น.	90.44	32.47	90.10	32.28	89.40	31.89	89.75	32.08	87.99	31.11
21.00 น.	90.10	32.28	89.40	31.89	88.37	31.32	88.71	31.51	86.99	30.55
22.00 น.	89.40	31.89	88.71	31.51	87.69	30.94	88.03	31.13	86.32	30.18
23.00 น.	88.71	31.51	88.03	31.13	87.35	30.75	87.01	30.56	85.65	29.81
24.00 น.	88.37	31.32	87.69	30.94	86.67	30.37	86.67	30.37	85.32	29.62
1.00 น.	87.69	30.94	87.01	30.56	86.33	30.18	85.99	29.99	84.99	29.44
2.00 น.	87.01	30.56	86.67	30.37	85.99	29.99	85.66	29.81	84.66	29.26
3.00 น.	86.67	30.37	86.33	30.18	85.32	29.62	85.32	29.62	84.34	29.08
4.00 น.	86.33	30.18	85.99	29.99	84.99	29.44	84.99	29.44	84.01	28.89
5.00 น.	85.99	29.99	85.66	29.81	84.65	29.25	84.65	29.25	83.68	28.71
เฉลี่ยกลางวัน	**87.39**	**30.77**	**88.00**	**31.11**	**87.17**	**30.65**	**87.27**	**30.70**	**86.87**	**30.48**
เฉลี่ยกลางคืน	**88.24**	**31.24**	**88.19**	**31.21**	**87.33**	**30.74**	**87.54**	**30.86**	**86.19**	**30.11**
เฉลี่ยทั้งวัน	**87.81**	**31.01**	**88.09**	**31.16**	**87.25**	**30.70**	**87.40**	**30.78**	**86.53**	**30.30**

ตาราง ข-13: อุณหภูมิผิวหลังคา

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 2.3	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	79.54	26.41	77.54	25.30	77.54	25.30	77.87	25.48	83.35	28.53
7.00 น.	80.83	27.13	78.49	25.83	78.49	25.83	78.49	25.83	83.03	28.35
8.00 น.	85.68	29.82	84.00	28.89	83.33	28.52	83.66	28.70	83.35	28.53
9.00 น.	91.34	32.97	90.32	32.40	88.97	31.65	89.64	32.02	84.01	28.89
10.00 น.	95.74	35.41	95.06	35.03	94.38	34.66	94.04	34.47	84.66	29.26
11.00 น.	108.79	42.66	108.09	42.27	107.75	42.08	107.06	41.70	86.65	30.36
12.00 น.	115.83	46.57	115.48	46.38	115.48	46.38	114.44	45.80	87.32	30.73
13.00 น.	114.70	45.94	114.35	45.75	114.35	45.75	114.00	45.56	86.99	30.55
14.00 น.	124.53	51.41	124.18	51.21	123.12	50.62	123.83	51.02	87.32	30.73
15.00 น.	123.53	50.85	124.24	51.24	123.53	50.85	124.24	51.24	93.85	34.36
16.00 น.	119.12	48.40	119.84	48.80	118.77	48.21	119.84	48.80	94.91	34.95
17.00 น.	109.32	42.96	110.39	43.55	108.96	42.76	110.03	43.35	94.91	34.95
18.00 น.	104.24	40.13	104.24	40.13	105.30	40.72	106.00	41.11	87.99	31.11
19.00 น.	91.75	33.19	90.02	32.23	91.75	33.19	91.75	33.19	86.65	30.36
20.00 น.	88.11	31.17	85.71	29.84	87.07	30.59	88.71	31.51	85.99	29.99
21.00 น.	86.14	30.08	83.75	28.75	84.43	29.13	84.43	29.13	85.99	29.99
22.00 น.	83.49	28.61	82.13	27.85	82.47	28.04	82.47	28.04	84.99	29.44
23.00 น.	82.51	28.06	81.15	27.31	81.49	27.49	81.49	27.49	84.66	29.26
24.00 น.	80.24	26.80	79.22	26.23	79.56	26.42	79.56	26.42	84.99	29.44
1.00 น.	79.59	26.44	78.58	25.88	78.58	25.88	78.91	26.06	84.34	29.08
2.00 น.	79.56	26.42	78.55	25.86	78.55	25.86	78.55	25.86	84.34	29.08
3.00 น.	79.59	26.44	78.24	25.69	77.91	25.51	78.24	25.69	84.01	28.89
4.00 น.	78.62	25.90	77.28	25.16	76.94	24.97	77.28	25.16	83.68	28.71
5.00 น.	79.25	26.25	77.57	25.32	77.24	25.13	77.57	25.32	83.35	28.53
เฉลี่ยกลางวัน	**104.08**	**40.04**	**103.50**	**39.72**	**102.89**	**39.38**	**103.10**	**39.50**	**87.53**	**30.85**
เฉลี่ยกลางคืน	**84.42**	**29.12**	**83.04**	**28.35**	**83.44**	**28.58**	**83.75**	**28.75**	**85.08**	**29.49**
เฉลี่ยทั้งวัน	**94.25**	**34.58**	**93.27**	**34.04**	**93.17**	**33.98**	**93.42**	**34.12**	**86.31**	**30.17**

ตาราง ข-14: อุณหภูมิดินลึก 1.00 เมตร

อุณหภูมิ / เวลา	กรณี 1.1		กรณี 1.2		กรณี 2.1		กรณี 2.2		กรณี 3.1	
	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC	oF	oC
6.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
7.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
8.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
9.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
10.00 น.	84.32	29.07	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
11.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
12.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
13.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
14.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
15.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
16.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
17.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
18.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
19.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.07	84.61	29.23
20.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
21.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
22.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
23.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
24.00 น.	84.65	29.25	84.36	29.09	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
1.00 น.	84.65	29.25	84.36	29.09	84.58	29.21	84.65	29.25	84.61	29.23
2.00 น.	84.65	29.25	84.35	29.08	84.58	29.21	84.65	29.25	84.61	29.23
3.00 น.	84.65	29.25	84.38	29.10	84.58	29.21	84.32	29.07	84.61	29.23
4.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.32	29.07	84.61	29.23
5.00 น.	84.65	29.25	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
เฉลี่ยกลางวัน	84.62	29.23	84.56	29.20	84.62	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
เฉลี่ยกลางคืน	84.65	29.25	84.49	29.16	84.61	29.23	84.65	29.25	84.61	29.23
เฉลี่ยทั้งวัน	84.64	29.24	84.53	29.18	84.62	29.23	84.62	29.23	84.61	29.23

ภาคผนวก ค
ตารางแสดงอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-1: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 1 ของกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	พื้นชั้น 1			ฝ้าเพดานชั้น 1			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	29.99	99.74	2991.65	29.81	93.30	2781.38	29.99	13.74	412.12	28.88	13.19	380.97	29.62	17.04	504.76	28.88	18.77	542.14	**29.76**
7.00 น.	29.81	99.74	2973.36	29.81	93.30	2781.38	29.81	13.74	409.60	29.07	13.19	383.39	29.62	17.04	504.76	28.69	18.77	538.59	**29.68**
8.00 น.	29.99	99.74	2991.65	29.99	93.30	2798.48	29.99	13.74	412.12	29.07	13.19	383.39	29.62	17.04	504.76	29.07	18.77	545.58	**29.85**
9.00 น.	29.63	99.74	2955.07	30.37	93.30	2833.73	29.81	13.74	409.60	29.11	13.19	383.90	29.81	17.04	507.98	29.07	18.77	545.58	**29.85**
10.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.56	93.30	2851.35	29.99	13.74	412.12	29.62	13.19	390.72	29.99	17.04	511.11	28.88	18.77	542.14	**30.17**
11.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.75	93.30	2868.98	30.18	13.74	414.72	30.94	13.19	408.08	30.37	17.04	517.54	29.25	18.77	549.02	**30.37**
12.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.75	93.30	2868.98	30.56	13.74	419.91	32.08	13.19	423.18	30.75	17.04	523.98	29.81	18.77	559.55	**30.59**
13.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.94	93.30	2886.60	30.75	13.74	422.51	32.86	13.19	433.36	31.32	17.04	533.64	30.18	18.77	566.54	**30.78**
14.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.94	93.30	2886.60	30.94	13.74	425.10	33.05	13.19	435.93	31.70	17.04	540.17	30.75	18.77	577.18	**30.86**
15.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.32	93.30	2921.85	31.32	13.74	430.29	33.05	13.19	435.93	32.47	17.04	553.23	31.13	18.77	584.27	**31.17**
16.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.13	93.30	2904.22	31.51	13.74	432.89	33.05	13.19	435.93	32.28	17.04	550.01	31.51	18.77	591.36	**31.13**
17.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.13	93.30	2904.22	31.70	13.74	435.56	32.86	13.19	433.36	31.70	17.04	540.17	31.70	18.77	595.01	**31.11**
18.00 น.	30.56	99.74	3048.17	30.75	93.30	2868.98	31.70	13.74	435.56	32.66	13.19	430.80	31.70	17.04	540.17	31.70	18.77	595.01	**30.96**
19.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.75	93.30	2868.98	31.51	13.74	432.89	32.28	13.19	425.74	31.70	17.04	540.17	31.51	18.77	591.36	**30.84**
20.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.75	93.30	2868.98	31.51	13.74	432.89	31.89	13.19	420.61	32.47	17.04	553.23	31.13	18.77	584.27	**30.84**
21.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.56	93.30	2851.35	31.32	13.74	430.29	31.51	13.19	415.56	32.28	17.04	550.01	30.75	18.77	577.18	**30.70**
22.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.56	93.30	2851.35	31.13	13.74	427.70	31.32	13.19	413.07	31.89	17.04	543.39	30.56	18.77	573.63	**30.65**
23.00 น.	30.37	99.74	3029.33	30.37	93.30	2833.73	30.94	13.74	425.10	30.75	13.19	405.59	31.51	17.04	536.85	30.18	18.77	566.54	**30.48**
24.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.37	93.30	2833.73	30.75	13.74	422.51	30.56	13.19	403.10	31.32	17.04	533.64	29.81	18.77	559.55	**30.35**
1.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.37	93.30	2833.73	30.56	13.74	419.91	30.18	13.19	398.12	30.94	17.04	527.20	29.62	18.77	556.01	**30.28**
2.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.18	93.30	2816.11	30.56	13.74	419.91	29.81	13.19	393.21	30.56	17.04	520.76	29.62	18.77	556.01	**30.17**
3.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.18	93.30	2816.11	30.37	13.74	417.31	29.62	13.19	390.72	30.37	17.04	517.54	29.44	18.77	552.57	**30.12**
4.00 น.	29.99	99.74	2991.65	29.99	93.30	2798.48	30.18	13.74	414.72	29.25	13.19	385.81	30.18	17.04	514.32	29.07	18.77	545.58	**29.91**
5.00 น.	29.99	99.74	2991.65	29.99	93.30	2798.48	29.99	13.74	412.12	29.07	13.19	383.39	29.99	17.04	511.11	28.88	18.77	542.14	**29.87**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**30.45**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**30.43**
อุณหภูมิพื้นพิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**30.44**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-2: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 2 ของกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	พื้นชั้น 2			ฝ้าเพดานชั้น 2			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	30.75	39.24	1206.63	29.99	45.68	1370.15	29.99	11.82	354.53	28.88	16.72	482.93	29.62	6.88	203.80	28.88	19.02	549.36	**29.85**
7.00 น.	30.56	39.24	1199.22	30.18	45.68	1378.77	29.81	11.82	352.37	29.07	16.72	485.99	29.62	6.88	203.80	28.69	19.02	545.77	**29.84**
8.00 น.	30.56	39.24	1199.22	30.37	45.68	1387.40	29.99	11.82	354.53	29.07	16.72	485.99	29.62	6.88	203.80	29.07	19.02	552.85	**29.97**
9.00 น.	30.75	39.24	1206.63	30.94	45.68	1413.29	29.81	11.82	352.37	29.11	16.72	486.64	29.81	6.88	205.10	29.07	19.02	552.85	**30.21**
10.00 น.	30.75	39.24	1206.63	31.51	45.68	1439.17	29.99	11.82	354.53	29.62	16.72	495.28	29.99	6.88	206.36	28.88	19.02	549.36	**30.45**
11.00 น.	30.94	39.24	1214.04	32.28	45.68	1474.45	30.18	11.82	356.77	30.94	16.72	408.08	30.37	6.88	208.96	29.25	19.02	556.34	**30.22**
12.00 น.	30.94	39.24	1214.04	32.66	45.68	1491.96	30.56	11.82	361.23	32.08	16.72	536.43	30.75	6.88	211.56	29.81	19.02	567.01	**31.39**
13.00 น.	31.13	39.24	1221.45	33.05	45.68	1509.72	30.75	11.82	363.47	32.86	16.72	549.34	31.32	6.88	215.46	30.18	19.02	574.09	**31.76**
14.00 น.	31.13	39.24	1221.45	33.64	45.68	1536.62	30.94	11.82	365.70	33.05	16.72	552.60	31.70	6.88	218.10	30.75	19.02	584.87	**32.09**
15.00 น.	31.89	39.24	1251.32	33.64	45.68	1536.62	31.32	11.82	370.16	33.05	16.72	552.60	32.47	6.88	223.37	31.13	19.02	592.05	**32.42**
16.00 น.	32.08	39.24	1258.95	34.03	45.68	1554.64	31.51	11.82	372.40	33.05	16.72	552.60	32.28	6.88	222.07	31.51	19.02	599.24	**32.66**
17.00 น.	31.89	39.24	1251.32	33.84	45.68	1545.76	31.70	11.82	374.69	32.86	16.72	549.34	31.70	6.88	218.10	31.70	19.02	602.93	**32.54**
18.00 น.	31.70	39.24	1243.91	32.66	45.68	1491.96	31.70	11.82	374.69	32.66	16.72	546.09	31.70	6.88	218.10	31.70	19.02	602.93	**32.07**
19.00 น.	31.51	39.24	1236.28	32.28	45.68	1474.45	31.51	11.82	372.40	32.28	16.72	539.68	31.70	6.88	218.10	31.51	19.02	599.24	**31.80**
20.00 น.	31.32	39.24	1228.87	32.08	45.68	1465.57	31.51	11.82	372.40	31.89	16.72	533.18	32.47	6.88	223.37	31.13	19.02	592.05	**31.63**
21.00 น.	31.32	39.24	1228.87	31.89	45.68	1456.68	31.32	11.82	370.16	31.51	16.72	526.77	32.28	6.88	222.07	30.75	19.02	584.87	**31.44**
22.00 น.	30.94	39.24	1214.04	31.13	45.68	1421.92	31.13	11.82	367.93	31.32	16.72	523.61	31.89	6.88	219.40	30.56	19.02	581.27	**31.00**
23.00 น.	31.13	39.24	1221.45	30.94	45.68	1413.29	30.94	11.82	365.70	30.75	16.72	405.59	31.51	6.88	216.76	30.18	19.02	574.09	**30.06**
24.00 น.	31.13	39.24	1221.45	30.56	45.68	1396.03	30.75	11.82	363.47	30.56	16.72	510.98	31.32	6.88	215.46	29.81	19.02	567.01	**30.62**
1.00 น.	31.13	39.24	1221.45	30.37	45.68	1387.40	30.56	11.82	361.23	30.18	16.72	504.67	30.94	6.88	212.86	29.62	19.02	563.41	**30.45**
2.00 น.	30.94	39.24	1214.04	30.18	45.68	1378.77	30.56	11.82	361.23	29.81	16.72	498.44	30.56	6.88	210.26	29.62	19.02	563.41	**30.27**
3.00 น.	30.94	39.24	1214.04	30.37	45.68	1387.40	30.37	11.82	359.00	29.62	16.72	495.28	30.37	6.88	208.96	29.44	19.02	559.93	**30.26**
4.00 น.	30.94	39.24	1214.04	30.18	45.68	1378.77	30.18	11.82	356.77	29.25	16.72	489.06	30.18	6.88	207.66	29.07	19.02	552.85	**30.08**
5.00 น.	30.75	39.24	1206.63	30.18	45.68	1378.77	29.99	11.82	354.53	29.07	16.72	485.99	29.99	6.88	206.36	28.88	19.02	549.36	**29.95**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**31.12**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**30.80**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**30.96**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-3: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 1 ของกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	พื้นชั้น 1			ฝ้าเพดานชั้น 1			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย(oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	29.07	99.74	2899.11	29.25	93.30	2729.03	29.25	13.74	401.90	28.14	13.19	371.23	29.62	17.04	504.76	27.78	18.77	521.49	**29.04**
7.00 น.	29.25	99.74	2917.40	29.62	93.30	2763.75	29.07	13.74	399.38	27.97	13.19	368.88	29.44	17.04	501.64	27.78	18.77	521.49	**29.21**
8.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	29.07	13.74	399.38	28.33	13.19	373.64	29.62	17.04	504.76	27.97	18.77	524.93	**29.33**
9.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.99	93.30	2798.48	29.25	13.74	401.90	28.88	13.19	380.97	29.62	17.04	504.76	28.14	18.77	528.27	**29.59**
10.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.37	93.30	2833.73	29.62	13.74	407.01	29.99	13.19	395.63	30.18	17.04	514.32	29.07	18.77	545.58	**29.99**
11.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.75	93.30	2868.98	29.99	13.74	412.12	31.13	13.19	410.58	30.56	17.04	520.76	29.62	18.77	556.01	**30.34**
12.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.94	93.30	2886.60	30.37	13.74	417.31	32.08	13.19	423.18	31.13	17.04	530.42	29.99	18.77	563.00	**30.62**
13.00 น.	30.37	99.74	3029.33	31.13	93.30	2904.22	30.75	13.74	422.51	32.86	13.19	433.36	31.51	17.04	536.85	30.56	18.77	573.63	**30.89**
14.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.32	93.30	2921.85	31.13	13.74	427.70	33.25	13.19	438.57	32.08	17.04	546.70	31.13	18.77	584.27	**31.15**
15.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.32	93.30	2921.85	31.51	13.74	432.89	33.25	13.19	438.57	32.47	17.04	553.23	31.13	18.77	584.27	**31.19**
16.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.70	93.30	2957.61	31.89	13.74	438.15	33.25	13.19	438.57	33.44	17.04	569.89	31.70	18.77	595.01	**31.46**
17.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.51	93.30	2939.47	32.08	13.74	440.83	33.25	13.19	438.57	33.64	17.04	573.21	31.89	18.77	598.55	**31.43**
18.00 น.	30.18	99.74	3010.49	30.56	93.30	2851.35	31.51	13.74	432.89	32.47	13.19	428.24	33.25	17.04	566.58	31.32	18.77	587.81	**30.80**
19.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.17	93.30	2814.55	31.13	13.74	427.70	31.70	13.19	418.12	32.66	17.04	556.55	30.56	18.77	573.63	**30.43**
20.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.18	93.30	2816.11	30.94	13.74	425.10	31.13	13.19	410.58	32.28	17.04	550.01	29.81	18.77	559.55	**30.24**
21.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.18	93.30	2816.11	30.75	13.74	422.51	30.56	13.19	403.10	31.89	17.04	543.39	29.44	18.77	552.57	**30.15**
22.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.99	93.30	2798.48	30.56	13.74	419.91	29.99	13.19	395.63	31.51	17.04	536.85	29.07	18.77	545.58	**29.91**
23.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.81	93.30	2781.38	30.37	13.74	417.31	29.62	13.19	390.72	31.13	17.04	530.42	28.88	18.77	542.14	**29.78**
24.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.81	93.30	2781.38	30.18	13.74	414.72	29.44	13.19	388.30	30.94	17.04	527.20	28.69	18.77	538.59	**29.73**
1.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.81	93.30	2781.38	29.99	13.74	412.12	29.07	13.19	383.39	30.56	17.04	520.76	28.33	18.77	531.71	**29.58**
2.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	29.81	13.74	409.60	28.88	13.19	380.97	30.37	17.04	517.54	28.33	18.77	531.71	**29.48**
3.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	29.62	13.74	407.01	28.69	13.19	378.48	30.18	17.04	514.32	28.14	18.77	528.27	**29.43**
4.00 น.	29.25	99.74	2917.40	29.44	93.30	2746.65	29.44	13.74	404.49	28.51	13.19	376.06	29.99	17.04	511.11	27.97	18.77	524.93	**29.25**
5.00 น.	29.25	99.74	2917.40	29.44	93.30	2746.65	29.44	13.74	404.49	28.33	13.19	373.64	29.81	17.04	507.98	27.97	18.77	524.93	**29.22**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**30.35**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**29.83**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**30.09**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-4: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 2 ของกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	พื้นชั้น 2			ฝ้าเพดานชั้น 2			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิอากาศภายนอก (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	30.18	39.24	1184.39	28.88	45.68	1319.39	29.25	11.82	345.74	28.14	16.72	470.58	29.62	6.88	203.80	27.78	19.02	528.44	**29.03**
7.00 น.	30.18	39.24	1184.39	28.88	45.68	1319.39	29.07	11.82	343.57	27.97	16.72	467.60	29.44	6.88	202.54	27.78	19.02	528.44	**28.98**
8.00 น.	30.18	39.24	1184.39	29.44	45.68	1344.77	29.07	11.82	343.57	28.33	16.72	473.64	29.62	6.88	203.80	27.97	19.02	531.93	**29.24**
9.00 น.	30.18	39.24	1184.39	30.37	45.68	1387.40	29.25	11.82	345.74	28.88	16.72	482.93	29.62	6.88	203.80	28.14	19.02	535.31	**29.65**
10.00 น.	30.37	39.24	1191.81	31.13	45.68	1421.92	29.62	11.82	350.13	29.99	16.72	501.51	30.18	6.88	207.66	29.07	19.02	552.85	**30.27**
11.00 น.	30.56	39.24	1199.22	31.89	45.68	1456.68	29.99	11.82	354.53	31.13	16.72	520.46	30.56	6.88	210.26	29.62	19.02	563.41	**30.83**
12.00 น.	30.75	39.24	1206.63	32.47	45.68	1483.08	30.37	11.82	359.00	32.08	16.72	536.43	31.13	6.88	214.16	29.99	19.02	570.49	**31.30**
13.00 น.	30.94	39.24	1214.04	32.86	45.68	1500.84	30.75	11.82	363.47	32.86	16.72	549.34	31.51	6.88	216.76	30.56	19.02	581.27	**31.70**
14.00 น.	31.13	39.24	1221.45	33.44	45.68	1527.74	31.13	11.82	367.93	33.25	16.72	555.94	32.08	6.88	220.73	31.13	19.02	592.05	**32.13**
15.00 น.	31.51	39.24	1236.28	34.03	45.68	1554.64	31.51	11.82	372.40	33.25	16.72	555.94	32.47	6.88	223.37	31.13	19.02	592.05	**32.48**
16.00 น.	31.51	39.24	1236.28	34.43	45.68	1572.91	31.89	11.82	376.93	33.25	16.72	555.94	33.44	6.88	230.10	31.70	19.02	602.93	**32.77**
17.00 น.	31.89	39.24	1251.32	34.43	45.68	1572.91	32.08	11.82	379.23	33.25	16.72	555.94	33.64	6.88	231.44	31.89	19.02	606.53	**32.93**
18.00 น.	31.70	39.24	1243.91	32.66	45.68	1491.96	31.51	11.82	372.40	32.47	16.72	542.84	33.25	6.88	228.76	31.32	19.02	595.64	**32.06**
19.00 น.	31.32	39.24	1228.87	31.32	45.68	1430.55	31.13	11.82	367.93	31.70	16.72	530.02	32.66	6.88	224.71	30.56	19.02	581.27	**31.26**
20.00 น.	31.32	39.24	1228.87	30.75	45.68	1404.66	30.94	11.82	365.70	31.13	16.72	520.46	32.28	6.88	222.07	29.81	19.02	567.01	**30.86**
21.00 น.	31.13	39.24	1221.45	30.56	45.68	1396.03	30.75	11.82	363.47	30.56	16.72	510.98	31.89	6.88	219.40	29.44	19.02	559.93	**30.60**
22.00 น.	31.13	39.24	1221.45	30.37	45.68	1387.40	30.56	11.82	361.23	29.99	16.72	501.51	31.51	6.88	216.76	29.07	19.02	552.85	**30.38**
23.00 น.	30.94	39.24	1214.04	30.18	45.68	1378.77	30.37	11.82	359.00	29.62	16.72	495.28	31.13	6.88	214.16	28.88	19.02	549.36	**30.16**
24.00 น.	30.75	39.24	1206.63	29.99	45.68	1370.15	30.18	11.82	356.77	29.44	16.72	492.22	30.94	6.88	212.86	28.69	19.02	545.77	**29.97**
1.00 น.	30.75	39.24	1206.63	29.81	45.68	1361.77	29.99	11.82	354.53	29.07	16.72	485.99	30.56	6.88	210.26	28.33	19.02	538.79	**29.79**
2.00 น.	30.56	39.24	1199.22	29.62	45.68	1353.14	29.81	11.82	352.37	28.88	16.72	482.93	30.37	6.88	208.96	28.33	19.02	538.79	**29.62**
3.00 น.	30.56	39.24	1199.22	29.62	45.68	1353.14	29.62	11.82	350.13	28.69	16.72	479.77	30.18	6.88	207.66	28.14	19.02	535.31	**29.55**
4.00 น.	30.37	39.24	1191.81	29.44	45.68	1344.77	29.44	11.82	347.97	28.51	16.72	476.71	29.99	6.88	206.36	27.97	19.02	531.93	**29.37**
5.00 น.	30.37	39.24	1191.81	29.25	45.68	1336.14	29.44	11.82	347.97	28.33	16.72	473.64	29.81	6.88	205.10	27.97	19.02	531.93	**29.27**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**30.94**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**30.24**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**30.59**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-5: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 1 ของกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	พื้นชั้น 1			ฝ้าเพดานชั้น 1			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	29.25	99.74	2917.40	29.72	93.30	2772.57	28.88	13.74	396.86	28.14	13.19	371.23	29.07	17.04	495.30	28.14	18.77	528.27	**29.25**
7.00 น.	29.25	99.74	2917.40	29.72	93.30	2772.57	28.69	13.74	394.26	27.97	13.19	368.88	29.07	17.04	495.30	28.14	18.77	528.27	**29.23**
8.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.72	93.30	2772.57	28.88	13.74	396.86	28.14	13.19	371.23	29.07	17.04	495.30	28.14	18.77	528.27	**29.32**
9.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	28.88	13.74	396.86	28.33	13.19	373.64	29.25	17.04	498.42	28.33	18.77	531.71	**29.32**
10.00 น.	29.62	99.74	2954.52	30.18	93.30	2816.11	29.07	13.74	399.38	29.07	13.19	383.39	29.62	17.04	504.76	28.69	18.77	538.59	**29.70**
11.00 น.	29.62	99.74	2954.52	30.18	93.30	2816.11	29.44	13.74	404.49	29.99	13.19	395.63	30.18	17.04	514.32	29.07	18.77	545.58	**29.83**
12.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.37	93.30	2833.73	29.62	13.74	407.01	30.94	13.19	408.08	30.56	17.04	520.76	29.44	18.77	552.57	**30.09**
13.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.37	93.30	2833.73	29.99	13.74	412.12	31.70	13.19	418.12	31.13	17.04	530.42	29.81	18.77	559.55	**30.21**
14.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.56	93.30	2851.35	30.37	13.74	417.31	32.08	13.19	423.18	32.08	17.04	546.70	30.18	18.77	566.54	**30.48**
15.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.94	93.30	2886.60	30.94	13.74	425.10	32.08	13.19	423.18	32.28	17.04	550.01	30.94	18.77	580.72	**30.72**
16.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.75	93.30	2868.98	31.13	13.74	427.70	32.28	13.19	425.74	32.66	17.04	556.55	31.13	18.77	584.27	**30.71**
17.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.73	93.30	2866.90	31.13	13.74	427.70	32.47	13.19	428.24	32.86	17.04	559.86	31.13	18.77	584.27	**30.72**
18.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.56	93.30	2851.35	31.32	13.74	430.29	32.28	13.19	425.74	32.86	17.04	559.86	31.13	18.77	584.27	**30.66**
19.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.18	93.30	2816.11	30.75	13.74	422.51	31.89	13.19	420.61	32.28	17.04	550.01	30.75	18.77	577.18	**30.34**
20.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.18	93.30	2816.11	30.56	13.74	419.91	31.32	13.19	413.07	31.89	17.04	543.39	30.18	18.77	566.54	**30.23**
21.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.99	93.30	2798.48	30.37	13.74	417.31	30.56	13.19	403.10	31.32	17.04	533.64	29.81	18.77	559.55	**29.97**
22.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.99	93.30	2798.48	30.18	13.74	414.72	30.18	13.19	398.12	30.94	17.04	527.20	29.44	18.77	552.57	**29.89**
23.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.81	93.30	2781.38	29.99	13.74	412.12	29.81	13.19	393.21	30.75	17.04	523.98	29.07	18.77	545.58	**29.76**
24.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.81	93.30	2781.38	29.81	13.74	409.60	29.44	13.19	388.30	30.37	17.04	517.54	28.88	18.77	542.14	**29.69**
1.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.81	93.30	2781.38	29.62	13.74	407.01	29.07	13.19	383.39	30.18	17.04	514.32	28.88	18.77	542.14	**29.57**
2.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	29.44	13.74	404.49	28.88	13.19	380.97	29.99	17.04	511.11	28.69	18.77	538.59	**29.46**
3.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	29.25	13.74	401.90	28.69	13.19	378.48	29.62	17.04	504.76	28.51	18.77	535.15	**29.40**
4.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	29.07	13.74	399.38	28.33	13.19	373.64	29.44	17.04	501.64	28.33	18.77	531.71	**29.35**
5.00 น.	29.25	99.74	2917.40	29.72	93.30	2772.57	29.07	13.74	399.38	28.33	13.19	373.64	29.25	17.04	498.42	28.33	18.77	531.71	**29.30**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**29.97**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**29.80**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**29.88**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-6: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 2 ของกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	พื้นชั้น 2			ฝ้าเพดานชั้น 2			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	29.81	39.24	1169.79	28.88	45.68	1319.39	28.88	11.82	341.40	28.14	16.72	470.58	29.07	6.88	199.98	28.14	19.02	535.31	**28.91**
7.00 น.	29.81	39.24	1169.79	28.88	45.68	1319.39	28.69	11.82	339.17	27.97	16.72	467.60	29.07	6.88	199.98	28.14	19.02	535.31	**28.88**
8.00 น.	29.81	39.24	1169.79	29.07	45.68	1327.77	28.88	11.82	341.40	28.14	16.72	470.58	29.07	6.88	199.98	28.14	19.02	535.31	**28.97**
9.00 น.	29.81	39.24	1169.79	29.62	45.68	1353.14	28.88	11.82	341.40	28.33	16.72	473.64	29.25	6.88	201.24	28.33	19.02	538.79	**29.21**
10.00 น.	30.18	39.24	1184.39	30.75	45.68	1404.66	29.07	11.82	343.57	29.07	16.72	485.99	29.62	6.88	203.80	28.69	19.02	545.77	**29.86**
11.00 น.	30.37	39.24	1191.81	31.70	45.68	1448.06	29.44	11.82	347.97	29.99	16.72	501.51	30.18	6.88	207.66	29.07	19.02	552.85	**30.44**
12.00 น.	30.37	39.24	1191.81	32.47	45.68	1483.08	29.62	11.82	350.13	30.94	16.72	517.30	30.56	6.88	210.26	29.44	19.02	559.93	**30.89**
13.00 น.	30.56	39.24	1199.22	32.86	45.68	1500.84	29.99	11.82	354.53	31.70	16.72	530.02	31.13	6.88	214.16	29.81	19.02	567.01	**31.27**
14.00 น.	30.94	39.24	1214.04	32.86	45.68	1500.84	30.37	11.82	359.00	32.08	16.72	536.43	32.08	6.88	220.73	30.18	19.02	574.09	**31.56**
15.00 น.	31.32	39.24	1228.87	33.64	45.68	1536.62	30.94	11.82	365.70	32.08	16.72	536.43	32.28	6.88	222.07	30.94	19.02	588.46	**32.08**
16.00 น.	31.51	39.24	1236.28	33.84	45.68	1545.76	31.13	11.82	367.93	32.28	16.72	539.68	32.66	6.88	224.71	31.13	19.02	592.05	**32.28**
17.00 น.	31.51	39.24	1236.28	33.64	45.68	1536.62	31.13	11.82	367.93	32.47	16.72	542.84	32.86	6.88	226.05	31.13	19.02	592.05	**32.25**
18.00 น.	31.51	39.24	1236.28	33.25	45.68	1518.86	31.32	11.82	370.16	32.28	16.72	539.68	32.86	6.88	226.05	31.13	19.02	592.05	**32.11**
19.00 น.	31.13	39.24	1221.45	32.28	45.68	1474.45	30.75	11.82	363.47	31.89	16.72	533.18	32.28	6.88	222.07	30.75	19.02	584.87	**31.51**
20.00 น.	30.94	39.24	1214.04	31.51	45.68	1439.17	30.56	11.82	361.23	31.32	16.72	523.61	31.89	6.88	219.40	30.18	19.02	574.09	**31.03**
21.00 น.	30.75	39.24	1206.63	30.94	45.68	1413.29	30.37	11.82	359.00	30.56	16.72	510.98	31.32	6.88	215.46	29.81	19.02	567.01	**30.60**
22.00 น.	30.56	39.24	1199.22	30.56	45.68	1396.03	30.18	11.82	356.77	30.18	16.72	504.67	30.94	6.88	212.86	29.44	19.02	559.93	**30.30**
23.00 น.	30.56	39.24	1199.22	30.37	45.68	1387.40	29.99	11.82	354.53	29.81	16.72	498.44	30.75	6.88	211.56	29.07	19.02	552.85	**30.11**
24.00 น.	30.37	39.24	1191.81	30.18	45.68	1378.77	29.81	11.82	352.37	29.44	16.72	492.22	30.37	6.88	208.96	28.88	19.02	549.36	**29.90**
1.00 น.	30.37	39.24	1191.81	29.81	45.68	1361.77	29.62	11.82	350.13	29.07	16.72	485.99	30.18	6.88	207.66	28.88	19.02	549.36	**29.70**
2.00 น.	30.18	39.24	1184.39	29.62	45.68	1353.14	29.44	11.82	347.97	28.88	16.72	482.93	29.99	6.88	206.36	28.69	19.02	545.77	**29.52**
3.00 น.	30.18	39.24	1184.39	29.44	45.68	1344.77	29.25	11.82	345.74	28.69	16.72	479.77	29.62	6.88	203.80	28.51	19.02	542.28	**29.37**
4.00 น.	29.99	39.24	1176.98	29.25	45.68	1336.14	29.07	11.82	343.57	28.33	16.72	473.64	29.44	6.88	202.54	28.33	19.02	538.79	**29.17**
5.00 น.	29.81	39.24	1169.79	29.07	45.68	1327.77	29.07	11.82	343.57	28.33	16.72	473.64	29.25	6.88	201.24	28.33	19.02	538.79	**29.05**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**30.55**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**30.20**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**30.37**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-7: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 1 ของกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	พื้นชั้น 1			ฝ้าเพดานชั้น 1			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	28.69	99.74	2861.98	29.07	93.30	2711.92	28.69	13.74	394.26	27.60	13.19	364.04	29.07	17.04	495.30	27.42	18.77	514.61	**28.70**
7.00 น.	28.69	99.74	2861.98	29.07	93.30	2711.92	28.69	13.74	394.26	27.60	13.19	364.04	28.88	17.04	492.17	27.42	18.77	514.61	**28.69**
8.00 น.	28.88	99.74	2880.82	29.25	93.30	2729.03	28.69	13.74	394.26	27.78	13.19	366.46	29.07	17.04	495.30	27.60	18.77	518.05	**28.87**
9.00 น.	29.07	99.74	2899.11	29.62	93.30	2763.75	28.88	13.74	396.86	28.14	13.19	371.23	29.25	17.04	498.42	27.97	18.77	524.93	**29.14**
10.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.81	93.30	2781.38	29.07	13.74	399.38	28.69	13.19	378.48	29.62	17.04	504.76	28.33	18.77	531.71	**29.45**
11.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.99	93.30	2798.48	29.44	13.74	404.49	29.44	13.19	388.30	29.99	17.04	511.11	28.88	18.77	542.14	**29.64**
12.00 น.	29.62	99.74	2954.52	30.37	93.30	2833.73	29.81	13.74	409.60	30.37	13.19	400.61	30.56	17.04	520.76	29.25	18.77	549.02	**29.98**
13.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.56	93.30	2851.35	30.18	13.74	414.72	31.13	13.19	410.58	30.94	17.04	527.20	29.99	18.77	563.00	**30.26**
14.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.75	93.30	2868.98	30.56	13.74	419.91	31.89	13.19	420.61	31.51	17.04	536.85	30.37	18.77	570.09	**30.53**
15.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.32	93.30	2921.85	31.32	13.74	430.29	33.44	13.19	441.13	32.66	17.04	556.55	31.51	18.77	591.36	**31.24**
16.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.32	93.30	2921.85	31.70	13.74	435.56	33.44	13.19	441.13	33.25	17.04	566.58	31.70	18.77	595.01	**31.31**
17.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.32	93.30	2921.85	31.89	13.74	438.15	33.44	13.19	441.13	33.64	17.04	573.21	31.89	18.77	598.55	**31.36**
18.00 น.	30.56	99.74	3048.17	31.13	93.30	2904.22	31.70	13.74	435.56	33.25	13.19	438.57	33.64	17.04	573.21	31.89	18.77	598.55	**31.27**
19.00 น.	29.81	99.74	2973.36	30.37	93.30	2833.73	30.94	13.74	425.10	32.08	13.19	423.18	32.86	17.04	559.86	30.94	18.77	580.72	**30.48**
20.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.77	93.30	2777.75	30.56	13.74	419.91	31.32	13.19	413.07	32.08	17.04	546.70	30.18	18.77	566.54	**30.02**
21.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.81	93.30	2781.38	30.37	13.74	417.31	30.56	13.19	403.10	31.51	17.04	536.85	29.44	18.77	552.57	**29.82**
22.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.81	93.30	2781.38	29.99	13.74	412.12	29.81	13.19	393.21	31.13	17.04	530.42	28.88	18.77	542.14	**29.70**
23.00 น.	29.25	99.74	2917.40	29.62	93.30	2763.75	29.81	13.74	409.60	29.25	13.19	385.81	30.56	17.04	520.76	28.51	18.77	535.15	**29.45**
24.00 น.	29.07	99.74	2899.11	29.62	93.30	2763.75	29.62	13.74	407.01	28.88	13.19	380.97	30.37	17.04	517.54	28.33	18.77	531.71	**29.32**
1.00 น.	29.07	99.74	2899.11	29.62	93.30	2763.75	29.44	13.74	404.49	28.51	13.19	376.06	29.99	17.04	511.11	27.97	18.77	524.93	**29.24**
2.00 น.	29.07	99.74	2899.11	29.44	93.30	2746.65	29.25	13.74	401.90	28.33	13.19	373.64	29.81	17.04	507.98	27.97	18.77	524.93	**29.14**
3.00 น.	28.88	99.74	2880.82	29.44	93.30	2746.65	29.07	13.74	399.38	28.14	13.19	371.23	29.62	17.04	504.76	27.78	18.77	521.49	**29.03**
4.00 น.	28.88	99.74	2880.82	29.81	93.30	2780.86	28.88	13.74	396.86	27.97	13.19	368.88	29.44	17.04	501.64	27.60	18.77	518.05	**29.12**
5.00 น.	28.88	99.74	2880.82	29.81	93.30	2780.86	28.88	13.74	396.86	27.78	13.19	366.46	29.25	17.04	498.42	27.60	18.77	518.05	**29.09**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**29.93**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**29.64**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**29.79**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-8: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 2 ของกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และและเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	พื้นชั้น 2			ฝ้าเพดานชั้น 2			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	29.62	39.24	1162.38	29.07	45.68	1327.77	28.69	11.82	339.17	27.60	16.72	461.47	29.07	6.88	199.98	27.42	19.02	521.47	**28.74**
7.00 น.	29.62	39.24	1162.38	28.88	45.68	1319.39	28.69	11.82	339.17	27.60	16.72	461.47	28.88	6.88	198.72	27.42	19.02	521.47	**28.67**
8.00 น.	29.62	39.24	1162.38	29.25	45.68	1336.14	28.69	11.82	339.17	27.78	16.72	464.54	29.07	6.88	199.98	27.60	19.02	524.95	**28.85**
9.00 น.	29.99	39.24	1176.98	29.99	45.68	1370.15	28.88	11.82	341.40	28.14	16.72	470.58	29.25	6.88	201.24	27.97	19.02	531.93	**29.31**
10.00 น.	30.18	39.24	1184.39	30.56	45.68	1396.03	29.07	11.82	343.57	28.69	16.72	479.77	29.62	6.88	203.80	28.33	19.02	538.79	**29.70**
11.00 น.	30.37	39.24	1191.81	31.32	45.68	1430.55	29.44	11.82	347.97	29.44	16.72	492.22	29.99	6.88	206.36	28.88	19.02	549.36	**30.22**
12.00 น.	30.56	39.24	1199.22	31.89	45.68	1456.68	29.81	11.82	352.37	30.37	16.72	507.82	30.56	6.88	210.26	29.25	19.02	556.34	**30.68**
13.00 น.	30.75	39.24	1206.63	32.66	45.68	1491.96	30.18	11.82	356.77	31.13	16.72	520.46	30.94	6.88	212.86	29.99	19.02	570.49	**31.23**
14.00 น.	30.94	39.24	1214.04	33.25	45.68	1518.86	30.56	11.82	361.23	31.89	16.72	533.18	31.51	6.88	216.76	30.37	19.02	577.68	**31.67**
15.00 น.	31.51	39.24	1236.28	34.03	45.68	1554.64	31.32	11.82	370.16	33.44	16.72	559.19	32.66	6.88	224.71	31.51	19.02	599.24	**32.55**
16.00 น.	31.89	39.24	1251.32	34.43	45.68	1572.91	31.70	11.82	374.69	33.44	16.72	559.19	33.25	6.88	228.76	31.70	19.02	602.93	**32.88**
17.00 น.	32.08	39.24	1258.95	34.23	45.68	1563.78	31.89	11.82	376.93	33.44	16.72	559.19	33.64	6.88	231.44	31.89	19.02	606.53	**32.93**
18.00 น.	31.89	39.24	1251.32	33.64	45.68	1536.62	31.70	11.82	374.69	33.25	16.72	555.94	33.64	6.88	231.44	31.89	19.02	606.53	**32.64**
19.00 น.	31.13	39.24	1221.45	32.28	45.68	1474.45	30.94	11.82	365.70	32.08	16.72	536.43	32.86	6.88	226.05	30.94	19.02	588.46	**31.61**
20.00 น.	30.94	39.24	1214.04	31.51	45.68	1439.17	30.56	11.82	361.23	31.32	16.72	523.61	32.08	6.88	220.73	30.18	19.02	574.09	**31.04**
21.00 น.	30.75	39.24	1206.63	30.94	45.68	1413.29	30.37	11.82	359.00	30.56	16.72	510.98	31.51	6.88	216.76	29.44	19.02	559.93	**30.56**
22.00 น.	30.56	39.24	1199.22	30.56	45.68	1396.03	29.99	11.82	354.53	29.81	16.72	498.44	31.13	6.88	214.16	28.88	19.02	549.36	**30.17**
23.00 น.	30.37	39.24	1191.81	30.37	45.68	1387.40	29.81	11.82	352.37	29.25	16.72	489.06	30.56	6.88	210.26	28.51	19.02	542.28	**29.89**
24.00 น.	30.37	39.24	1191.81	30.18	45.68	1378.77	29.62	11.82	350.13	28.88	16.72	482.93	30.37	6.88	208.96	28.33	19.02	538.79	**29.74**
1.00 น.	30.18	39.24	1184.39	29.99	45.68	1370.15	29.44	11.82	347.97	28.51	16.72	476.71	29.99	6.88	206.36	27.97	19.02	531.93	**29.50**
2.00 น.	30.18	39.24	1184.39	29.62	45.68	1353.14	29.25	11.82	345.74	28.33	16.72	473.64	29.81	6.88	205.10	27.97	19.02	531.93	**29.33**
3.00 น.	29.99	39.24	1176.98	29.62	45.68	1353.14	29.07	11.82	343.57	28.14	16.72	470.58	29.62	6.88	203.80	27.78	19.02	528.44	**29.20**
4.00 น.	29.81	39.24	1169.79	29.44	45.68	1344.77	28.88	11.82	341.40	27.97	16.72	467.60	29.44	6.88	202.54	27.60	19.02	524.95	**29.02**
5.00 น.	29.81	39.24	1169.79	29.25	45.68	1336.14	28.88	11.82	341.40	27.78	16.72	464.54	29.25	6.88	201.24	27.60	19.02	524.95	**28.93**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**30.62**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**30.13**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**30.38**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-9: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 1 ของกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	พื้นชั้น 1			ฝ้าเพดานชั้น 1			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	29.08	99.74	2900.22	29.26	93.30	2729.54	28.35	13.74	389.53	27.63	13.19	364.41	28.71	17.04	489.24	27.63	18.77	518.57	**28.90**
7.00 น.	29.08	99.74	2900.22	29.26	93.30	2729.54	28.17	13.74	387.01	27.63	13.19	364.41	28.53	17.04	486.11	27.63	18.77	518.57	**28.88**
8.00 น.	29.08	99.74	2900.22	29.26	93.30	2729.54	28.35	13.74	389.53	27.63	13.19	364.41	28.71	17.04	489.24	27.63	18.77	518.57	**28.90**
9.00 น.	29.81	99.74	2973.36	29.81	93.30	2781.38	28.91	13.74	397.16	28.36	13.19	374.08	29.08	17.04	495.58	28.36	18.77	532.34	**29.53**
10.00 น.	29.99	99.74	2991.65	29.99	93.30	2798.48	29.08	13.74	399.61	28.72	13.19	378.85	29.27	17.04	498.70	28.54	18.77	535.78	**29.73**
11.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.99	93.30	2798.48	29.08	13.74	399.53	28.89	13.19	381.12	29.26	17.04	498.51	28.53	18.77	535.47	**29.59**
12.00 น.	29.81	99.74	2972.81	29.99	93.30	2798.48	29.08	13.74	399.53	29.44	13.19	388.30	29.62	17.04	504.76	29.08	18.77	545.79	**29.75**
13.00 น.	30.55	99.74	3047.06	30.55	93.30	2850.32	29.63	13.74	407.16	30.55	13.19	402.95	30.36	17.04	517.35	29.81	18.77	559.55	**30.43**
14.00 น.	30.55	99.74	3047.06	30.73	93.30	2867.42	29.99	13.74	412.12	31.11	13.19	410.28	30.73	17.04	523.70	29.62	18.77	556.01	**30.56**
15.00 น.	31.29	99.74	3121.31	31.86	93.30	2972.64	32.05	13.74	440.37	33.77	13.19	445.46	33.19	17.04	565.63	31.67	18.77	594.49	**31.82**
16.00 น.	31.48	99.74	3140.15	32.24	93.30	3007.89	32.43	13.74	445.56	33.97	13.19	448.02	33.97	17.04	578.79	32.24	18.77	605.12	**32.16**
17.00 น.	31.48	99.74	3140.15	32.24	93.30	3007.89	32.43	13.74	445.56	34.16	13.19	450.59	34.36	17.04	585.51	32.43	18.77	608.67	**32.21**
18.00 น.	31.47	99.74	3139.04	32.22	93.30	3005.82	32.40	13.74	445.18	32.81	13.19	432.78	32.98	17.04	562.04	31.66	18.77	594.28	**31.98**
19.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.55	93.30	2850.32	30.18	13.74	414.64	31.86	13.19	420.25	31.67	17.04	539.69	30.18	18.77	566.44	**30.43**
20.00 น.	29.99	99.74	2991.65	30.18	93.30	2815.59	29.99	13.74	412.12	30.92	13.19	407.86	31.11	17.04	530.04	28.53	18.77	535.47	**30.08**
21.00 น.	29.81	99.74	2972.81	29.99	93.30	2798.48	29.62	13.74	407.01	29.99	13.19	395.63	30.55	17.04	520.57	29.08	18.77	545.79	**29.87**
22.00 น.	29.62	99.74	2954.52	29.81	93.30	2780.86	29.44	13.74	404.49	29.44	13.19	388.30	30.18	17.04	514.23	28.71	18.77	538.91	**29.64**
23.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	29.08	13.74	399.53	28.89	13.19	381.12	29.81	17.04	507.89	28.35	18.77	532.13	**29.40**
24.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.81	93.30	2780.86	29.08	13.74	399.53	28.71	13.19	378.70	29.62	17.04	504.76	28.17	18.77	528.69	**29.43**
1.00 น.	29.44	99.74	2936.23	29.62	93.30	2763.75	28.89	13.74	397.01	28.35	13.19	373.94	29.44	17.04	501.64	27.99	18.77	525.35	**29.31**
2.00 น.	29.26	99.74	2917.95	29.44	93.30	2746.65	28.71	13.74	394.49	28.17	13.19	371.52	29.26	17.04	498.51	27.99	18.77	525.35	**29.14**
3.00 น.	29.26	99.74	2917.95	29.44	93.30	2746.65	28.71	13.74	394.49	28.17	13.19	371.52	29.08	17.04	495.49	27.81	18.77	521.91	**29.12**
4.00 น.	29.26	99.74	2917.95	29.26	93.30	2729.54	28.53	13.74	391.97	27.99	13.19	369.17	28.89	17.04	492.36	27.81	18.77	521.91	**29.02**
5.00 น.	29.08	99.74	2900.22	29.26	93.30	2729.54	28.35	13.74	389.53	27.81	13.19	366.76	28.71	17.04	489.24	27.63	18.77	518.57	**28.91**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**30.20**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**29.69**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**29.95**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-10: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ณ ชั้น 2 ของกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	พื้นชั้น 2			ฝ้าเพดานชั้น 2			ผนังทิศ ตอ./น.			ผนังทิศ ตอ./ต.			ผนังทิศ ตต./น.			ผนังทิศ ตต./ต.			อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	อุณหภูมิ (oC)	พื้นที่ (m2)	อุณหภูมิ x พื้นที่	
6.00 น.	29.44	39.24	1155.18	28.53	45.68	1303.15	28.35	11.82	335.10	27.63	16.72	461.94	28.71	6.88	197.53	27.63	19.02	525.48	**28.50**
7.00 น.	29.44	39.24	1155.18	28.35	45.68	1295.03	28.17	11.82	332.93	27.63	16.72	461.94	28.53	6.88	196.27	27.63	19.02	525.48	**28.42**
8.00 น.	29.26	39.24	1147.99	28.53	45.68	1303.15	28.35	11.82	335.10	27.63	16.72	461.94	28.71	6.88	197.53	27.63	19.02	525.48	**28.45**
9.00 น.	29.81	39.24	1169.79	29.45	45.68	1345.28	28.91	11.82	341.66	28.36	16.72	474.20	29.08	6.88	200.09	28.36	19.02	539.43	**29.16**
10.00 น.	29.99	39.24	1176.98	29.81	45.68	1361.77	29.08	11.82	343.77	28.72	16.72	480.24	29.27	6.88	201.35	28.54	19.02	542.92	**29.42**
11.00 น.	29.62	39.24	1162.38	30.36	45.68	1386.90	29.08	11.82	343.70	28.89	16.72	483.12	29.26	6.88	201.28	28.53	19.02	542.60	**29.51**
12.00 น.	29.99	39.24	1176.98	30.73	45.68	1403.90	29.08	11.82	343.70	29.44	16.72	492.22	29.62	6.88	203.80	29.08	19.02	553.06	**29.90**
13.00 น.	30.36	39.24	1191.37	31.11	45.68	1420.90	29.63	11.82	350.27	30.55	16.72	510.80	30.36	6.88	208.88	29.81	19.02	567.01	**30.44**
14.00 น.	30.55	39.24	1198.78	31.29	45.68	1429.28	29.99	11.82	354.53	31.11	16.72	520.08	30.73	6.88	211.45	29.62	19.02	563.41	**30.64**
15.00 น.	32.43	39.24	1272.47	34.36	45.68	1569.62	32.05	11.82	378.83	33.77	16.72	564.67	33.19	6.88	228.38	31.67	19.02	602.41	**33.07**
16.00 น.	32.81	39.24	1287.51	34.95	45.68	1596.52	32.43	11.82	383.30	33.97	16.72	567.92	33.97	6.88	233.69	32.24	19.02	613.18	**33.54**
17.00 น.	32.81	39.24	1287.51	34.95	45.68	1596.52	32.43	11.82	383.30	34.16	16.72	571.17	34.36	6.88	236.40	32.43	19.02	616.78	**33.61**
18.00 น.	31.85	39.24	1249.79	32.77	45.68	1497.04	32.40	11.82	382.97	32.81	16.72	548.60	32.98	6.88	226.93	31.66	19.02	602.19	**32.29**
19.00 น.	31.29	39.24	1227.99	30.36	45.68	1386.90	30.18	11.82	356.70	31.86	16.72	532.72	31.67	6.88	217.90	30.18	19.02	573.98	**30.77**
20.00 น.	30.92	39.24	1213.39	29.99	45.68	1370.15	29.99	11.82	354.53	30.92	16.72	517.02	31.11	6.88	214.01	28.53	19.02	542.60	**30.17**
21.00 น.	30.73	39.24	1205.98	29.99	45.68	1370.15	29.62	11.82	350.13	29.99	16.72	501.51	30.55	6.88	210.18	29.08	19.02	553.06	**30.02**
22.00 น.	30.55	39.24	1198.78	29.44	45.68	1344.77	29.44	11.82	347.97	29.44	16.72	492.22	30.18	6.88	207.62	28.71	19.02	546.09	**29.64**
23.00 น.	30.55	39.24	1198.78	29.26	45.68	1336.39	29.08	11.82	343.70	28.89	16.72	483.12	29.81	6.88	205.06	28.35	19.02	539.22	**29.41**
24.00 น.	30.36	39.24	1191.37	29.44	45.68	1344.77	29.08	11.82	343.70	28.71	16.72	480.05	29.62	6.88	203.80	28.17	19.02	535.73	**29.37**
1.00 น.	30.18	39.24	1184.18	29.08	45.68	1328.27	28.89	11.82	341.53	28.35	16.72	474.01	29.44	6.88	202.54	27.99	19.02	532.35	**29.10**
2.00 น.	30.18	39.24	1184.18	29.08	45.68	1328.27	28.71	11.82	339.37	28.17	16.72	470.95	29.26	6.88	201.28	27.99	19.02	532.35	**29.06**
3.00 น.	29.81	39.24	1169.57	28.89	45.68	1319.90	28.71	11.82	339.37	28.17	16.72	470.95	29.08	6.88	200.06	27.81	19.02	528.86	**28.86**
4.00 น.	29.81	39.24	1169.57	28.71	45.68	1311.52	28.53	11.82	337.20	27.99	16.72	467.97	28.89	6.88	198.79	27.81	19.02	528.86	**28.75**
5.00 น.	29.62	39.24	1162.38	28.53	45.68	1303.15	28.35	11.82	335.10	27.81	16.72	464.91	28.71	6.88	197.53	27.63	19.02	525.48	**28.57**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางวัน																			**30.39**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเวลากลางคืน																			**29.67**
อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยทั้งวัน																			**30.03**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
ตารางแสดงเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-1: เปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาและปิดหน้าต่างทั้งหมด)

อุณหภูมิ / เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 1 (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันไดสูง 1 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันไดสูง 2.5 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิดินลึก 1.00 เมตร (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
6.00 น.	25.56	29.50	29.91	_	_	29.25	29.76	29.85
7.00 น.	25.95	29.50	29.91	_	_	29.25	29.68	29.84
8.00 น.	26.68	29.50	29.91	_	_	29.25	29.85	29.97
9.00 น.	29.10	29.91	30.31	_	_	29.25	29.85	30.21
10.00 น.	30.31	30.31	30.71	_	_	29.07	30.17	30.45
11.00 น.	31.52	30.31	30.71	_	_	29.25	30.37	30.22
12.00 น.	32.76	30.71	31.12	_	_	29.25	30.59	31.39
13.00 น.	33.17	30.71	31.52	_	_	29.25	30.78	31.76
14.00 น.	34.85	30.71	31.93	_	_	29.25	30.86	32.09
15.00 น.	34.43	31.12	32.76	_	_	29.25	31.17	32.42
16.00 น.	34.85	31.12	33.17	_	_	29.25	31.13	32.66
17.00 น.	33.17	31.12	33.17	_	_	29.25	31.11	32.54
18.00 น.	31.12	30.71	32.34	_	_	29.25	30.96	32.07
19.00 น.	29.91	30.71	31.93	_	_	29.25	30.84	31.80
20.00 น.	29.10	30.71	31.93	_	_	29.25	30.84	31.63
21.00 น.	28.71	30.31	31.52	_	_	29.25	30.70	31.44
22.00 น.	28.31	30.31	31.52	_	_	29.25	30.65	31.00
23.00 น.	27.91	30.31	31.12	_	_	29.25	30.48	30.06
24.00 น.	27.52	30.31	31.12	_	_	29.25	30.35	30.62
1.00 น.	27.52	29.91	30.71	_	_	29.25	30.28	30.45
2.00 น.	27.12	29.91	30.71	_	_	29.25	30.17	30.27
3.00 น.	26.73	29.91	30.31	_	_	29.25	30.12	30.26
4.00 น.	26.34	29.50	30.31	_	_	29.25	29.91	30.08
5.00 น.	25.56	29.50	29.91	_	_	29.25	29.87	29.95

ตาราง ง-2: เปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาและเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

อุณหภูมิ / เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 1 (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 1 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 2.5 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิดินลึก 1.00 เมตร (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
6.00 น.	26.34	28.31	29.50	_	_	29.20	29.04	29.03
7.00 น.	26.34	28.71	29.50	_	_	29.20	29.21	28.98
8.00 น.	28.31	28.71	29.91	_	_	29.20	29.33	29.24
9.00 น.	29.50	29.50	29.91	_	_	29.20	29.59	29.65
10.00 น.	31.12	29.91	30.71	_	_	29.20	29.99	30.27
11.00 น.	31.93	30.71	31.12	_	_	29.20	30.34	30.83
12.00 น.	33.17	30.71	31.52	_	_	29.20	30.62	31.30
13.00 น.	33.17	31.12	31.93	_	_	29.20	30.89	31.70
14.00 น.	33.59	31.52	32.34	_	_	29.20	31.15	32.13
15.00 น.	34.85	31.52	32.76	_	_	29.20	31.19	32.48
16.00 น.	35.27	31.52	34.01	_	_	29.20	31.46	32.77
17.00 น.	33.17	31.52	33.17	_	_	29.20	31.43	32.93
18.00 น.	27.52	29.91	31.93	_	_	29.20	30.80	32.06
19.00 น.	26.68	29.50	31.52	_	_	29.20	30.43	31.26
20.00 น.	26.68	29.50	31.52	_	_	29.20	30.24	30.86
21.00 น.	26.68	29.50	31.12	_	_	29.20	30.15	30.60
22.00 น.	26.73	29.10	31.12	_	_	29.20	29.91	30.38
23.00 น.	26.73	29.10	30.71	_	_	29.20	29.78	30.16
24.00 น.	26.73	29.10	30.71	_	_	29.09	29.73	29.97
1.00 น.	26.73	29.10	30.31	_	_	29.09	29.58	29.79
2.00 น.	26.73	28.71	30.31	_	_	29.08	29.48	29.62
3.00 น.	26.34	28.71	30.31	_	_	29.10	29.43	29.55
4.00 น.	26.34	28.71	29.91	_	_	29.20	29.25	29.37
5.00 น.	26.34	28.71	29.91	_	_	29.20	29.22	29.27

ตาราง ง-3: เปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศและเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

อุณหภูมิ / เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 1 (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 1 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 2.5 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิดินลึก 1.00 เมตร (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
6.00 น.	25.95	28.71	29.50	28.71	29.50	29.23	29.25	28.91
7.00 น.	26.34	28.71	29.10	28.71	29.50	29.23	29.23	28.88
8.00 น.	27.52	29.10	29.50	28.71	29.50	29.23	29.32	28.97
9.00 น.	28.31	29.10	29.50	29.50	29.91	29.23	29.32	29.21
10.00 น.	29.91	29.91	30.31	30.31	30.71	29.23	29.70	29.86
11.00 น.	30.71	29.91	30.31	30.71	31.12	29.23	29.83	30.44
12.00 น.	31.52	29.91	30.71	30.71	31.12	29.23	30.09	30.89
13.00 น.	33.17	30.31	31.12	31.12	31.52	29.23	30.21	31.27
14.00 น.	33.59	30.31	31.93	31.52	31.52	29.23	30.48	31.56
15.00 น.	34.43	31.12	32.34	31.93	32.34	29.23	30.72	32.08
16.00 น.	33.59	30.71	32.76	31.93	32.34	29.23	30.71	32.28
17.00 น.	32.76	30.71	32.34	31.52	32.34	29.23	30.72	32.25
18.00 น.	31.12	30.71	31.93	31.12	31.93	29.23	30.66	32.11
19.00 น.	26.73	29.91	31.12	29.91	31.93	29.23	30.34	31.51
20.00 น.	26.73	29.91	31.12	29.91	31.52	29.23	30.23	31.03
21.00 น.	26.73	29.50	30.71	29.50	31.12	29.23	29.97	30.60
22.00 น.	26.34	29.50	30.71	29.10	30.71	29.23	29.89	30.30
23.00 น.	26.34	29.50	30.31	29.10	30.71	29.23	29.76	30.11
24.00 น.	26.34	29.50	30.31	29.10	30.71	29.23	29.69	29.90
1.00 น.	26.34	29.50	30.31	29.10	30.31	29.21	29.57	29.70
2.00 น.	26.34	29.10	29.91	29.10	30.31	29.21	29.46	29.52
3.00 น.	25.95	29.10	29.91	28.71	29.91	29.21	29.40	29.37
4.00 น.	25.95	29.10	29.50	28.71	29.91	29.23	29.35	29.17
5.00 น.	25.95	29.10	29.50	28.71	29.91	29.23	29.30	29.05

ตาราง ง-4: เปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศและเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

อุณหภูมิ / เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 1 (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 1 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 2.5 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิดินลึก 1.00 เมตร (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
6.00 น.	25.95	28.31	29.10	28.31	29.50	29.25	28.70	28.74
7.00 น.	26.34	28.31	29.10	28.31	29.50	29.25	28.69	28.67
8.00 น.	27.52	28.31	29.50	28.71	29.91	29.25	28.87	28.85
9.00 น.	28.71	28.71	29.91	29.50	29.91	29.25	29.14	29.31
10.00 น.	30.31	29.10	29.91	29.91	30.31	29.25	29.45	29.70
11.00 น.	31.52	29.91	30.31	30.71	30.71	29.25	29.64	30.22
12.00 น.	31.93	30.31	31.12	31.12	31.12	29.25	29.98	30.68
13.00 น.	32.76	30.71	31.12	31.12	31.52	29.25	30.26	31.23
14.00 น.	34.01	30.71	31.93	31.52	31.93	29.25	30.53	31.67
15.00 น.	34.43	31.52	32.76	32.34	32.34	29.25	31.24	32.55
16.00 น.	34.85	31.52	33.17	32.76	32.76	29.25	31.31	32.88
17.00 น.	33.59	31.52	33.17	32.76	32.76	29.25	31.36	32.93
18.00 น.	31.93	31.12	32.76	31.93	32.34	29.25	31.27	32.64
19.00 น.	26.68	29.91	31.52	29.91	31.93	29.07	30.48	31.61
20.00 น.	26.73	29.10	31.12	29.10	31.12	29.25	30.02	31.04
21.00 น.	26.73	29.10	31.12	29.10	31.12	29.25	29.82	30.56
22.00 น.	26.34	28.71	30.71	29.10	30.71	29.25	29.70	30.17
23.00 น.	26.34	28.71	30.71	28.71	30.71	29.25	29.45	29.89
24.00 น.	26.34	28.31	30.31	28.71	30.71	29.25	29.32	29.74
1.00 น.	26.34	28.31	30.31	28.71	30.31	29.25	29.24	29.50
2.00 น.	26.34	28.31	29.91	28.71	30.31	29.25	29.14	29.33
3.00 น.	26.34	28.31	29.91	28.71	29.91	29.07	29.03	29.20
4.00 น.	25.95	28.31	29.50	28.71	29.91	29.07	29.12	29.02
5.00 น.	25.95	28.31	29.50	28.71	29.91	29.25	29.09	28.93

ตาราง ง-5: เปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศและเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

อุณหภูมิ / เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอก (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 1 (oC)	อุณหภูมิอากาศภายในชั้น 2 (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 1 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิอากาศในโถงบันได สูง 2.5 เมตรจากชานพัก (oC)	อุณหภูมิดินลึก 1.00 เมตร (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)	อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (oC)
6.00 น.	26.28	27.84	28.63	27.84	28.63	29.23	28.90	28.50
7.00 น.	26.67	27.84	28.63	27.84	28.63	29.23	28.88	28.42
8.00 น.	27.06	27.84	28.63	28.23	28.63	29.23	28.90	28.45
9.00 น.	28.40	28.79	29.18	29.18	29.58	29.23	29.53	29.16
10.00 น.	29.58	29.18	29.58	29.58	29.58	29.23	29.73	29.42
11.00 น.	31.02	29.42	29.82	29.82	30.21	29.23	29.59	29.51
12.00 น.	31.02	29.82	30.21	30.21	30.21	29.23	29.75	29.90
13.00 น.	31.97	30.37	30.37	30.37	30.37	29.23	30.43	30.44
14.00 น.	33.19	30.77	30.77	30.77	30.77	29.23	30.56	30.64
15.00 น.	34.70	32.23	33.87	33.04	33.46	29.23	31.82	33.07
16.00 น.	35.12	32.23	34.28	33.46	33.87	29.23	32.16	33.54
17.00 น.	33.46	32.23	33.87	33.04	33.46	29.23	32.21	33.61
18.00 น.	29.62	29.82	32.28	31.24	32.28	29.23	31.98	32.29
19.00 น.	26.28	29.58	30.21	29.02	29.82	29.23	30.43	30.77
20.00 น.	26.28	28.63	30.21	28.63	29.82	29.23	30.08	30.17
21.00 น.	26.67	28.23	29.82	28.63	29.82	29.23	29.87	30.02
22.00 น.	26.28	28.23	29.82	28.23	29.42	29.23	29.64	29.64
23.00 น.	26.28	28.23	29.42	28.23	29.42	29.23	29.40	29.41
24.00 น.	26.67	28.23	29.42	28.63	29.42	29.23	29.43	29.37
1.00 น.	26.84	27.84	29.42	28.23	29.02	29.23	29.31	29.10
2.00 น.	26.67	27.84	29.42	28.23	29.02	29.23	29.14	29.06
3.00 น.	26.67	27.84	29.02	28.23	29.02	29.23	29.12	28.86
4.00 น.	26.28	27.84	29.02	28.23	28.63	29.23	29.02	28.75
5.00 น.	26.28	27.84	28.63	28.23	28.63	29.23	28.91	28.57

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง จ-1: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	25.56	18.33	7.23
7.00 น.	25.95	18.33	7.62
8.00 น.	26.68	18.33	8.35
9.00 น.	29.10	18.33	10.77
10.00 น.	30.31	18.33	11.98
11.00 น.	31.52	18.33	13.19
12.00 น.	32.76	18.33	14.43
13.00 น.	33.17	18.33	14.84
14.00 น.	34.85	18.33	16.52
15.00 น.	34.43	18.33	16.10
16.00 น.	34.85	18.33	16.52
1700 น.	33.17	18.33	14.84
1800 น.	31.12	18.33	12.79
19.00 น.	29.91	18.33	11.58
20.00 น.	29.10	18.33	10.77
21.00 น.	28.71	18.33	10.38
22.00 น.	28.31	18.33	9.98
23.00 น.	27.91	18.33	9.58
24.00 น.	27.52	18.33	9.19
1.00 น.	27.52	18.33	9.19
2.00 น.	27.12	18.33	8.79
3.00 น.	26.73	18.33	8.40
4.00 น.	26.34	18.33	8.01
5.00 น.	25.56	18.33	7.23
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**268.26**

ตาราง จ-2: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	29.50	18.33	11.17
7.00 น.	29.50	18.33	11.17
8.00 น.	29.50	18.33	11.17
9.00 น.	29.91	18.33	11.58
10.00 น.	30.31	18.33	11.98
11.00 น.	30.31	18.33	11.98
12.00 น.	30.71	18.33	12.38
13.00 น.	30.71	18.33	12.38
14.00 น.	30.71	18.33	12.38
15.00 น.	31.12	18.33	12.79
16.00 น.	31.12	18.33	12.79
1700 น.	31.12	18.33	12.79
1800 น.	30.71	18.33	12.38
19.00 น.	30.71	18.33	12.38
20.00 น.	30.71	18.33	12.38
21.00 น.	30.31	18.33	11.98
22.00 น.	30.31	18.33	11.98
23.00 น.	30.31	18.33	11.98
24.00 น.	30.31	18.33	11.98
1.00 น.	29.91	18.33	11.58
2.00 น.	29.91	18.33	11.58
3.00 น.	29.91	18.33	11.58
4.00 น.	29.50	18.33	11.17
5.00 น.	29.50	18.33	11.17
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**286.65**

ตาราง จ-3: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในกรณีที่ 1.1 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	29.91	18.33	11.58
7.00 น.	29.91	18.33	11.58
8.00 น.	29.91	18.33	11.58
9.00 น.	30.31	18.33	11.98
10.00 น.	30.71	18.33	12.38
11.00 น.	30.71	18.33	12.38
12.00 น.	31.12	18.33	12.79
13.00 น.	31.52	18.33	13.19
14.00 น.	31.93	18.33	13.60
15.00 น.	32.76	18.33	14.43
16.00 น.	33.17	18.33	14.84
1700 น.	33.17	18.33	14.84
1800 น.	32.34	18.33	14.01
19.00 น.	31.93	18.33	13.60
20.00 น.	31.93	18.33	13.60
21.00 น.	31.52	18.33	13.19
22.00 น.	31.52	18.33	13.19
23.00 น.	31.12	18.33	12.79
24.00 น.	31.12	18.33	12.79
1.00 น.	30.71	18.33	12.38
2.00 น.	30.71	18.33	12.38
3.00 น.	30.31	18.33	11.98
4.00 น.	30.31	18.33	11.98
5.00 น.	29.91	18.33	11.58
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**308.62**

ตาราง จ-4: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	26.34	18.33	8.01
7.00 น.	26.34	18.33	8.01
8.00 น.	28.31	18.33	9.98
9.00 น.	29.50	18.33	11.17
10.00 น.	31.12	18.33	12.79
11.00 น.	31.93	18.33	13.60
12.00 น.	33.17	18.33	14.84
13.00 น.	33.17	18.33	14.84
14.00 น.	33.59	18.33	15.26
15.00 น.	34.85	18.33	16.52
16.00 น.	35.27	18.33	16.94
1700 น.	33.17	18.33	14.84
1800 น.	27.52	18.33	9.19
19.00 น.	26.68	18.33	8.35
20.00 น.	26.68	18.33	8.35
21.00 น.	26.68	18.33	8.35
22.00 น.	26.73	18.33	8.40
23.00 น.	26.73	18.33	8.40
24.00 น.	26.73	18.33	8.40
1.00 น.	26.73	18.33	8.40
2.00 น.	26.73	18.33	8.40
3.00 น.	26.34	18.33	8.01
4.00 น.	26.34	18.33	8.01
5.00 น.	26.34	18.33	8.01
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**257.07**

ตาราง จ-5: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	28.31	18.33	9.98
7.00 น.	28.71	18.33	10.38
8.00 น.	28.71	18.33	10.38
9.00 น.	29.50	18.33	11.17
10.00 น.	29.91	18.33	11.58
11.00 น.	30.71	18.33	12.38
12.00 น.	30.71	18.33	12.38
13.00 น.	31.12	18.33	12.79
14.00 น.	31.52	18.33	13.19
15.00 น.	31.52	18.33	13.19
16.00 น.	31.52	18.33	13.19
1700 น.	31.52	18.33	13.19
1800 น.	29.91	18.33	11.58
19.00 น.	29.50	18.33	11.17
20.00 น.	29.50	18.33	11.17
21.00 น.	29.50	18.33	11.17
22.00 น.	29.10	18.33	10.77
23.00 น.	29.10	18.33	10.77
24.00 น.	29.10	18.33	10.77
1.00 น.	29.10	18.33	10.77
2.00 น.	28.71	18.33	10.38
3.00 น.	28.71	18.33	10.38
4.00 น.	28.71	18.33	10.38
5.00 น.	28.71	18.33	10.38
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**273.46**

ตาราง จ-6: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในกรณีที่ 1.2 (ไม่มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	29.50	18.33	11.17
7.00 น.	29.50	18.33	11.17
8.00 น.	29.91	18.33	11.58
9.00 น.	29.91	18.33	11.58
10.00 น.	30.71	18.33	12.38
11.00 น.	31.12	18.33	12.79
12.00 น.	31.52	18.33	13.19
13.00 น.	31.93	18.33	13.60
14.00 น.	32.34	18.33	14.01
15.00 น.	32.76	18.33	14.43
16.00 น.	34.01	18.33	15.68
1700 น.	33.17	18.33	14.84
1800 น.	31.93	18.33	13.60
19.00 น.	31.52	18.33	13.19
20.00 น.	31.52	18.33	13.19
21.00 น.	31.12	18.33	12.79
22.00 น.	31.12	18.33	12.79
23.00 น.	30.71	18.33	12.38
24.00 น.	30.71	18.33	12.38
1.00 น.	30.31	18.33	11.98
2.00 น.	30.31	18.33	11.98
3.00 น.	30.31	18.33	11.98
4.00 น.	29.91	18.33	11.58
5.00 น.	29.91	18.33	11.58
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**305.81**

ตาราง จ-7: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	25.95	18.33	7.62
7.00 น.	26.34	18.33	8.01
8.00 น.	27.52	18.33	9.19
9.00 น.	28.31	18.33	9.98
10.00 น.	29.91	18.33	11.58
11.00 น.	30.71	18.33	12.38
12.00 น.	31.52	18.33	13.19
13.00 น.	33.17	18.33	14.84
14.00 น.	33.59	18.33	15.26
15.00 น.	34.43	18.33	16.10
16.00 น.	33.59	18.33	15.26
1700 น.	32.76	18.33	14.43
1800 น.	31.12	18.33	12.79
19.00 น.	26.73	18.33	8.40
20.00 น.	26.73	18.33	8.40
21.00 น.	26.73	18.33	8.40
22.00 น.	26.34	18.33	8.01
23.00 น.	26.34	18.33	8.01
24.00 น.	26.34	18.33	8.01
1.00 น.	26.34	18.33	8.01
2.00 น.	26.34	18.33	8.01
3.00 น.	25.95	18.33	7.62
4.00 น.	25.95	18.33	7.62
5.00 น.	25.95	18.33	7.62
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**248.72**

ตาราง จ-8: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	28.71	18.33	10.38
7.00 น.	28.71	18.33	10.38
8.00 น.	29.10	18.33	10.77
9.00 น.	29.10	18.33	10.77
10.00 น.	29.91	18.33	11.58
11.00 น.	29.91	18.33	11.58
12.00 น.	29.91	18.33	11.58
13.00 น.	30.31	18.33	11.98
14.00 น.	30.31	18.33	11.98
15.00 น.	31.12	18.33	12.79
16.00 น.	30.71	18.33	12.38
1700 น.	30.71	18.33	12.38
1800 น.	30.71	18.33	12.38
19.00 น.	29.91	18.33	11.58
20.00 น.	29.91	18.33	11.58
21.00 น.	29.50	18.33	11.17
22.00 น.	29.50	18.33	11.17
23.00 น.	29.50	18.33	11.17
24.00 น.	29.50	18.33	11.17
1.00 น.	29.50	18.33	11.17
2.00 น.	29.10	18.33	10.77
3.00 น.	29.10	18.33	10.77
4.00 น.	29.10	18.33	10.77
5.00 น.	29.10	18.33	10.77
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**272.98**

ตาราง จ-9: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	29.50	18.33	11.17
7.00 น.	29.10	18.33	10.77
8.00 น.	29.50	18.33	11.17
9.00 น.	29.50	18.33	11.17
10.00 น.	30.31	18.33	11.98
11.00 น.	30.31	18.33	11.98
12.00 น.	30.71	18.33	12.38
13.00 น.	31.12	18.33	12.79
14.00 น.	31.93	18.33	13.60
15.00 น.	32.34	18.33	14.01
16.00 น.	32.76	18.33	14.43
1700 น.	32.34	18.33	14.01
1800 น.	31.93	18.33	13.60
19.00 น.	31.12	18.33	12.79
20.00 น.	31.12	18.33	12.79
21.00 น.	30.71	18.33	12.38
22.00 น.	30.71	18.33	12.38
23.00 น.	30.31	18.33	11.98
24.00 น.	30.31	18.33	11.98
1.00 น.	30.31	18.33	11.98
2.00 น.	29.91	18.33	11.58
3.00 น.	29.91	18.33	11.58
4.00 น.	29.50	18.33	11.17
5.00 น.	29.50	18.33	11.17
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**294.81**

ตาราง จ-10: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.0 เมตร จากระดับชานพักบันไดในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	28.71	18.33	10.38
7.00 น.	28.71	18.33	10.38
8.00 น.	28.71	18.33	10.38
9.00 น.	29.50	18.33	11.17
10.00 น.	30.31	18.33	11.98
11.00 น.	30.71	18.33	12.38
12.00 น.	30.71	18.33	12.38
13.00 น.	31.12	18.33	12.79
14.00 น.	31.52	18.33	13.19
15.00 น.	31.93	18.33	13.60
16.00 น.	31.93	18.33	13.60
1700 น.	31.52	18.33	13.19
1800 น.	31.12	18.33	12.79
19.00 น.	29.91	18.33	11.58
20.00 น.	29.91	18.33	11.58
21.00 น.	29.50	18.33	11.17
22.00 น.	29.10	18.33	10.77
23.00 น.	29.10	18.33	10.77
24.00 น.	29.10	18.33	10.77
1.00 น.	29.10	18.33	10.77
2.00 น.	29.10	18.33	10.77
3.00 น.	28.71	18.33	10.38
4.00 น.	28.71	18.33	10.38
5.00 น.	28.71	18.33	10.38
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**278.29**

ตาราง จ-11: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 3.5 เมตร จากระดับชานพักบันได ในกรณีที่ 2.1 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาหน้าต่างลมลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	29.50	18.33	11.17
7.00 น.	29.50	18.33	11.17
8.00 น.	29.50	18.33	11.17
9.00 น.	29.91	18.33	11.58
10.00 น.	30.71	18.33	12.38
11.00 น.	31.12	18.33	12.79
12.00 น.	31.12	18.33	12.79
13.00 น.	31.52	18.33	13.19
14.00 น.	31.52	18.33	13.19
15.00 น.	32.34	18.33	14.01
16.00 น.	32.34	18.33	14.01
1700 น.	32.34	18.33	14.01
1800 น.	31.93	18.33	13.60
19.00 น.	31.93	18.33	13.60
20.00 น.	31.52	18.33	13.19
21.00 น.	31.12	18.33	12.79
22.00 น.	30.71	18.33	12.38
23.00 น.	30.71	18.33	12.38
24.00 น.	30.71	18.33	12.38
1.00 น.	30.31	18.33	11.98
2.00 น.	30.31	18.33	11.98
3.00 น.	29.91	18.33	11.58
4.00 น.	29.91	18.33	11.58
5.00 น.	29.91	18.33	11.58
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**300.07**

ตาราง จ-12: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ในกรณีที่ 2. (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออ ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	25.95	18.33	7.62
7.00 น.	26.34	18.33	8.01
8.00 น.	27.52	18.33	9.19
9.00 น.	28.71	18.33	10.38
10.00 น.	30.31	18.33	11.98
11.00 น.	31.52	18.33	13.19
12.00 น.	31.93	18.33	13.60
13.00 น.	32.76	18.33	14.43
14.00 น.	34.01	18.33	15.68
15.00 น.	34.43	18.33	16.10
16.00 น.	34.85	18.33	16.52
1700 น.	33.59	18.33	15.26
1800 น.	31.93	18.33	13.60
19.00 น.	26.68	18.33	8.35
20.00 น.	26.73	18.33	8.40
21.00 น.	26.73	18.33	8.40
22.00 น.	26.34	18.33	8.01
23.00 น.	26.34	18.33	8.01
24.00 น.	26.34	18.33	8.01
1.00 น.	26.34	18.33	8.01
2.00 น.	26.34	18.33	8.01
3.00 น.	26.34	18.33	8.01
4.00 น.	25.95	18.33	7.62
5.00 น.	25.95	18.33	7.62
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**253.99**

ตาราง จ-13: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ในกรณีที่ 2. (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออ ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	28.31	18.33	9.98
7.00 น.	28.31	18.33	9.98
8.00 น.	28.31	18.33	9.98
9.00 น.	28.71	18.33	10.38
10.00 น.	29.10	18.33	10.77
11.00 น.	29.91	18.33	11.58
12.00 น.	30.31	18.33	11.98
13.00 น.	30.71	18.33	12.38
14.00 น.	30.71	18.33	12.38
15.00 น.	31.52	18.33	13.19
16.00 น.	31.52	18.33	13.19
1700 น.	31.52	18.33	13.19
1800 น.	31.12	18.33	12.79
19.00 น.	29.91	18.33	11.58
20.00 น.	29.10	18.33	10.77
21.00 น.	29.10	18.33	10.77
22.00 น.	28.71	18.33	10.38
23.00 น.	28.71	18.33	10.38
24.00 น.	28.31	18.33	9.98
1.00 น.	28.31	18.33	9.98
2.00 น.	28.31	18.33	9.98
3.00 น.	28.31	18.33	9.98
4.00 น.	28.31	18.33	9.98
5.00 น.	28.31	18.33	9.98
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**265.47**

ตาราง จ-14: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในกรณีที่ 2. (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพาะหน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออ ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	29.10	18.33	10.77
7.00 น.	29.10	18.33	10.77
8.00 น.	29.50	18.33	11.17
9.00 น.	29.91	18.33	11.58
10.00 น.	29.91	18.33	11.58
11.00 น.	30.31	18.33	11.98
12.00 น.	31.12	18.33	12.79
13.00 น.	31.12	18.33	12.79
14.00 น.	31.93	18.33	13.60
15.00 น.	32.76	18.33	14.43
16.00 น.	33.17	18.33	14.84
1700 น.	33.17	18.33	14.84
1800 น.	32.76	18.33	14.43
19.00 น.	31.52	18.33	13.19
20.00 น.	31.12	18.33	12.79
21.00 น.	31.12	18.33	12.79
22.00 น.	30.71	18.33	12.38
23.00 น.	30.71	18.33	12.38
24.00 น.	30.31	18.33	11.98
1.00 น.	30.31	18.33	11.98
2.00 น.	29.91	18.33	11.58
3.00 น.	29.91	18.33	11.58
4.00 น.	29.50	18.33	11.17
5.00 น.	29.50	18.33	11.17
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**298.52**

ตาราง จ-15: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.0 เมตรจากระดับชานพักบันได ในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพ หน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	28.31	18.33	9.98
7.00 น.	28.31	18.33	9.98
8.00 น.	28.71	18.33	10.38
9.00 น.	29.50	18.33	11.17
10.00 น.	29.91	18.33	11.58
11.00 น.	30.71	18.33	12.38
12.00 น.	31.12	18.33	12.79
13.00 น.	31.12	18.33	12.79
14.00 น.	31.52	18.33	13.19
15.00 น.	32.34	18.33	14.01
16.00 น.	32.76	18.33	14.43
1700 น.	32.76	18.33	14.43
1800 น.	31.93	18.33	13.60
19.00 น.	29.91	18.33	11.58
20.00 น.	29.10	18.33	10.77
21.00 น.	29.10	18.33	10.77
22.00 น.	29.10	18.33	10.77
23.00 น.	28.71	18.33	10.38
24.00 น.	28.71	18.33	10.38
1.00 น.	28.71	18.33	10.38
2.00 น.	28.71	18.33	10.38
3.00 น.	28.71	18.33	10.38
4.00 น.	28.71	18.33	10.38
5.00 น.	28.71	18.33	10.38
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**278.00**

ตาราง จ-16: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 3.5 เมตรจากระดับชานพักบันได ในกรณีที่ 2.2 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดเฉพ หน้าต่างลมเข้าที่มีขนาดเท่ากับหน้าต่างลมออก ณ ช่องบันได)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	29.50	18.33	11.17
7.00 น.	29.50	18.33	11.17
8.00 น.	29.91	18.33	11.58
9.00 น.	29.91	18.33	11.58
10.00 น.	30.31	18.33	11.98
11.00 น.	30.71	18.33	12.38
12.00 น.	31.12	18.33	12.79
13.00 น.	31.52	18.33	13.19
14.00 น.	31.93	18.33	13.60
15.00 น.	32.34	18.33	14.01
16.00 น.	32.76	18.33	14.43
1700 น.	32.76	18.33	14.43
1800 น.	32.34	18.33	14.01
19.00 น.	31.93	18.33	13.60
20.00 น.	31.12	18.33	12.79
21.00 น.	31.12	18.33	12.79
22.00 น.	30.71	18.33	12.38
23.00 น.	30.71	18.33	12.38
24.00 น.	30.71	18.33	12.38
1.00 น.	30.31	18.33	11.98
2.00 น.	30.31	18.33	11.98
3.00 น.	29.91	18.33	11.58
4.00 น.	29.91	18.33	11.58
5.00 น.	29.91	18.33	11.58
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**300.90**

ตาราง จ-17: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	26.28	18.33	7.95
7.00 น.	26.67	18.33	8.34
8.00 น.	27.06	18.33	8.73
9.00 น.	28.40	18.33	10.07
10.00 น.	29.58	18.33	11.25
11.00 น.	31.02	18.33	12.69
12.00 น.	31.02	18.33	12.69
13.00 น.	31.97	18.33	13.64
14.00 น.	33.19	18.33	14.86
15.00 น.	34.70	18.33	16.37
16.00 น.	35.12	18.33	16.79
1700 น.	33.46	18.33	15.13
1800 น.	29.62	18.33	11.29
19.00 น.	26.28	18.33	7.95
20.00 น.	26.28	18.33	7.95
21.00 น.	26.67	18.33	8.34
22.00 น.	26.28	18.33	7.95
23.00 น.	26.28	18.33	7.95
24.00 น.	26.67	18.33	8.34
1.00 น.	26.84	18.33	8.51
2.00 น.	26.67	18.33	8.34
3.00 น.	26.67	18.33	8.34
4.00 น.	26.28	18.33	7.95
5.00 น.	26.28	18.33	7.95
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**249.39**

ตาราง จ-18: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 ในกรณีที่ 2. (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 1 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	27.84	18.33	9.51
7.00 น.	27.84	18.33	9.51
8.00 น.	27.84	18.33	9.51
9.00 น.	28.79	18.33	10.46
10.00 น.	29.18	18.33	10.85
11.00 น.	29.42	18.33	11.09
12.00 น.	29.82	18.33	11.49
13.00 น.	30.37	18.33	12.04
14.00 น.	30.77	18.33	12.44
15.00 น.	32.23	18.33	13.90
16.00 น.	32.23	18.33	13.90
1700 น.	32.23	18.33	13.90
1800 น.	29.82	18.33	11.49
19.00 น.	29.58	18.33	11.25
20.00 น.	28.63	18.33	10.30
21.00 น.	28.23	18.33	9.90
22.00 น.	28.23	18.33	9.90
23.00 น.	28.23	18.33	9.90
24.00 น.	28.23	18.33	9.90
1.00 น.	27.84	18.33	9.51
2.00 น.	27.84	18.33	9.51
3.00 น.	27.84	18.33	9.51
4.00 น.	27.84	18.33	9.51
5.00 น.	27.84	18.33	9.51
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**258.82**

ตาราง จ-19: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 ในกรณีที่ 2. (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในอาคารชั้น 2 (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	28.63	18.33	10.30
7.00 น.	28.63	18.33	10.30
8.00 น.	28.63	18.33	10.30
9.00 น.	29.18	18.33	10.85
10.00 น.	29.58	18.33	11.25
11.00 น.	29.82	18.33	11.49
12.00 น.	30.21	18.33	11.88
13.00 น.	30.37	18.33	12.04
14.00 น.	30.77	18.33	12.44
15.00 น.	33.87	18.33	15.54
16.00 น.	34.28	18.33	15.95
1700 น.	33.87	18.33	15.54
1800 น.	32.28	18.33	13.95
19.00 น.	30.21	18.33	11.88
20.00 น.	30.21	18.33	11.88
21.00 น.	29.82	18.33	11.49
22.00 น.	29.82	18.33	11.49
23.00 น.	29.42	18.33	11.09
24.00 น.	29.42	18.33	11.09
1.00 น.	29.42	18.33	11.09
2.00 น.	29.42	18.33	11.09
3.00 น.	29.02	18.33	10.69
4.00 น.	29.02	18.33	10.69
5.00 น.	28.63	18.33	10.30
	ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)		**284.58**

ตาราง จ-20: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 1.0 เมตร จากระดับชานพักบันได ในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่ทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	27.84	18.33	9.51
7.00 น.	27.84	18.33	9.51
8.00 น.	28.23	18.33	9.90
9.00 น.	29.18	18.33	10.85
10.00 น.	29.58	18.33	11.25
11.00 น.	29.82	18.33	11.49
12.00 น.	30.21	18.33	11.88
13.00 น.	30.37	18.33	12.04
14.00 น.	30.77	18.33	12.44
15.00 น.	33.04	18.33	14.71
16.00 น.	33.46	18.33	15.13
1700 น.	33.04	18.33	14.71
1800 น.	31.24	18.33	12.91
19.00 น.	29.02	18.33	10.69
20.00 น.	28.63	18.33	10.30
21.00 น.	28.63	18.33	10.30
22.00 น.	28.23	18.33	9.90
23.00 น.	28.23	18.33	9.90
24.00 น.	28.63	18.33	10.30
1.00 น.	28.23	18.33	9.90
2.00 น.	28.23	18.33	9.90
3.00 น.	28.23	18.33	9.90
4.00 น.	28.23	18.33	9.90
5.00 น.	28.23	18.33	9.90
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**267.65**

ตาราง จ-21: ค่าอุณหภูมิ-องศา (Degree Hour) ของอุณหภูมิอากาศภายในโถงบันไดที่ความสูง 3.5 เมตร จากระดับชานพักบันได ในกรณีที่ 2.3 (มีผลกระทบของปล่องระบายอากาศ และเปิดหน้าต่างทั้งหมด)

เวลา	อุณหภูมิอากาศภายในโถงบันได (oC)	Degree Day Base (oC)	ความแตกต่างของอุณหภูมิ (oC)
6.00 น.	28.63	18.33	10.30
7.00 น.	28.63	18.33	10.30
8.00 น.	28.63	18.33	10.30
9.00 น.	29.58	18.33	11.25
10.00 น.	29.58	18.33	11.25
11.00 น.	30.21	18.33	11.88
12.00 น.	30.21	18.33	11.88
13.00 น.	30.37	18.33	12.04
14.00 น.	30.77	18.33	12.44
15.00 น.	33.46	18.33	15.13
16.00 น.	33.87	18.33	15.54
1700 น.	33.46	18.33	15.13
1800 น.	32.28	18.33	13.95
19.00 น.	29.82	18.33	11.49
20.00 น.	29.82	18.33	11.49
21.00 น.	29.82	18.33	11.49
22.00 น.	29.42	18.33	11.09
23.00 น.	29.42	18.33	11.09
24.00 น.	29.42	18.33	11.09
1.00 น.	29.02	18.33	10.69
2.00 น.	29.02	18.33	10.69
3.00 น.	29.02	18.33	10.69
4.00 น.	28.63	18.33	10.30
5.00 น.	28.63	18.33	10.30
ผลรวมความแตกต่างต่างของอุณหภูมิ (oC)			**281.76**

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างการป้อนข้อมูลเพื่อจำลองสภาพ (Simulation)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ-1: การป้อนข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสภาพ

การป้อนข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสภาพ (Simulation)

การศึกษานี้ได้ทำการจำลองสภาพ (Simulation) ในลักษณะที่เป็น 2 มิติ ช่วงเวลา 13.00 น. โดยในส่วนของสภาพแวดล้อมได้กำหนด ดังนี้ (ดูตัวอย่างได้ที่ภาคผนวก ฉ)

- อุณหภูมิภายนอกอาคาร 32.76 องศาเซลเซียส
- Enthalpy อุณหภูมิ (^{o}C) x 1002 กิโลจูลต่อกิโลกรัม
- ความเร็วลม 0.01 เมตรต่อวินาที
- พลังงานจลน์ (ke) $(0.05 \times U \text{ inlet})^2$ ตารางเมตรต่อวินาที ^{2}
- อัตราการแพร่กระจาย (ep) $\dfrac{(0.09)^{0.75} \times (ke)^{1.5}}{0.1 \times D}$ ตารางเมตรต่อวินาที ^{3}

โดยที่ D = ระยะที่มากที่สุดของกรอบอาคาร (เมตร)

การกำหนดจำนวนเซลล์

- nx ; ny; nz โดยที่

  nx คือ จำนวนเซลล์รวมในแกน x

  ny คือ จำนวนเซลล์รวมในแกน y

  nz คือ จำนวนเซลล์รวมในแกน z แต่ถ้าการศึกษาเป็นลักษณะ 2 มิติ ให้กำหนด z = 1

- grid (x, i-min, i-max, pow, pow-min, pow-max) โดยที่

  x คือ การระบุตำแหน่ง และจำนวนเซลล์ในแกน x

  i-min คือ ตำแหน่งเซลล์เริ่มต้นในแกน x ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1

  i-max คือ ตำแหน่งเซลล์สุดท้ายในแกน x

  pow-min คือ ระยะเริ่มต้นในแกน x ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0 เมตร

  pow-max คือ ระยะรวมในแกน x (เมตร)

- grid (y, j-min, j-max, pow, pow-min, pow-max) โดยที่

  y คือ การระบุตำแหน่ง และจำนวนเซลล์ในแกน y

  j-min คือ ตำแหน่งเซลล์เริ่มต้นในแกน y ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1

  j-max คือ ตำแหน่งเซลล์สุดท้ายในแกน y

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

pow-min คือ ระยะเริ่มต้นในแกน y ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0 เมตร

pow-max คือ ระยะรวมในแกน y (เมตร)

การกำหนดรูปแบบการคำนวณ (Equations to solve)

- buoy คือ การกำหนดว่าจะให้โปรแกรมคำนวณแรงลอยตัวของอากาศเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือไม่
- steady คือ การกำหนดว่าจะให้โปรแกรมคำนวณในแบบของ Steady State หรือ Transient โดยถ้าเป็นการคำนวณ แบบ Transient จะต้องมีการกำหนดว่าจะให้โปรแกรมคำนวณเป็นเวลาทั้งหมดกี่นาที และจะคำนวณในทุกกี่วินาที เพื่อหาจำนวนของ nstep ทั้งหมด เช่น กำหนดให้คำนวณต่อเนื่อง 30 นาที โดยให้โปรแกรมคำนวณทุกๆ 10 วินาที จะได้ว่า 1 นาที เท่ากับ 6 nstep ดังนั้น ค่าของ nstep ทั้งหมดก็จะเท่ากับ 180 เป็นต้น
- tubke คือ การกำหนดให้โปรแกรมคำนวณเป็นลักษณะของ Turbulence หรือไม่
- solve (p,u,v,ke,ep,h) คือ การกำหนดให้โปรแกรมแก้สมการหาค่าอะไรบ้าง ได้แก่ ความดัน (p), ความเร็วลม (u, v), พลังงานจลน์ (ke), อัตราการแพร่กระจาย (ep)

การกำหนดความละเอียดในการคำนวณ (Relaxation)

- relaxln (p) คือ ความละเอียดในการคำนวณค่าความดัน
- relaxdt (u,v) คือ ความละเอียดในการคำนวณค่าความเร็วลม
- relaxdt (ke,ep) คือ ความละเอียดในการคำนวณค่าพลังงานจลน์ และอัตราการแพร่กระจาย
- relaxdt (h) คือ ความละเอียดในการคำนวณค่า Enthalpy

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกำหนดจำนวนครั้งในการคำนวณซ้ำๆ กัน (Iteration counts)

- nitphi (p) คือ จำนวนครั้งในการคำนวณความดัน
- nitphi (u,v) คือ จำนวนครั้งในการคำนวณความเร็วลม
- nitphi (ke,ep) คือ จำนวนครั้งในการคำนวณหาค่าพลังงานจลน์ และอัตราการแพร่กระจาย
- nitphi (h,ht1) คือ จำนวนครั้งในการคำนวณค่า Enthalpy
- nitall คือ จำนวนครั้งในการคำนวณทั้งหมด

การกำหนดสภาวะแวดล้อมในการจำลองสภาพ (Boundary Conditions)

การกำหนดค่าเหล่านี้จะอยู่ในรูปแบบการป้อนค่าที่เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องรายละเอียดของตัวแปร

bdyc (integer, variable, type, filler, C, V, i-min, i-max, j-min, j-max, k-min, k-max, nt-min, nt-max)

integer คือ จำนวนของ Boundary Condition

variable คือ การกำหนดตัวแปรที่จะป้อนเข้าไป เช่น เป็นค่าพลังงานจลน์ (ke), อัตราการแพร่กระจาย (ep) เป็นต้น

type คือ เป็นลักษณะของ Boundary Condition เช่น outflow, inflow, wall, walfn, set, หรือ source

filler คือ การกำหนดลักษณะของพิกัดเซลล์ ว่าจะเป็นในลักษณะใด เช่น east จะหมายถึง ด้านตะวันออกของเซลล์ที่กำหนด หรือ cell ก็จะหมายถึงทั้งเซลล์ เป็นต้น

C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ของตัวแปร (variable)

V คือ ค่าของตัวแปร เช่น เป็นพลังงานจลน์ (ke), หรืออัตราการแพร่กระจาย (ep) เป็นต้น

i-min คือ ตำแหน่งเซลล์เริ่มต้นในแกน x ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1

i-max คือ ตำแหน่งเซลล์สุดท้ายในแกน x ซึ่งถ้าจะกำหนดทุกเซลล์ในแกน x ก็จะมีค่าเท่ากับ nx

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

j-min	คือ	ตำแหน่งเซลล์เริ่มต้นในแกน y ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1
j-max	คือ	ตำแหน่งเซลล์สุดท้ายในแกน y ซึ่งถ้าจะกำหนดทุกเซลล์ในแกน y ก็จะมีค่าเท่ากับ ny
k-min	คือ	ตำแหน่งเซลล์เริ่มต้นในแกน z ซึ่งหากเป็นการศึกษาในลักษณะ 2 มิติ จะมีค่าเท่ากับ 1
k-max	คือ	ตำแหน่งเซลล์สุดท้ายในแกน z ซึ่งหากเป็นการศึกษาในลักษณะ 2 มิติ จะมีค่าเท่ากับ 1
nt-min	คือ	จุดเริ่มต้นของช่วงเวลา (Time Step) ที่จะทำการคำนวณ
nt-max	คือ	จุดสุดท้ายของช่วงเวลา (Time Step) ที่จะทำการคำนวณ

หมายเหตุ: การป้อนพิกัดกรอบอาคาร ซึ่งเป็นค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยน ค่าของ nt-min, nt-max จะมีค่า 0, 0 ส่วนการป้อนสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งมีการแปรเปลี่ยน ค่า nt-min, nt-max จะมีค่า 1, nstep โดยถ้าเป็นการคำนวณแบบ Steady State ซึ่งเป็นการกำหนดให้สภาวะแวดล้อมต่างๆ มีค่าคงที่ ดังนั้น โปรแกรมจะกำหนดค่า nt-max เท่ากับ 1 เสมอ ซึ่งอาจเขียนค่า nt-min, nt-max ในรูปของ 1, 1 ก็ได้ แต่ถ้าการคำนวณแบบ Transient ค่า nt-max จะมีค่าเท่ากับ nstep

- **ค่าพลังงานจลน์ (ke), อัตราการแพร่กระจาย (ep), และค่า Enthalpy (h)**

variable	กำหนดให้เป็น	ค่าพลังงานจลน์ (ke), อัตราการแพร่กระจาย (ep) และค่า Enthalpy (h)
type	กำหนดให้เป็น	set
filler	กำหนดให้เป็น	cell ก็จะหมายถึงทั้งเซลล์

- **การกำหนดพิกัดกรอบอาคาร**

variable	กำหนดให้เป็น	por เมื่อกำหนดให้เซลล์ทั้งเซลล์เป็นกรอบอาคารทั้งเซลล์ pore หรือ porn เมื่อกำหนดให้ผนังด้านเหนือ หรือตะวันออกของเซลล์นั้นเป็นกรอบอาคาร โดยจะไม่มี porw และ pors

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

type กำหนดให้เป็น set

filler กำหนดให้เป็น cell ก็จะหมายถึงทั้งเซลล์

- **การกำหนดอุณหภูมิ ณ ระนาบพื้นผิว**

การกำหนดอุณหภูมิ ณ จะกำหนดลงบนผิวของเซลล์ที่ปรากฏอยู่ดังนั้นในการป้อนข้อมูลจะต้องบอกลงไปว่าอยู่ทิศไหนของเซลล์นั้นๆ

variable กำหนดให้เป็น Enthalpy (h)

type กำหนดให้เป็น wall

filler กำหนดให้เป็น east, north, west, หรือ south แล้วแต่กรณี ว่าเป็นค่า Enthalpy ที่ผนังด้านใดของเซลล์

- **การกำหนดความเร็วลมในทิศแนวนอน (u) และแนวตั้ง (v) ณ ระนาบพื้นผิวภายในอาคาร**

การกำหนดความเร็วลมจะกำหนดลงบนผิวของเซลล์ที่ปรากฏอยู่ เช่นเดียวกับการกำหนดอุณหภูมิ ณ ระนาบพื้นผิว ดังนั้น ในการป้อนข้อมูลจะต้องบอกลงไปว่าอยู่ทิศไหนของเซลล์นั้นๆ โดยการกำหนดความเร็วลมที่ระนาบพื้นผิวภายในอาคารนี้ จะกำหนดให้ผนังแนวนอน มีค่า u = 0 และผนังแนวตั้ง มีค่า v = 0

variable กำหนดให้เป็น ความเร็วในแนวนอน (u) หรือความเร็วลมในแนวตั้ง (v)

type กำหนดให้เป็น wall

filler กำหนดให้เป็น east, north, west, หรือ south แล้วแต่กรณี ว่าเป็นความเร็วลมที่ผนังด้านใดของเซลล์

- **การกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของลมที่พัดอยู่นอกอาคาร**

variable กำหนดให้เป็น ความดัน(p), ความเร็วลม (u,v), พลังงานจลน์ (ke) อัตราการแพร่กระจาย (ep), และค่า Enthalpy (h)

type กำหนดให้เป็น inflow

filler กำหนดให้เป็น west

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ-2: ตัวอย่างการป้อนข้อมูลเพื่อจำลองสภาพ (Simulation) เพื่อทดสอบปล่องระบายอากาศ

```
title=Cholthit 120303
# 3 1/2 -time stack (new inlet)
idbg=0

restrt=off
dump=off
nx=200; ny=145; nz=1
grid(x, 1,200,pow,0.0,40.0)
grid(y, 1,145,pow,0.0,29.0)

buoy=true
steady=true

# EQUATIONS TO SOLVE
turbke=true    # turbulent flow problem
solve(p,u,v,ke,ep,h)=true

# PRINT OUT
iprtmn=1; iprtmx=nx    # i cell range for printing
jprtmn=1; jprtmx=ny    # j cell range for printing
kprtmn=1; kprtmx=nz    # k cell range for printing
icol=5              # number of columns
ndtprt=1
iniprt=false        # do not print initial field values
neqprt=1;nmoprt=1;print(p,u,v,ke,ep,h)=1

# RELAXATION
relaxln(p)=0.04
relaxdt(u,v)=5.0e-4
relaxdt(ke,ep)=5.0e-3
relaxdt(h)=1.0e-1

# ITERATION COUNTS
nitphi(p)=10
nitphi(u,v)=1
nitphi(ke,ep)=1
nitphi(h,ht1)=5
nitall=4000

# INITIAL ke and ep
bdyc(1,ke,set,ceil,0.0,0.00000025,1,nx,1,ny,1,nz,0,0)
bdyc(1,ep,set,cell,0.0,0.000000000015,1,nx,1,ny,1,nz,0,0)
bdyc(1,h,set,cell,0.0,32825,1,nx,1,ny,1,nz,0,0)

# INTERIOR SURFACE TEMPERATURE
bdyc(101,h,wall,north,0.0,29870,45,87,4,4,1,1,1,1)      # floor 1
bdyc(102,h,wall,south,0.0,30621,45,87,18,18,1,1,1,1)    # ceiling 1
bdyc(103,h,wall,north,0.0,30812,71,87,21,21,1,1,1,1)    # floor 2
bdyc(104,h,wall,east ,0.0,30050,70,70,22,34,1,1,1,1)    # interior wall
bdyc(105,h,wall,west ,0.0,30240,103,103,14,34,1,1,1,1)  # east wall 1
bdyc(106,h,wall,east ,0.0,30621,97,97,18,21,1,1,1,1)    # ceiling 1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
bdyc(107,h,wall,north,0.0,29870,96,102,13,13 ,1,1,1,1) # stair
bdyc(108,h,wall,west ,0.0,29870,96,96,13,13 ,1,1,1,1)  # stair
bdyc(109,h,wall,north,0.0,29870,95,95,12,12,1,1,1,1)   # stair
bdyc(110,h,wall,west ,0.0,29870,95,95,12,12,1,1,1,1)   # stair
bdyc(111,h,wall,north,0.0,29870,94,94,11,11,1,1,1,1)   # stair
bdyc(112,h,wall,west ,0.0,29870,94,94,11,11,1,1,1,1)   # stair
bdyc(113,h,wall,north,0.0,29870,93,93,10,10 ,1,1,1,1)  # stair
bdyc(114,h,wall,west ,0.0,29870,93,93,10,10 ,1,1,1,1)  # stair
bdyc(115,h,wall,north,0.0,29870,92,92,9,9,1,1,1,1)     # stair
bdyc(116,h,wall,west ,0.0,29870,92,92,9,9,1,1,1,1)     # stair
bdyc(117,h,wall,north,0.0,29870,91,91,8,8,1,1,1,1)     # stair
bdyc(118,h,wall,west ,0.0,29870,91,91,8,8,1,1,1,1)     # stair
bdyc(119,h,wall,north,0.0,29870,90,90,7,7,1,1,1,1)     # stair
bdyc(120,h,wall,west ,0.0,29870,90,90,7,7,1,1,1,1)     # stair
bdyc(121,h,wall,north,0.0,29870,89,89,6,6,1,1,1,1)     # stair
bdyc(122,h,wall,west ,0.0,29870,89,89,6,6,1,1,1,1)     # stair
bdyc(123,h,wall,north,0.0,29870,88,88,5,5,1,1,1,1)     # stair
bdyc(124,h,wall,west ,0.0,29870,88,88,5,5,1,1,1,1)     # stair

# STACK INTERIOR SURFACE TEMPERATURE
bdyc(125,h,wall,west,0.0,48096,78,78,52,52,1,1,1,1)    # interior east wall


# EXTERIOR SURFACE TEMPERATURE
bdyc(201,h,wall,west,0.0,32144,45,45,1,4,1,1,1,1)      # west wall 1
bdyc(202,h,wall,west,0.0,32144,45,45,18,39,1,1,1,1)    # west wall 2
bdyc(203,h,wall,east,0.0,32535,103,103,1,39,1,1,1,1)   # east wall
bdyc(204,h,wall,south,0.0,32725,40,44,40,40,1,1,1,1)   # exterior ceiling 1
bdyc(205,h,wall,south,0.0,32725,104,108,40,40,1,1,1,1) # exterior ceiling 2

# STACK EXTERIOR SURFACE TEMPERATURE
bdyc(206,h,wall,east,0.0,52104,78,78,52,52,1,1,1,1)    # exterior east wall
bdyc(208,h,wall,north,0.0,73146,78,78,52,52,1,1,1,1)   # exterior east wall

# GROUND TEMPERATURE
bdyc(247,h,wall,south,0.0,29309,1,44,1,1,1,1,1,1)      # ground
bdyc(248,h,wall,south,0.0,29309,104,200,1,1,1,1,1,1)   # ground

# SET U,V=0 AT SURFACES
bdyc(301,u,wall,north,0.0,0.0,46,87,4,4,1,1,1,nstep)   # floor 1
bdyc(302,u,wall,south,0.0,0.0,46,87,18,18,1,1,1,nstep) # Ceiling 1
bdyc(303,v,wall,east,0.0,0.0,87,87,18,21,1,1,1,nstep)  # Ceiling 1
bdyc(304,u,wall,north,0.0,0.0,71,87,21,21,1,1,1,nstep) # floor 2
bdyc(305,v,wall,east,0.0,0.0,70,70,22,34,1,1,1,nstep)  # interior wall
bdyc(306,v,wall,west,0.0,0.0,103,103,14,34,1,1,1,nstep)# east wall 1
bdyc(307,u,wall,north,0.0,0.0,96,102,13,13,1,1,1,nstep)# stair
bdyc(308,v,wall,west,0.0,0.0,96,96,13,13,1,1,1,nstep)  # stair
bdyc(309,u,wall,north,0.0,0.0,95,95,12,12,1,1,1,nstep) # stair
bdyc(310,v,wall,west,0.0,0.0,95,95,12,12,1,1,1,nstep)  # stair
bdyc(311,u,wall,north,0.0,0.0,94,94,11,11,1,1,1,nstep) # stair
bdyc(312,v,wall,west,0.0,0.0,94,94,11,11,1,1,1,nstep)  # stair
bdyc(313,u,wall,north,0.0,0.0,93,93,10,10,1,1,1,nstep) # stair
bdyc(314,v,wall,west,0.0,0.0,93,93,10,10,1,1,1,nstep)  # stair
bdyc(315,u,wall,north,0.0,0.0,92,92,9,9,1,1,1,nstep)   # stair
```

```
bdyc(316,v,wall,west,0.0,0.0,92,92,9,9,1,1,1,nstep)      # stair
bdyc(317,u,wall,north,0.0,0.0,91,91,8,8,1,1,1,nstep)     # stair
bdyc(318,v,wall,west,0.0,0.0,91,91,8,8,1,1,1,nstep)      # stair
bdyc(319,u,wall,north,0.0,0.0,90,90,7,7,1,1,1,nstep)     # stair
bdyc(320,v,wall,west,0.0,0.0,90,90,7,7,1,1,1,nstep)      # stair
bdyc(321,u,wall,north,0.0,0.0,89,89,6,6,1,1,1,nstep)     # stair
bdyc(322,v,wall,west,0.0,0.0,89,89,6,6,1,1,1,nstep)      # stair
bdyc(323,u,wall,north,0.0,0.0,88,88,5,5,1,1,1,nstep)     # stair
bdyc(324,v,wall,west,0.0,0.0,88,88,5,5,1,1,1,nstep)      # stair
bdyc(325,v,wall,east,0.0,0.0,39,39,41,42,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(326,u,wall,north,0.0,0.0,40,42,42,42,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(327,v,wall,east,0.0,0.0,42,42,43,43,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(328,u,wall,north,0.0,0.0,43,45,43,43,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(329,v,wall,east,0.0,0.0,45,45,44,44,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(330,u,wall,north,0.0,0.0,46,48,44,44,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(331,v,wall,east,0.0,0.0,48,48,45,45,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(332,u,wall,north,0.0,0.0,49,51,45,45,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(333,v,wall,east,0.0,0.0,51,51,46,46,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(334,u,wall,north,0.0,0.0,52,54,46,46,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(335,v,wall,east,0.0,0.0,54,54,47,47,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(336,u,wall,north,0.0,0.0,55,57,47,47,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(337,v,wall,east,0.0,0.0,57,57,48,48,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(338,u,wall,north,0.0,0.0,58,60,48,48,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(339,v,wall,east,0.0,0.0,60,60,49,49,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(340,u,wall,north,0.0,0.0,61,63,49,49,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(341,v,wall,east,0.0,0.0,63,63,50,50,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(342,u,wall,north,0.0,0.0,64,66,50,50,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(343,v,wall,east,0.0,0.0,66,66,51,51,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(344,u,wall,north,0.0,0.0,67,70,51,51,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(345,u,wall,north,0.0,0.0,78,81,51,51,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(346,v,wall,east,0.0,0.0,81,81,51,51,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(347,u,wall,north,0.0,0.0,82,84,50,50,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(348,v,wall,east,0.0,0.0,84,84,50,50,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(349,u,wall,north,0.0,0.0,85,87,49,49,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(350,v,wall,east,0.0,0.0,87,87,49,49,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(351,u,wall,north,0.0,0.0,88,90,48,48,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(352,v,wall,east,0.0,0.0,90,90,48,48,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(353,u,wall,north,0.0,0.0,91,93,47,47,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(354,v,wall,east,0.0,0.0,93,93,47,47,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(355,u,wall,north,0.0,0.0,94,96,46,46,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(356,v,wall,east,0.0,0.0,96,96,46,46,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(357,u,wall,north,0.0,0.0,97,99,45,45,1,1,1,nstep)   # roof
bdyc(358,v,wall,east,0.0,0.0,99,99,45,45,1,1,1,nstep)    # roof
bdyc(359,u,wall,north,0.0,0.0,100,102,44,44,1,1,1,nstep) # roof
bdyc(360,v,wall,east,0.0,0.0,102,102,44,44,1,1,1,nstep)  # roof
bdyc(361,u,wall,north,0.0,0.0,103,105,43,43,1,1,1,nstep) # roof
bdyc(362,v,wall,east,0.0,0.0,105,105,43,43,1,1,1,nstep)  # roof
bdyc(363,u,wall,north,0.0,0.0,106,108,42,42,1,1,1,nstep) # roof
bdyc(364,v,wall,east,0.0,0.0,108,108,41,42,1,1,1,nstep)  # roof
bdyc(365,u,wall,south,0.0,0.0,46,70,35,35,1,1,1,nstep)   # ceiling 2
bdyc(366,u,wall,south,0.0,0.0,78,102,35,35,1,1,1,nstep)  # ceiling 2

# SET U,V=0 AT STACK SURFACES
bdyc(367,v,wall,east,0.0,0.0,70,70,52,64,1,1,1,nstep)    # west wall
```

```
bdyc(368,v,wall,west,0.0,0.0,78,78,52,52,1,1,1,nstep)   # east wall
bdyc(369,u,wall,north,0.0,0.0,71,77,64,64,1,1,1,nstep)  # roof

rho=1.0
gravy=-9.81

# EXTERIOR WALLS POROSITY
bdyc(1,por,set,cell,0.0,0.0,46,102,1,4,1,1,0,0)         # floor 1
bdyc(2,por,set,cell,0.0,0.0,45,45,1,4,1,1,0,0)          # west wall 1
bdyc(3,por,set,cell,0.0,0.0,103,103,1,40,1,1,0,0)       # east wall
bdyc(4,por,set,cell,0.0,0.0,46,87,21,21,1,1,0,0)        # floor 2
bdyc(5,por,set,cell,0.0,0.0,45,45,18,40,1,1,0,0)        # west wall 2
bdyc(6,por,set,cell,0.0,0.0,70,70,22,34,1,1,0,0)        # interior wall
bdyc(7,por,set,cell,0.0,0.0,46,87,18,20,1,1,0,0)        # ceiling 1
bdyc(8,porn,set,cell,0.0,0.0,46,70,34,34,1,1,0,0)       # ceiling 2
bdyc(9,porn,set,cell,0.0,0.0,78,102,34,34,1,1,0,0)      # ceiling 2
bdyc(10,por,set,cell,0.0,0.0,40,44,40,40,1,1,0,0)       # exterior ceiling 1
bdyc(11,por,set,cell,0.0,0.0,104,108,40,40,1,1,0,0)     # exterior ceiling 2
bdyc(12,pore,set,cell,0.0,0.0,39,39,41,42,1,1,0,0)      # roof
bdyc(13,porn,set,cell,0.0,0.0,40,42,42,42,1,1,0,0)      # roof
bdyc(14,pore,set,cell,0.0,0.0,42,42,43,43,1,1,0,0)      # roof
bdyc(15,porn,set,cell,0.0,0.0,43,45,43,43,1,1,0,0)      # roof
bdyc(16,pore,set,cell,0.0,0.0,45,45,44,44,1,1,0,0)      # roof
bdyc(17,porn,set,cell,0.0,0.0,46,48,44,44,1,1,0,0)      # roof
bdyc(18,pore,set,cell,0.0,0.0,48,48,45,45,1,1,0,0)      # roof
bdyc(19,porn,set,cell,0.0,0.0,49,51,45,45,1,1,0,0)      # roof
bdyc(20,pore,set,cell,0.0,0.0,51,51,46,46,1,1,0,0)      # roof
bdyc(21,porn,set,cell,0.0,0.0,52,54,46,46,1,1,0,0)      # roof
bdyc(22,pore,set,cell,0.0,0.0,54,54,47,47,1,1,0,0)      # roof
bdyc(23,porn,set,cell,0.0,0.0,55,57,47,47,1,1,0,0)      # roof
bdyc(24,pore,set,cell,0.0,0.0,57,57,48,48,1,1,0,0)      # roof
bdyc(25,porn,set,cell,0.0,0.0,58,60,48,48,1,1,0,0)      # roof
bdyc(26,pore,set,cell,0.0,0.0,60,60,49,49,1,1,0,0)      # roof
bdyc(27,porn,set,cell,0.0,0.0,61,63,49,49,1,1,0,0)      # roof
bdyc(28,pore,set,cell,0.0,0.0,63,63,50,50,1,1,0,0)      # roof
bdyc(29,porn,set,cell,0.0,0.0,64,66,50,50,1,1,0,0)      # roof
bdyc(30,pore,set,cell,0.0,0.0,66,66,51,51,1,1,0,0)      # roof
bdyc(31,porn,set,cell,0.0,0.0,67,69,51,51,1,1,0,0)      # roof
bdyc(32,porn,set,cell,0.0,0.0,70,70,52,52,1,1,0,0)      # roof
bdyc(33,pore,set,cell,0.0,0.0,69,69,52,52,1,1,0,0)      # roof
bdyc(34,porn,set,cell,0.0,0.0,78,81,51,51,1,1,0,0)      # roof
bdyc(35,pore,set,cell,0.0,0.0,81,81,51,51,1,1,0,0)      # roof
bdyc(36,porn,set,cell,0.0,0.0,82,84,50,50,1,1,0,0)      # roof
bdyc(37,pore,set,cell,0.0,0.0,84,84,50,50,1,1,0,0)      # roof
bdyc(38,porn,set,cell,0.0,0.0,85,87,49,49,1,1,0,0)      # roof
bdyc(39,pore,set,cell,0.0,0.0,87,87,49,49,1,1,0,0)      # roof
bdyc(40,porn,set,cell,0.0,0.0,88,90,48,48,1,1,0,0)      # roof
bdyc(41,pore,set,cell,0.0,0.0,90,90,48,48,1,1,0,0)      # roof
bdyc(42,porn,set,cell,0.0,0.0,91,93,47,47,1,1,0,0)      # roof
bdyc(43,pore,set,cell,0.0,0.0,93,93,47,47,1,1,0,0)      # roof
bdyc(44,porn,set,cell,0.0,0.0,94,96,46,46,1,1,0,0)      # roof
bdyc(45,pore,set,cell,0.0,0.0,96,96,46,46,1,1,0,0)      # roof
bdyc(46,porn,set,cell,0.0,0.0,97,99,45,45,1,1,0,0)      # roof
bdyc(47,pore,set,cell,0.0,0.0,99,99,45,45,1,1,0,0)      # roof
```

```
bdyc(48,porn,set,cell,0.0,0.0,100,102,44,44,1,1,0,0)     # roof
bdyc(49,pore,set,cell,0.0,0.0,102,102,44,44,1,1,0,0)     # roof
bdyc(50,porn,set,cell,0.0,0.0,103,105,43,43,1,1,0,0)     # roof
bdyc(51,pore,set,cell,0.0,0.0,105,105,43,43,1,1,0,0)     # roof
bdyc(52,porn,set,cell,0.0,0.0,106,108,42,42,1,1,0,0)     # roof
bdyc(53,pore,set,cell,0.0,0.0,108,108,41,42,1,1,0,0)     # roof

# SECOND FLOOR ROOM POROSITY
bdyc(54,por,set,cell,0.0,0.0,46,69,22,34,1,1,0,0)        # second floor room

# STAIR POROSITY
bdyc(55,por,set,cell,0.0,0.0,96,102,13,13,1,1,0,0)       # stair
bdyc(56,por,set,cell,0.0,0.0,95,102,12,12,1,1,0,0)       # stair
bdyc(57,por,set,cell,0.0,0.0,94,102,11,11,1,1,0,0)       # stair
bdyc(58,por,set,cell,0.0,0.0,93,102,10,10,1,1,0,0)       # stair
bdyc(59,por,set,cell,0.0,0.0,92,102,9,9,1,1,0,0)         # stair
bdyc(60,por,set,cell,0.0,0.0,91,102,8,8,1,1,0,0)         # stair
bdyc(61,por,set,cell,0.0,0.0,90,102,7,7,1,1,0,0)         # stair
bdyc(62,por,set,cell,0.0,0.0,89,102,6,6,1,1,0,0)         # stair
bdyc(63,por,set,cell,0.0,0.0,88,102,5,5,1,1,0,0)         # stair

# WINDOWS POROSITY
bdyc(64,por,set,cell,0.0,0.1,45,45,5,17,1,1,0,0)         # inflow window
bdyc(65,por,set,cell,0.0,1.0,78,78,53,64,1,1,0,0)        # outflow window

# STACK POROSITY
bdyc(66,pore,set,cell,0.0,0.0,70,70,52,64,1,1,0,0)       # west wall
bdyc(67,por,set,cell,0.0,0.0,78,78,52,52,1,1,0,0)        # east wall
bdyc(68,porn,set,cell,0.0,0.0,71,78,64,64,1,1,0,0)       # roof

# BOUNDARY CONDITIONS
bdyc(20,p, inflow,west,0.01,1.0,1,1,1,ny,1,1,1,nstep)
bdyc(20,u, inflow,west,0.01,0.01,1,1,1,ny,1,1,1,nstep)
bdyc(20,v, inflow,west,0.0,0.0,1,1,1,ny,1,1,1,nstep)
bdyc(20,ke,inflow,west,0.01,0.00000025,1,1,1,ny,1,1,1,nstep)
bdyc(20,ep,inflow,west,0.01,0.000000000015,1,1,1,ny,1,1,1,nstep)
bdyc(20,h, inflow,west,0.01,32825,1,1,1,ny,1,1,1,nstep)

bdyc(4,p, outflow,east,0.0,0.0,nx,nx,1,ny,1,nz,1,1)
bdyc(4,u, outflow,east,0.0,0.0,nx,nx,1,ny,1,nz,1,1)
bdyc(4,v, outflow,east,0.0,0.0,nx,nx,1,ny,1,nz,1,1)
bdyc(4,ke,outflow,east,0.0,0.0,nx,nx,1,ny,1,nz,1,1)
bdyc(4,ep,outflow,east,0.0,0.0,nx,nx,1,ny,1,nz,1,1)
bdyc(4,h ,outflow,east,0.0,0.0,nx,nx,1,ny,1,nz,1,1)

#bdyc(3,p, outflow,north,0.0,0.0,1,nx,ny,ny,1,1,1,1)
#bdyc(3,u, outflow,north,0.0,0.0,1,nx,ny,ny,1,1,1,1)
#bdyc(3,v, outflow,north,0.0,0.0,1,nx,ny,ny,1,1,1,1)
#bdyc(3,w, outflow,north,0.0,0.0,1,nx,ny,ny,1,1,1,1)
#bdyc(3,ke,outflow,north,0.0,0.0,1,nx,ny,ny,1,1,1,1)
#bdyc(3,ep,outflow,north,0.0,0.0,1,nx,ny,ny,1,1,1,1)
#bdyc(3,h ,outflow,north,0.0,0.0,1,nx,ny,ny,1,1,1,1)

#bdyc(20,p, inflow,west,1.0,1.0,45,45,10,15,1,1,1,nstep)
```

```
#bdyc(20,u, inflow,west,1.0,1.0,45,45,10,15,1,1,1,nstep)
#bdyc(20,v, inflow,west,0.0,0.0,45,45,10,15,1,1,1,nstep)
#bdyc(20,ke,inflow,west,1.0, 0.0050,45,45,10,15,1,1,1,nstep)
#bdyc(20,ep,inflow,west,1.0, 0.000040,45,45,10,15,1,1,1,nstep)
#bdyc(20,h, inflow,west,1.0, 31000,45,45,10,15,1,1,1,nstep)

#bdyc(4,p, outflow,east,0.0,0.0,103,103,23,28,1,nz,1,1)
#bdyc(4,u, outflow,east,0.0,0.0,103,103,23,28,1,nz,1,1)
#bdyc(4,v, outflow,east,0.0,0.0,103,103,23,28,1,nz,1,1)
#bdyc(4,ke,outflow,east,0.0,0.0,103,103,23,28,1,nz,1,1)
#bdyc(4,ep,outflow,east,0.0,0.0,103,103,23,28,1,nz,1,1)
#bdyc(4,h ,outflow,east,0.0,0.0,103,103,23,28,1,nz,1,1)

#bdyc(1,p, inflow,south,1.0, 1.0,1,nx,1,1,1,1,1,1)
#bdyc(1,u, inflow,south,1.0, 0.0,1,nx,1,1,1,nz,1,1)
#bdyc(1,v, inflow,south,1.0, 0.5,1,nx,1,1,1,1,1,1)
#bdyc(1,ke,inflow,south,1.0,0.05,1,nx,1,1,1,1,1,1)
#bdyc(1,ep,inflow,south,1.0,0.05,1,nx,1,1,1,1,1,1)
#bdyc(1,h ,inflow,south,1.0, 0.0,1,nx,1,1,1,1,1,1)

igradp=3 #  High order pressure gradient boundary condition helps alot

# Thats all
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ
สมการคำนวณอัตราการระบายอากาศภายในอาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช-1: สมการคำนวณอัตราการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. โดยที่ไม่มีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

1. ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3 เท่าของความสูงเดิม)

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.58)(1.53)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(344.76-305.76)}{344.76}}$$

= 4.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 4,000.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 8,476.37 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 0.88 ACH (Air Change per Hour)

<u>หมายเหตุ</u>: $Cd = 0.40+0.0045\,|\,T_i-T_o\,|$

$= 0.40+0.0045\,|\,344.76-305.76\,|$

$= 0.58$

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.55)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(339.41-305.76)}{339.41}}$$

= 7.96 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 7,960.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 16,867.98 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.76 ACH (Air Change per Hour)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>หมายเหตุ</u>: Cd = 0.40+0.0045 $\left| T_i - T_o \right|$

= 0.40+0.0045 $\left| 339.41 - 305.76 \right|$

= 0.55

2. ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม)

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i - T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.56)(1.53)\sqrt{2(9.87)(10.40)\frac{(340.94-305.76)}{340.94}}$$

= 3.94 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 3,940.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 8,349.23 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 0.87 ACH (Air Change per Hour)

<u>หมายเหตุ</u>: Cd = 0.40+0.0045 $\left| T_i - T_o \right|$

= 0.40+0.0045 $\left| 340.94 - 305.76 \right|$

= 0.56

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i - T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.53)(3.43)\sqrt{2(9.87)(10.40)\frac{(335.59-305.76)}{335.59}}$$

= 7.77 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

= 7,770.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 16,465.35 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.71 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: Cd = $0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$

= $0.40+0.0045\left|339.41-305.76\right|$

= 0.53

3. ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม)

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{\frac{2(g)(\triangle H_{NPL})(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.55)(1.53)\sqrt{\frac{2(9.87)(13.00)(339.41-305.76)}{339.41}}$$

= 4.24 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 4,240.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 8,984.95 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 0.94 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: Cd = $0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$

= $0.40+0.0045\left|339.41-305.76\right|$

= 0.55

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{\frac{2(g)(\triangle H_{NPL})(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.53)(3.43)\sqrt{2(9.87)(13.00)\frac{(334.22-305.76)}{334.22}}$$

$= 8.50$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

$= 8,500.00$ ลิตรต่อวินาที หรือ

$= 18,012.29$ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

$= 1.87$ ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ:

$$Cd = 0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$$

$$= 0.40+0.0045\left|334.22-305.76\right|$$

$$= 0.53$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช-2: สมการคำนวณอัตราการระบายอากาศผ่านทางปล่องระบายอากาศภายในอาคาร เวลา 13.00 น. โดยมีผลกระทบจากความร้อนภายในห้องใต้หลังคา

1. ปล่องระบายอากาศสูง 9.10 เมตร (3 เท่าของความสูงเดิม)

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.59)(1.53)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(348.00-305.76)}{348.00}}$$

$$= 4.22 \quad \text{ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \quad \text{หรือ}$$

$$= 4,220.00 \quad \text{ลิตรต่อวินาที} \quad \text{หรือ}$$

$$= 8,942.57 \quad \text{ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที} \quad \text{หรือ}$$

$$= 0.93 \quad \text{ACH (Air Change per Hour)}$$

<u>หมายเหตุ</u>: $Cd = 0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$

$$= 0.40+0.0045\left|348.00-305.76\right|$$

$$= 0.59$$

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.57)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(342.49-305.76)}{342.49}}$$

$$= 8.58 \quad \text{ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \quad \text{หรือ}$$

$$= 8,580.00 \quad \text{ลิตรต่อวินาที} \quad \text{หรือ}$$

$$= 18,181.82 \quad \text{ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที} \quad \text{หรือ}$$

$$= 1.89 \quad \text{ACH (Air Change per Hour)}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045 \left| T_i-T_o \right|$

$= 0.40+0.0045 \left| 342.49-305.76 \right|$

$= 0.57$

2. ปล่องระบายอากาศสูง 10.40 เมตร (4 เท่าของความสูงเดิม)

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$Q = (0.58)(1.53)\sqrt{2(9.87)(10.40)\frac{(346.16-305.76)}{346.16}}$

$= 4.34$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

$= 4,340.00$ ลิตรต่อวินาที หรือ

$= 9,196.86$ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

$= 0.96$ ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045 \left| T_i-T_o \right|$

$= 0.40+0.0045 \left| 346.16-305.76 \right|$

$= 0.58$

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$Q = (0.55)(3.43)\sqrt{2(9.87)(10.40)\frac{(338.82-305.76)}{338.82}}$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

= 8.44 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 8,440.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 17,885.15 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.86 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045 \left| T_i-T_o \right|$

$= 0.40+0.0045 \left| 338.82-305.76 \right|$

$= 0.55$

3. ปล่องระบายอากาศสูง 13.00 เมตร (5 เท่าของความสูงเดิม)

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 1.53 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.57)(1.53)\sqrt{2(9.87)(13.00)\frac{(342.49-305.76)}{342.49}}$$

= 4.58 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 4,580.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 9,705.45 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.01 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045 \left| T_i-T_o \right|$

$= 0.40+0.0045 \left| 342.49-305.76 \right|$

$= 0.57$

- **หน้าต่างลมเข้า – ออก ขนาด 3.43 ตารางเมตร**

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.54)(3.43)\sqrt{\frac{2(9.87)(13.00)(336.06-305.76)}{336.06}}$$

= 8.91 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 8,910.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 18,881.12 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.97 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$

$= 0.40+0.0045\left|336.06-305.76\right|$

$= 0.54$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช-3: สมการคำนวณอัตราการระบายอากาศเวลา 13.00 น. เมื่อมีการปรับปรุงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปล่องระบายอากาศ

1. ปรับปรุงปากปล่องระบายอากาศ และหน้าต่างลมเข้า โดยติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดและมีชายคายื่น 1.50 เมตร

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.57)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(344.33-305.76)}{344.33}}$$

= 8.77 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 8,770.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 18,584.45 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.93 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$

$= 0.40+0.0045\left|344.33-305.76\right|$

$= 0.57$

2. ปรับปรุงลักษณะช่องเปิดลมเข้า ณ ฝ้าเพดานชั้น 2 โดยติดมุ้งลวดหรือบานเกล็ดบริเวณช่องลมเข้า

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.57)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(343.41-305.76)}{343.41}}$$

= 8.68 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 8,680.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 18,393.73 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.91 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045 \left| T_i-T_o \right|$

$= 0.40+0.0045 \left| 343.41-305.76 \right|$

$= 0.57$

3. ปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูร้อน

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.58)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(342.42-303.39)}{342.42}}$$

= 9.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

= 9,000.00 ลิตรต่อวินาที หรือ

= 19,071.84 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

= 1.98 ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045 \left| T_i-T_o \right|$

$= 0.40+0.0045 \left| 342.42-303.39 \right|$

$= 0.58$

4. ปรับปรุงสภาพแวดล้อมบริเวณรอบบ้าน (Microclimate) ในช่วงฤดูหนาว

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.58)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(337.65-298.63)}{337.65}}$$

$= 9.06$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

$= 9,060.00$ ลิตรต่อวินาที หรือ

$= 19,198.98$ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

$= 2.00$ ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$

$= 0.40+0.0045\left|337.65-298.63\right|$

$= 0.58$

5. รวมการปรับปรุงทุกกรณีในช่วงฤดูร้อนเข้าด้วยกัน

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.59)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(344.81-303.39)}{344.81}}$$

$= 9.40$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

$= 9,400.00$ ลิตรต่อวินาที หรือ

$= 19,919.47$ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

$= 2.07$ ACH (Air Change per Hour)

หมายเหตุ: $Cd = 0.40+0.0045\left|T_i-T_o\right|$

$= 0.40+0.0045\left|344.81-303.39\right|$

$= 0.59$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. รวมการปรับปรุงทุกกรณีในช่วงฤดูหนาวเข้าด้วยกัน

$$Q = (Cd)(A)\sqrt{2(g)(\triangle H_{NPL})\frac{(T_i-T_o)}{T_i}}$$

$$Q = (0.59)(3.43)\sqrt{2(9.87)(9.10)\frac{(341.63-298.63)}{341.63}}$$

$= 9.62$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ

$= 9,620.00$ ลิตรต่อวินาที หรือ

$= 20,385.67$ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที หรือ

$= 2.12$ ACH (Air Change per Hour)

<u>หมายเหตุ</u>: $Cd = 0.40+0.0045 \left| T_i-T_o \right|$

$= 0.40+0.0045 \left| 341.63-298.63 \right|$

$= 0.59$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายชลธิษฐ์ ถนัดศิลปกุล เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2522 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 - 6 ณ โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย จากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ในปี พ.ศ. 2545 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย