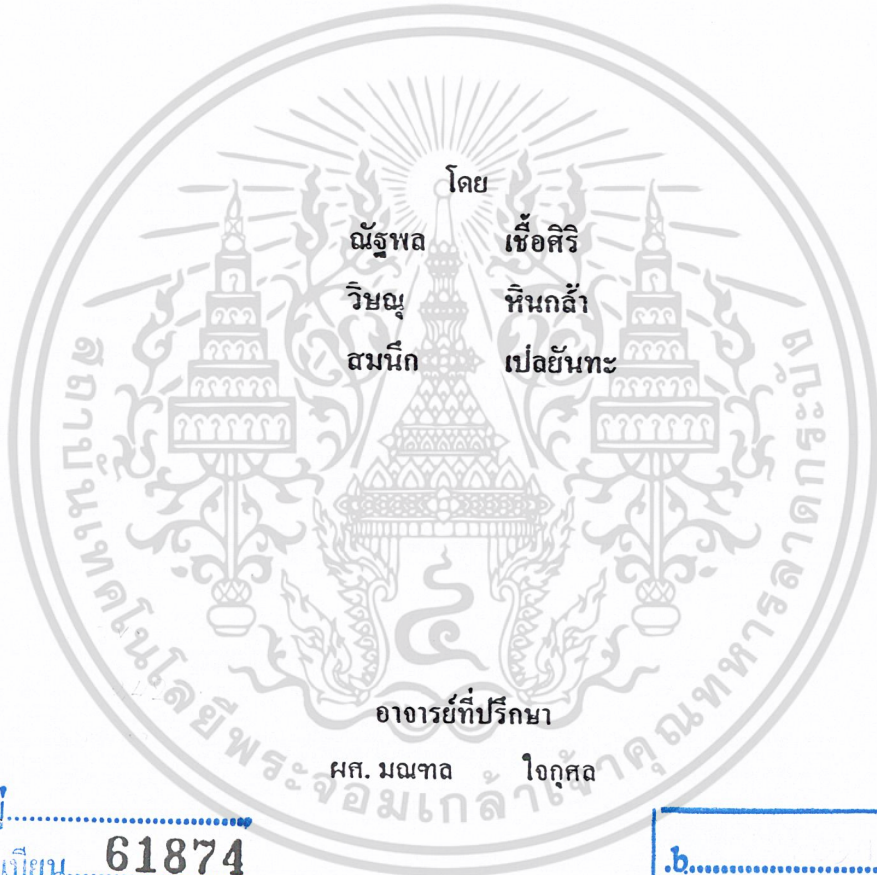


การศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์
A Study of Air Temperature in the Room installed with a Solar Chimney



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **61874**
วัน,เดือน,ปี..... **24 ก.ค. 2549**

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งรังสีอาทิตย์

A Study of Air Temperature in the Room installed with a Solar Chimney

ผู้จัดทำ

1. นาย ฉัฐพล เชื้อศิริ รหัสประจำตัว 45015414
2. นายวิษณุ หินกล้า รหัสประจำตัว 45015430
3. นาย สมนึก เปลย์นทะ รหัสประจำตัว 45015435



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศส. มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์

นาย ฉัฐพล เชื้อศิริ 45015414
 นายวิษณุ หินกล้า 45015430
 นาย สมนึก เปลย์นทะ 45015435
 ผศ. มณฑล ใจกุลล อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการระบายความร้อนโดยใช้ปล่องรังสีอาทิตย์ เพื่อที่จะใช้ลดอุณหภูมิภายในห้อง รวมทั้งยังเป็นการช่วยประหยัดเงินที่จะสูญเสียในสวนนี้ โดยเราจะทำการประยุกต์ใช้หลักการของปล่องรังสีอาทิตย์ และทำการศึกษาลักษณะการไหลของอากาศแบบ "Natural convection flow" และ "Mixed convection flow" และลักษณะการไหลของอากาศแบบ "Forced convection flow" จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างห้องทดลองทั้งสอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดลองของอุณหภูมิอากาศภายในบ้านที่ติดตั้งอุปกรณ์ปล่องรังสีอาทิตย์กับบ้านที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ในการศึกษาจะอาศัยหลักการพาความร้อนแบบธรรมชาติซึ่งจะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้าน โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะเหนี่ยวนำอากาศภายในห้องเข้าไปยังปล่องรังสีอาทิตย์ ทำให้อากาศมีความหนาแน่นน้อยลง อากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นและเคลื่อนที่ออกบริเวณปล่องบนหลังคาจากการอาศัยแรงลอยตัวของอากาศ ซึ่งผลดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลงสูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส ในขณะที่เดียวกันนี้ยังได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการไหลเวียนของอากาศภายในห้อง เมื่อบ้านมีการติดตั้งอุปกรณ์ปล่องรังสีอาทิตย์ โดยใช้วิธี Finite Volume ภายใต้สมมติที่ว่าอากาศภายในห้องมีความหนาแน่นคงที่ นอกจากนั้นยังเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองพบว่า แนวโน้มของอุณหภูมิที่ได้จาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีลักษณะคล้ายกันกับอุณหภูมิจริงที่วัดได้จากการทดลอง เพียงแต่ค่าของอุณหภูมิไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากค่าที่วัดได้จากการทดลองไม่คงที่ เช่น ความเข้มของแสง ความเร็วและทิศทางการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่วนผนังห้องที่สมมติให้เป็นฉนวนนั้นก็ไม่เป็นฉนวนร้อยเปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าที่วัดได้แตกต่างจากโปรแกรมบ้างเล็กน้อย

จากการทดลองเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในห้องจำลองระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับหลังที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก พบว่าปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่สามารถลดภาระทางความร้อน ระบายอากาศออกได้มากกว่า และจะทำให้ให้อากาศถูกเหนี่ยวนำเข้าได้มากกว่า ดังนั้นผลของอุณหภูมิภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่จะมีค่าที่ต่ำกว่าห้องของห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก

A Study of Air Temperature in the Room installed with a Solar Chimney

Mr. Nathapol Chuesiri

Mr. Vitsanu Hinkla

Mr. Somnuk Playanta

Asst.Prof Monton Jaikuson Advisor

ABSTRACT

This research work is the part for studying possibility in reducing the heat by using the sun radio chimney not only for reducing the getting in the rooms heat but also and studying the “Natural convection flow” and “Mixed convection flow” and “Forced convection flow” characteristic then compare between both experiment rooms.

The aim of this research was to study and compare the result of solar chimney in term of distribution temperature of air in the house that use and the house is not use solar chimney, and operated under natural convection. The device induces air in the house into a hot chimney resulting in a decrease in air density. The hot air will flow upward to the ceiling and go to the chimney by buoyancy force. From experimental result, maximum decrease in room temperature is 2 degrees. At the same time, this project involves the development of mathematical model for prediction air circulation in the house and temperature distribution by Finite Volume method. The model assumes constant air density in the house and compare with actual temperature. The temperature in the room from program has tendency same actual temperature, but the value not same the actual temperature. Which arise from the solar density, wind velocity and direction of wind has change every time. The walls insulate is not 100% insulated. And give a result of temperature of actual with program are little difference.

From the experiment compare the result of temperature between the room are installed with a Big Chimney and a Small Chimney. The room with the Big Chimney can more reducing the heat , much flow outlet and induces the air into the room house than the Small Chimney. So that the room is installed with a Big Chimney lower temperature than the room is installed with the Small Chimney.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ที่สามารถสำเร็จขึ้นได้ส่วนหนึ่งอันเนื่องมาจากกระบวนการทำงานที่มีความตั้งใจ ความสามัคคีของสมาชิกในกลุ่มที่ร่วมมือกันทำงานกันเป็นอย่างดี ด้วยความสามารถทั้งหมดที่มีอยู่

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มณฑล ใจกุลศล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ และควบคุมงานวิจัยชิ้นนี้ที่กรุณาให้แนวทางความรู้ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนวิธีการแก้ไขปัญหาอุปสรรคต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยชิ้นนี้ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับผู้ทำงานวิจัย รศ.อัครเดช สีนุทภัค ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษาพร้อมให้คำแนะนำ รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์, ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพานิชย์, ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข ที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์พร้อมสอนการใช้งาน

ขอบคุณ คุณมณฑา เทียมเมือง ที่ทำการเชื่อมสายเทอร์โมคัปเปิ้ลให้ และให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ ตลอดจนอำนวยความสะดวก ขอขอบคุณที่กฤต ภัไค้ และพีเคียร์ นักศึกษาปริญญาโท เป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำดีๆ

ขอขอบคุณ กรมอุตุนิยมวิทยาที่อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัย

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนและคนใกล้ชิดที่ให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ณัฐพล เชื้อศิริ

วิษณุ หินกล้า

สมนึก เปลยันทะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1 ทฤษฎีการนำความร้อน	4
2.1.1 สมการพื้นฐานของการนำความร้อน	4
2.1.2 สมการการกระจายความร้อน	4
2.1.3 การนำความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ	7
2.1.4 การกระจายของอุณหภูมิในผนังเรียบ	7
2.1.5 ความต้านทานความร้อน	8
2.2 ทฤษฎีการพาความร้อน	10
2.2.1 การพาแบบบังคับสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ	10
2.2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ	12
2.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน	17
2.3.1 กำลังในการปล่อยรังสีออก	18
2.3.2 เรดิโอซิตี	18
2.3.3 เอเอเรดิเอชัน	19
2.3.4 การแผ่รังสีของวัตถุดำ	20
2.3.5 การดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของผิว	21
2.4 ทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์	26
2.4.1 ดวงอาทิตย์	26
2.4.2 ค่าคงที่สุริยะ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

2.4.3	ตัวกลางกั้นแสงอาทิตย์ที่ชั้นบรรยากาศ	27
2.4.4	ทิศทางของแสงอาทิตย์แบบตรง	27
2.4.5	พลังงานแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศบนระนาบระดับ	30
2.4.6	การวัดค่าและการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์	31
2.4.7	การประมาณค่าการแผ่รังสีในวันท้องฟ้าแจ่มใส	32
2.5	ทฤษฎี Solar Passive Cooling	36
2.6	วิธีการปริมาตรสี่เหลี่ยม	38
2.6.1	การจัดการของผลต่างตรงกลาง	38
2.7	การวิเคราะห์ปล่องรังสีอาทิตย์โดยวิธี Finite Volume	41
2.7.1	หลักการทํางานของปล่องรังสีอาทิตย์	41
2.7.2	การวิเคราะห์ปล่องรังสีอาทิตย์โดยวิธี Finite Volume	42
2.7.3	ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของหลังคาบังรังสีอาทิตย์	44
2.7.4	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคาบังรังสีอาทิตย์	44
2.7.5	การวิเคราะห์โดยวิธีเชิงตัวเลข	49
2.7.6	ปริทัศน์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	55
บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินการ	59
3.1	รายละเอียดโครงสร้างแบบจำลองของบ้าน	59
3.1.1	บ้านที่ใช้ทำการทดลอง	59
3.2	เครื่องมือวัด	64
3.2.1	สายเทอร์โมคัปเปิ้ล	64
3.2.2	เครื่องบันทึกอุณหภูมิ	64
3.2.3	ฮอทวาร์ม แอนนิโมมิเตอร์	65
3.2.4	เครื่องวัดความเข้มของแสง	66
3.3	วิธีการทดลอง	67
บทที่ 4	ผลการทดลอง	69
4.1	กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	69
4.1.1	กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow	70
4.1.2	กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow	72
4.1.3	กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow	74
4.2	กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์	76
4.2.1	กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

4.2.2	กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow	79
4.2.3	กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow	81
4.3	กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่	83
4.3.1	กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow	84
4.3.2	กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow	86
4.3.3	กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow	88
4.4	กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก	90
4.4.1	กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow	91
4.4.2	กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow	93
4.4.3	กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow	95
4.5	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของบ้านในแต่ละกรณี	97
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	109
5.1	สรุปผลการทดลอง	109
5.2	ข้อเสนอแนะ	110
ภาคผนวก		111
บรรณานุกรม		142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2-1 แสดงจำนวนวันในแต่ละเดือนของปีนั้น	30
ตารางที่ 2-2 แสดงค่าตัวประกอบของสภาวะอากาศต่าง ๆ	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้าที่

รูปที่ 2-1 แสดงปริมาตรควบคุมเล็กๆ $dx.dy.dz$ ในการวิเคราะห์ในพิกัดคาร์ทีเซียน	5
รูปที่ 2-2 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ	8
รูปที่ 2-3 แสดงการเกิดบาวน์คาร์ลีเลเซอร์บนแผ่นเรียบ	11
รูปที่ 2-4 แสดงบาวน์คาร์ลีเลเซอร์สำหรับการพาความร้อนอิสระบนแผ่นเรียบวางในแนวตั้ง	13
รูปที่ 2-5 แสดงค่า Nu สำหรับการพาความร้อนอิสระจากแผ่นเรียบแนวตั้ง	14
รูปที่ 2-6 แสดงการไหลเนื่องจากการลอยตัวบนแผ่นเรียบในแนวนอน	16
รูปที่ 2-7 แสดงการไหลเนื่องจากแรงลอยตัวบนแผ่นเอียง	17
รูปที่ 2-8 แสดงเรดิโอซีตีของผิว	19
รูปที่ 2-9 แสดงลักษณะของรังสีที่ตกกระทบ	20
รูปที่ 2-10 แสดงกระบวนการดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของตัวกลางโปร่งแสง	22
รูปที่ 2-11 แสดงค่าการสะท้อนรังสีตั้งฉากและการดูดกลืนรังสีตั้งฉากของผิวเลือก	24
รูปที่ 2-12 แสดงค่าการผ่านทะลุรังสีของผิวที่ความยาวคลื่นใด ๆ ของผิวเลือก	25
รูปที่ 2-13 แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์	28
รูปที่ 2-14 แสดงมุมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนพื้นผิว	29
รูปที่ 2-15 แสดงลักษณะความเย็นภายในที่อยู่อาศัย	37
รูปที่ 2-16 แสดงการกระจายความเย็นในเวลากลางคืน	37
รูปที่ 2-17 แสดงปริมาตรควบคุมรอบจุด P	39
รูปที่ 2-18 แสดงการทำงานของปล่องรังสีอาทิตย์	42
รูปที่ 2-19 Node and heat transfer exchangers though the RSC.	45
รูปที่ 2-20 Interior nodes	50
รูปที่ 2.21 Flow Chart of the numerical simulator	54
รูปที่ 3-1 บ้านที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์	60
รูปที่ 3-2 บ้านที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์	60
รูปที่ 3-3 รูปแสดงบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่	61
รูปที่ 3-4 รูปแสดงขนาดปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่	61
รูปที่ 3-5 รูปแสดงบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก	62
รูปที่ 3-6 รูปแสดงขนาดปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก	62
รูปที่ 3-7 แสดงบ้านจำลองที่สร้างขึ้นใช้ทำการทดลอง	63
รูปที่ 3-8 แสดงขนาดของตัวบ้านที่ใช้ทำการทดลอง กรณีที่ 1 – 6	63
รูปที่ 3-9 แสดงขนาดของตัวบ้านที่ใช้ทำการทดลอง กรณีที่ 7 – 12	64
รูปที่ 3-10 แสดงเครื่องบันทึกอุณหภูมิ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 3-11 แสดงชอททวาร์รี่ แอนนิโมมิเตอร์ (Hot wire anemometer)	65
รูปที่ 3-12 แสดงเครื่องวัดความเข้มของแสง (Solar integrator)	66
รูปที่ 3-13 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล	66
รูป 4-1 แสดงบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	69
รูป 4-2 แสดงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	70
รูป 4-3 แสดงเวกเตอร์การไหลของอุณหภูมิของอากาศ	70
รูป 4-4 แสดงเส้นทางความเร็วการไหลของอากาศ	71
รูป 4-5 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของการไหลของอากาศ	71
รูป 4-6 แสดงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	72
รูป 4-7 แสดงเวกเตอร์การไหลของอุณหภูมิอากาศ	72
รูป 4-8 แสดงเส้นทางความเร็วการไหลของอากาศ	73
รูป 4-9 แสดงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	73
รูป 4-10 แสดงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	74
รูป 4-11 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิการไหลของอากาศ	74
รูป 4-12 แสดงเส้นทางความเร็วการไหลของอากาศ	75
รูป 4-13 แสดงถึงเวกเตอร์การไหลของอากาศใน 3 มิติ	75
รูป 4-14 แสดงบ้านจำลองสองชั้นที่มีติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	76
รูป 4-15 แสดงถึงเส้นทางของการไหลอุณหภูมิของอากาศ	77
รูป 4-16 แสดงถึงเวกเตอร์อุณหภูมิการไหลของอากาศ	77
รูป 4-17 แสดงถึงเส้นทางของการไหลของความเร็วอากาศ	78
รูป 4-18 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	78
รูป 4-19 แสดงถึงเส้นทางของการไหลอุณหภูมิของอากาศ	79
รูป 4-20 แสดงถึงเวกเตอร์อุณหภูมิการไหลของอากาศ	79
รูป 4-21 แสดงถึงเส้นทางของการไหลของความเร็วอากาศ	80
รูป 4-22 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	80
รูป 4-23 แสดงถึงเส้นทางของการไหลอุณหภูมิของอากาศ	81
รูป 4-24 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิการไหลของอากาศ	81
รูป 4-25 แสดงถึงเส้นทางของการไหลของความเร็วอากาศ	82
รูป 4-26 แสดงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ	82
รูป 4-27 แสดงบ้านจำลองสองชั้นที่มีการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่	83
รูป 4-28 แสดงถึงขนาดของปล่องรังสีอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูป 4-29 แสดงถึงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอุณหภูมิอากาศ	84
รูป 4-30 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ	84
รูป 4-31 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ	85
รูป 4-32 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	85
รูป 4-33 แสดงถึงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	86
รูป 4-34 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ	86
รูป 4-35 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ	87
รูป 4-36 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	87
รูป 4-37 แสดงถึงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	88
รูป 4-38 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ	88
รูป 4-39 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ	89
รูป 4-40 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	89
รูป 4-41 แสดงถึงบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีขนาดเล็ก	90
รูป 4-42 แสดงถึงขนาดของปล่องรังสีขนาดเล็ก	90
รูป 4-43 แสดงถึงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	91
รูป 4-44 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ	91
รูป 4-45 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ	92
รูป 4-46 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	92
รูป 4-47 แสดงถึงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	93
รูป 4-48 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ	93
รูป 4-49 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ	94
รูป 4-50 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	94
รูป 4-51 แสดงถึงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ	95
รูป 4-52 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ	95
รูป 4-53 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ	96
รูป 4-54 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ	96
รูป 4-55 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์แบบ Natural Convection flow	97
รูป 4-56 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านบนของตัวบ้านแบบ Natural Convection Flow	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูป 4-57 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านล่างของตัวบ้านแบบ Natural Convection Flow	98
รูป 4-58 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์แบบ Mixed Convection flow	99
รูป 4-59 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านบนของตัวบ้านแบบ Mixed Convection Flow	99
รูป 4-60 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านล่างของตัวบ้านแบบ Mixed Convection Flow	100
รูป 4-61 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์แบบ Forced Convection flow	101
รูป 4-62 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านบนของตัวบ้านแบบ Forced Convection Flow	101
รูป 4-63 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านล่างของตัวบ้านแบบ Forced Convection Flow	102
รูป 4-64 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่ กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Natural Convection flow	103
รูป 4-65 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Natural Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของด้านบน	103
รูป 4-66 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Natural Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของด้านล่าง	104
รูป 4-67 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Mixed Convection flow	105
รูป 4-68 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Mixed Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของด้านบน	105
รูป 4-69 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Mixed Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของด้านล่าง	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูป 4-70 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Forced Convection flow	107
รูป 4-71 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Mixed Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของคานบน	107
รูป 4-72 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้าน ที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Forced Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของคานล่าง	108



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานในปริมาณที่มากขึ้น แต่พลังงานที่มีอยู่ในปริมาณที่จำกัดเริ่มลดลง จึงมีการคิดที่จะลดการใช้พลังงาน โดยการนำพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ อาคารบ้านเรือนก็เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้พลังงาน และพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้คือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้กับเครื่องปรับอากาศ และเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุด จึงจำเป็นต้องหาวิธีประหยัดพลังงานในส่วนนี้

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อนและมีความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้เกิดการเก็บสะสมความร้อนของบ้านเมื่อแสงแดดตกกระทบสูง ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านมีความร้อนสูงไม่เหมาะที่จะพักอาศัย บ้านเรือนทั่วไปมักใช้เครื่องปรับอากาศในการลดอุณหภูมิภายในบ้าน เพื่อให้เกิดความรู้สึกสบายแก่ผู้พักอาศัย

การใช้พลังงานในอาคารและบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า แสงสว่าง และความร้อน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อปรับอากาศเพียงอย่างเดียวจะสูงประมาณ 60 % ของจำนวนไฟฟ้าที่ใช้ไปทั้งหมด เมื่อเราพิจารณาในอดีตบ้านทรงไทยไม่จำเป็นต้องมีเครื่องปรับอากาศ แต่ผู้อยู่อาศัยกลับรู้สึกสบาย เนื่องจากมีการออกแบบบ้านให้มีลักษณะโปร่งมีการระบายอากาศที่ดี คิวบ้านมีการสะสมความร้อนน้อย แต่อาคารบ้านเรือนในปัจจุบันมีลักษณะแตกต่างจากในอดีต เนื่องจากบ้านมีการสร้างเลียนแบบทรงยุโรป ซึ่งเป็นบ้านในเขตหนาวต้องการบ้านที่เพิ่มความอบอุ่น เมื่อนำบ้านเมืองหนาวมาใช้กับเมืองไทยทำให้มีการสะสมความร้อนทำให้ในบ้านมีอากาศร้อนขึ้นและมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก และยังสร้างบ้านเรือนเกือบที่จะชิดติดกันจนไม่สามารถใช้ประโยชน์จากลมภายนอกมาทดแทนโดยใช้ปล่องรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะทำงานโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีความร้อน โดยติดแผ่นยิบซัมบอร์ดไว้ใต้หลังคาเพื่อให้มีลักษณะเป็นปล่องมีอากาศไหลเข้ามาเป็นอากาศภายในบ้าน เมื่อแสงอาทิตย์กระทบหลังคา จะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำผ่านกระเบื้องหลังคาและแผ่รังสีผ่านช่องว่างด้านในสู่แผ่นยิบซัมบอร์ดและเข้าสู่ภายในปล่องทำให้อากาศร้อน เมื่ออากาศภายในปล่องร้อนความหนาแน่นของอากาศจะน้อยลง ทำให้อากาศร้อนลอยตัวและชักนำให้อากาศจากภายในบ้านเข้ามาแทนและอากาศเย็นจากภายนอกจะถูกดูดเข้ามาแทนอากาศภายในบ้านทำให้อากาศภายในบ้านเย็นขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์
2. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์
4. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์
5. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์
6. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์
7. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก
8. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่
9. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก
10. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่
11. เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองกับผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ
12. เพื่อหาลักษณะการไหลของอากาศภายในบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การทดลองใช้บ้านจำลอง 2 ชั้น ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร (กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 2 เมตร) หลังแรกไม่มีการติดปล่องรังสีอาทิตย์ (Solar Chimney) มีรายละเอียด ดังนี้ หลังคากระเบื้องซีแพคโมเนีย มีพื้นที่ผิว 4 ด้าน เท่ากับ 3.9 ตารางเมตร เอียง 30 องศา ผังห้องด้านนอกใช้กระเบื้องแผ่นเรียบ ส่วนกลางเป็นโพนหนา 1 นิ้ว และด้านในเป็นไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร มีหน้าต่างขนาดกว้าง 0.6 เมตร สูง 0.9 เมตร อยู่สูงจากพื้น 0.6 เมตร อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของผนังและแบ่งหน้าต่างเป็น 3 ช่องเท่าๆ กัน คือช่องละ 0.3×0.6 เมตร และทำการติดตั้งชั้นสองขนาดกว้าง 1.3 เมตร สูง 1 เมตรจากพื้น หลังที่สองติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์มีขนาดเดียวกันกับหลังแรก มีส่วนที่แตกต่างคือติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ที่หลังคาขนาดกว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.3 เมตร สูง 0.4 เมตร

2. การทดลองใช้บ้านจำลอง 2 ชั้น ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร (กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 2 เมตร) หลังแรกไม่มีการติดปล่องรังสีอาทิตย์ (Solar Chimney) มีรายละเอียด ดังนี้ หลังคากระเบื้องซีแพคโมเนีย มีพื้นที่ผิว 4 ด้าน เท่ากับ 3.9 ตารางเมตร เอียง 30 องศา ผังห้องด้านนอกใช้กระเบื้องแผ่นเรียบ ส่วนกลางเป็นโพนหนา 1 นิ้ว และด้านในเป็นไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร มีหน้าต่างขนาดกว้าง 0.6 เมตร สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.9 เมตร อยู่สูงจากพื้น 0.6 เมตร อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของผนังและแบ่งหน้าต่างเป็น 3 ช่องเท่าๆ กัน คือ ช่องละ 0.3 x 0.6 เมตรและทำการติดตั้งชั้นสองขนาดกว้าง 1.6 เมตร สูง 1 เมตร จากพื้น และติดตั้งประตู ขนาด สูง 1 เมตร กว้าง 0.5 เมตร หลังที่สองติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์มีขนาดเดียวกันกับหลังแรก มีส่วนที่แตกต่างคือติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ที่หลังคาขนาดกว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.3 เมตร สูง 0.4 เมตร หลังที่สอง ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาด กว้าง 0.4 เมตร ยาว 0.4 เมตร สูง 0.5 เมตร

3. ให้อากาศภายในห้องที่ศึกษาเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอและคงที่ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง
4. สร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ และนำผลที่ได้จากคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. สร้างแบบแผนขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลในส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
4. ติดตั้งอุปกรณ์ในตำแหน่งต่างๆ
5. ทดสอบอุปกรณ์และเก็บผลการทดลอง
6. วิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลอง
7. ประเมินและสรุปงานการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำผลจากงานวิจัยที่ได้รับนำไปเป็นฐานข้อมูล และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2. สามารถนำผลที่ได้จากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับระบบการปรับอากาศ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการลดภาระการใช้พลังงาน
3. ใช้เป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการปรับอากาศ แบบธรรมชาติ ซึ่งเป็นการช่วยลดภาระความร้อนภายในบ้าน
4. ได้ทราบถึงลักษณะการไหลของอากาศแบบต่างๆที่เกิดขึ้นกับความสัมพัทธ์ที่เกิดในการช่วยลดภาระทางความร้อน
5. ได้ทราบถึงผลของการทดลองที่เกิดขึ้นจริง กับผลการทดลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ทฤษฎีการนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

2.1.1 สมการพื้นฐานของการนำความร้อน (Conduction Equation)

การนำความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อน จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงผ่านตัวกลางไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานกันในแต่ละอนุภาค โดยอนุภาคที่อยู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะมีระดับพลังงานสูง ซึ่งอนุภาคจะเกิดการสั่นอย่างรวดเร็วและเกิดการชนกันของอนุภาคแล้วจะเกิดการเคลื่อนที่โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์กับอนุภาคที่ระดับพลังงานต่ำ ในกรณีของโลหะจะเป็นการไหลของกระแสอิเล็กตรอน สำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากมายที่เคลื่อนไหวอยู่ภายใน โครงสร้างซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย

ในการวัดการถ่ายเทความร้อนในตัวกลางไม่สามารถวัดได้โดยตรงดังนั้นจึงใช้วิธีการวัดการกระจายอุณหภูมิของวัตถุแทน ซึ่งจะใช้อุปกรณ์เทอร์โมคัปเปิล เทอร์มิสเตอร์ และเทอร์โมมิเตอร์ในการวัด โดยการไหลของความร้อนในตัวกลางจะเป็นการคำนวณได้จากการวัดสนามของอุณหภูมิของผนังซึ่งจะเป็นรากฐานของการนำความร้อน จากกฎของฟูริเยร์ (Fourier's law) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า อัตราการนำความร้อนในทิศทางที่กำหนดจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อนและเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางนั้น สำหรับการไหลของความร้อนในทิศทาง x กฎของฟูริเยร์กำหนดได้เป็น

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad W \quad (2.1a)$$

หรือ
$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad W/m^2 \quad (2.1b)$$

โดยที่ q_x คือ อัตราการนำความร้อนผ่านพื้นที่หน้าตัด A ในทิศทางบวก x

q_x'' คือ ฟลักซ์ความร้อนในทิศทางบวก x

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity of material) และเป็นค่าบวก

2.1.2 สมการการกระจายความร้อน (The Heat Diffusion Equation)

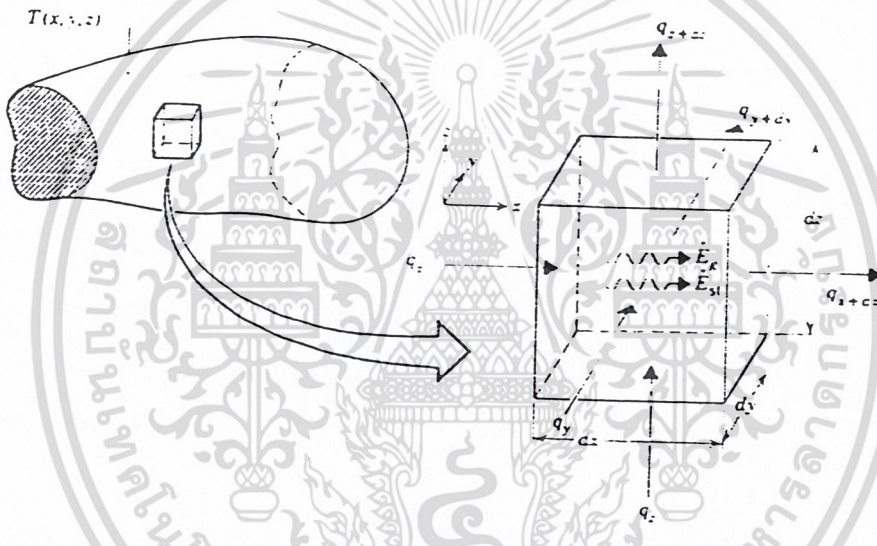
พิจารณาควตงเนื้อเดียวกันซึ่งมีเกรเดียนต์อุณหภูมิจริง และการกระจายของอุณหภูมิ $T(x, y, z)$ จึงกำหนดในพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) เรากำหนดปริมาตรควบคุมเล็กมาก ๆ $dx \cdot dy \cdot dz$ ตามรูปที่ 2.1 ถ้ามีเกรเดียนต์อุณหภูมิแล้วการนำความร้อนจะเกิดขึ้นบริเวณตรงข้ามของแต่ละอันของผิวควบคุม อัตราการนำความร้อนนี้จะตั้งฉากกับผิวควบคุมแต่ละอันที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนต x, y, z ซึ่งจะแสดงในเทอมของ q_x, q_y, q_z ตามลำดับ อัตราการนำความร้อนที่ผิวตรงข้ามสามารถเอกสสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายโดยอนุกรมเทลเลอร์ (Taylor series expansion) โดยไม่คิดเทอมลำดับสูง ๆ (Higher order terms) จะได้

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \tag{2.2a}$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \tag{2.2b}$$

$$q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz \tag{2.2c}$$



รูปที่ 2-1 แสดงปริมาตรควบคุมเล็กๆ $dx \cdot dy \cdot dz$ ในการวิเคราะห์ในทศการที่เขียน

ในแกน x อัตราการนำความร้อน $x + dx$ จะมีค่าเท่ากับค่าปริมาณความร้อนบนแกน x บวกกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความร้อนเทียบกับระยะ dx ที่เวลาใดๆ ในตัวกลางที่มีแหล่งพลังงานความร้อนซึ่งสามารถผลิตความร้อนได้เทอมนี้จะแทนด้วย

$$\dot{E}_g = \dot{q} \, dx \, dy \, dz \tag{2.3}$$

โดยที่ \dot{q} คือ อัตราพลังงานที่ผลิตขึ้นในตัวกลางต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (W / m^3) ในการเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความร้อนที่ถูกเก็บไว้ในวัตถุในปริมาตรควบคุม ถ้าวัตถุไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยที่ผลกระทบของพลังงานที่แฝง (Latent energy) จะไม่มีผลกระทบ พลังงานที่เก็บไว้จะแสดงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{E}_{\sigma} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.4)$$

โดยที่ $\rho c_p T/\partial t$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของตัวกลางต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรต่อเวลาที่เปลี่ยนไป ในชั้นคอนสตรัคทีฟจะแสดงในรูปทั่วไปของกฎทรงพลังงานจะแสดงดังสมการ

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{\sigma} \quad (2.5)$$

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าอัตราการนำความร้อนประกอบด้วยการไหลเข้า (\dot{E}_{in}) และไหลออก (\dot{E}_{out}) ของพลังงานแล้วแทน (2.3) และ (2.4) จะได้

$$q_x + q_y + q_z + \dot{q} dx dy dz - q_{x+dx} - q_{y+dy} - q_{z+dz} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.6)$$

แทนด้วยสมการ (2.2) จะได้

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} dx - \frac{\partial q_y}{\partial y} dy - \frac{\partial q_z}{\partial z} dz + \dot{q} dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (2.7)$$

จากกฎของฟูริเยร์ อัตราการนำความร้อนสามารถประมาณได้เท่ากับ

$$q_x = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.8a)$$

$$q_y = -k dx dz \frac{\partial T}{\partial y} \quad (2.8b)$$

$$q_z = -k dx dy \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.8c)$$

แทนสมการ(2.8) ลงในสมการ(2.7) และหารตลอดด้วยปริมาตรควบคุม ($dx dy dz$) จะได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ(2.9) เป็นรูปทั่วไป(General form) ของสมการการพียงกระจายของความร้อน (Heat diffusion equation) ในพิกัดคาร์ทีเซียน โดยทั่วไปจะเรียกสมการนี้ว่า สมการความร้อน ซึ่งจะเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การนำความร้อนสำหรับกรณีค่า k คงที่ สมการความร้อนแสดงดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.10)$$

โดยที่ $\alpha = k/\rho c_p$ เรียกว่า ค่าการพียงกระจายของความร้อนของวัสดุ (Thermal diffusivity)

2.1.3 การนำความร้อนในสถานะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ (One Dimensional Steady State)

ในที่นี้จะเป็นการพิจารณาเกี่ยวกับปัญหาการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอในหนึ่งมิติเพื่อหาการกระจายของอุณหภูมิและความร้อนที่ไหลภายในวัสดุที่รูปร่างเป็นแบบผืนเรียบ ลักษณะการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอที่จะกล่าวถึงนี้จะมีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิและการไหลของความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางเพียงทิศทางเดียว โดยที่อุณหภูมิแต่ละจุดของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

2.1.4 การกระจายของอุณหภูมิในผืนเรียบ

การกระจายอุณหภูมิในผืนเรียบ หาได้จากสมการการพียงกระจายของความร้อนและเงื่อนไขที่ขอบแบบต่าง ๆ ตามเงื่อนไขดังกล่าว และไม่มีการผลิตความร้อนภายในผืนเรียบ ดังนั้นจะสามารถลดรูปสมการเป็น

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad (2.11)$$

ถ้าสมมุติว่าค่า k คงที่ และทำการอินทิเกรต 2 ครั้ง จะได้คำตอบทั่วไปเป็น

$$T(x) = C_1 x + C_2 \quad (2.12)$$

ค่าคงที่จากการอินทิเกรต C_1 และ C_2 จำเป็นต้องประยุกต์เงื่อนไขที่ขอบเพื่อหาค่าคงที่จากการอินทิเกรต ดังนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขที่ขอบเป็น $x = 0$ และ $x = L$ จะได้

$$T(0) = T_{s,1} \quad \text{และ} \quad T(L) = T_{s,2}$$

ประยุกต์เงื่อนไขที่ $x = 0$ ลงในสมการทั่วไปในสมการ (2.12) จะได้ $T_{s,1} = C_2$ เงื่อนไขที่ขอบเป็นที่ $x = L$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{s,2} = C_1 L + C_2 = C_1 L + T_{s,1}$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่า C_1 ได้

$$C_1 = \frac{T_{s,2} - T_{s,1}}{L}$$



รูปที่ 2-2 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ

แทนค่าคงที่จากการอินทิเกรตลงในสมการทั่วไปจะได้สมการการกระจายของอุณหภูมิดังนี้

$$T(x) = (T_{s,2} - T_{s,1}) \frac{x}{L} + T_{s,1} \quad (2.13)$$

จากสมการการกระจายของอุณหภูมิ (2.13) สามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = kA(T_{s,1} - T_{s,2}) \quad (2.14)$$

2.1.5 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

ในที่นี้เราจะนำสมการ(2.14) ซึ่งให้แนวทางสำคัญมากมาใช้นั้นคือความคล้ายคลึงระหว่างการฟุ้งกระจายของความร้อนและประจุไฟฟ้า โดยความต้านทานทางไฟฟ้านั้นจะเกี่ยวข้องกับการนำทางไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความต้านทานทางไฟฟ้าจึงเกี่ยวข้องกับการนำความร้อน จากสมการ(2.14) ความต้านทานการนำความร้อนคือ

$$R_{t,cond} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (2.15)$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับการนำความร้อนในระบบที่เหมือนกัน กฎของโอห์มได้ให้รูปแบบความต้านทานทางไฟฟ้าเป็น

$$R_e = \frac{E_{s,1} - E_{s,2}}{I} = \frac{L}{\sigma A} \quad (2.16)$$

จากสมการ(2.15) และ (2.16) ยังสามารถพิจารณาในส่วนของความต้านทานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อนที่ผิว จากกฎของการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling)

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.17)$$

ความต้านทานพาความร้อนสำหรับการพาความร้อนเป็น

$$R_{t,conv} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA} \quad (2.18)$$

วงจรความร้อนสมมูลย์สำหรับผนังเรียบที่มีการพาความร้อนที่ผิวแสดงในรูปที่ 2-2 อัตราการถ่ายเทความร้อนหาได้จากการแยกพิจารณาในแต่ละช่วงของวงจรซึ่งจะได้

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{1/h_1A} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{L/kA} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,2}}{1/h_2A} \quad (2.19)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อน อาจเขียนแทนด้วยเทอมของผลต่างของอุณหภูมิทั้งหมด ($T_{\infty,1} - T_{\infty,2}$) และความต้านทานความร้อนรวม R_{tot} ดังนี้

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความต้านทานนำและการพาต่ออนุกรมกัน จึงนำมารวมกันในแต่ละช่วงจึงสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$R_{tot} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2.21)$$

นอกจากนี้แล้วยังสามารถพิจารณาในส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการแผ่รังสีที่ผิว T_s กับสิ่งแวดล้อม T_{surr} ในลักษณะความต้านทานความร้อนโดยการแผ่รังสีเขียนสมการเป็น

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{surr}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A} \quad (2.22)$$

โดย h_r สามารถคำนวณได้จาก $h_r = \epsilon \sigma (T_s + T_{surr}) (T_s^2 + T_{surr}^2)$

2.2 ทฤษฎีการพาความร้อน (Convection Heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่จะกล่าวในที่นี้ จะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็งจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับของแข็ง กลไกการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อน ในที่นี้จะได้อธิบายลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เรียกว่า การพาความร้อนอิสระ หรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or Natural convection) และการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) ซึ่งจะได้หลักการมาประยุกต์ใช้ในส่วนที่นำมาใช้ในการศึกษาอุปกรณ์ปล่องรังสีอาทิตย์ เพื่อให้ลักษณะการคำนวณการถ่ายเทความร้อนง่ายขึ้นและสะดวกระหว่างผิวที่ร้อน T_w และอุณหภูมิของไหลเย็นที่ไหลผ่านบนผิวที่อุณหภูมิ T_f โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h จึงกำหนดสมการความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะดังสมการนี้

$$q'' = h(T_w - T_f) \quad (2.23)$$

โดยที่ q'' คือ ฟลักซ์ของความร้อนที่มีการถ่ายเทจากของไหลที่ร้อนไปสู่ผิวนั้น โดยที่อุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสหรือเคลวิน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h มีหน่วยเป็น $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$

2.2.1 การพาแบบบังคับสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ (Forced Convection for Flow over Bodies)

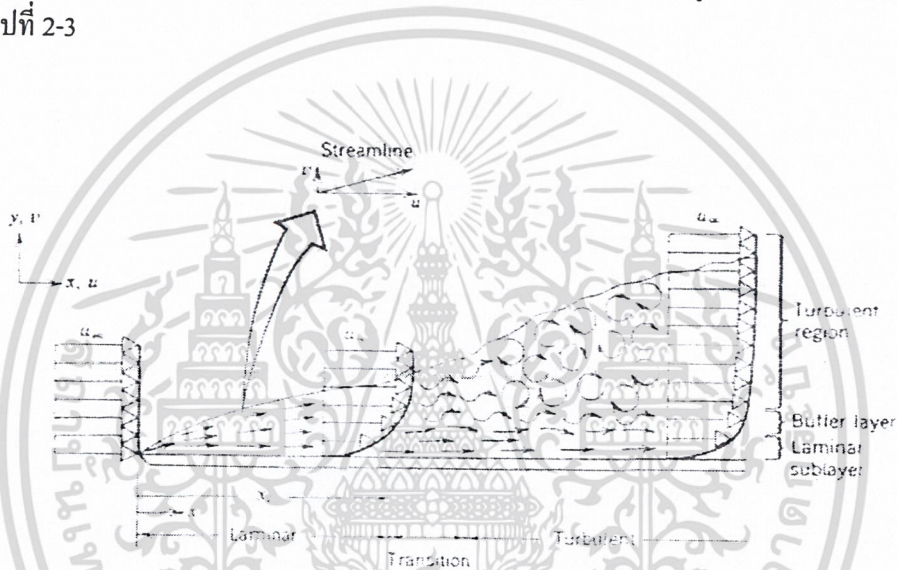
การพาความร้อนของของไหลที่เกิดขึ้นและทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในของของไหล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ระหว่างของไหลกับผิวที่ถูกกระทำจากภายนอก เช่น พัดลมเป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะไม่เกิดจากแรงลอยตัวที่กระทำกับของไหลนั่นเอง ลักษณะการพาความร้อนนี้เรียกว่า การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) ดังนั้นปัญหาในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หรือออกจากผิวในการไหลแบบไหลภายนอก (External flow) โดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้นในของไหล สถานการณ์การเคลื่อนที่การสัมผัสระหว่างของไหลและพื้นที่ผิวเรียกว่า การพาความร้อนแบบบังคับ ในที่นี่เพื่อต้องการหาค่า h หรือ \bar{h} จากสหพันธ์ (Correlation) ซึ่งได้จากการทดลองทั้งสิ้นเพื่อจะแก้สมการหาค่า q ต่อไป

2.2.1.1 การไหลบนแผ่นราบเรียบ (The Flat Plate in Parallel Flow)

การไหลของของไหลผ่านแผ่นเรียบ ถ้าแผ่นเรียบนั้นยาวมากจะเกิดบาวนด์รีเลเยอร์ขึ้นทั้งแบบลามินาร์และแบบเทอร์บูเลนต์ โดยลามินาร์บาวนด์รีเลเยอร์จะเกิดขึ้นก่อนและเมื่อ x เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งจากนั้นจะเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition) แล้วจึงจะเข้าสู่ช่วงเทอร์บูเลนต์ เมื่อ x เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงการเกิดบาวนด์รีเลเยอร์บนแผ่นเรียบ

ในการคำนวณหาพฤติกรรมของบาวนด์รีเลเยอร์นั้นจะสมมุติว่าอยู่ในช่วง Transition เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง x_c ตำแหน่งที่หาได้จากกลุ่มตัวแปรไร้มิตินี้จึงเรียกว่า เรโนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number, Re)

$$Re_x = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} \quad (2.24)$$

โดยที่ค่า x (Characteristic length) เป็นระยะทางจากขอบด้านหน้า ค่าเรโนลด์นัมเบอร์วิกฤต (Critical Reynolds number) เป็นค่าของ Re_x ที่ซึ่งเกิด Transition ขึ้น และสำหรับการไหลภายนอกวัตถุจะมีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 10^5 ถึง 3×10^6 ขึ้นอยู่กับความหยาบของพื้นผิว สำหรับระดับความปั่นป่วน (Turbulence) ของกระแสน้ำและธรรมชาติของการแปรเปลี่ยนความดันตามพื้นผิว ตามปกติจะมีค่า Re อยู่ที่ 5×10^5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 การไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow)

พารามิเตอร์การพาที่เกี่ยวข้องสำหรับการไหลแบบลามินาร์ ได้มาโดยการแก้ปัญหาในรูปที่เหมาะสมของสมการบาวนด์รีเลเซอร์ และความแม่นยำของผลลัพธ์ได้รับการยืนยันจากการทดลอง การแก้สมการนี้โดยใช้ Similarity variable ซึ่งจะให้ Similarity solution สำหรับการพาความร้อนที่พื้นผิว โดยมีอุณหภูมิสม่ำเสมอค่าของ Local Nusselt จะถูกกำหนดอยู่ในรูป

$$Nu_x \equiv \frac{h_x x}{k} = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \geq 0.6 \quad (2.25)$$

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของการไหลแบบลามินาร์จะแสดงดังนี้

$$\bar{h}_x = \frac{1}{x} \int_0^x h_x dx = 0.332 \left(\frac{k}{x} \right) Pr^{1/3} \left(\frac{u_\infty}{\nu} \right)^{1/2} \int_0^x \frac{dx}{x^{1/2}} \quad (2.26)$$

อินทิเกรตแล้วแทนค่าสมการ (2.25) จะได้ว่า $\bar{h}_x = 2h_x$ แทนค่าสมการ (2.24) จะได้สมการดังนี้

$$\overline{Nu_x} \equiv \frac{\bar{h}_x x}{k} = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \geq 0.6 \quad (2.27)$$

2.2.1.3 การไหลแบบเทอร์บูเลนต์ (Turbulent Flow)

สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ ค่า Re ใดๆ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 5×10^5 และ 10^7 ดังนั้นค่า Nusselt number สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Nu_x \equiv \frac{h_x x}{k} = 0.0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} \quad 0.6 < Pr < 60 \quad (2.28)$$

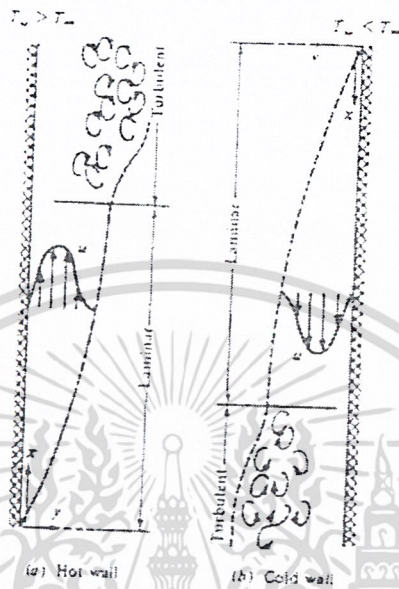
ส่วนการหาค่าเฉลี่ยของ Nusselt Number สามารถคำนวณหาได้จากสมการ (2.26)

$$\bar{h}_x = \frac{1}{(L - L_c)} \int_0^L h_x dx \quad (2.29)$$

2.2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)

การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นก่อนโดยความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในของไหล การแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิภายในของไหลนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในสนามความโน้มถ่วง ผลก็คืออุณหภูมิที่สูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันการไหลที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ แรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ เรียกว่า แรงลอยตัว (Buoyancy force) การเคลื่อนที่ของของไหลโดยการพาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในของไหล โดยไม่มีการบังคับให้มีการเคลื่อนที่ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลแบบนี้จะเรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or Natural convection)



รูปที่ 2-4 แสดงบาว์คาร์เลเยอร์สำหรับการพาความร้อนอิสระบนแผ่นเรียบวางในแนวตั้ง

2.2.2.1 สมการเอมไพริคัลสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ (External Free Convection Flows)

ในที่นี้จะสรุปสหพันธ์เอมไพริคัลที่เหมาะสมซึ่งได้พัฒนาขึ้นสำหรับวัตถุรูปทรงเรขาคณิตที่วางในของไหล ซึ่งจะเป็นสิ่งเหมาะสมในการคำนวณทางวิศวกรรมมากที่สุด สมการทั่วไปจะอยู่ในรูป

$$\overline{Nu}_L = \frac{\overline{h}L}{k} = C Ra_L^n \tag{2.30}$$

เมื่อ Ra (Rayleigh number) มีค่าเท่ากับ

$$Ra = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \tag{2.31}$$

โดยที่ $Gr_L = g\beta L^3 \frac{(T_s - T_\infty)}{\nu^2}$ และ $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$

ซึ่งค่าของ แกรสชอฟนัมเบอร์ (Grashof number, Gr_L) เป็นการแทนอัตราส่วนของแรงลอยตัวต่อแรงจาก ความหนืดซึ่งกระทำต่อของไหล โดยที่ L เป็นความยาวตามลักษณะของรูปทรง ค่า $n = 1/4$ สำหรับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณเห็นหน้าไปจะขอจะเขียนคืนในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

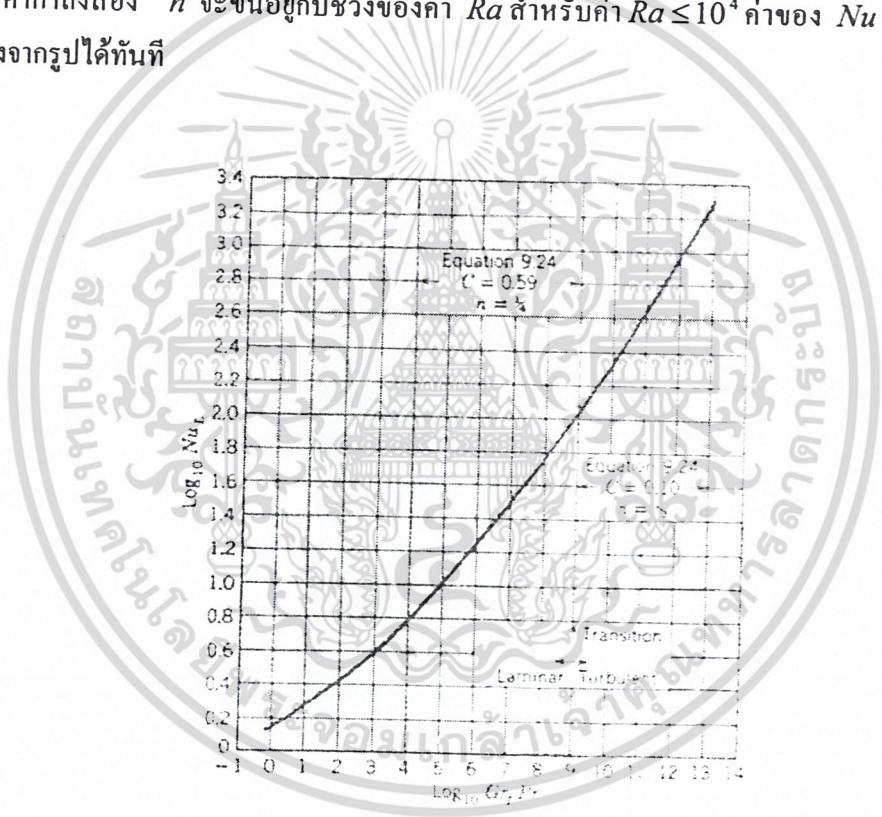
การไหลแบบลามินาร์ ส่วนการไหลแบบเทอร์บูเลนต์นั้นค่า $n = 1/3$ นอกจากนี้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ จะต้องอยู่ภายใต้อุณหภูมิฟิล์ม T_f ซึ่งก็คืออุณหภูมิที่บาร์คาร์เลเยอร์เฉลี่ยนั่นเอง หาได้จากสมการดังนี้

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \tag{2.32}$$

ค่า C เป็นค่าคงที่ การไหลแบบลามินาร์ $C = 0.59$ สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ $C = 0.1$

1) แผ่นเรียบแนวตั้ง (Vertical plate)

จากสมการสหพันธ์ได้ถูกพัฒนาสำหรับแผ่นเรียบแนวตั้ง และนำมาพล็อตในรูปที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของ C และค่ากำลังสอง n จะขึ้นอยู่กับช่วงของค่า Ra สำหรับค่า $Ra \leq 10^4$ ค่าของ Nu สามารถหาได้โดยตรงจากรูปได้ทันที



รูปที่ 2-5 แสดงค่า Nu สำหรับการพาความร้อนอิสระจากแผ่นเรียบแนวตั้ง

นอกจากนี้ Churchill และ Chu ได้แนะนำสมการซึ่งสามารถใช้ได้ตลอดช่วงทั้งหมดของ Ra_L ในรูป

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad \text{สำหรับ } 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \tag{2.33}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ(2.33) นี้ใช้ได้ทั้งลามินาร์และเทอร์บูเลนซ์ ส่วนสมการที่ให้ความแม่นยำมากจะใช้เฉพาะในช่วงลามินาร์

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \right\} \quad \text{สำหรับค่า } 0 < Ra_L < 10^9 \quad (2.34)$$

สำหรับสมการทั้งสองสามารถใช้กับกรณีของแผ่นเรียบคงที่ ถ้าเงื่อนไขมีการเปลี่ยนเป็นฟลักซ์ของความร้อนคงที่แทนแล้ว สมการดังกล่าวก็ยังคงสามารถใช้ได้และให้ความถูกต้องพอประมาณ

2) แผ่นเรียบในแนวนอน (Horizontal Plate)

ในกรณีนี้รูปแบบของสมการขึ้นอยู่กับว่า แผ่นเรียบเป็นแผ่นร้อนหรือแผ่นเย็น (ตามรูปที่ 2-6) เมื่อเทียบกับของไหลที่ล้อมรอบ และขึ้นอยู่กับว่าแผ่นเรียบหงายหน้าขึ้น หรือคว่ำหน้าลงสัมผัสกับของไหล โดยถือว่าแผ่นเรียบมีหน้าเดียว McAdams ได้แนะนำสหพันธ์เอมไพริคัลที่ใช้กันมาก โดยการปรับค่า L ใหม่ให้อยู่ในรูปความยาวเฉพาะ กำหนดเป็น

$$L \equiv \frac{A_s}{P} \quad (2.35)$$

โดยที่ A_s และ P เป็นพื้นที่ผิว และเส้นรอบรูปของแผ่นตามลำดับ สหพันธ์ที่ใช้คือ

ก. สำหรับแผ่นร้อนที่หงายขึ้น หรือแผ่นเย็นที่คว่ำลง (Upper surfaces of heated plate or lower surface of cool plate)

$$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \quad (2.36)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (2.37)$$

ข. แผ่นร้อนคว่ำหน้าลงหรือแผ่นเย็นหงายขึ้น (Lower surface of heated plate or upper surface of cool plate)

$$\overline{Nu}_L = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \quad (2.38)$$

สมการที่กล่าวมาใช้สำหรับกรณีของผิวคงที่ ส่วนกรณีฟลักซ์ของความร้อนคงที่ ต้องใช้สมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. สำหรับแผ่นเรียบแนวนอนที่แผ่นร้อนหงายขึ้น

$$\overline{Nu}_L = 0.13 Ra_L^{1/3} \quad (Ra_L < 2 \times 10^8) \quad (2.39)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.16 Ra_L^{1/3} \quad (5 \times 10^8 \leq Ra_L < 10^{11}) \quad (2.40)$$

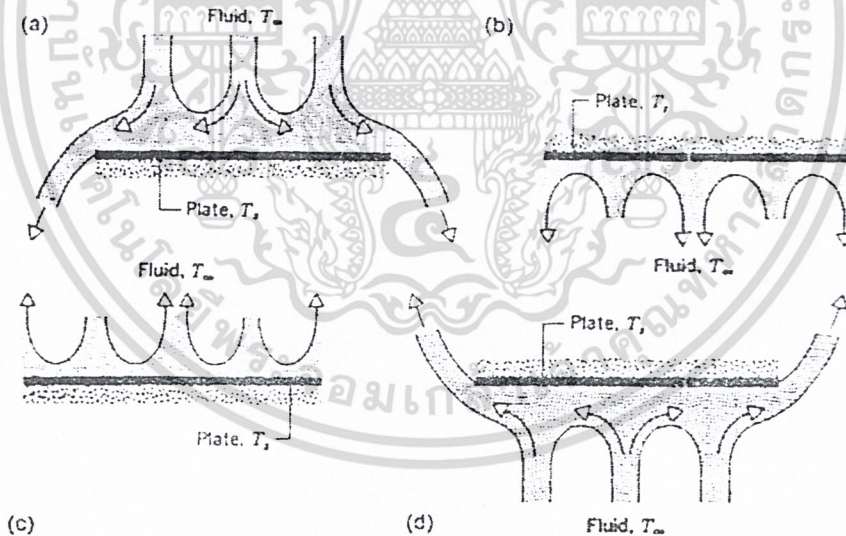
ข. สำหรับแผ่นร้อนคว่ำลง

$$\overline{Nu}_L = 0.58 Ra_L^{1/5} \quad (10^6 \leq Ra_L < 10^{11}) \quad (2.41)$$

สมการ (2.39) และ (2.40) ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ใช้หาที่อุณหภูมิเฉลี่ยซึ่งกำหนดเป็น

$$T_f = T_s - 0.25(T_s - T_\infty) \quad (2.42)$$

โดยที่ β ยังคงหาค่าที่ $T_f = (T_s + T_\infty)/2$ เหมือนเดิม



รูปที่ 2-6 แสดงการไหลเนื่องจากการลอยตัวบนแผ่นเรียบในแนวนอน

3) แผ่นเรียบวางอยู่ในแนวเอียง (Inclined Plate)

กรณีนี้ Churchill และ Chu แนะนำให้ใช้สมการ (2.33) และ (2.34) สำหรับพื้นผิวที่วางเอียงถึง $\theta = 60^\circ$ ($0 \leq \theta \leq 60^\circ$) จากแนวคิด (ตามรูปที่ 2-7) สำหรับการไหลแบบลามินาร์สมการ (2.34) ใช้ได้

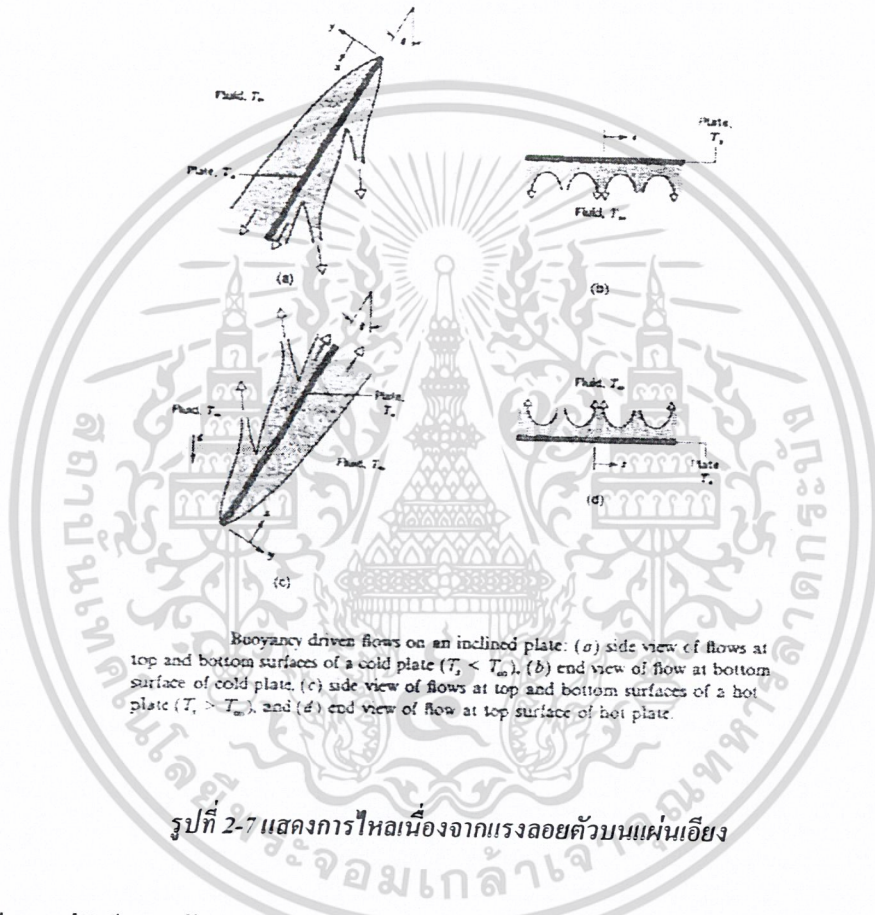
โดยการแทนค่า g ด้วย $g \cos \theta$ ในการหาค่า Ra_L สมการเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{4/9}} \right\} \quad 0 < Ra_L < 10^9 \quad (2.43)$$

ส่วนสมการ (2.33) ใช้สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ที่ได้เลย โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลง

จากที่กล่าวมาทั้งสามรูปแบบนั้นการหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ สามารถหาได้จากการประมาณค่า อุณหภูมิ $T_f = (T_s - T_\infty)/2$



2.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation Method)

การแผ่รังสีความร้อน เป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจะถูกส่งออกโดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ การแผ่รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีการแผ่รังสีจากวัตถุใด ๆ ที่มีอุณหภูมิ T_s จะพิจารณาว่าการปล่อยออกทุกความยาวคลื่นจาก $\lambda = 0$ ถึง $\lambda = \infty$ ที่พบมากที่สุด ในทางวิศวกรรม พลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจะอยู่ในช่วง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ โดยที่แถบช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมระหว่าง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ จึงถูกอ้างว่าเป็นช่วง “การแผ่รังสีความร้อน” โดยปกติดวงอาทิตย์จะส่งรังสีความร้อนที่อุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 5800 K กลุ่มของพลังงานจะอยู่ในช่วงความยาวระหว่าง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 0.3 \mu m$ โดยทั่วไป สเปกตรัมทั่วไปของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $\lambda = 0.4$ ถึง $\lambda = 0.7 \mu m$ ซึ่งสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและเรียกสเปกตรัมนี้ว่าเป็น “การแผ่รังสีที่มองเห็นได้”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กำลังในการปล่อยรังสีออก (Emissive Power)

กำลังในการปล่อยออก (E) หมายถึงปริมาณการแผ่รังสีที่มีการปล่อยออกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.3.1.1 กำลังปล่อยออกที่ความยาวคลื่นหนึ่ง (Spectral, Hemispherical Emissive Power) ใช้สัญลักษณ์ E_λ นิยามเป็นอัตราการแผ่รังสีของความยาวคลื่น λ ที่ปล่อยออกในทุกทิศทางจากพื้นผิวต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น $d\lambda$ รอบ λ และต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว ดังนั้นจะสามารถหาค่า E ได้ดังนี้

$$E_\lambda(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (W/m^2 \cdot \mu m) \quad (2.44)$$

2.3.1.2 กำลังปล่อยออกทั้งหมด (Total, Hemispherical Emissive Power) ใช้สัญลักษณ์ E คืออัตราการแผ่รังสีทั้งหมดที่ปล่อยออกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งก็คือเป็นการรวมกันของ E_λ ทุกความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

$$E = \int E_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (W/m^2) \quad (2.45)$$

หรือ

$$E = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^\infty I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (2.46)$$

2.3.2 เรดิโอซิตี (Radiosity)

ฟลักซ์การแผ่รังสีตัวนี้เรียกว่า เรดิโอซิตี (Radiosity, J) คือรังสีทั้งหมดที่ออกไปจากหนึ่งหน่วยพื้นผิว เนื่องจากการแผ่รังสีจะรวมรังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิวนั้นและรังสีที่มาจากที่อื่นซึ่งตกกระทบบนพื้นผิวนั้นแล้วสะท้อนออกจากผิว ตามรูปที่ 2-8 โดยทั่วไปแล้วค่าเรดิโอซิตีแตกต่างจากกำลังส่งออกแบ่งเป็น 2 แบบเช่นเดียวกันคือ

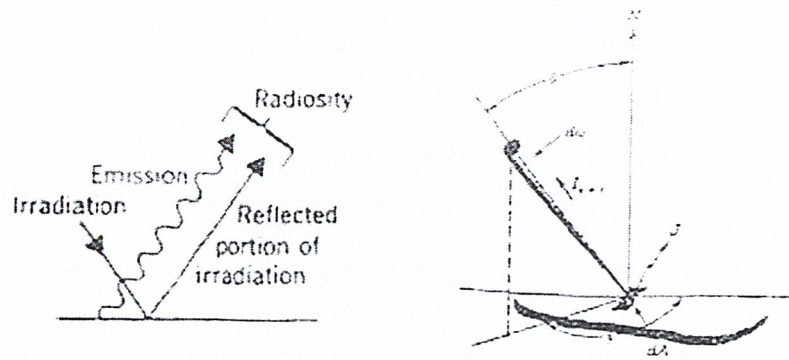
2.3.2.1 Spectral Radiosity (J_λ) คืออัตรารังสีที่ความยาวคลื่น λ ออกจากหนึ่งหน่วยพื้นผิวต่อช่วงความยาวคลื่นหนึ่งหน่วย $d\lambda$ รอบ λ เนื่องจากเป็นรังสีที่ออกไปทุกทิศทางจึงเกี่ยวข้องกับความเข้มของรังสีที่ปล่อยออกรวมทั้งที่สะท้อนออกจากพื้นผิว $I_{\lambda,e+r}(\lambda, \theta, \phi)$ แสดงได้ในรูป

$$J_\lambda(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e+r}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (W/m^2 \cdot \mu m) \quad (2.47)$$

2.3.2.2 Total Radiosity เรียกสั้น ๆ ว่า Radiosity (J) คืออัตราการแผ่รังสีทั้งหมดที่ทุกความยาวคลื่นออกจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว

$$J = \int J_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (W/m^2) \quad (2.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-8 แสดงเรดิโอซิตีของผิว

2.3.3 เออริเอชัน (Irradiation)

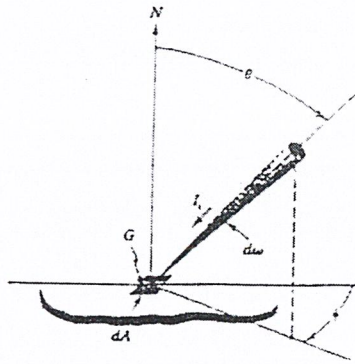
รังสีที่มากกระทบนั้นอาจเกิดการปล่อยออกและการสะท้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวอื่น และรังสีนี้มี Spectral และ Direction distributions ซึ่งหาได้โดย Spectral intensity, $I_{\lambda,i}(\lambda, \theta, \phi)$ ปริมาณนี้นิยามเป็นพลังงานจากการแผ่รังสีของความยาวคลื่นที่ตกลงมากระทบจากทิศทาง (θ, ϕ) ต่อหน่วยพื้นที่ของผิวหน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางนี้ต่อหน่วยมุมรอบรูปกรวยรอบทิศทางนี้และต่อช่วงหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น $d\lambda$ รอบ λ โดยความเข้มของรังสีที่ตกลงมากระทบเกี่ยวข้องกับเทอมของฟลักซ์รังสี เรียกว่าเออริเอชัน (Irradiation) โดยค่าเออริเอชันของความยาวคลื่นหนึ่งหรือ Spectral irradiation, G_{λ} กำหนดเป็นอัตราของรังสีที่ความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนผิวหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ผิวและต่อช่วงความยาวคลื่นหนึ่งหน่วย $d\lambda$ รอบ λ ดังนี้

$$G_{\lambda}(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,i}(\lambda, \theta, \phi) \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi \quad (W/m^2 \cdot \mu m) \quad (2.49)$$

ค่าเออริเอชันรวม (Total irradiation) G คือ อัตราที่รังสีตกกระทบบนหนึ่งหน่วยพื้นที่จากทุกทิศทางและทุกความยาวคลื่น ซึ่งก็คือการรวม G_{λ} ทุกความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

$$G = \int G_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (W/m^2) \quad (2.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 แสดงลักษณะของรังสีที่ตกกระทบ

2.3.4 การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Blackbody Radiation)

วัตถุดำคือตัวดูดรังสีความร้อนที่สมบูรณ์โดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นหรือทิศทางที่รังสีตกลงบนวัตถุดำ รังสีที่ตกกระทบทั้งหมดจะถูกดูดไว้ วัตถุดำเป็นเพียงวัตถุที่สมมุติขึ้นมาเนื่องจากวัตถุที่แท้จริงทั้งหลายจะสะท้อนรังสีบางส่วนและยอมให้รังสีบางส่วนผ่านทะลุได้

โดยธรรมชาติถึงแม้ว่าจะไม่มีวัตถุดำที่แท้จริงเกิดขึ้นก็ตาม วัตถุบางชนิดก็มีสมบัติใกล้เคียงกับวัตถุดำ เช่น แผ่นคาร์บอนดำหาคูดังรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมดได้ประมาณ 99% อาจถือเป็นวัตถุดำได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัตถุดำมีคุณสมบัติดังนี้

1. วัตถุดำจะดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบทั้งหมดไว้ ไม่มีการสะท้อนกลับ โดยจะไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นและทิศทาง
 2. วัตถุดำจะแผ่รังสีได้มากกว่าวัตถุอื่น ๆ ทุกชนิดที่อุณหภูมิและความยาวคลื่นเดียวกัน
 3. วัตถุดำจะแผ่รังสีออกโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง นั่นคือวัตถุดำเป็น Diffuse emitter
- โดยทั่วไปจึงใช้วัตถุดำเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการแผ่รังสีของผิวจริงต่างๆ

2.3.4.1 การกระจายของแพลงค์ (Planck Distribution)

การแผ่รังสีของวัตถุดำนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น (Spectral distribution) ซึ่งความเข้มของรังสีที่ความยาวคลื่นใด เป็นดังนี้

$$I_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5 [\exp(hc_0/\lambda k_B T)]} \quad (2.51)$$

โดยที่ h คือ ค่าคงที่สากลของ Planck = 6.6256×10^{-34} J · s

k_B คือ ค่าคงที่สากลของ Boltzmann = 1.3805×10^{-23} J / K

c_0 คือ ค่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ = 2.998×10^8 m / s

T คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ของวัตถุดำ K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากวัตถุดำเป็น Diffuse emitter ดังนั้น Spectral emissive power อยู่ในรูป

$$E_{\lambda,b}(\lambda,T) = \pi I_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} \quad (2.52)$$

โดยที่ $C_1 = 2\pi hc_0^2 = 3.7413 \times 10^8 \quad W \cdot \mu m^4 / m^2$
 $C_2 = (hc_0/k) = 1.4388 \times 10^4 \quad \mu m \cdot K$

สมการ (2.52) นี้เรียกว่า Planck distribution

2.3.4.2 กฎของ Stefan-Boltzmann

โดยการแทนค่า Planck distribution สมการ (2.52) ลงในสมการ (2.45) ค่า Total emissive power ของวัตถุดำ E_b เขียนได้ในรูป

$$E_b = \int \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]} d\lambda \quad (2.53)$$

ตัวแปรของการอินทิเกรตเปลี่ยนจาก λ เป็น λT ผลลัพธ์จะได้เป็น

$$E_b = \sigma T^4 \quad (2.54)$$

โดยที่ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า C_1 และ C_2 มีค่าเป็น

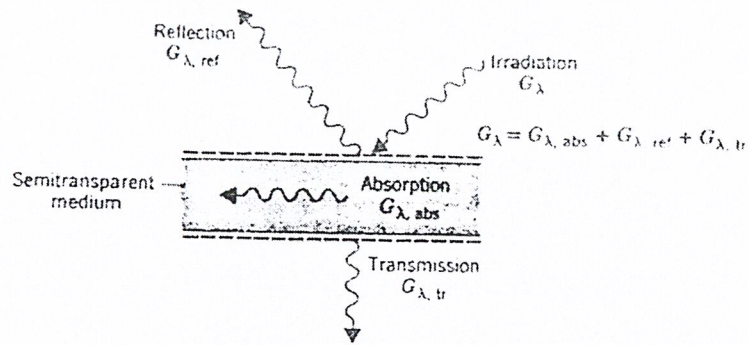
$$\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \quad W/m^2 \cdot K^4$$

สำหรับวัตถุดำ ความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุดำหาได้จาก

$$I_b = \frac{E_b}{\pi} \quad (2.55)$$

2.3.5 การดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของผิว (Surface Absorption, Reflection and Transmission)

ในหัวข้อนี้เป็นการพิจารณากระบวนการอันเป็นผลมาจากการตกกระทบของรังสีโดยตัวกลางที่เป็นของแข็งหรือของเหลว สำหรับค่าเอเรดิเอชันของคลื่นหนึ่ง (G_x) เมื่อตกกระทบลงบนตัวกลางแต่ละส่วนของรังสีนี้จะสะท้อน ถูกดูดกลืน และผ่านทะลุตัวกลาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-10 แสดงกระบวนการดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของตัวกลางโปร่งแสง

ซึ่งในแต่ละกระบวนการจะได้อธิบายถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุและการตกแตงผิวอุณหภูมิผิวและความยาวคลื่นและทิศทางของรังสีที่ตกมากระทบ

2.3.5.1 ค่าการดูดกลืนของผิว (Absorptivity)

เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการดูดความร้อนไว้ และยังแสดงลักษณะที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง (Directional) และการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น (Spectral) ค่า Spectral directional absorptivity นิยามว่าเป็นเศษส่วนของความเข้มที่ความยาวคลื่นหนึ่งที่ตกกระทบผิว ($I_{\lambda, i}$) ในทิศทาง (θ, ϕ) ซึ่งดูดกลืนโดยผิว ดังนั้น

$$\alpha_{\lambda, \theta}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{I_{\lambda, i, \text{abs}}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda, i}(\lambda, \theta, \phi)} \quad (2.56)$$

สำหรับการคำนวณในทางวิศวกรรม คุณสมบัติของผิวจะแทนด้วยค่าเฉลี่ยของทิศทาง เพราะฉะนั้นเรานิยาม Spectral, hemispherical absorptivity $\alpha_{\lambda}(\lambda)$ เป็น

$$\alpha_{\lambda}(\lambda) = \frac{G_{\lambda, \text{abs}}(\lambda)}{G_{\lambda}(\lambda)} \quad (2.57)$$

ส่วน Total, hemispherical absorptivity, α (หรือ Total absorptivity) แทนการรวมค่าเฉลี่ยทั่วทั้งทุกทิศทางและทุกความยาวคลื่น โดยได้กำหนดเป็นเศษส่วนของ Total irradiation ที่ดูดกลืนโดยผิว

$$\alpha \equiv \frac{G_{\text{abs}}}{G} \quad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ
$$\alpha = \frac{\int \alpha_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int G_\lambda(\lambda) d\lambda} \quad (2.59)$$

เนื่องจาก α ขึ้นอยู่กับการกระจายคลื่นของเอเรคิโอซันและค่านี้ขณะที่พื้นผิวได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ จะแตกต่างจากค่าที่ผิวนี้ได้รับจากรังสีคลื่นยาวซึ่งเกิดจากแหล่งอุณหภูมิต่ำ เพราะว่าการกระจายคลื่นของรังสีของดวงอาทิตย์แทบจะเป็นสัดส่วนกับค่าที่ได้จากการปล่อยออกของวัตถุดำที่ 5800 K จากสมการ (2.59) ซึ่งแทน α_s เนื่องจากแสงอาทิตย์ ประมาณว่า

$$\alpha_s \approx \frac{\int \alpha_\lambda(\lambda) E_{\lambda,b}(\lambda, 5800K) d\lambda}{\int E_{\lambda,b}(\lambda, 5800K) d\lambda} \quad (2.60)$$

2.3.5.2 ค่าการสะท้อนของผิว (Reflectivity)

Reflectivity (ρ) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการสะท้อนรังสีที่ตกมากระทบ หาได้จากเศษส่วนของรังสีที่ตกกระทบที่สะท้อนโดยพื้นผิว อย่างไรก็ตามนิยามเฉพาะนี้ให้รูปแบบที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัตินี้เป็น Bidirectional ตามธรรมชาติ นั่นคือ ขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีตกกระทบและขณะเดียวกันก็ขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีที่สะท้อนซึ่งอาจสะท้อนเป็นแบบกระจาย (Diffuse) หรือเป็นแบบลำรังสีเหมือนก่อนการตกกระทบ (Specular) ตามลักษณะการสะท้อนของรังสี การสะท้อนแบบ Diffuse เกิดขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีที่สะท้อนไม่ขึ้นอยู่กับมุมสะท้อนและไม่คำนึงทิศทางของรังสีที่ตกกระทบ ในทางกลับกันถ้าการสะท้อนทั้งหมดอยู่ในทิศทางที่ซึ่งมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบแล้วเรียกว่าการสะท้อนแบบ Specular ตามปกติแล้วไม่มีพื้นผิวใดให้การสะท้อนเป็นแบบ Diffuse หรือ Specular สมบูรณ์แบบ ส่วนมากเป็นการประมาณ

ค่า Specular, directional reflectivity, $\rho_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi)$ ของผิว กำหนดเป็นเศษส่วนของความเข้มของรังสีตกกระทบที่คลื่นหนึ่งในทิศทาง (θ, ϕ) ซึ่งถูกสะท้อนโดยผิว ดังนั้น

$$\rho_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{I_{\lambda,i,ref}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda,i}(\lambda, \theta, \phi)} \quad (2.61)$$

เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยทั่วทั้งครึ่งทรงกลม นั่นคือจะไม่ขึ้นกับทิศทางเพราะฉะนั้นค่า Specular, hemispherical reflectivity, $\rho_\lambda(\lambda)$ นิยามว่าเป็นเศษส่วนของเอเรอซันของคลื่นหนึ่งที่สะท้อนโดยพื้นผิว

$$\rho_\lambda(\lambda) = \frac{G_{\lambda,ref}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \quad (2.62)$$

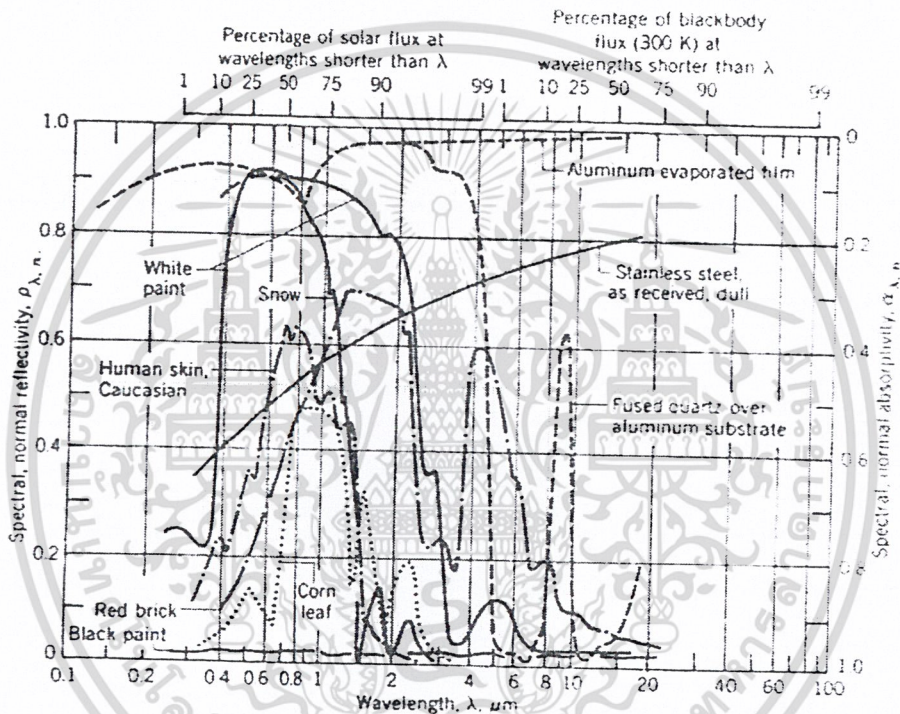
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า Total reflectivity, ρ (ชื่อเต็ม Total, hemispherical reflectivity) กำหนดเป็น

$$\rho \equiv \frac{G_{ref}}{G} \tag{2.63}$$

หรือ

$$\rho = \frac{\int \rho_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int G_\lambda(\lambda) d\lambda} \tag{2.64}$$



รูปที่ 2-11 แสดงค่าการสะท้อนรังสีตั้งฉากและการดูดกลืนรังสีตั้งฉากของผิวเลือก

2.3.5.3 ค่าการผ่านทะลุของผิว (Transmissivity)

เป็นคุณสมบัติของพื้นผิวที่เกิดขึ้นในเฉพาะตัวกลางโปร่งแสง(Semitransparent) เท่านั้น หมายถึงคุณลักษณะอย่างหนึ่งของผิวที่ยอมให้รังสีผ่านทะลุ เรียกว่า Transmissivity (τ) โดยใช้ Hemispherical transmissivity จะได้ค่า Spectral transmissivity ว่าเป็นส่วนหนึ่งของเออริเอชชั่น (\dot{G}) ที่ผ่านทะลุพื้นผิวดังนั้น

$$\tau_\lambda(\lambda) = \frac{G_{\lambda, tr}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \tag{2.65}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่า Total transmissivity (τ) นั้นเป็นการรวม τ_λ ทุกความยาวคลื่นเข้าด้วยกันจะได้

$$\tau_\lambda = \frac{G_{\lambda,r}}{G} \quad (2.66)$$

หรือ

$$\tau = \frac{\int G_{\lambda,r}(\lambda)d\lambda}{\int G_\lambda(\lambda)d\lambda} = \frac{\int \tau_\lambda G_\lambda(\lambda)d\lambda}{\int G_\lambda(\lambda)d\lambda} \quad (2.67)$$

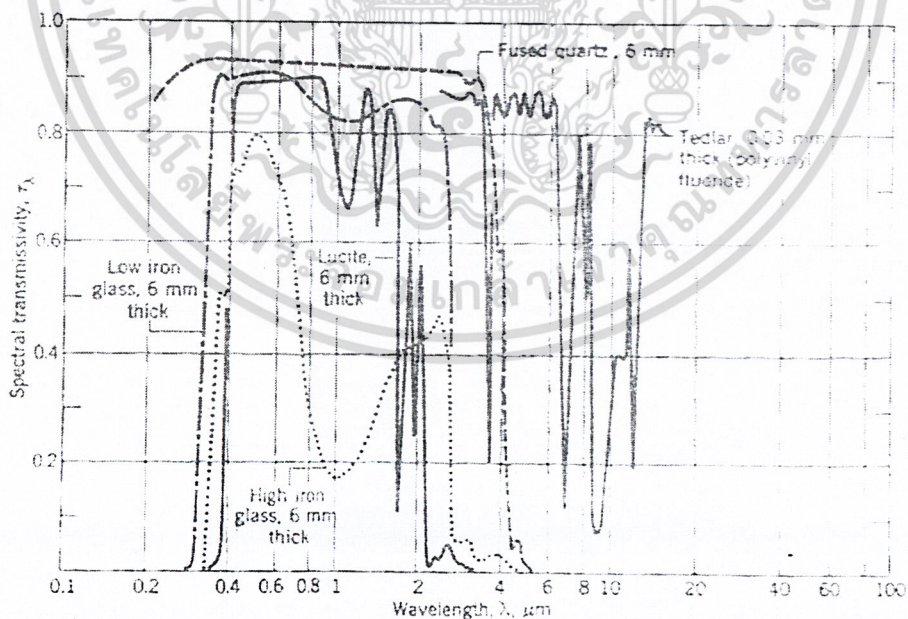
เนื่องจาก α , ρ และ τ ได้ถูกกำหนดว่าเป็นเศษส่วนของรังสีตกกระทบหรือเออริเคชัน (G) ดังนั้นสำหรับพื้นผิวใดๆ จะได้ว่า

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad \text{และ} \quad \rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.68)$$

ถ้าเป็นผิวทึบ (Opaque) แล้ว ซึ่งให้ค่า $\tau_\lambda = 0$ หรือ $\tau = 0$ จะได้

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1 \quad \text{และ} \quad \alpha + \rho = 1 \quad (2.69)$$

อย่าลืมว่าสำหรับวัตถุดำแล้ว $\rho = 0$ เสมอ นั่นคือถ้าเป็นวัตถุดำและทึบแสงด้วยจะได้ $\alpha = \varepsilon = 1.0$



รูปที่ 2-12 แสดงค่าการผ่านทะลุรังสีของผิวที่ความยาวคลื่นใดๆ ของผิวเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการกระจายตามคลื่นของค่าการสะท้อนตั้งฉากและค่าการดูดกลืนตั้งฉาก ($\rho_{\lambda,n}$ และ $\alpha_{\lambda,n}$) ได้แสดงในรูปที่ 2-11 สำหรับผิวที่เลือก วัสดุเช่นแก้วหรือน้ำที่โปร่งแสงที่ความยาวคลื่นสั้นๆ จะกลายเป็นวัสดุผิวที่ความยาวคลื่นยาวๆ หมายความว่ายอมให้รังสีผ่านทะลุได้เมื่อความยาวคลื่นของรังสี นั้นสั้น และไม่ยอมให้รังสีผ่านทะลุผิวถ้าความยาวคลื่นของรังสีนั้นยาวหรือมีค่าสูง พฤติกรรมนี้ได้แสดง ในรูปที่ 2-12 ซึ่งแสดงค่า τ_{λ} ของวัตถุโปร่งแสงทั่วไปหลายๆ อย่าง สังเกตว่าค่า τ ของแก้วจะขึ้นอยู่กับ ปริมาณเหล็กที่ผสมอยู่กับแก้ว ส่วนค่า τ ของพลาสติก เช่น พวктеดลาร์ (Tedlar) จะมีค่ามากกว่าค่า τ ของแก้วในช่วงอินฟราเรด ซึ่งแฟกเตอร์เหล่านี้มีความสำคัญต่อการเลือกวัสดุที่เป็นฝาปิดแผงรับ แสงอาทิตย์

2.4 ทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ในที่นี้จะกล่าวถึงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งส่วนที่รับได้นอกบรรยากาศของโลกและส่วนที่เหลือ ภายหลังจากผ่านชั้นบรรยากาศของโลกลงสู่พื้นโลก นอกจากนี้จะแปรผันตามเวลาแล้วปริมาณของพลังงาน แสงอาทิตย์ยังแปรผันตามสถานที่อีกด้วย

2.4.1 ดวงอาทิตย์ (Sun)

ดวงอาทิตย์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 กิโลเมตร หนัก 2.2×10^{27} ตัน ดวงอาทิตย์ หมุนรอบตัวเองด้วยอัตรา 1 รอบต่อ 28 วัน พลังงานที่ดวงอาทิตย์แผ่รังสีออกมาได้จากการเปลี่ยนมวลของ ดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน กล่าวคือเกิดไฮโดรเจนในดวงอาทิตย์ 4 อะตอมรวมกันเป็นแก๊สฮีเลียม 1 โม- เลกุล แต่โดยที่แก๊สฮีเลียม 1 โมเลกุลมีมวลน้อยกว่าไฮโดรเจนจำนวน 4 อะตอม มวลส่วนหนึ่งจะหายไป มวลส่วนนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงาน

2.4.2 ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant)

โลกและดวงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กันโดยมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของโลกและดวง อาทิตย์เท่ากับ 1.495×10^{11} เมตร ดวงอาทิตย์จะมีการแผ่รังสีความร้อนผ่านชั้นบรรยากาศและผ่านมายัง โลก ซึ่งจะพิจารณาในรูปค่าคงที่ของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar constant, G_{sc}) เป็นค่าของพลังงาน ของดวงอาทิตย์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยที่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะเป็นการแผ่รังสีที่ตกกระทบใน แนวตั้งฉากกับพื้นผิว การประมาณค่าคงที่ของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ทำโดยการวัดค่าที่จากพื้นดินซึ่ง การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะแผ่รังสีผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งบางส่วนอาจจะมีการดูดซับและมีการสะท้อน กลับจากชั้นบรรยากาศ Johnson [1954] ทำการวัดค่า Solar constant ได้เท่ากับ 1395 W/m^2 ต่อมา Thekackara และ Drummond [1971] ได้มีการสร้างและพัฒนาเครื่องมือเพื่อทำการศึกษาค่าของ Solar constant จากการทดลองของทั้งสอง ค่า Solar constant เท่ากับ 1353 W/m^2 ค่าดังกล่าวได้รับการยอมรับ จากองค์การ NASA [1971] และ American Society for Testing Material [ASTM]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ตัวกลางกั้นแสงอาทิตย์ที่ชั้นบรรยากาศ

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยแก๊สหลายชนิดเช่น O_2, N_2 , ไอน้ำและฝุ่นละออง เป็นตัวกลางกั้นแสงอาทิตย์ทำให้พลังงานที่ได้รับบนพื้นโลกน้อยกว่าที่ได้รับนอกชั้นบรรยากาศซึ่งพลังงานที่หายไปก็เนื่องมาจากแสงอาทิตย์บางส่วนมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศและแสงอาทิตย์บางส่วนจะถูกดูดเอาไว้โดยแก๊สในบรรยากาศ

แสงอาทิตย์จะผ่านบรรยากาศมากขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการยอมให้แสงผ่านของแก๊สแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นบรรยากาศ ซึ่งแก๊สที่ประกอบเป็นบรรยากาศจะยอมให้แสงบางส่วนผ่านและยอมให้แสงผ่านหลังจากที่แก๊สในบรรยากาศดูดพลังงานบางส่วนเอาไว้ ค่าการยอมให้แสงผ่านบางตัวสามารถหาได้จากสมการ

$$\tau_\lambda(s) = \left[(\tau_{a\lambda})^{p/760} (\tau_{d\lambda})^{d/800} (\tau_{w\lambda})^{w/20} \right]^m \quad (2.70)$$

เมื่อ $\tau_\lambda(s)$ คือคุณสมบัติของการยอมให้แสงอาทิตย์ความยาวคลื่น λ ผ่านหลังจากแสงบางส่วนเปลี่ยนทิศทางแล้ว, $\tau_{a\lambda}$, $\tau_{d\lambda}$ และ $\tau_{w\lambda}$ คือคุณสมบัติการยอมให้แสงอาทิตย์ความยาวคลื่น λ ผ่านแก๊สในบรรยากาศ (Atmosphere) ผ่านฝุ่นละออง (Dust) และผ่านไอน้ำในชั้นบรรยากาศ (Water vapor) ตามลำดับ ส่วน P ความดันบรรยากาศ (มิลลิเมตรปรอท), d คือจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองในบรรยากาศต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, w คือความสูงของน้ำเป็นมิลลิเมตรที่ได้จากไอน้ำในบรรยากาศเหนือผู้สังเกตการณ์ในแนวตั้งที่กลั่นตัวเป็นน้ำ และ m คือ แอร์มีสท์ (Mist)

คุณสมบัติของการยอมให้ผ่าน $\tau_{a\lambda}$, $\tau_{d\lambda}$ และ $\tau_{w\lambda}$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\tau_{a\lambda} = 10^{-0.00389 \lambda^{-4}} \quad (2.71a)$$

$$\tau_{d\lambda} = 10^{-0.0353 \lambda^{-0.75}} \quad (2.71b)$$

$$\tau_{w\lambda} = 10^{-0.0075 \lambda^{-2}} \quad (2.71c)$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่นเป็นไมโครเมตร (μm), ความดันบรรยากาศเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท, ปริมาณของอนุภาคฝุ่นในอากาศเท่ากับ 800 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ m เท่ากับ 1

2.4.4 ทิศทางของแสงอาทิตย์แบบตรง (Direction of Beam Radiation)

ทิศทางของแสงอาทิตย์ซึ่งจะแปรเปลี่ยนตามเวลาและสถานที่เป็นสิ่งสำคัญ เช่น ตำแหน่งและวงโคจรของดวงอาทิตย์ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 2-13 ซึ่งวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เกือบจะเป็นวงกลมจากความสัมพัทธ์ระหว่างระนาบที่วางอยู่ที่โลกและได้รับลำแสงการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของดวงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์กับระนาบ Benford และ Bock [1939] ได้ทำการอธิบายในรูปของมุมต่างๆ โดยมุมและความสัมพันธ์ระหว่างเทอมต่างๆ จะได้อธิบายดังนี้

ϕ ละติจูด (Latitude) เป็นมุมที่อยู่บริเวณด้านเหนือหรือด้านใต้ ของเส้นศูนย์สูตรที่บริเวณด้านเหนือมีค่าเป็นบวก $-90 \leq \phi \leq 90$

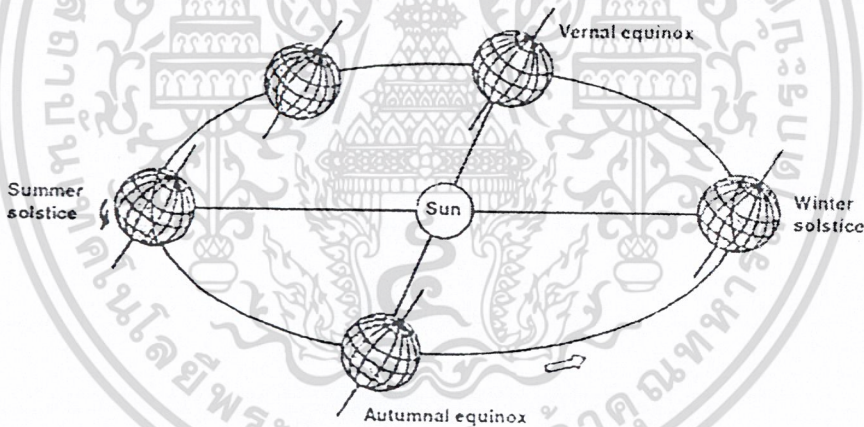
δ มุมลาดเอียง (Declination) เป็นค่าของมุมที่แสดงถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เวลาที่เที่ยงวัน เทียบกับระนาบกับเส้นของเส้นศูนย์สูตร บริเวณทางเหนือมีค่าเป็นบวก $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

β มุมชัน (Slope) เป็นค่ามุมระหว่างระนาบผิวกับระนาบแนวนอน $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ($\beta \leq 90$ หมายความว่าระนาบกับผิวมีการคว่ำหน้าลง)

γ มุมอะซิมุทของผิว (Surface azimuth angle) แสดงถึงค่าเบี่ยงเบนของการตกกระทบบนระนาบแนวนอน ค่าในทางทิศตะวันออกเป็นลบและทางทิศตะวันตกเป็นบวก $-180 \leq \gamma \leq 180^\circ$

ω (Hour angle) แสดงถึงการเคลื่อนที่เชิงมุมของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับแกนหมุนของโลกมีค่าเท่ากับ 15 องศาต่อชั่วโมง สำหรับในตอนเช้าจะมีค่าเป็นลบและในตอนบ่ายมีค่าเป็นบวก

θ มุมอินซิเดน (Angle of incidence) เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างการแผ่ลำแสงของดวงอาทิตย์ลงบนพื้นผิวและเส้นตั้งฉากพื้นผิว



รูปที่ 2-13 แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ [Threlkeld 1970]

มุมเซนนิท (Zenith angle, θ_z), มุมชันและมุมอะซิมุทที่ผิวแสดงตามรูปที่ 2-14 สำหรับค่ามุมลาดเอียง δ สามารถหาได้จากสมการของ Cooper [1969]

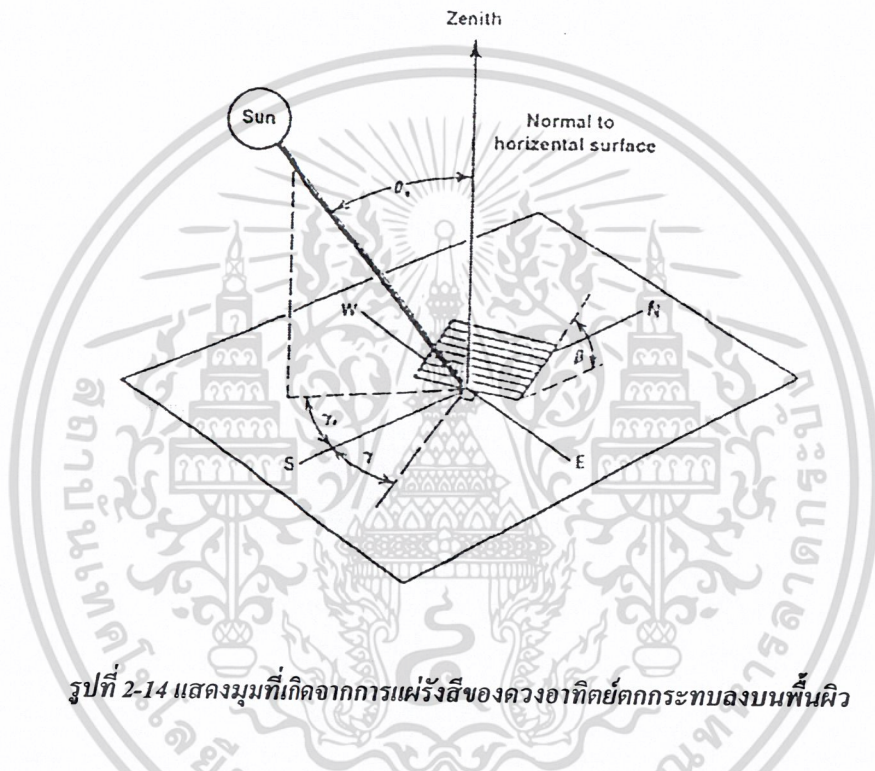
$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2.72)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนวันของปีนั้นๆ ; n สามารถหาค่าได้จากตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการดังต่อไปนี้จะเป็นการหาความสัมพันธ์ของมุมระหว่างการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนพื้นผิว θ

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.73)$$



รูปที่ 2-14 แสดงมุมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนพื้นผิว

Solar azimuth angle เป็นมุมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบระนาบแนวนอนในทางทิศใต้และแสดงในรูปที่ 2-14 จะเห็นว่ามุมที่เกิดขึ้นที่ด้านข้างได้กำหนดไว้ $(90 - \theta_z)$ สำหรับแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกยึดอยู่กับที่มุมชันที่วาดไปทางทิศใต้หรือทิศเหนือ มุมของอะซิมุมที่เกิดขึ้นก็จะมีมุมตั้งแต่ 0° ไปถึง 180° และสำหรับผิวในแนวตั้ง $\beta = 90^\circ$ จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= -\sin \delta \cos \phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.74)$$

สำหรับผิวในแนวระดับ $\beta = 0^\circ$ และมีมุมอินชเดนจะเป็นมุมเซนนิทของดวงอาทิตย์ θ_z ดังนั้นจึงสามารถใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \quad (2.75)$$

จากสมการ (2.73) ความชันสำหรับ Sunset hour angle, ω_s เมื่อ $\theta_z = 90^\circ$

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta}$$

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (2.76)$$

โดยที่จำนวนชั่วโมงของการส่องแสงในแต่ละวันสามารถแสดงดังสมการ

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(\tan \phi \tan \delta) \quad (2.77)$$

ตารางที่ 2-1 แสดงจำนวนวันในแต่ละเดือนของปีนั้น Kleim [1976]

Month	n for Ith Day of Month	For the Average Day of the month		
		Date	N, Day of Year	δ , Declination
January	I	17	17	-20.9
February	31+I	16	47	-13.0
March	59+I	16	75	-2.4
April	90+I	15	105	9.4
May	120+I	15	135	18.8
June	150+I	11	162	23.1
July	181+I	17	198	21.2
August	212+I	16	228	13.5
September	243+I	15	258	2.2
October	273+I	15	288	-9.6
November	304+I	14	318	-18.9
December	334+I	10	334	-23.0

2.4.5 พลังงานแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศบนระนาบระดับ

การคำนวณค่าการแผ่รังสีจะเป็นการคำนวณทางทฤษฎีที่สามารถเป็นไปได้ โดยการคำนวณจะคิดว่าไม่มีชั้นของบรรยากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่บริเวณด้านนอกของชั้นบรรยากาศบนระนาบแนวนอนสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_0 = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (2.78)$$

เมื่อ G_{sc} คือ ค่า Solar constant 1353 W/m^2

n คือ จำนวนวันของปี

$$G_0 = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega) \quad (2.79)$$

ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันบนผิวระนาบแนวนอน H_0 สามารถคำนวณได้โดยการอินทิเกรตสมการ(2.79) ในช่วงเวลาการตกของดวงอาทิตย์ (Sunset) และการขึ้นของดวงอาทิตย์ (Sunrise) H_0 มีหน่วยเป็นจูลต่อตารางเมตร

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.80)$$

เมื่อ ω_s เป็น Sunset hour angle มีหน่วยเป็นองศาของมุม สิ่งที่น่าสนใจอีกเป็นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมง I_0 บนระนาบแนวนอนหาได้โดยการอินทิเกรตสมการ (2.79) อินทิเกรตในช่วง Hour angle ω_1 และ ω_2 เมื่อค่าของ ω_2 มีค่าใหญ่มาก ซึ่งจัดสมการได้ดังนี้

$$I_0 = \frac{12 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.81)$$

2.4.6 การวัดค่าและการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์

จากอัตราหรือปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้นอกชั้นบรรยากาศของโลกต่อหน่วยพื้นที่และเวลา (Extraterrestrial) G_0 คงที่ ส่วนที่รับได้บนพื้นโลกขึ้นกับการยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านบนโลก ณ บริเวณนั้น (Atmospheric transmittance) τ ดังนั้นโดยการคูณ G_0 ด้วยค่าการยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านอากาศ ณ บริเวณนั้น τ ซึ่งก็จะทำให้ทราบอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้บนพื้นโลก วิธีการคำนวณอัตราพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีดังกล่าวไม่ได้รับความนิยม เพราะค่าตัวแปรที่ใช้ในการประกอบการคำนวณค่าการยอมให้แสงอาทิตย์ผ่าน เช่น ปริมาณไอน้ำในอากาศและฝุ่นละอองจะผันแปรอยู่ตลอดเวลา ทำให้ยากต่อการประเมินค่าที่ถูกต้องของ τ อย่างยิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีหาค่าอัตราพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลกที่นิยมใช้มี 3 วิธี วิธีแรกโดยการใช้เครื่องมือวัดอัตราพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง วิธีนี้เป็นวิธีตรงที่ให้ค่าดีที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากเครื่องมือมีราคาแพง ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูล การวัดและการบันทึกข้อมูลอาจทำเป็นรายวันหรือรายชั่วโมง วิธีที่สองใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ประเมินอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ของสถานที่ที่ต้องการจากอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งวัดและบันทึกของสถานที่ใกล้เคียงที่มีการวัดอัตราพลังงานแสงอาทิตย์อยู่แล้ว เช่น ถ้าต้องการทราบอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งไม่มีสถานีวัดพลังงานแสงอาทิตย์แต่มีที่กรุงเทพฯ ซึ่งเป็นสถานที่ใกล้เคียงมีสถานีวัดอยู่ก็สามารถคำนวณหาได้ ดังนั้นก็จะทราบอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ได้เช่นเดียวกัน วิธีที่สามทำได้โดยการคำนวณจากสมการ ที่ใช้ประกอบค่าตัวแปรและค่าคงที่ สำหรับการเลือกค่าคงที่ก็ต้องเลือกให้เหมาะสมกับกับสถานที่นั้น ๆ ซึ่งอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน

การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่รับ (Total or Global solar radiation) แบ่งออกเป็นสองชนิดตามความยาวคลื่นของรังสี ชนิดแรกพลังงานที่ส่งมาตามความยาวคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 3 ไมโครเมตร หรือพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตรง (Beam solar radiation) พลังงานชนิดนี้ได้จากการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์และบริเวณรอบดวงอาทิตย์ ทิศทางการสะท้อนหรือการหักเหเมื่อกระทบหรือผ่านตัวกลางใด ๆ อาจคำนวณได้ค่อนข้างแน่นอนโดยใช้สมการ ชนิดที่สองพลังงานชนิดรังสีกระจาย (Diffuse solar radiation) พลังงานชนิดนี้ไม่ได้แผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่มาจากแหล่งอื่นที่รับพลังงานโดยตรงจากดวงอาทิตย์และส่งถ่ายทอดต่ออีกที เช่นกลุ่มเมฆในท้องฟ้าซึ่งจะรับพลังงานจากดวงอาทิตย์แล้วทำให้ตัวมันเองอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิโดยรอบ ความยาวคลื่นของพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจายจะมีความยาวคลื่นมากกว่า 3 ไมโครเมตร วันที่แจ่มใสพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนมากจะเป็นแบบรังสีตรงและวันที่มีปริมาณเมฆมากพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยชนิดรังสีกระจายมากกว่า ชนิดรังสีตรงและวันที่มีเมฆมากจนมองไม่เห็นดวงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับจะมีแต่ชนิดรังสีกระจายเท่านั้น

ดังนั้นการออกแบบและการติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) จำเป็นต้องเลือกมุมเอียงของแผงรับให้เหมาะสมกับตำแหน่งที่แผงรับตั้งอยู่และตรงกับงานที่จะนำไปใช้ เช่น ถ้าต้องการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้เพื่อให้ความร้อน ดังนั้นแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเพื่อให้พลังงานสำหรับการทำความร้อนจะต้องเอียง 10 ถึง 20 องศา เพื่อต้องการเลือกมุมเอียงให้ได้ค่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดในช่วงที่มีอากาศร้อน เช่น สำหรับกรุงเทพฯ ช่วงที่มีอากาศร้อนสุดจะอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน

2.4.7 การประมาณค่าการแผ่รังสีในวันท้องฟ้าแจ่มใส (Estimation of Clear Sky Radiation)

ผลจากการกระทบจากการสะท้อนกลับและการดูดซับผ่านชั้นบรรยากาศในขณะที่มีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เวลาหนึ่งหรือมีการเปลี่ยนแปลงมวลของอากาศจะถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ในวันท้องฟ้าแจ่มใสและในการคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์รายวันและรายชั่วโมงภายใต้พื้นผิวแนวระนาบก็จะพิจารณาเป็นลักษณะค่าคงที่เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hottel [1976] ได้แสดงทฤษฎีที่เกี่ยวกับการประมาณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาชั้นบรรยากาศ โดยมีการแยกสภาวะภูมิอากาศออกเป็น 4 สภาวะภูมิอากาศ ดังนั้นรังสีของดวงอาทิตย์ที่มีการแผ่รังสีผ่านเข้ามาชั้นบรรยากาศ τ_b สามารถแสดงค่าได้ดังสมการ

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-k/\cos\theta_z} \quad (2.82)$$

a_0^* , a_1^* และ k^* เป็นค่าคงที่ของสภาวะอากาศมาตรฐานและค่า a_0 , a_1 และ k เป็นค่าสภาวะอากาศต่างๆ และ A เป็นระยะทางของผู้สังเกตมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

$$a_0^* = 0.4237 - 0.00821(6 - A)^2 \quad (2.83)$$

$$a_1^* = 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2 \quad (2.84)$$

$$k^* = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2 \quad (2.85)$$

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าตัวประกอบของสภาวะอากาศต่าง ๆ Hottel [1976]

Climate Type	r_0	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Mid-Latitude Summer	0.97	0.99	1.02
Subarctic Summer	0.99	0.99	1.01
Mid-Latitude Winter	1.03	1.01	1.00

จากค่าตัวประกอบต่าง ๆ จากตารางนำมาประยุกต์ใช้กับค่า a_0^* , a_1^* และ k^* ซึ่งค่าต่าง ๆ นั้นจะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะอากาศต่างๆ โดยที่ค่าตัวประกอบสามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$r_0 = a_0 / a_0^* \quad (2.86)$$

$$r_1 = a_1 / a_1^* \quad (2.87)$$

$$r_k = k / k^* \quad (2.88)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสสามารถหาได้จากสมการ

$$G_b = G_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (2.89)$$

การคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส
พิจารณาเป็นช่วงเวลา,

โดยการ
ชั่วโมง

$$I_b = I_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (2.90)$$

การประมาณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในระนาบแนวนอน การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าใกล้เคียง Lui และ Jordan [1960] ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การผ่านทะลุและการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสได้ดังสมการ

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939 \tau_b \quad (2.91)$$

เมื่อ τ_b คือ อัตราด่วนของการผ่านทะลุของรังสีแบบพุ่งกระจายและสำหรับการแผ่รังสีที่ตกกระทบบนระนาบตามแนวนอน (G_d/G_0 หรือ I_d/I_0) นั้น สามารถหาค่าการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ได้จากสมการดังนี้

$$G = G_b + G_d \quad (2.92)$$

สำหรับการแผ่รังสีและการพุ่งกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ทุกชั่วโมง Stautter และ Klein [1979] ใช้พาราโนมิเตอร์และพายเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) เก็บข้อมูลจากทั้งหมด 5 รัฐของสหรัฐอเมริกาโดยกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของลำแสงของดวงอาทิตย์ที่ผ่านทะลุและพุ่งกระจายผ่านชั้นบรรยากาศและหาความสัมพันธ์ของการกระจายกับค่าของรังสีที่ตกกระทบบนจริงดังสมการ

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.1 \frac{I}{I_T} & \text{for } 0 \leq \frac{I}{I_T} < 0.48 \\ 1.11 + 0.0396 \left(\frac{I}{I_T} \right) - 0.789 \left(\frac{I}{I_T} \right)^2 & \text{for } 0.48 \leq \frac{I}{I_T} < 1.10 \\ 0.20 & \text{for } 1.10 \leq \frac{I}{I_T} \end{cases} \quad (2.93)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนผิวที่เอียงนั้นจะประกอบด้วยส่วนประกอบของรังสีที่เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนของรังสีที่ตกกระทบบนผิวเอียงบนระนาบตามแนวนอน ดังนั้นความสัมพันธ์ของรังสีความร้อนเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{G \cos \theta}{G \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.94)$$

โดยที่ $G_{b,T}$ คือ การแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์บนผิวระนาบ

G_b คือ การแผ่รังสีรังสีความร้อนของแสงอาทิตย์บนผิวเอียง

เขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (2.95)$$

สำหรับการฟุ้งกระจายในท้องฟ้าจะตกกระทบบนผิวแนวระนาบเช่นเดียวกับการตกกระทบบนที่ เกิดขึ้นบนผิวเอียง สำหรับผิวจะประกอบไปด้วยส่วนของท้องฟ้าและพื้นดิน โดยจะมีแผ่รังสีจากท้องฟ้าเข้าไปกระทบบนผิวเอียง ดังนั้นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวที่เป็นส่วนของท้องฟ้า แสดงดังสมการ

$$R_s = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \quad (2.96)$$

การฟุ้งกระจายที่พื้นดินนั้นจะมีการสะท้อนกลับจากกระบวนการแผ่รังสีความร้อนที่ตกกระทบบนผิว ซึ่งจะ สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$R_g = \frac{(1 - \cos \theta)}{2} = 1 - R_s \quad (2.97)$$

สำหรับการสะท้อนกลับของพื้นดินที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั้นจะมีรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์การตกกระทบบนพื้นดิน พลังงานที่ตกกระทบบนพื้นดินยังประกอบด้วยการแผ่รังสี และการฟุ้งกระจายของรังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้นพลังงานรวมทั้งหมดของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวเอียงประกอบด้วย

$$G_T = R_b G_b + R_s G_d + \rho' R_g (G_b + G_d) \quad (2.98)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ρ' เป็นค่าการสะท้อนกลับของพื้นดินเท่ากับ 1 จากสภาวะอากาศมาตรฐานสามารถสังเกตได้จากตารางที่ 2-2 ดังนั้นการคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในวันท้องฟ้าแจ่มใสหาได้ เมื่อ G_{on} เป็นค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่กระทบลงพื้นในแต่ละวันของปีซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \quad (2.99)$$

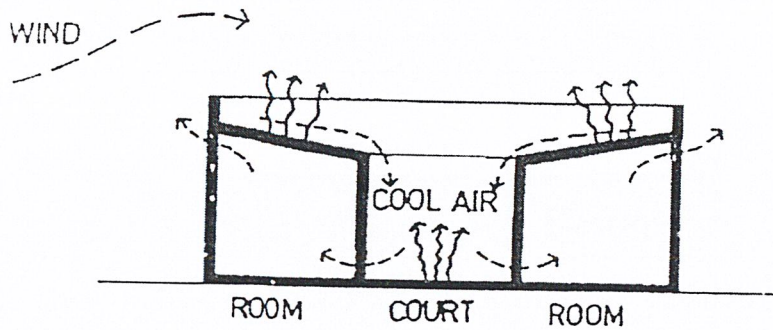
โดยที่ n คือ จำนวนวันของปีนั้นๆ

G_{sc} คือ ค่า Solar constant = 1353 W/m²

2.5 ทฤษฎี Solar Passive Cooling

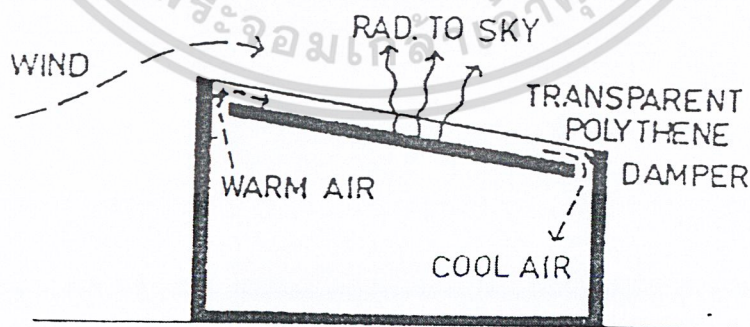
สำหรับการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดยการแผ่รังสีของความร้อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำและสำหรับการกระจายความร้อนสู่ผู้อาศัยนั้นมีความสำคัญอยู่ 2 ประการคือหนึ่งจะต้องควบคุมการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อมโดยตรงและสองจะต้องควบคุมแหล่งอื่น ๆ ที่มีการปล่อยความร้อนออกมา ส่วนของการกระจายของความร้อนจะพบว่ามีปริมาณมากในเวลากลางคืนสำหรับผิวแนวระดับต่าง ๆ จะมีผลต่อการกระจายของความร้อนในแต่ละลักษณะภูมิอากาศ สิ่งที่สำคัญในการกั้นการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าได้แก่ ต้นไม้ ผันงและเมฆ เป็นต้น ซึ่งตัวกันนี้จะทำให้เกิดการลดลงของการแผ่รังสีความร้อนได้

สำหรับการพิจารณาบริเวณผิวหลังคาร้อนนั้น อุณหภูมิจะลดลงได้โดยอาศัยการพาความร้อนอิสระ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก การเพิ่มขึ้นของความร้อนนั้นเกิดขึ้นได้โดยการกระจายอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในเวลากลางวันซึ่งเกิดขึ้นอย่างค่อนเนื่องในเวลากลางคืนและจะพบว่าช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิภายในที่อยู่อาศัยจะต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ถ้าการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุณหภูมิที่ผิวหลังคาลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ นั้น จะพบว่าจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำขึ้นที่บริเวณผิวหลังคาและอนุภาคของความร้อนจะถูกควบแน่นจนกลายเป็นความชื้น ยกตัวอย่างถ้าผิวหลังคามีความชื้นตามรูปที่ 2-15 จะพบว่าความชื้นจะไหลเข้าไปสู่บริเวณที่อยู่อาศัยภายใน โดยผ่านเข้าไปในช่องทางต่าง ๆ ที่เปิดไว้และผันทึบรอบ ๆ จะทำหน้าที่การป้องกันการรวมตัวของอากาศและไอน้ำ อย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้จะทำงานไม่ได้ถ้าปราศจากลมจากสิ่งแวดล้อม สำหรับผลของลมที่เกิดการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาจะทำให้เกิดการพาอนุภาคของความร้อนออกไปจากผันทึบและจะทำให้ลดความร้อนได้



รูปที่ 2-15 แสดงลักษณะความเย็นภายในที่อยู่อาศัย

ส่วนหลังคาจะครอบด้วยแผ่นโพลีไทรลีน ซึ่งคุณสมบัติของแผ่นโพลีไทรลีนนั้นจะยอมให้รังสีเกิดการผ่านทะลุได้ดีในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด ในกรณีคลื่นของรังสีมีความยาวหรือมีค่าสูงแต่มีข้อเสียที่มีอายุการใช้งานสั้น ตัวอย่างตามรูปที่ 2-16 ทางเข้าและทางออกจะถูกเปิดไว้สำหรับให้อากาศภายในหลังคาเกิดการหมุนเวียน แต่ยังมีทางเลือกอีกทางสำหรับทฤษฎีนี้โดยการครอบหลังคาด้วยแผ่นเหล็กที่ทำเป็นรอนแล้วทาด้วยสีขาวก็ผลได้เช่นเดียวกัน การเปิดช่องบนหลังคานั้นจะทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่และในช่วงเวลากลางวันจะต้องปิดช่องเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเข้ามาแทนที่ในบริเวณที่อยู่อาศัย แต่สำหรับช่วงเวลากลางคืนจะต้องเปิดช่องเพื่อให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ภายใต้แผ่นครอบซึ่งจะช่วยพักความเย็นเข้ามาภายในบริเวณห้องอาศัย ในกรณีนี้แผ่นเหล็กที่เป็นรอนนั้นประสิทธิภาพของการทำความเย็นจะดีก็เป็นผลมาจากการพาอนุภาคของความร้อนที่อยู่ด้านนอกไป ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการพัฒนาโดย Catanoloth [1975] และ Harrisor [1978] โดยผิวที่ออกแบบนั้นจะมีค่าการดูดกลืนของผิวน้อยในช่วงของความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็นและกำหนดให้ค่าการส่งออกของพลังงานต่ำในช่วงใกล้กับช่วงความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด



รูปที่ 2-16 การแสดงการกระจายความเย็นในเวลากลางวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วิธีการปริมาตรสืบเนื่อง (Finite Volume Method)

วิธีการปริมาตรสืบเนื่องนั้นได้ถูกพัฒนามาจากวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method) โดยจะใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical) ศึกษาถึงการไหลของของไหลภายในปริมาตรควบคุมจะหาได้จากสมการการเคลื่อนย้าย (General transport equation)

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S_\phi \quad (2.100)$$

จากสมการดังกล่าวสามารถประยุกต์ได้กับลักษณะการไหลแต่ละประเภทที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ต่าง ๆ แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะส่วนที่จำเป็นที่นำมาใช้ในการคำนวณแบบจำลองปล่องรังสีอาทิตย์เท่านั้น เพื่อความสะดวกนี้จะใช้การจัดการของผลต่างตรงกลาง (Central differencing scheme) มาวิเคราะห์ระบบที่สนใจ

2.6.1 การจัดการของผลต่างตรงกลาง (Central Differencing Scheme)

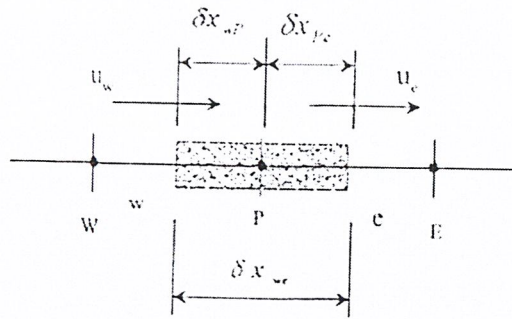
การประมาณของผลต่างตรงกลาง (Central differencing approximation) จะเป็นการแสดงถึงเทอมของการแพร่หรือกระจายที่เกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการพาและการกระจายในสภาวะไม่ขึ้นกับเวลาแบบหนึ่งและสองมิติ (Steady One and Two-dimensional convection and diffusion) ดังนั้นคุณสมบัติของ ϕ (เทอมของการกระจาย) ในลักษณะการไหลแบบหนึ่งมิติในสมการ (2.100) โดยตัดเทอมที่ขึ้นอยู่กับเวลาและ Source เทอมออกจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u \phi) = \frac{d}{dx}\left(\Gamma \frac{d\phi}{dx}\right) \quad (2.101)$$

การไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่องดังนั้นจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u) = 0 \quad (2.102)$$

พิจารณาในปริมาตรควบคุมหนึ่งมิติแสดงดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 แสดงปริมาตรควบคุมรอบจุด P

อินทิเกรตสมการ Transport (2.92) ภายในปริมาตรควบคุมตามรูปที่ 2-17 จะได้

$$(\rho u A \phi)_e - (\rho u A \phi)_w = \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \quad (2.103)$$

อินทิเกรตสมการ (2.101) จะได้

$$(\rho u A)_e - (\rho u A)_w = 0 \quad (2.104)$$

Discretised สมการสำหรับปัญหาการพาและการกระจายซึ่งจำเป็นต้องประมาณในเทอมของสมการ (2.103) เพื่อความเหมาะสมจึงกำหนดตัวแปร F และ D ซึ่งแสดงถึง Mass flux ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และการกระจายที่หน้าตัดเซลล์ตามลำดับ ดังนั้นจะได้

$$F = \rho u \quad \text{และ} \quad D = \frac{\Gamma}{\delta x} \quad (2.105)$$

ดังนั้นค่า F และ D ที่หน้าตัดเซลล์จะเท่ากับ

$$F_e = (\rho u)_w \quad \text{และ} \quad D_w = \frac{\Gamma_w}{\delta x_{WP}} \quad (2.106)$$

$$F_e = (\rho u)_e \quad \text{และ} \quad D_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_{PE}} \quad (2.107)$$

สามารถเขียนสมการการพาและการกระจาย (Convection and diffusion) จากสมการ (2.103) โดยการกำหนดให้ $A_w = A_e = A$ ดังนั้นจะได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_e \phi_e - F_w \phi_w = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_W) \quad (2.108)$$

อินทิเกรตสมการการต่อเนื่อง (Continuity equation) สมการ (2.104) จะได้

$$F_e - F_w = 0 \quad (2.109)$$

ถ้าสำหรับ Uniform grid จะสามารถเขียนค่าของ Cell face ได้จากคุณสมบัติของ ϕ ดังนั้นจะได้

$$\phi_e = (\phi_P + \phi_E)/2 \quad (2.110)$$

$$\phi_w = (\phi_W + \phi_P)/2 \quad (2.111)$$

ดังนั้นแทนค่าลงในสมการ (2.108) จะได้

$$\frac{F_e}{2} (\phi_P + \phi_E) - \frac{F_w}{2} (\phi_W + \phi_P) = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_W) \quad (2.112)$$

แทนค่าสมการ (2.106) และ (2.107) และทำการ Discretised สมการสุดท้ายจะได้สมการดังนี้

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E \quad (2.113)$$

$$a_P = a_W + a_E + (F_e - F_w) \quad (2.114)$$

โดยที่

$$a_W = D_w + \frac{F_w}{2} \quad a_E = D_e + \frac{F_e}{2} \quad (2.115)$$

ถ้ากรณีที่มี Source term เข้ามาเกี่ยวข้องในสมการ (2.113) จะต้องบวก S_u และในสมการที่ (2.114) จะต้องลบออกด้วย S_p สำหรับการพาและการกระจายแบบสองมิติสามารถพิจารณาได้จากหนึ่งมิติแล้วทำการ Discretised สมการจะได้

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_N \phi_N + a_S \phi_S \quad (2.116)$$

$$a_P = a_W + a_E + a_N + a_S + (F_e - F_w) + (F_n - F_s) \quad (2.117)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$a_w = D_w + \frac{F_w}{2} \quad a_E = D_e + \frac{F_e}{2} \quad (2.118)$$

$$a_s = D_s + \frac{F_s}{2} \quad a_N = D_n + \frac{F_n}{2} \quad (2.119)$$

2.7 การวิเคราะห์ปล่องรังสีอาทิตย์โดยวิธี Finite Volume

2.7.1 หลักการทำงานของปล่องรังสีอาทิตย์

ปล่องรังสีอาทิตย์ (Solar chimney) จะเป็นการอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกบ้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในเข้ามาหมุนเวียนภายในบ้าน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง โดยการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกบ้านเข้ามาภายในบ้านนั้นจะไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือ เช่น เครื่องดูดอากาศ หรือ พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น แต่จะเป็นเพียงการประยุกต์หลักการของ Solar passive cooling ซึ่งเป็นการดูดอากาศให้มีการเคลื่อนที่ ซึ่งอากาศที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่โดยอาศัยแรงลอยตัวของของไหล (Buoyancy force)

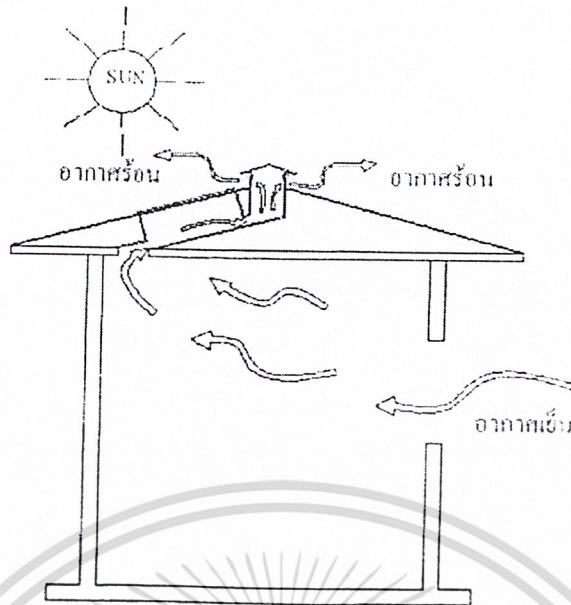
จากหลักการทั่วไปที่กล่าวมาข้างต้นปล่องรังสีอาทิตย์จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิภายในบ้านให้ต่ำลง ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเหมาะสมสำหรับบ้านที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน

สำหรับการทำงานของปล่องรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นการจำลองรูปแบบขึ้นมาสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ภายในท่ออากาศจะถูกทำให้ร้อนโดยอาศัยการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ โดยลักษณะรูปแบบแล้วท่อจะติดตั้งอยู่ใต้หลังคาบ้าน
2. ขณะที่มีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บริเวณแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะทำให้อากาศภายในท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งในทำนองเดียวกันนั้นความหนาแน่นก็จะมีค่าต่ำลง ซึ่งจะทำให้กลุ่มของความร้อนนั้นเกิดแรงลอยตัวสูงขึ้นและจะถูกปล่อยออกบริเวณปล่องของอากาศที่ด้านบนหลังคา ในขณะเดียวกันนั้นอากาศที่อยู่บริเวณ ใกล้เคียงจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่โดยวิธีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

3. อากาศภายในบ้านจะถูกดึงเข้ามาแทนที่อากาศร้อนภายในปล่อง ในขณะเดียวกันนั้นอากาศจากภายนอกที่เย็นกว่าจะถูกดึงเข้าไปแทนที่อากาศร้อนภายในบ้านอีกทอดหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในบ้านเป็นวัฏจักร ซึ่งการไหลเวียนของอากาศจากภายนอกบ้านที่เคลื่อนที่เข้ามาแทนที่อากาศภายในบ้านนั้น จะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง

จากหลักการทำงานที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ สามารถสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอุปกรณ์ปล่องรังสีอาทิตย์ในแบบจำลองของบ้านทดลองได้ดังรูป



รูปที่ 2-18 แสดงการทำงานของปล่องรังสีอาทิตย์

2.7.2 การวิเคราะห์ปล่องรังสีอาทิตย์โดยวิธี Finite Volume

สำหรับการคำนวณค่าของการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านทางทฤษฎีเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ปล่องรังสีอาทิตย์ในบ้านแล้วนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าจากการวัดค่าจากการทดลอง การคำนวณจะใช้วิธี Finite volume ซึ่งจะต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical) ควบคุมไปด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาตามขั้นตอนและเงื่อนไขตามที่กำหนด

ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธี Finite volume นั้นจะใช้วิธี TDMA (Tri-diagonal matrix algorithm) ซึ่งจะใช้ในการแก้ปัญหาในระบบสมการสองมิติ และใช้วิธีการแบบ PointbBy point solve ในการคำนวณค่าการกระจายของอุณหภูมิในแต่ละจุด สำหรับปัญหาการพาและการกระจายนั้นจะใช้วิธีการ Simple algorithm เพื่อต้องการหาความดัน, ความเร็วและอุณหภูมิที่กระจักระบายในบ้านในสภาวะคงที่ (Steady) โดยโครงสร้างของ Algorithm, โปรแกรมการคำนวณแสดงดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : Initial Guess p^*, u^*, v^*, ϕ^*

ขั้นตอนที่ 2 : Solve Discretised Momentum Equations

$$a_{i,j} u_{i,j}^* = \sum a_{nb} u_{nb}^* + (p_{i-1,j}^* - p_{i,j}^*) A_{i,j} + b_{i,j}$$

$$a_{i,j} v_{i,j}^* = \sum a_{nb} v_{nb}^* + (p_{i,j-1}^* - p_{i,j}^*) A_{i,j} + b_{i,j}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 : Solve Pressure Correction Equations

$$a_{I,J} p'_{I,J} = a_{I-1,J} p'_{I-1,J} + a_{I+1,J} p'_{I+1,J} + a_{I,J-1} p'_{I,J-1} + a_{I,J+1} p'_{I,J+1} + b'_{I,J}$$

ขั้นตอนที่ 4 : Correct Pressure and Velocity

$$p_{I,J} = p^*_{I,J} + p'_{I,J}$$

$$u_{I,J} = u^*_{I,J} + d_{I,J} (p'_{I-1,J} - p'_{I,J})$$

$$v_{I,J} = v^*_{I,J} + d_{I,J} (p'_{I,J-1} - p'_{I,J})$$

ขั้นตอนที่ 5 : Solve all other Discretised Transport Equation

$$a_{I,J} \phi_{I,J} = a_{I-1,J} \phi_{I-1,J} + a_{I+1,J} \phi_{I+1,J} + a_{I,J-1} \phi_{I,J-1} + a_{I,J+1} \phi_{I,J+1} + b \phi_{I,J}$$

ขั้นตอนที่ 6 : Check Convergence ถ้าไม่ Convergence ให้กำหนด $p^* = p, u^* = u, v^* = v$ และ $\phi^* = \phi$ จากนั้นแทนค่าลงในขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาค่าใหม่จนกว่าจะ Convergence และจบโปรแกรม

2.7.2.1 การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในบ้าน

สำหรับการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในบ้านนั้นจะใช้วิธี Finite Volume ดังนั้นเพื่อลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ระบบนี้ จึงได้มีการกำหนดเงื่อนไขการคำนวณดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนจะถือเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบสองมิติขึ้นกับแกน x และ y
2. การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณที่พิจารณาเป็นแบบสภาวะคงที่ (Steady state)
3. ความหนาแน่นของอากาศถูกพิจารณาว่าไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่สามารถหาได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยที่พิจารณา
4. ไม่คิดการรั่วไหลของอากาศภายในบ้าน
5. ภายในตัวกลางไม่มีแหล่งผลิตพลังงานความร้อน
6. การถ่ายเทความร้อนสู่ผนังทั้ง 4 ด้านน้อยมาก
7. ไม่คิดผลของลมภายนอก (Wind effect)
8. ไม่คิดความแตกต่างของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในแต่ละวัน
9. ไม่คิดผลของผู้ทดลองขณะบันทึกค่าความเร็วอากาศในบ้าน
10. ไม่คิดผลความแตกต่างของเวลาระหว่างการวัดความเร็วอากาศในแต่ละครั้งของการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ค่าความเร็วอากาศที่วัดได้เป็นความเร็วอากาศเฉลี่ยในทิศทางเดียว (จากทิศใต้ไปทิศเหนือ)
12. ไม่คิดผลความแตกต่างของระดับความสูงจากพื้นของสถานที่ตั้งบ้านต่อสมบัติของอากาศ
13. ไม่คิดผลของอากาศภายนอกที่ไหลเข้าบ้านตามรอยรั่วตามรอยต่อต่าง ๆ จากเงื่อนไขที่พิจารณานั้นสามารถพิจารณาได้จากสมการทั่วไปของการถ่ายเทความร้อน

2.7.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของหลังคารับรังสีอาทิตย์

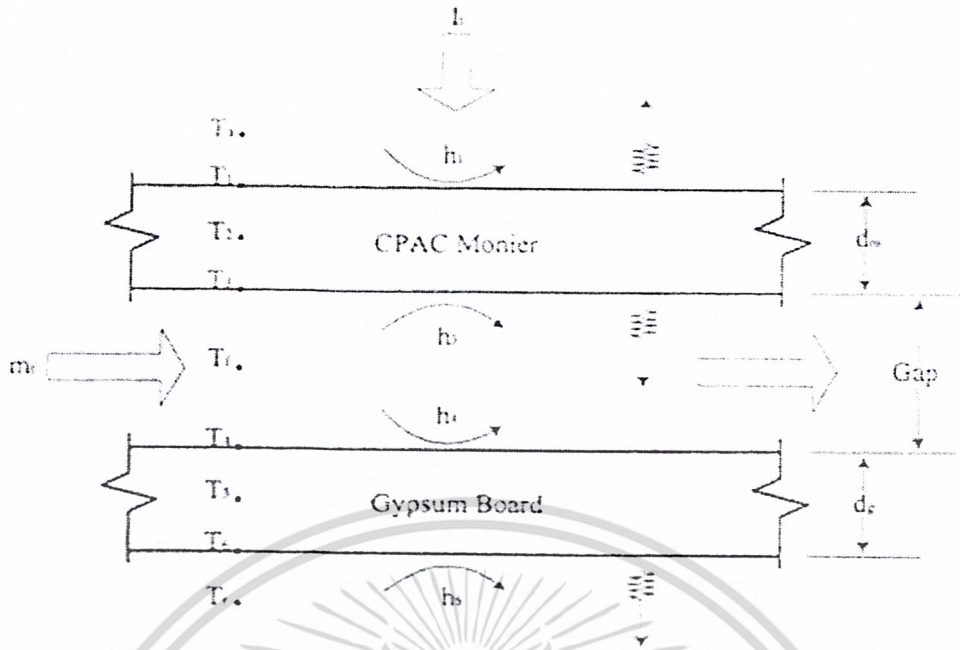
การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) คือ การส่งถ่ายพลังงานซึ่งมีผลอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ สำหรับในระบบหลังคารับรังสีอาทิตย์การถ่ายเทความร้อนมีด้วยกันสามรูปแบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยมีข้อสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบหลังคารับรังสีอาทิตย์ ดังต่อไปนี้ คือ

1. พิจารณาให้หลังคารับแสงอาทิตย์เป็นเหมือนตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ
2. การถ่ายเทความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียว (จากผิวด้านนอกของแผ่นกระเบื้องซีแพคโมเนียไหลเข้าสู่แผ่นอิฐฉนวน)
3. เป็นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนสำหรับสภาวะไม่สม่ำเสมอ
4. การสูญเสียความร้อนจากผิวด้านหน้า และ ด้านข้างกับด้านหลังของหลังคารับรังสีอาทิตย์คิดเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมค่าเดียวกัน
5. สมบัติของวัสดุมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ
6. สมบัติทางความร้อนอากาศขึ้นกับอุณหภูมิ
7. ไม่มีการบังแสงบนผนังของหลังคารับรังสีอาทิตย์
8. ไม่มีฝุ่นและความสกปรกบนผนังของหลังคารับรังสีอาทิตย์
9. การรั่วไหลของอากาศมีค่าน้อยมาก

2.7.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคารับรังสีอาทิตย์

พิจารณาแบบหลังคารับแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 1 จากข้อสมมติฐานที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของหลังคารับรังสีอาทิตย์ สามารถสร้างสมการการสมดุลพลังงานของแต่ละส่วนของหลังคารับรังสีอาทิตย์ได้ดังนี้

และสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละส่วนของหลังคารับรังสีอาทิตย์ ได้โดยใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite-Difference method) แบบเอ็กซ์พลิต (Explicit method) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-19 Node and heat transfer exchangers though the RSC.

2.7.4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผ่นกระเบื้องซีแพคโมเนีย

สมการแสดงสมดุลพลังงานของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย สามารถเขียนได้ตามสมการ

- At $x_m = 0$

$$\alpha \cdot I_t + h_1(T_a - T_1) + \epsilon_m \cdot \sigma(T_a^4 - T_1^4) + k_m \cdot \frac{\partial T_m}{\partial x_m} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial t} \tag{2.120}$$

เมื่อ I_t คือ ค่ารังสีอาทิตย์เทียมที่ตกกระทบบนหลังคารับรังสีอาทิตย์ (W / m^2)

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorptivity) ความร้อนของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย ค่าเท่ากับ 0.8

h_1 คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, $W / m^3 \cdot K$) จากลม

ϵ_m คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อน (Thermal emissivity) ของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย มีค่าเท่ากับ 0.93

σ คือ ค่าคงที่ สตีเฟน-โบลซ์แมน (Stefan Boltzmann constant, $W / m^3 \cdot K^4$) มีค่าเท่ากับ $5.669 \times 10^{-8} W / m^3 \cdot K^4$

k_m คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity, $W / m \cdot K$) ของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย มีค่าเท่ากับ $5.669 \times 10^{-8} W / m \cdot K$

T_m คือ อุณหภูมิของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย, (K)

T_1 คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านบนของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย, (K)

T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อมภายในห้อง, (K)

t คือ เวลา (Seconds)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δx_m คือ ระยะที่กำหนดตำแหน่งจุดปม ของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียมีค่าเท่ากับ 0.75 cm

ρ_m คือ ค่าความหนาแน่น (Density, kg/m^3) ของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียมีค่าเท่ากับ $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$

C_m คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat, $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$) ของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียมีค่าเท่ากับ $1850 \times 10^3 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K}$

- At $0 < x_m < d_m$

$$\frac{\partial T_m(x,t)}{\partial t} = \alpha_m \cdot \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \quad (2.121)$$

เมื่อ d_m คือ ความหนาของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียมีค่าเท่ากับ 1.5 cm

α_m คือ ค่าการแผ่กระจายความร้อนของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย

$T(x,t)$ คือ อุณหภูมิของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียเป็นฟังก์ชันของระยะทางกับเวลา ณ ที่ตำแหน่งของ x และเวลา t ใดๆ

- At $x_m = d_m$

$$h_3(T_f - T_3) + \sigma \cdot \frac{(T_4^4 - T_3^4)}{\frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} + k_m \cdot \frac{\partial T_m}{\partial x_m} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_3}{\partial t} \quad (2.122)$$

เมื่อ T_3 คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านในของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย, (K)

T_4 คือ อุณหภูมิที่ผิวด้านบนของแผ่นยิปซัมบอร์ด, (K)

T_f คือ อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยภายในช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียกับแผ่นยิปซัมบอร์ด (K)

$$T_f = \frac{T_o - T_i}{2}$$

h_3 คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, $\text{w}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) ที่ผิวด้านล่างของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย

ε_g คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อน (Thermal emissivity) ของแผ่นยิปซัมบอร์ด มีค่าเท่ากับ 0.903

2.7.4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอากาศภายในช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียกับแผ่นยิปซัมบอร์ด

สมการแสดงสมดุลพลังงานของอากาศภายในช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียกับแผ่นยิปซัมบอร์ดสามารถเขียนได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_3(T_3 - T_f) + h_4(T_4 - T_f) + \frac{\dot{m}_f}{A} \cdot C_p(T_i - T_o) = 0 \quad (2.123)$$

- เมื่อ \dot{m}_f คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศภายในช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพค
โมเนียกับแผ่นยิบซัมบอร์ด (Kg/s)
- A คือ พื้นที่ผิวของหลังคารับรังสีอาทิตย์ (m^2)
- C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat, J/kg.K) ของอากาศ
- T_i คือ อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางเข้าช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนีย
กับแผ่นยิบซัมบอร์ด (K)
- T_o คือ อุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออกช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพคโม
เนียกับแผ่นยิบซัมบอร์ด (K)

การคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศภายในช่องเปิดเนื่องจากแรงลอยตัว (Airflow due to stack effect) [2]

$$Q_s = C_d \cdot Gap \cdot W \sqrt{g \cdot H \cdot \sin(\theta) \cdot \frac{(T_o - T_i)}{T_i}} \quad (2.124)$$

การคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศภายในช่องเปิดเนื่องจากแรงลม (Air flow due to wind)[3]

$$Q_w = C_d \cdot Gap \cdot W \cdot V \sqrt{C_{p_o} - C_{p_i}} \quad (2.125)$$

การคำนวณอัตราการไหลเชิงปริมาตรรวมของอากาศภายในช่องเปิด (Total air flow) [4]

$$Q_T = \sqrt{(Q_s)^2 + (Q_w)^2} \quad (2.126)$$

- เมื่อ C_d คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของช่องเปิด (Coefficient of discharge $C_d = 0.8$) [5]
- C_{p_i} คือ สัมประสิทธิ์ความดันของลมทางออก (Wind pressure coefficients $C_{p_i} = 0.45$) [3]
- C_{p_o} คือ สัมประสิทธิ์ความดันของลมทางเข้า (Wind pressure coefficients $C_{p_o} = 0.6$) [3]
- ρ คือ ค่าความหนาแน่น (Density of air, kg/m^3) ของอากาศ
- Gap คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพค โมเนียกับแผ่นยิบซัมบอร์ดมีค่าเท่ากับ 14 cm
- W คือ ความกว้างของหลังคารับรังสีอาทิตย์ (m)
- H คือ ความยาวของหลังคารับรังสีอาทิตย์ (m)
- V คือ ความเร็วลม (m/s)
- g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ $9.81 m/s^2$
- θ คือ ค่ามุมเอียงของหลังคารับรังสีอาทิตย์กับแนวระดับ (องศา)

2.7.4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผ่นยิบซัมบอร์ด

สมการแสดงสมดุลพลังงานของแผ่นยิบซัมบอร์ด สามารถเขียนได้ตามสมการ • $Atx_g = 0$

$$h_4(T_f - T_4) + \sigma \cdot \frac{(T_3^4 - T_4^4)}{\frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} + kg \cdot \frac{\partial T_g}{\partial x_g} = \rho_g \cdot C_g \cdot \frac{\Delta x_g}{2} \cdot \frac{\partial T_4}{\partial t} \quad (2.127)$$

เมื่อ h_4 คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, $W / m^2 \cdot K$) ของอากาศกับผิวด้านบนของแผ่นยิบซัมบอร์ด

k_4 คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity, $W / m \cdot K$)

ρ_g คือ ค่าความหนาแน่น (Density, kg / m^3)

Δx_g คือ ระยะที่กำหนดตำแหน่งจุดปมของแผ่นยิบซัมบอร์ด มีค่าเท่ากับ 0.45 cm

T_g คือ อุณหภูมิของแผ่นยิบซัมบอร์ด (K)

C_g คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat, $J/kg \cdot K$) ของแผ่นยิบซัมบอร์ด มีค่าเท่ากับ $840 \times 10^3 J / kg \cdot K$

• $At 0 < X_g < d_g$

$$\frac{\partial T_g(x, t)}{\partial t} = a_g \cdot \frac{\partial^2 T_g}{\partial x^2} \quad (2.128)$$

เมื่อ d_g คือ ความหนาของแผ่นยิบซัมบอร์ด มีค่าเท่ากับ 0.9 cm

a_g คือ ค่าการแผ่กระจายความร้อนของแผ่นยิบซัมบอร์ด

$T(x, t)$ คือ อุณหภูมิแผ่นยิบซัมบอร์ดเป็นฟังก์ชันของระยะทางกับเวลา ณ ที่ตำแหน่งของ x และเวลา ใดๆ

• $At x_g = d_g$

$$h_6(T_r - T_6) + \varepsilon_g \cdot \sigma (T_r^4 - T_6^4) + k_g \cdot \frac{\partial T_g}{\partial x_g} = \rho_g \cdot C_g \cdot \frac{\Delta x_g}{2} \cdot \frac{\partial T_6}{\partial t} \quad (2.129)$$

เมื่อ h_6 คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat transfer coefficient, $W / m^2 \cdot K$) ของอากาศกับผิวด้านล่างของแผ่นยิบซัมบอร์ด

T_r คือ อุณหภูมิภายในห้อง (K)

T_6 คือ อุณหภูมิผิวด้านล่างของแผ่นยิบซัมบอร์ด (K)

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในสมการ (2.120), (2.121), (2.122) (2.127) และ (2.129) มีรายละเอียดในการคำนวณดังต่อไปนี้

- สัมประสิทธิ์การพาจากผิวด้านบนของแผ่นกระเบื้องซีแพค โมนีเยซึ่งถูกกระทำโดยลม, h_4 สามารถหาจากสมการความสัมพันธ์ของ Loveday [6] ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_1 = 3.0 + 7.4V^{0.5} \quad (2.130)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วลม (m/s)

- สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นกระเบื้องซีแพคโมเนียกับแผ่นยิปซัมบอร์ด h_3 มีค่าเท่ากับ h_4 ดังสมการ

$$h_3 = \frac{Nu \cdot k_f}{D_h} \quad (2.131)$$

เมื่อ

D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (Hydraulic number, $D_h = 4a / p$)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

P คือ สันรอบรูปของการไหล ($2(W + Gap)$)

k_f คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ ($W / m.K$)

Nu คือ นัสเซลท์นัมเบอร์ (Nusselt number) ของช่องเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าเอียง [7]

$$Ne = 1 + \left\{ 0.071(Gr \cdot pr)^{1/3} \left[\frac{H}{D_h} \right]^{-1/9} - 9 \right\} \cdot \sin \theta \quad (2.132)$$

เมื่อ Pr คือ แพรนด์ทิลนัมเบอร์ (Prandtl number)

Gr คือ แกรสชอฟนัมเบอร์ (Grashof number) สำหรับการพาแบบอิสระ

$$Gr = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot H^3}{\nu^2} \quad (2.133)$$

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

β' คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศในช่องว่างระหว่างกระเบื้องซีแพคโมเนียกับแผ่นยิปซัมบอร์ด (Volumetric coefficient of expansion = $1/T_f$)

ΔT คือ ความแตกต่างอุณหภูมิของแผ่นกระเบื้องซีแพคโมเนียกับแผ่นยิปซัมบอร์ด (K)

ν คือ ความหนืดคินเนติก (Kinematic viscosity, K^{-1})

H คือ ความยาวของหลังคารับรังสีอาทิตย์ (m)

- สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากผิวด้านล่างของแผ่นยิปซัมบอร์ด สามารถหาได้ตามสมการความสัมพันธ์ [8] ดังนี้

$$h_6 = 1.42[\sin \theta \cdot (T_6 - T_r) / H]^p \quad (2.134)$$

2.7.5 การวิเคราะห์หโดยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical method)

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการของนำความร้อนภายในเนื้อวัตถุ ที่อยู่ในสถานะไม่คงที่ (Transient) ซึ่งอุณหภูมิเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา เป็นเรื่องที่ยุ่งยากซับซ้อนดังนั้นจึงต้องนำเอาวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical method) มาช่วยในการแก้ปัญหา ซึ่งในหัวข้อนี้จะเสือกวิธีที่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

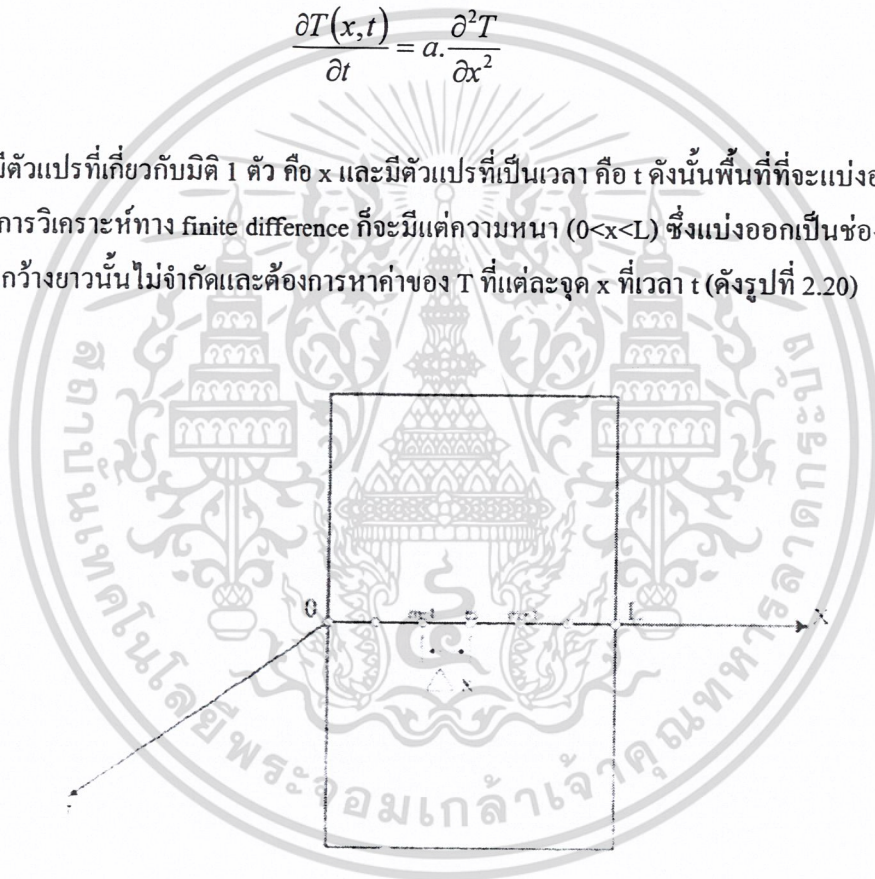
“Finite-difference” แบบ Explicit เพราะจะได้ผลลัพธ์เป็นอุณหภูมิ ณ จุดที่เรากำหนดและวิธีนี้เหมาะกับการไปใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการคำนวณสูง

2.7.5.1 สมการความร้อน (Heat Equation) เขียนในรูป Finite-Difference

การนำความร้อนภายในวัตถุ 1 มิติ ที่อยู่ในสภาวะไม่สม่ำเสมอ (Transient) อุณหภูมิที่จุด ใดๆ ภายในเนื้อวัตถุอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลาพร้อมกับตำแหน่ง กล่าวคือ $T=T(x, t)$ ในระบบมิติเดียวที่ไม่มีการกำเนิดพลังงานในตัวกลางและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าเท่ากับตลอด ซึ่งสมการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะเป็นดังนี้

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2.135)$$

มีตัวแปรที่เกี่ยวกับมิติ 1 ตัว คือ x และมีตัวแปรที่เป็นเวลา คือ t ดังนั้นพื้นที่ที่จะแบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆ เพื่อการวิเคราะห์ทาง finite difference ก็จะมีแต่ความหนา $(0 < x < L)$ ซึ่งแบ่งออกเป็นช่องเล็ก ๆ ΔX ส่วนความกว้างยาวนั้นไม่จำกัดและต้องการหาค่าของ T ที่แต่ละจุด x ที่เวลา t (ดังรูปที่ 2.20)



รูปที่ 2-20 Interior nodes

สมการ (2.135) เป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลแบบ Parabolic ซึ่งจะต้องมีเงื่อนไขที่ขอบ (boundary condition) 2 เงื่อนไขในแนว x บวกกับเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) ที่เวลา $t = 0$ อีก 1 เงื่อนไข จึงจะแก้สมการได้

$$\text{เงื่อนไขเริ่มต้น : } t = 0, T(x, 0) = 0$$

$$\text{เงื่อนไขที่ขอบ : } x = 0, T(0, t) = T_0$$

$$x = L, T(L, t) = T_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้สมการ(2.135)เพื่อหาค่า $T=T(x, t)$ ที่ x_m ต่าง ๆ และที่เวลา t' ต่าง ๆ เริ่มโดยการเขียนสมการอนุพันธ์อันดับสองให้อยู่ในรูปของสมการ finite difference สามารถประมาณได้ดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \Big| \cong \frac{T_{m-1}^i - 2T_m^i + T_{m+1}^i}{\Delta x^2} \quad (2.136)$$

โดยที่ T_{m-1}^i และ T_{m+1}^i คือ อุณหภูมิที่อยู่แต่ละข้างของจุดปม T_m^i ที่เวลา i และอนุพันธ์เทียบกับเวลาที่ตำแหน่ง m จะประมาณได้โดย

$$\frac{\partial T}{\partial t} \cong \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} \quad (2.137)$$

เมื่อ T_m^{i-1} คือ ค่าอุณหภูมิที่จุด m ที่เวลา t_{i-1} และแทนค่าสมการ(2.139)และ(2.140) ลงในสมการ (2.135) ได้

$$\frac{T_m^{i-1} - T_m^i}{\Delta t} = a \cdot \frac{T_m^i - 2T_m^i + T_{m-1}^i}{\Delta x^2} \quad (2.138)$$

สามารถจัดรูปสมการ(2.141) ได้ดังนี้

$$T_m^{i-1} = r(T_{m+1}^i + T_{m-1}^i) + (1 - 2r)T_m^i \quad (2.139)$$

เมื่อ $r = a * \Delta t / (\Delta x)^2$ สำหรับสมการ(2.142) เรียกว่า สมการ Explicit Finite-Difference สำหรับการนำความร้อน 1 มิติ ภายใต้สภาวะที่ไม่คงที่ สมการนี้จะมีเสถียรภาพ (Stability) ก็ต่อเมื่อ $0 \leq r \leq 1/2$ เท่านั้น

สำหรับการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบหลังการรับรังสีอาทิตย์ รูปแบบ Explicit Finite-Difference ได้มีการศึกษาโดย S. Chaima ซึ่งได้นำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังการรับรังสีอาทิตย์ กับการระบายอากาศตามธรรมชาติ ภายในหลังการรับรังสีอาทิตย์ไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบหลังการรับรังสีอาทิตย์ รูปแบบ Explicit Finite-Difference

การคำนวณอุณหภูมิสำหรับทุกๆ โหมดของระหลังการรับรังสีอาทิตย์สามารถประมาณจากสมการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ จากรูป(2.19)

- สำหรับ (node 1)

$$T_1^{i+1} = 2.r_m \cdot \frac{x_m}{k_m} \left[a.I_i + h_1(T_a^i - T_1^i) + \varepsilon_m \cdot \sigma(T_a^{i^4} - T_1^{i^4}) + \frac{k_m}{x_m}(T_2^i - T_1^i) \right] + T_1^i \quad (2.140)$$

- สำหรับ (node 2)

$$T_2^{i+1} = r_m(T_1^i + T_3^i) + (1 - 2.r_m)T_2^i \quad (2.141)$$

- สำหรับ (node 3)

$$T_3^{i+1} = 2.r_m \cdot \frac{\Delta x_m}{k_m} \left[h_c(T_f^i - T_3^i) + \frac{\sigma(T_4^{i^4} - T_3^{i^4})}{\frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} + \frac{k_m}{\Delta x_m}(T_2^i - T_3^i) \right] + T_3^i \quad (2.142)$$

- สำหรับ (node 4)

$$T_4^{i+1} = 2.r_g \cdot \frac{\Delta x_g}{k_g} \left[h_c(T_f^i - T_4^i) + \frac{\sigma(T_3^{i^4} - T_4^{i^4})}{\frac{1}{\varepsilon_m} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} + \frac{k_g}{\Delta x_g}(T_5^i - T_4^i) \right] + T_4^i \quad (2.143)$$

- สำหรับ (node 5)

$$T_5^{i+1} = r_g(T_4^i + T_6^i) + (1 - 2.r_g)T_5^i \quad (2.144)$$

- สำหรับ (node 6)

$$T_6^{i+1} = 2.r_g \cdot \frac{\Delta x_g}{k_g} \left[h_6(T_r^i - T_6^i) + \varepsilon_g \cdot \sigma(T_6^{i^4} - T_6^{i^4}) + \frac{k_g}{\Delta x_g}(T_5^i - T_6^i) \right] + T_6^i \quad (2.145)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณภายในช่องเปิด (Gap) สามารถประมาณโดยสมการ

- อุณหภูมิ

$$T_f^{i+1} = \frac{h_c(T_3^i + T_4^i) + 2 \cdot \frac{\dot{m}_f^i}{A} \cdot C_p \cdot T_i^i}{2 \cdot h_c + 2 \cdot \frac{\dot{m}_f^i}{A} \cdot C_p} \quad (2.146)$$

- อัตราการไหล

$$Q_s^{i+1} = C_d \cdot \text{Gap} \cdot W \sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot \sin \theta \cdot \frac{(T_f^i - T_i^i)}{T_i^i}} \quad (2.147)$$

$$Q_w^{i+1} = C_d \cdot \text{Gap} \cdot W \cdot V^i \sqrt{C_{p0} - C_{pi}} \quad (2.148)$$

$$Q_T^{i+1} = \sqrt{(Q_s^i)^2 + (Q_w^i)^2} \quad (2.149)$$

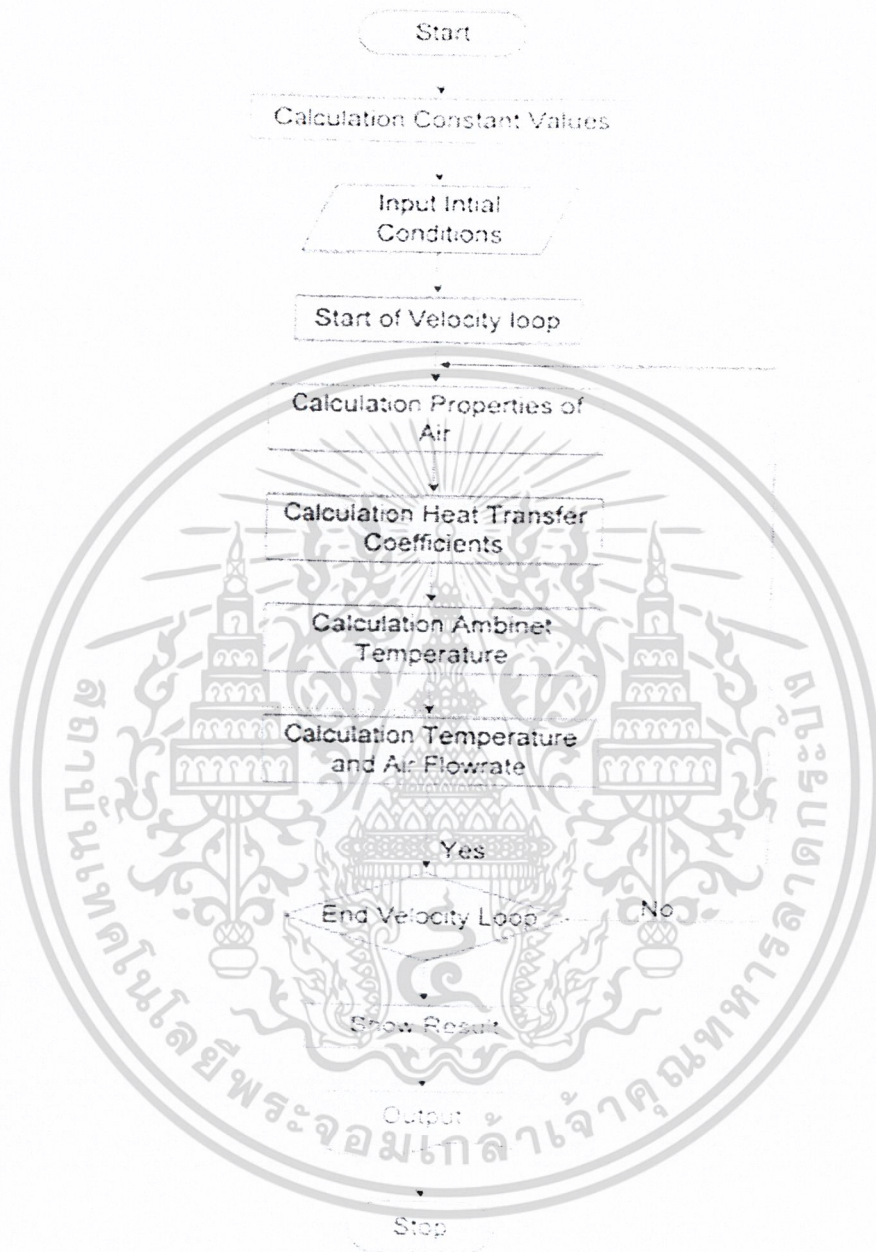
เมื่อ

$$r_m = \frac{a_m \Delta t}{\Delta x_m^2} \quad \text{และ} \quad r_g = \frac{a_g \Delta t}{\Delta x_g^2}$$

$$\Delta t = 30 \text{ sec.}, \Delta x_m = d_{m/2}, \Delta x_g = d_{g/2}$$

สำหรับค่าตัวแปรต่างๆ และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ปรากฏอยู่ในสมการ (2.140) ถึงสมการ (2.149) ได้แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ไว้ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับการคำนวณสมรรถนะการทำงานของระบบหลังการรับรังสีอาทิตย์นี้จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวมาแล้วร่วมกับแบบจำลองของสมบัติอากาศ ขั้นตอนการทำงานจะทำดังรูป 2.21

แสดงแผนผังในการคำนวณโปรแกรมหลังการรับรังสี



รูปที่ 2.21 Flow Chart of the numerical simulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 ทัศนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้มีการศึกษาทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศได้ทำการศึกษารวบรวมความร้อนตามธรรมชาติของ Roof Solar Collector ซึ่งการพาความร้อนตามธรรมชาติโดยการเหนี่ยวนำจากรังสีอาทิตย์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ และการระบายอากาศ ซึ่งต้องอาศัยแรงลมและแรงลอยตัว

2.7.6.1 สำหรับงานวิจัยภายในประเทศ

T. Bunnag ได้ทำการศึกษาลงรับรังสีอาทิตย์ (roof Solar Collector) เพื่อระบายความร้อนแบบธรรมชาติในอาคารที่พักอาศัยสมัยใหม่ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะลดการสะสมของความร้อนภายในโครงหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์ และการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ (Naturally Ventilation) ในการสร้างบ้านพักอาศัยแบบสมัยใหม่ซึ่งสร้างแบบทรงยุโรป โดยการใช้หลังคาสองชั้นมีลักษณะเป็นหลังคาแบบรับรังสีแสงอาทิตย์ (Roof Solar Collector) จากผลการศึกษานี้พบว่า วัสดุที่เหมาะสมสำหรับหลังคาที่เป็นหลังคาแบบรับรังสีแสงอาทิตย์ (Roof Solar Collector) ควรจะเป็นแผ่นกระเบื้องซีแพค โมนีเยทางด้านบน และใช้แผ่นยิปซัมบอร์ดทางด้านล่างของชุดหลังคาแบบรับรังสีแสงอาทิตย์ (Roof Solar Collector) ความยาวที่เหมาะสมของหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์จะอยู่ในช่วง 100 cm จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลองเพื่อสร้างสมการคำนวณอัตราการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ (Naturally Ventilation) ของหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.19-0.25 m³/s ซึ่งค่าที่ได้นี้จะมีความใกล้เคียงกับผลของการทดลอง

S. Wachirapuwadon ได้ทำการศึกษาลงรับรังสีอาทิตย์และเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมของหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์ (Roof Solar Collector) ที่สามารถก่อให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติที่เหมาะสม และออกแบบรูปทรงหลังคาบ้านพักอาศัยให้สอดคล้องกับรูปแบบหลังคาบ้านเรือนไทย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์ (Roof Solar Collector) สำหรับการศึกษาหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์ (Roof Solar Collector) ประกอบด้วย กระเบื้องซีแพค โมนีเยติดตั้งอยู่ทางด้านบนและแผ่นยิปซัมบอร์ดติดตั้งอยู่ด้านล่าง และมีช่องทางไหลของอากาศอยู่ระหว่างวัสดุทั้งสอง และใช้ข้อมูลสภาวะแวดล้อม (ปริมาณรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายนอก ความเร็วลมและค่าความชื้นสัมพัทธ์) ของกรุงเทพฯ

ผลการศึกษพบว่าสัดส่วนและเงื่อนไขในการทำงานที่เหมาะสมของหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์ คือ มุมเอียงของหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์ควรอยู่ระหว่าง 20 ถึง 60 องศา ความยาวที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 100 ถึง 200 cm. และขนาดความกว้างของช่องเปิดจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 14 cm. จากศึกษานำหลังคาแบบรับรังสีอาทิตย์ (Roof Solar Collector) ไปออกแบบรูปทรงหลังคาบ้านพบว่ารูปแบบที่เหมาะสม มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปแบบหลังคาบ้านทรงไทย โดยรูปแบบหลังคาจะมีลักษณะจาดเรียงตัวต่อเนื่องกันด้วยมุมเอียง 30°C , 45°C และ 60°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ หลังคาบ้านแบบนี้จะก่อให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติที่ดี สามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทลงสู่ภายในบ้านได้ ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับลักษณะของบ้านทรงไทย ซึ่งมีลักษณะเย็นสบายและมีการระบายอากาศที่ดี

W. Kongduang ได้ทำการศึกษาถึงการระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัยเขตร้อนชื้น (กรุงเทพมหานคร) โดยใช้ Metallic Solar Wall (MSW) ซึ่งองค์ประกอบของ MSW มีกระจก, ช่องว่างอากาศ, แผ่นสังกะสีทาสีดำ และฉนวนโดยมีการศึกษาถึงความแตกต่างของความสูงที่ 1 m กับความสูง 2 m และศึกษาช่องว่างของอากาศตั้งแต่ 10 ถึง 14.5 cm

จากการศึกษาพบว่าผนังที่มีพื้นที่ขนาด 2 m^2 และช่องว่างระหว่างกระจกกับผนังสังกะสีทาสีดำเท่ากับ 14.5 cm จะทำให้อัตราการระบายอากาศแบบธรรมชาติสูงที่สุด โดยมีอัตราการระบายอากาศอยู่ในช่วง 0.01-0.02 kg/s เมื่อพิจารณาถึงการระบายอากาศแบบธรรมชาติที่ให้ค่าสูงสุดของระบบ MSW ควรจะอยู่ในช่วงสั้น ๆ ในระดับความสูง 100 ถึง 150 cm

S.Kaewruang ได้ทำการศึกษาถึงความสูงของผนัง และระยะความห่างระหว่างผนังกับกระจกที่เหมาะสมสำหรับการนำผนังแบบ Trombe Wall เพื่อการระบายอากาศแบบธรรมชาติมาใช้ โดยผนัง Trombe Wall

ซึ่งเป็นคอนกรีตมีความกว้าง 1 m ความหนา 8 cm ด้านนอกพ่นสีดำและมีกระจกชั้นเดียวปิดอยู่ส่วนนอก ด้านในมีฉนวนกันความร้อนเข้าสู่ห้อง การทดลองทำที่ความสูงของผนัง 1 m กับ 2 m โดยมีการเปลี่ยนแปลงความห่างระหว่างผนังคอนกรีตกับกระจกที่ระยะ 10 ถึง 14.5 cm จากผลการศึกษาพบว่าความสูงของผนังที่ 2 m และระยะความห่างระหว่างผนังกับกระจกที่ 14.5 cm มีการระบายอากาศได้สูงสุด

C Lertsatithanakom ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการลดการสะสมความร้อนภายในอาคารและการระบายอากาศตามธรรมชาติโดยใช้ผนัง Trombe Wall แบบดัดแปลง (MTW) ผนังแบบ MTW

มีองค์ประกอบคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน ช่องว่างอากาศ และผนังยิปซัมบอร์ด จากการศึกษาพบว่าผนังที่มีพื้นที่ขนาด 2 m^2 มีช่องว่างระหว่างผนังก่ออิฐฉาบปูนกับผนังยิปซัมบอร์ด เท่ากับ 14 cm และทาสีดำ จะให้อัตราการระบายอากาศสูงสุด โดยจะมีอัตราการระบายอากาศต่ำที่สุด แต่ก็เพียงพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการระบายอากาศสำหรับอาคารได้

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทดลองกับผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้คำนวณสภาพการทำงานของผนัง MTW ภายใต้อุณหภูมิอากาศต่างๆ ได้

2.7.6.2 สำหรับงานวิจัยภายนอกประเทศ

H.B.Awbi ได้ทำการศึกษาการพิจารณาการออกแบบการหาความร้อนตามธรรมชาติของอาคาร ซึ่งการหาความร้อนตามธรรมชาติโดยการเหนี่ยวนำจากรังสีอาทิตย์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ และการระบายอากาศ ซึ่งต้องอาศัยแรงลมและแรงลอยตัว ทำการคำนวณหาความแตกต่างของความดัน ทั้งที่เกิดจากแรงลมและแรงลอยตัว ผลที่ได้นำไปคำนวณหาอัตราการระบายอากาศผ่านช่องเปิดในที่สุด ได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาวิธีการระบายอากาศของอาคาร ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ Solar Chimney, Trombe Wall และ Roof Collector

จากการคำนวณพบว่า Solar Chimney จะให้อัตราการระบายอากาศสูงที่สุด เนื่องจากมีความสูงมากกว่า Trombe Wall และ Roof Collector จึงทำให้แรงลอยตัวมีผลในการช่วยให้เกิดการระบายอากาศมากกว่า นอกจากนั้นพื้นที่ช่องเปิดด้านเข้าและออกก็มีพื้นที่มากกว่า จึงทำให้มีความต้านทานการไหลน้อยกว่า ส่วน Trombe Wall และ Roof Collector จะมีอัตราการระบายที่อากาศใกล้เคียงกัน แต่ Roof Collector จะมีอัตราการระบายอากาศที่สูงกว่า Trombe Wall เล็กน้อยทั้งนี้เนื่องจาก Roof Collector มีพื้นที่ผิวมากกว่า Trombe Wall

N.K. Bansal ได้ทำการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของการระบายอากาศโดยใช้ Solar Chimney เพื่อการระบายอากาศสำหรับบ้านพักอาศัย การคำนวณจะอาศัยหลักการความแตกต่างของความดันที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ (Stack Pressure) จะขึ้นอยู่กับระดับความสูงของปล่อง ความหนาแน่นของอากาศภายในปล่อง และอากาศภายนอกปล่อง ซึ่งจะสามารถนำมาใช้คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศได้ จากการคำนวณพบว่าห้องขนาดความกว้าง 4 m ความยาว 4 m และความสูง 4 m พื้นที่ของตัวรับรังสีอาทิตย์ของ Solar Chimney มีขนาด 2.25m^2 ระยะห่างของช่องอากาศมีค่าเท่ากับ 15 cm จะให้อัตราการระบายอากาศในช่วง $0.03\text{-}0.10\text{ m}^3/\text{s}$ ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ $100\text{-}1000\text{W} / \text{m}^2$

T.R. Borgers และ H. Akbari ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนตามธรรมชาติ ที่การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent) ระหว่างแผ่นขนานสองแผ่น ช่วงเริ่มต้นการไหลจะสมมุติว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) จนกระทั่งเกิดการรวมกันของรูปทรงเรขาคณิต อุณหภูมิแล่งเงื่อนไขของอัตราการไหลเพิ่มขึ้นจนก่อนถึงระดับที่กำหนด จุดนี้จะเป็นช่วงการเปลี่ยน (Transition) จากราบเรียบไปเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent) จนกว่าการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) จะค่อยๆ แปรเปลี่ยนไปสู่การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) เดิมรูปแบบ การใช้อากาศเป็นของไหล ความกว้างของช่องเปิด ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่ผิว และอัตราการไหลจะต้องถูกพิจารณาเป็นแนวทางโดยการแปรเปลี่ยนค่าต่าง ๆ จากการทดลอง การคำนวณและการแสดงความเกี่ยวพัน จะถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถประเมินขนาดของช่องเปิด อุณหภูมิที่ผิว และอุณหภูมิทางเข้าของอากาศ

R.Ben Yelder, Z.G. DU และ E. Bilgen ได้ทำการศึกษาดังกล่าวถึงการแก้ไขปัญหาการสูญเสียความร้อนของผนัง Trombe Wall คือ แยกผนังคอนกรีตกับกระจกออกจากกันมีการใส่ผนังที่เป็นฉนวนชั้นกลาง การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนผ่านช่องเปิดที่ผนังสู่ผนังคอนกรีต ระบบนี้มีระยะห่างระหว่างผนังคอนกรีตกับผนังฉนวนเท่ากับ $0.08\text{-}0.10\text{ m}$ ผนังฉนวนหนา 0.05 m ผนังคอนกรีตหนา $0.10\text{-}0.15\text{ m}$ และสูง $1.8\text{-}2.2\text{ m}$ จากการศึกษาพบว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผนังด้านนอก และ Rayleigh number เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของระบบและควรใช้อัตราส่วนของความสูงของระบบต่อความหนาของระบบอยู่ในช่วง $5\text{-}10$ จะมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนต่ำ

R. Ben Yelder และ E.Bilgen ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของความร้อนของผนัง Trombe Wall ซึ่งใช้ทำความร้อนให้กับบ้านพักอาศัย โดยมีสมมติฐานในการวิเคราะห์ดังนี้ ให้การไหลของอากาศในช่องระหว่างกระจกกับผนังคอนกรีตเป็นการไหลแบบราบเรียบ เป็นการถ่ายเทความร้อนในสภาวะไม่คงที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในสองทิศทาง สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี Finite Difference-Control Volume โดยใช้สมการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงานในการแก้ปัญหา จากการศึกษาพบว่า Nusselt number และสมรรถนะทางความร้อนของระบบจะขึ้นอยู่กับ Rayleigh number

F.Arumi และ M.Hourmanesh ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของการประหยัดพลังงานโดยใช้ผนัง Trombe Wall ซึ่งมีช่องว่างของอากาศระหว่างผนังคอนกรีตกับกระจก 7.6 cm ขนาดของที่ใช้ในการทดลองมีขนาดความกว้าง 3 m ความยาว 6 m และความสูง 3 m ได้ทำการทดลอง ณ. Austin Texas ในกรณีที่ใช้ผนัง Trombe Wall ทำความร้อนในฤดูหนาวจะช่วยลดการใช้พลังงานลง 7000 Btu.hr^{-1} และในกรณีที่ใช้ผนัง Trombe Wall ทำความเย็นในฤดูร้อนจะช่วยลดการใช้พลังงานลงถึง 92 % จากการศึกษาพบว่าผนังคอนกรีตมีความหนา 30 cm และควรทาสีผนังคอนกรีตด้วยสีดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

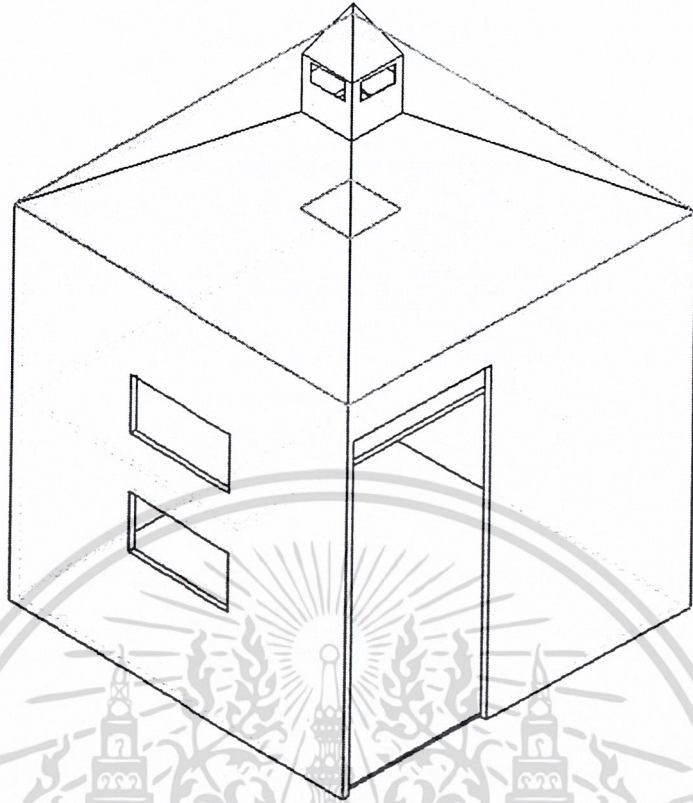
3.1 รายละเอียดโครงสร้างแบบจำลองของบ้าน

แบบจำลองของบ้านถูกออกแบบสำหรับการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3-1 ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 8 ลูกบาศก์เมตร (ความกว้าง ยาว และสูงของห้องเท่ากับ 2, 2 และ 2 เมตรตามลำดับ) โดยสร้างขึ้น ณ ชั้นคาถาฟ้า (ความสูง 20 เมตร) อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

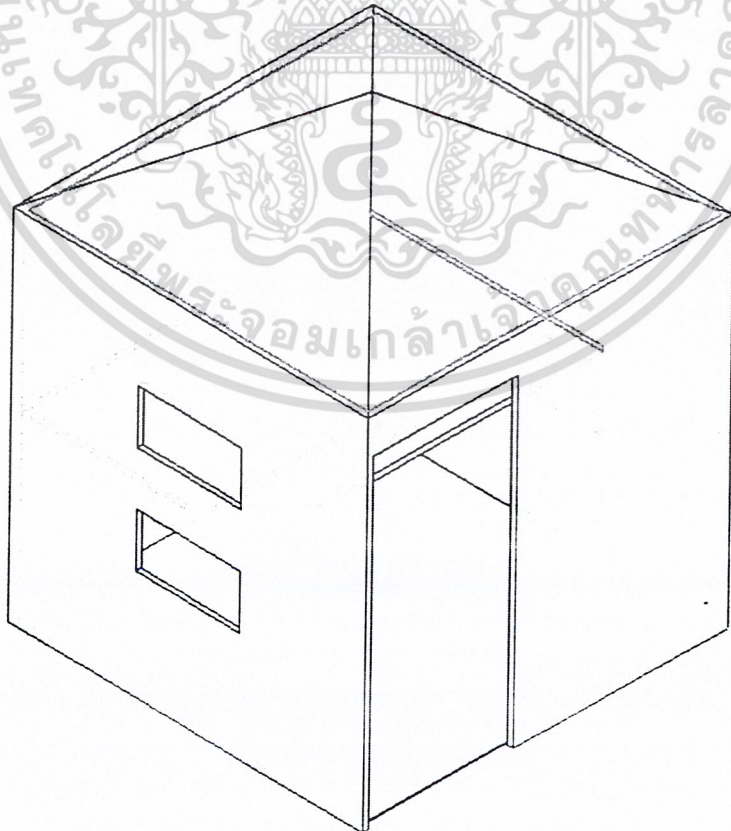
3.1.1 บ้านที่ใช้ทำการทดลอง

1. บ้านที่ใช้ทดลองมีหลังคาบ้านรูปทรงปั้นหยามุมเอียง 30 องศาทั้งสองหลัง
2. ระเบียงซีแพค โมนีเยสีแดงดำ มีขนาดต่อแผ่นคือ ความกว้าง ยาว และหนาเท่ากับ 33, 42 และ 1.5 เซนติเมตรตามลำดับ และมีน้ำหนัก 4.4 กิโลกรัมต่อแผ่น
3. ด้านล่างของหลังคาของหลังที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์มีแผ่นยิปซัมหนา 0.9 เซนติเมตร วางขนานกัน ระเบียง มีช่องว่าง 14.5 เซนติเมตร
4. เพดานบ้านใช้แผ่นยิปซัมคิโคมูนิเนียมฟลอยด์หนา 0.9 เซนติเมตร ในหลังที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ จะเจาะช่องตรงกลางเพดานขนานกว้างและยาว 30 และ 30 เซนติเมตรตามลำดับ
5. ความกว้าง ยาว และสูงของตัวปล่องรังสีอาทิตย์มีขนาด 30, 30 และ 40 เซนติเมตรตามลำดับ ทำจากแผ่นสแตนเลส (Stainless steel) หนา 0.2 มิลลิเมตร ช่องระบายกว้าง 20 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร สี่ด้าน มีกรอบกันสาดด้านบนซึ่งสามารถคลุมป้องกันฝนสาดได้
6. ความกว้าง ยาว และสูงของตัวปล่องรังสีอาทิตย์มีขนาด 40, 40 และ 50 เซนติเมตรตามลำดับ ทำจากแผ่นสแตนเลส (Stainless steel) หนา 0.2 มิลลิเมตร ช่องระบายกว้าง 25 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร สี่ด้าน มีกรอบกันสาดด้านบนซึ่งสามารถคลุมป้องกันฝนสาดได้
7. ผนังห้องทั้งสี่ด้านประกอบด้วยวัสดุจากด้านนอก คือ ระเบียงแผ่นเรียบตราช่าง หนา 4 มิลลิเมตร โฟมหนา 25 มิลลิเมตร และไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร
8. ผนังด้านทิศเหนือ-ใต้ เจาะช่องหน้าต่างกว้าง 60 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร สูงจากพื้นห้อง 60 เซนติเมตร
9. พื้นห้องเป็นไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร
10. ชั้นสองของบ้านทดลองขนาดกว้าง 1.3 เมตร ยาว 2 เมตร สูงจากพื้นบ้าน 1 เมตร
11. ชั้นสองของบ้านทดลองขนาดกว้าง 1.6 เมตร ยาว 2 เมตร สูงจากพื้นบ้าน 1 เมตร พร้อมประตูขนาด กว้าง 0.5 เมตร สูง 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

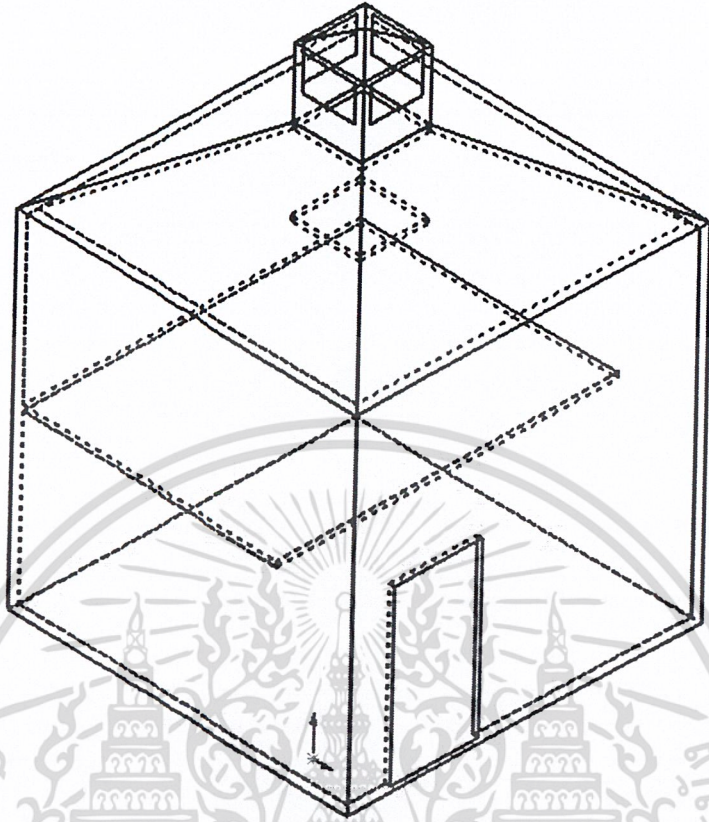


รูปที่ 3-1 บ้านที่คิดปล่องรังสีอาทิตย์

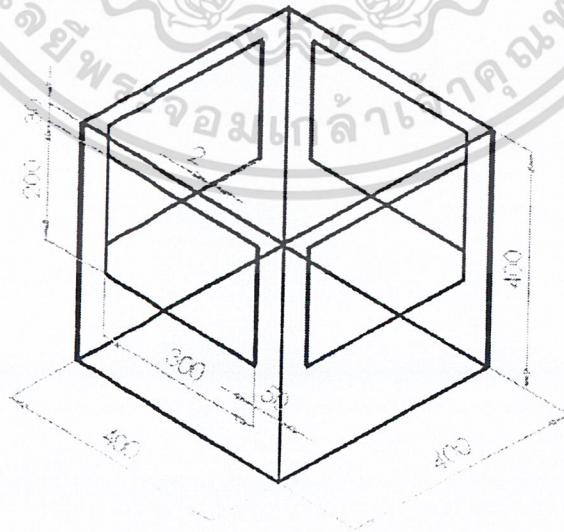


รูปที่ 3-2 บ้านที่ไม่คิดปล่องรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

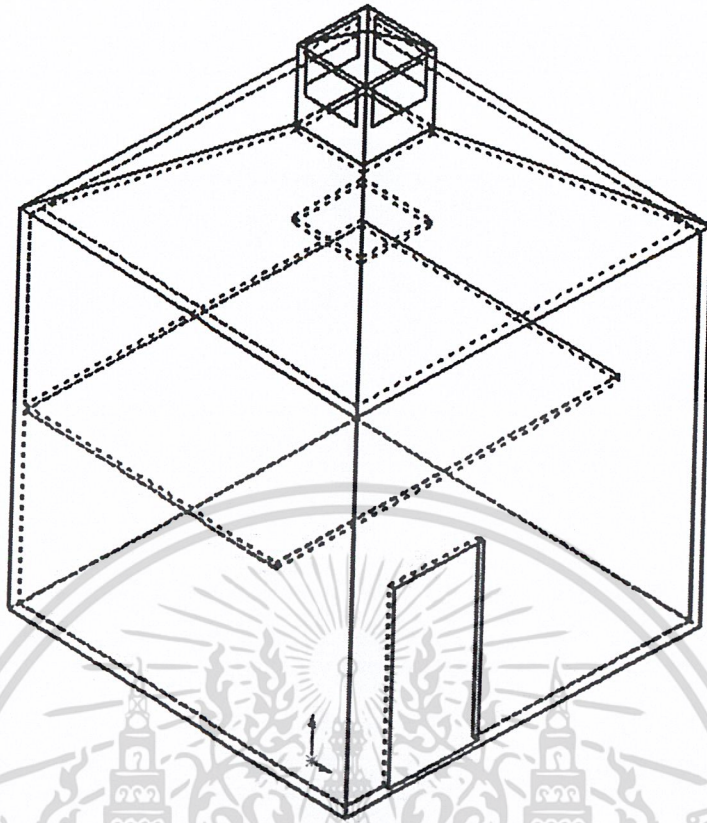


รูปที่ 3-3 รูปแสดงบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่

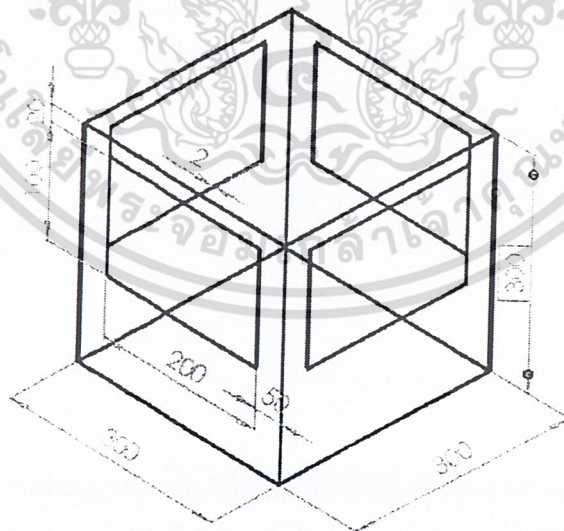


รูปที่ 3-4 รูปแสดงขนาดปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

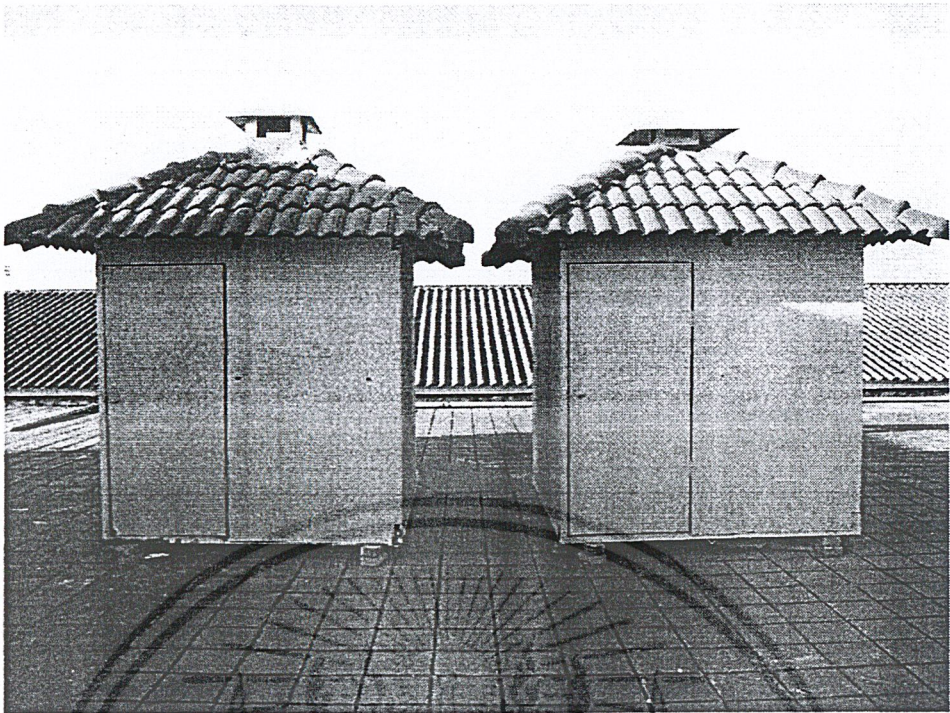


รูปที่ 3-5 รูปแสดงบ้านจำลองสองชั้นที่คิดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก

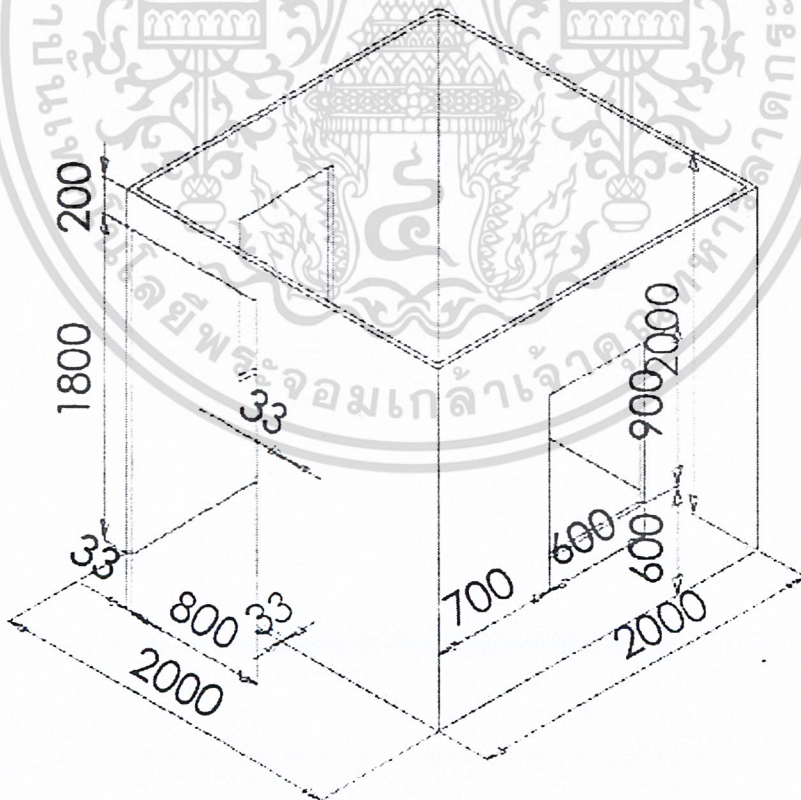


รูปที่ 3-6 รูปแสดงขนาดปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

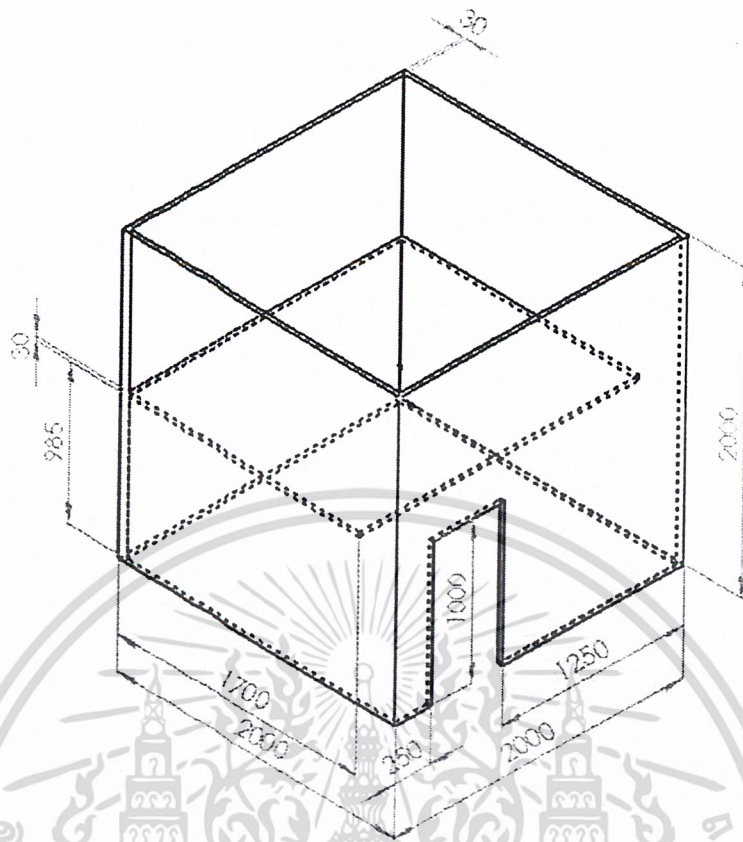


รูปที่ 3-7 แสดงบ้านจำลองที่สร้างขึ้นใช้ทำการทดลอง



รูปที่ 3-8 แสดงขนาดของตัวบ้านที่ใช้ทำการทดลอง กรณีที่ 1 - 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-9 แสดงขนาดของตัวบ้านที่ใช้ทำการทดลอง กรณีที่ 7 - 12

3.2 เครื่องมือวัด

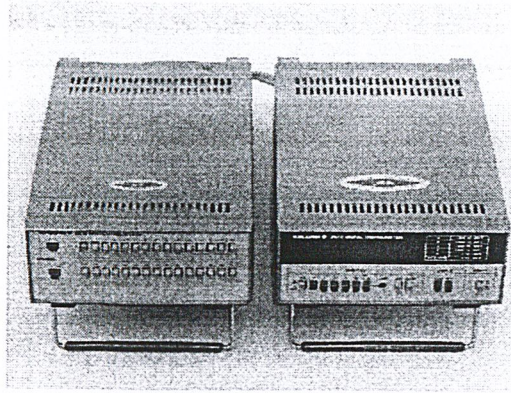
3.2.1 สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple wire)

เป็นชนิด K ซึ่งสามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง 90 องศาเซลเซียส และทำการสอบเทียบสายเทอร์โมคัปเปิลทุกเส้นที่ใช้ทำการวัดในน้ำเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน ช่วงอุณหภูมิที่ใช้สอบเทียบตั้งแต่ 25 ถึง 50 องศาเซลเซียส พบว่าความคลาดเคลื่อนจากการสอบเทียบไม่เกิน 0.28 องศาเซลเซียส

3.2.2 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger)

ใช้ในการวัด และอ่านค่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งวัดต่างๆ โดยมีสายเทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวส่งสัญญาณค่าอุณหภูมินั้นๆ ให้กับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3-5

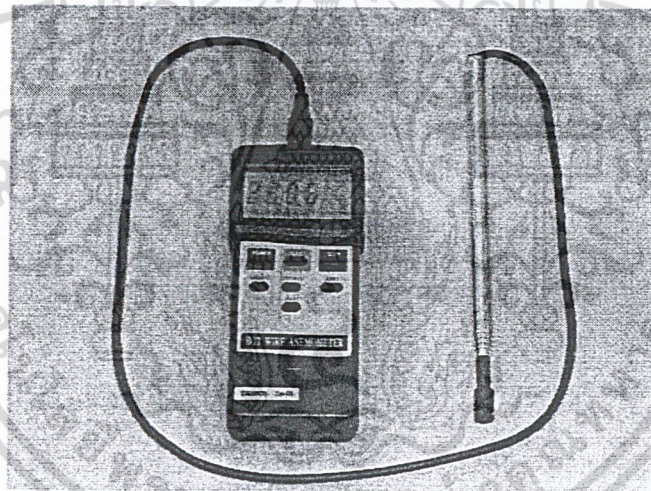
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-10 แสดงเครื่องบันทึกอุณหภูมิ

3.2.3 ฮอทวาร์ย แอนนิโมมิเตอร์ (Hot wire anemometer)

ใช้ในการวัดความเร็วลมที่ช่องทางต่างเข้า – ออก และที่ปล่องรังสีอาทิตย์ สามารถวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 20 เมตรต่อวินาที ความละเอียดในการแสดงผลใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3-6

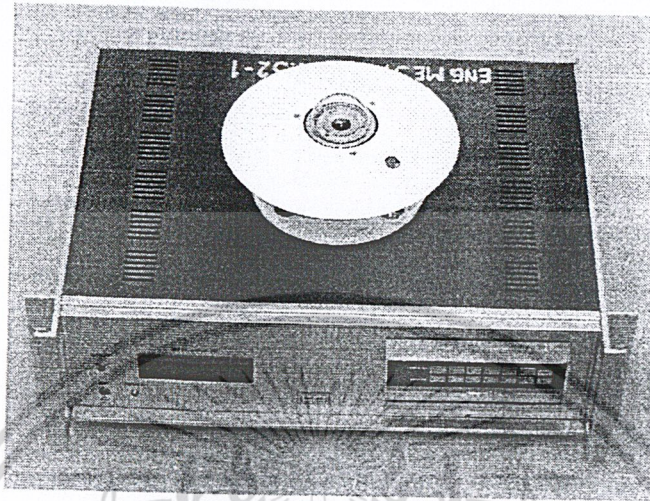


รูปที่ 3-11 แสดงฮอทวาร์ย แอนนิโมมิเตอร์ (Hot wire anemometer)

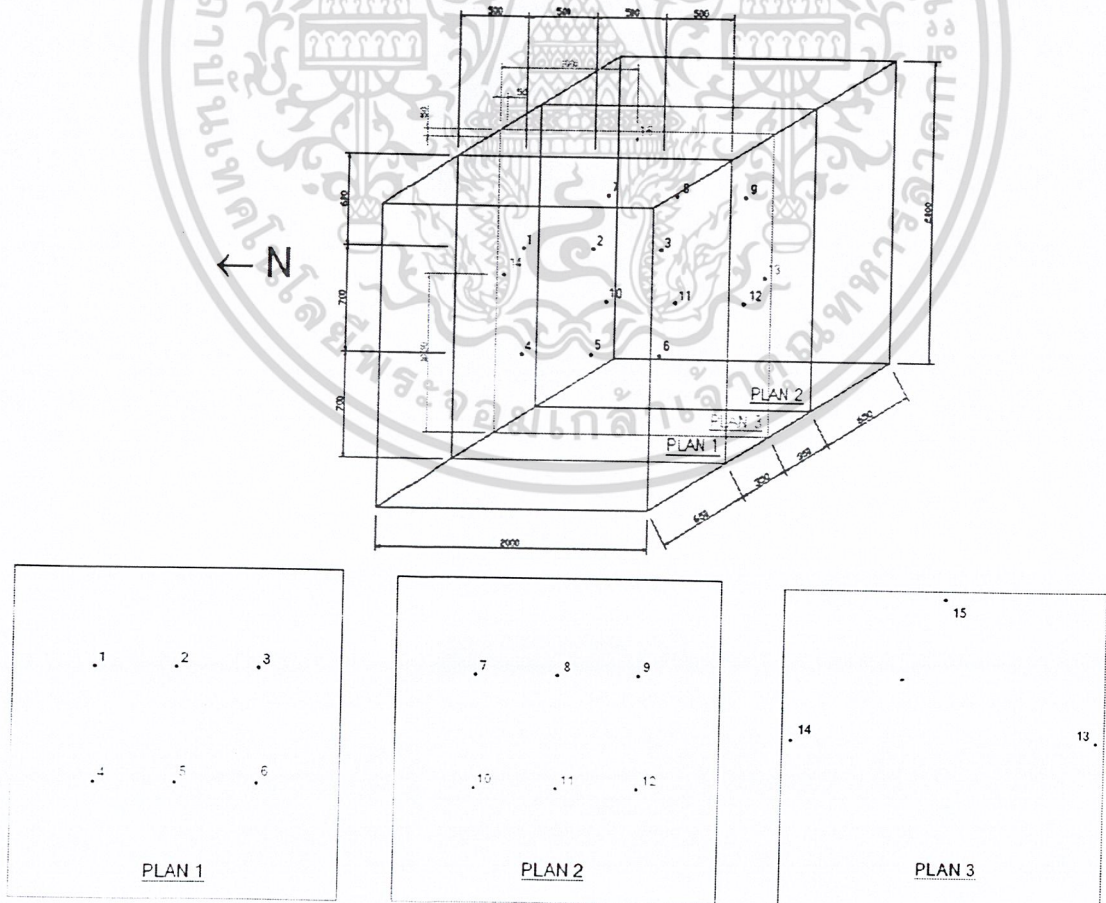
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 เครื่องวัดความเข้มของแสง (Solar integrator)

ใช้วัดค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ในวันที่ทำการทดลอง ติดตั้ง ณ ชั้นดาดฟ้า อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์



รูปที่ 3-12 แสดงเครื่องวัดความเข้มของแสง (Solar integrator)



รูปที่ 3-13 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

1. สร้างบ้านสองชั้นที่ใช้ทำการทดลองจำนวน 2 หลัง หลังหนึ่งติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ส่วนอีกหลังไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ โดยหันด้านที่มีช่องหน้าต่างทางเข้าไปทางทิศใต้
2. สร้างบ้านสองชั้นที่ใช้ทำการทดลองจำนวน 2 หลัง หลังหนึ่งติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก และอีกหลังติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่ โดยหันด้านที่มีช่องหน้าต่างทางเข้าไปทางทิศใต้
3. ติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลตามจุดต่าง ๆ ภายในห้องของบ้านทั้งสองหลัง ดังรูปที่ 3-8
4. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ
5. ทำการวัดและบันทึกค่า โดยมีค่าที่บันทึกคืออุณหภูมิที่วัดทั้งหมด 30 จุด, ค่าความเร็วลม, ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิภายนอก
6. ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 9.00 ถึง 16.00 น. โดยทำการบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที กับกรณีศึกษาต่างๆ ดังนี้
 - 6.1. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์
 - 6.2. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์
 - 6.3. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์
 - 6.4. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์
 - 6.5. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์
 - 6.6. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์
 - 6.7. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก
 - 6.8. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่
 - 6.9. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก
 - 6.10. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่
 - 6.11. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow กับบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.12. ทำการศึกษาการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow กับบ้าน
จำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่

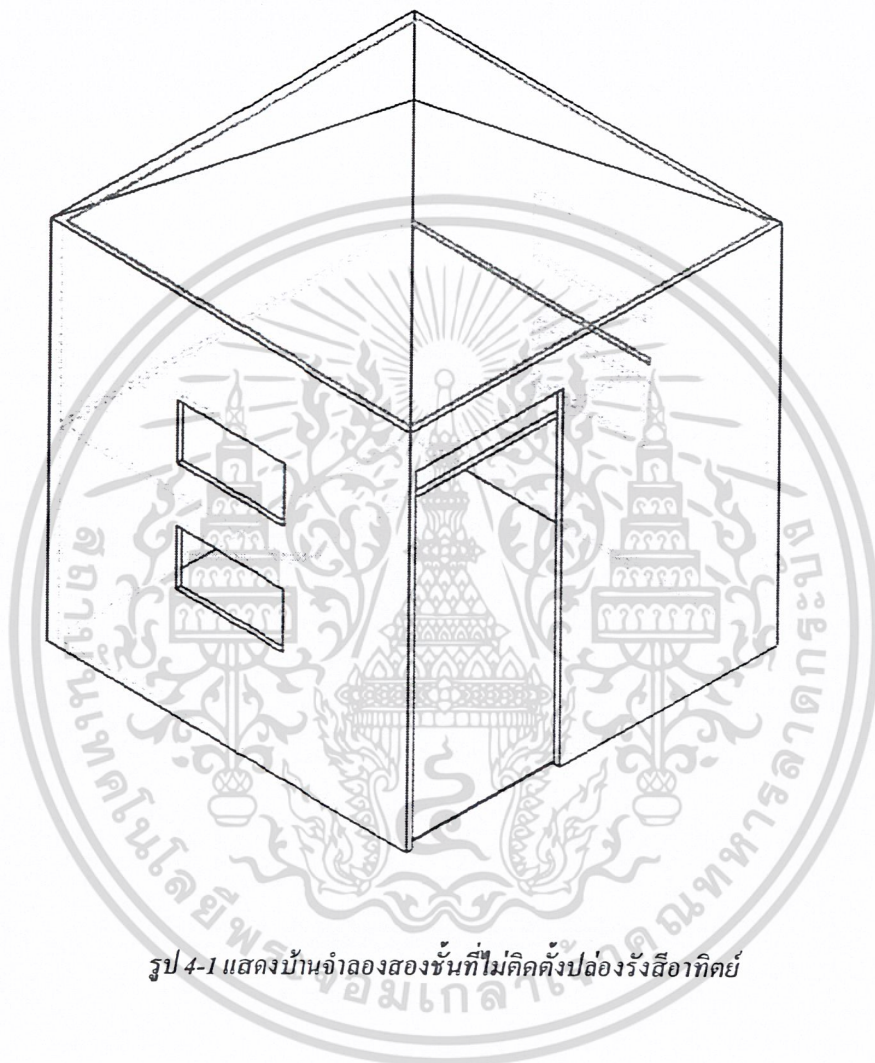
7. นำค่าที่บันทึกไปทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์
8. สรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

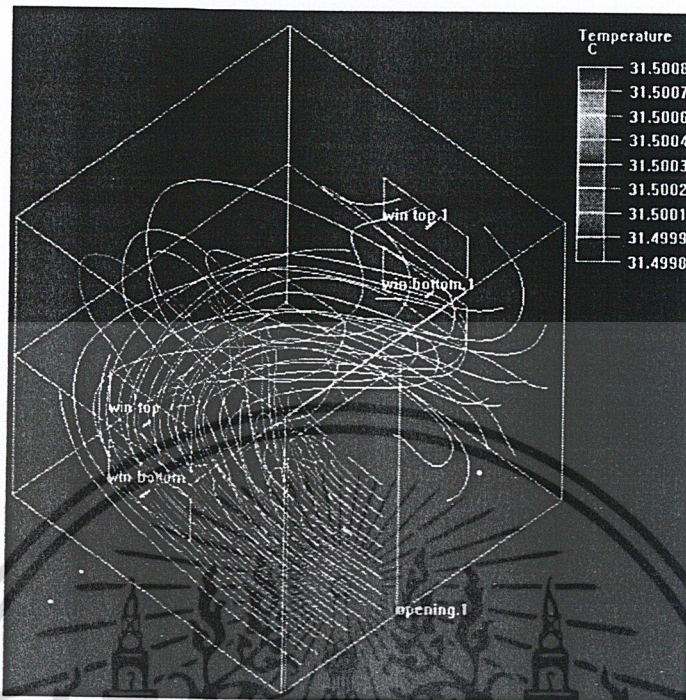
4.1 กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์



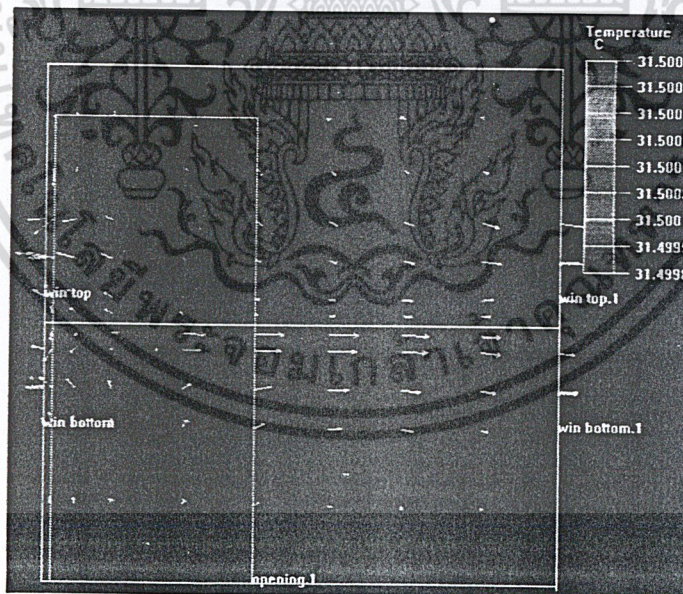
รูป 4-1 แสดงบ้านจำลองสองชั้นที่ไม่มีติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow

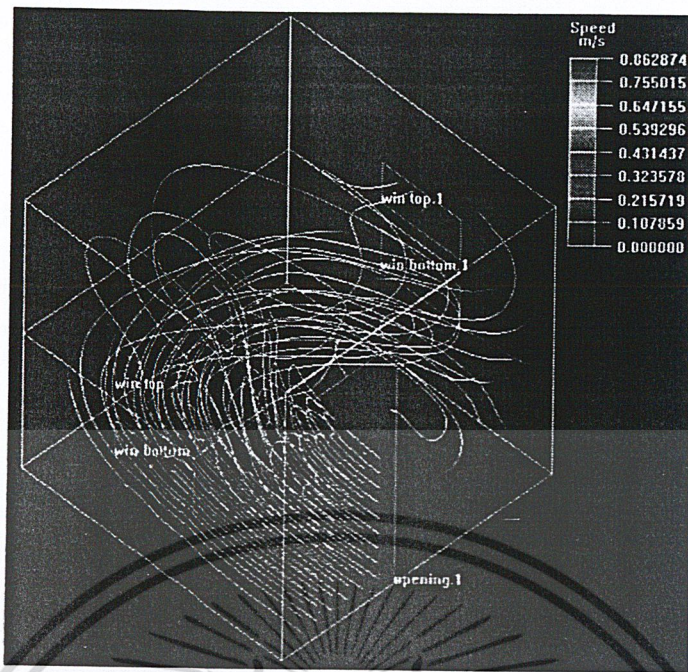


รูป 4-2 แสดงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ

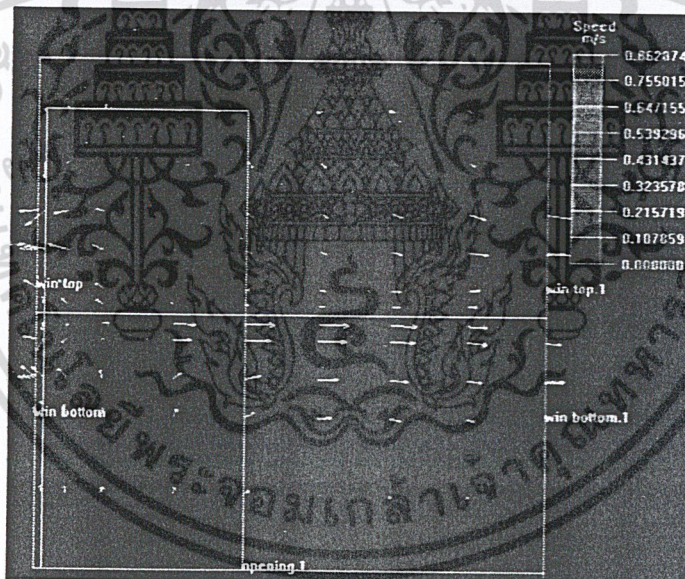


รูป 4-3 แสดงเวกเตอร์การไหลของอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



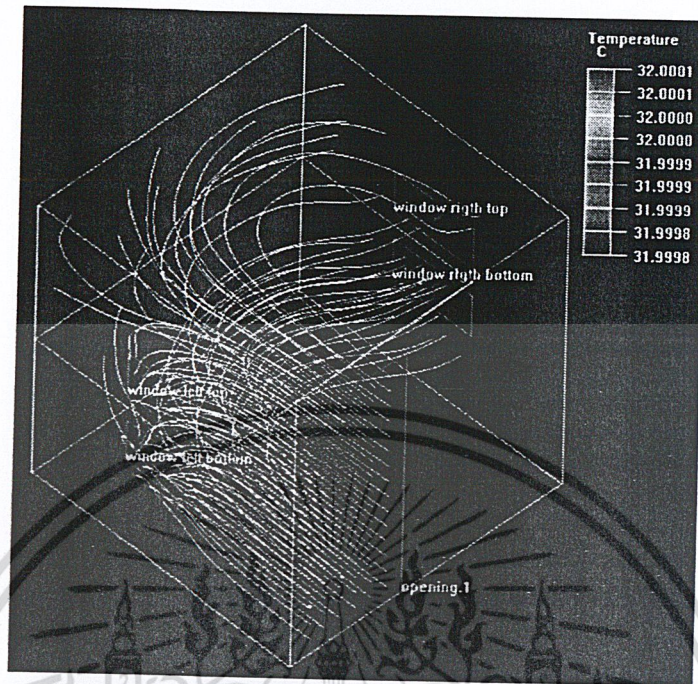
รูป 4-4 แสดงเส้นทางความเร็วการไหลของอากาศ



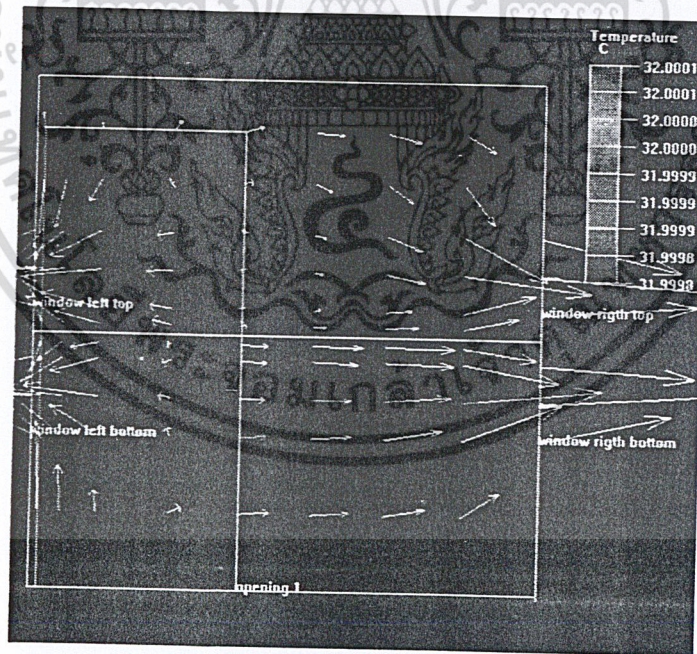
รูป 4-5 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow

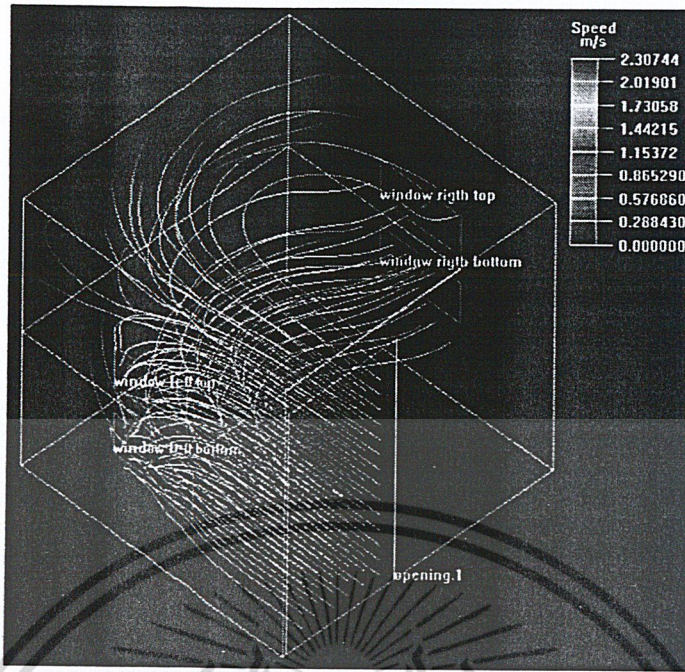


รูป 4-6 แสดงเส้นทางการอุณหภูมิการไหลของอากาศ

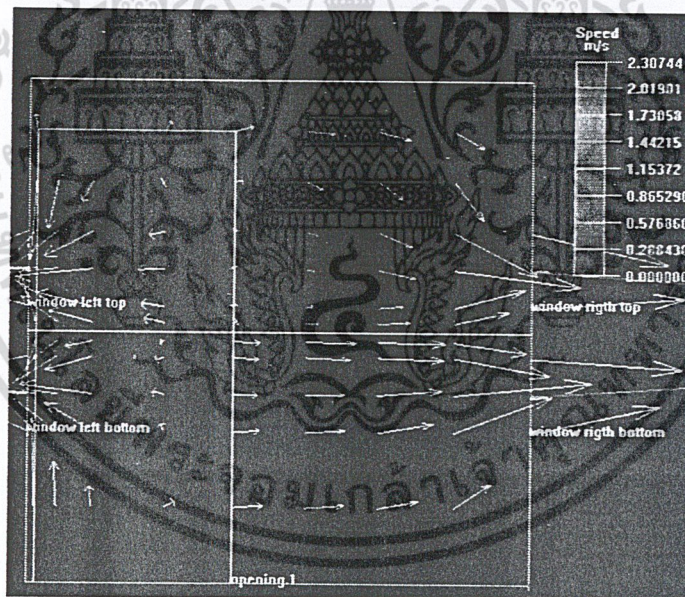


รูป 4-7 แสดงเวกเตอร์การไหลของอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



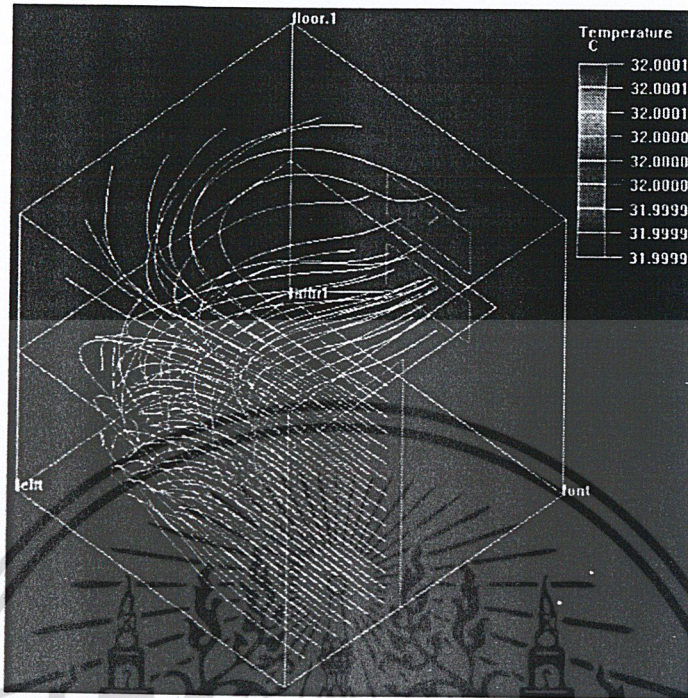
รูป 4-8 แสดงเส้นทางความเร็วการไหลของอากาศ



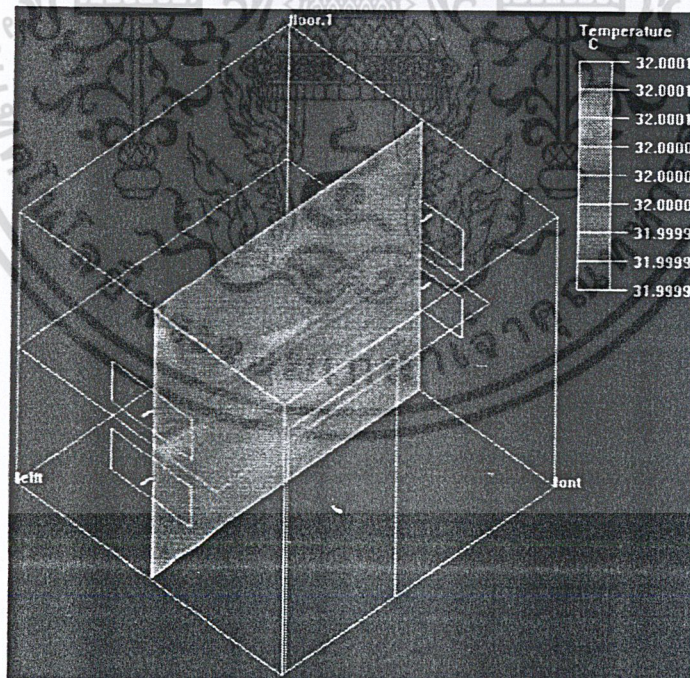
รูป 4-9 แสดงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow

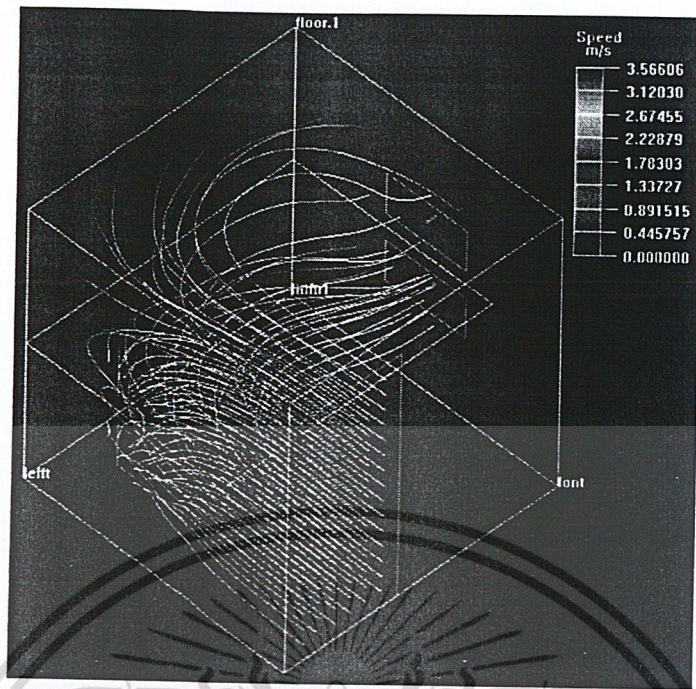


รูป 4-10 แสดงเส้นทางการไหลของอากาศ

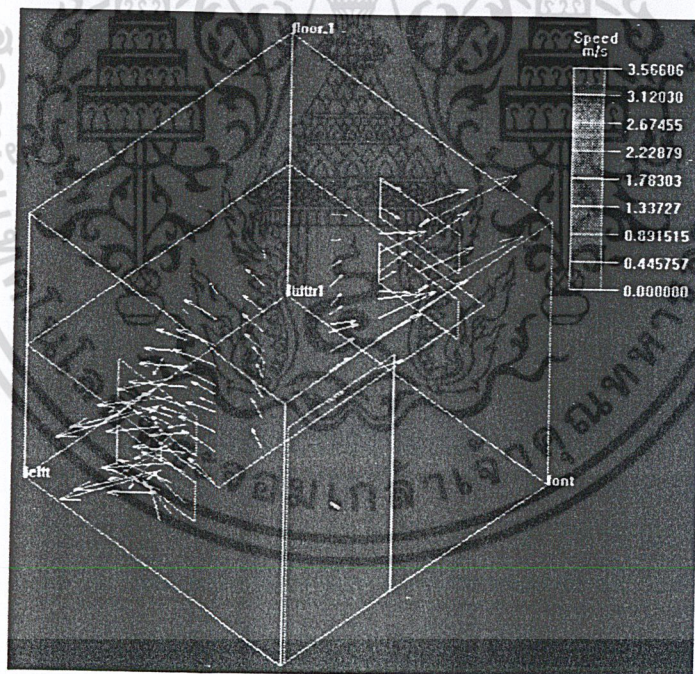


รูป 4-11 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



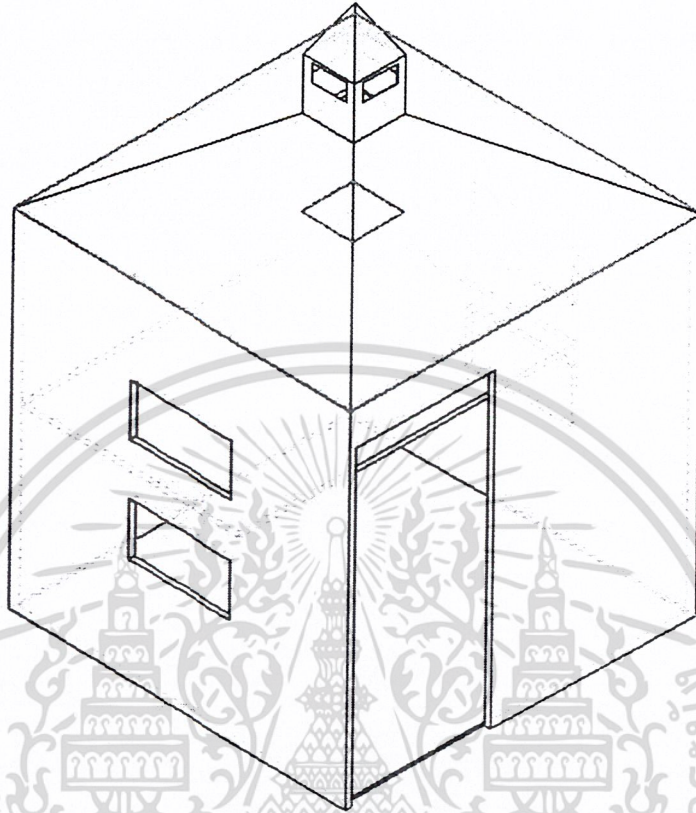
รูป 4-12 แสดงเส้นทางความเร็วการไหลของอากาศ



รูป 4-13 แสดงถึงเวกเตอร์การไหลของอากาศใน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

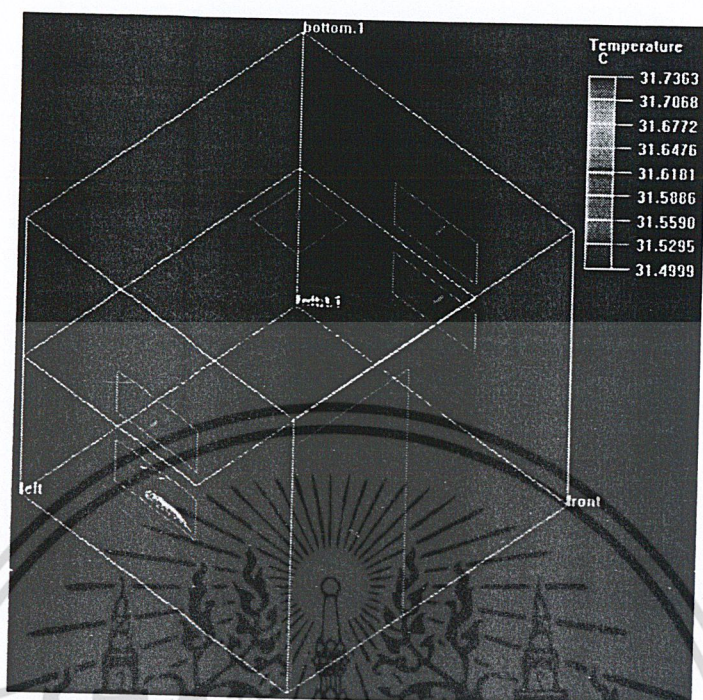
4.2 กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์



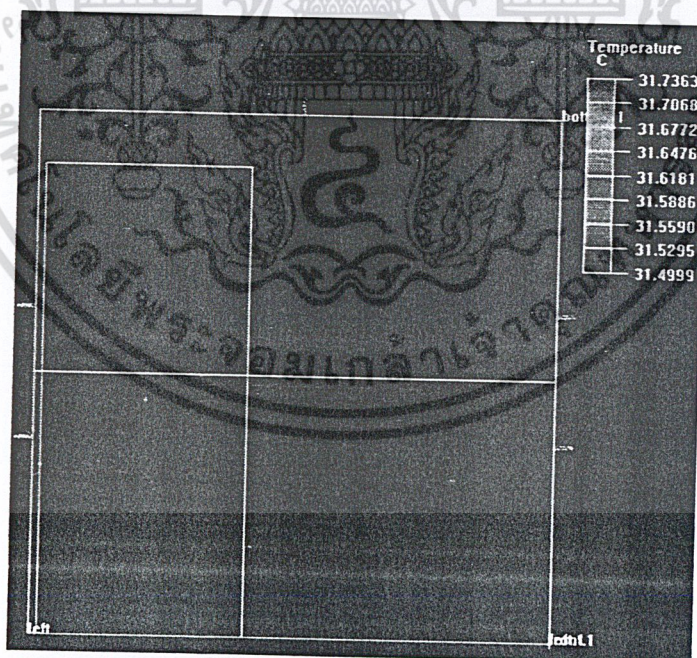
รูป 4-14 แสดงบ้านจำลองสองชั้นที่มีติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow

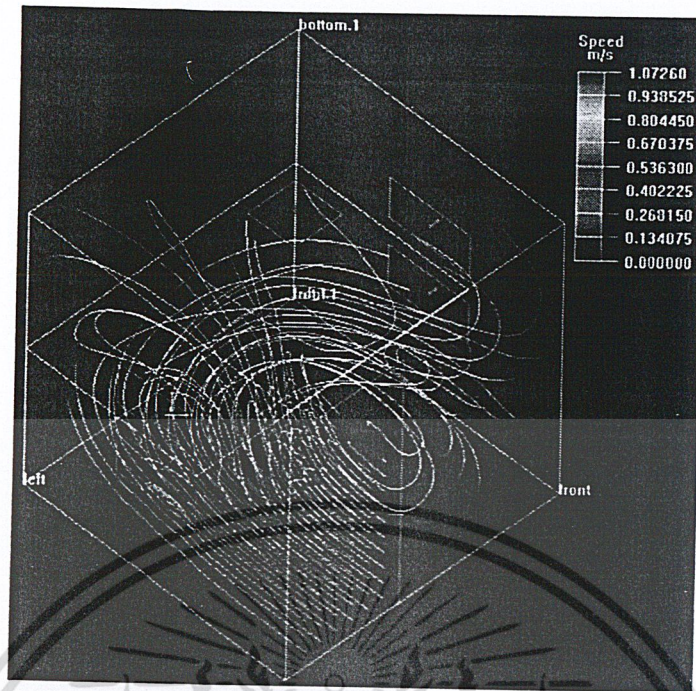


รูป 4-15 แสดงถึงเส้นทางการไหลอุณหภูมิของอากาศ

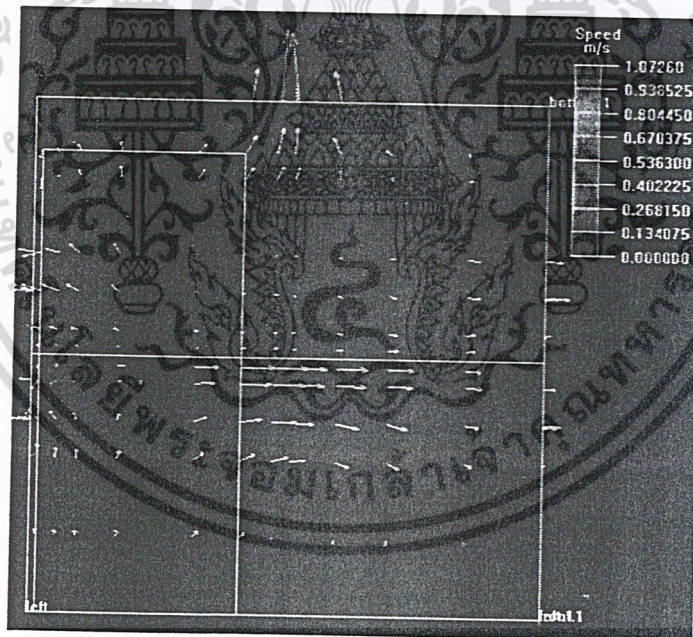


รูป 4-16 แสดงถึงเวกเตอร์อุณหภูมิการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



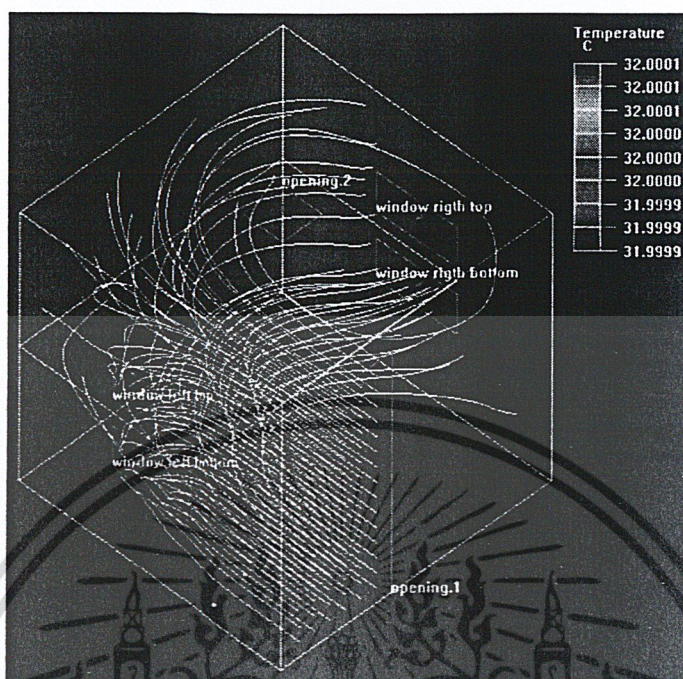
รูป 4-17 แสดงถึงเส้นทางการไหลของความเร็วอากาศ



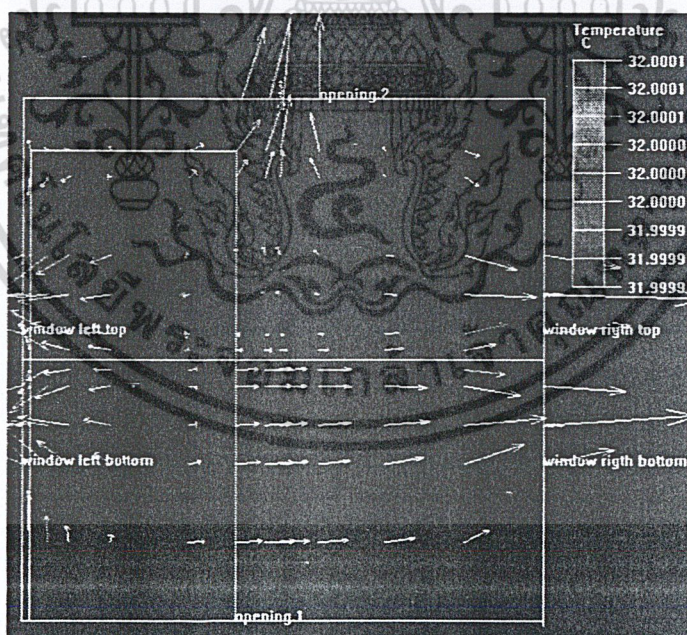
รูป 4-18 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow

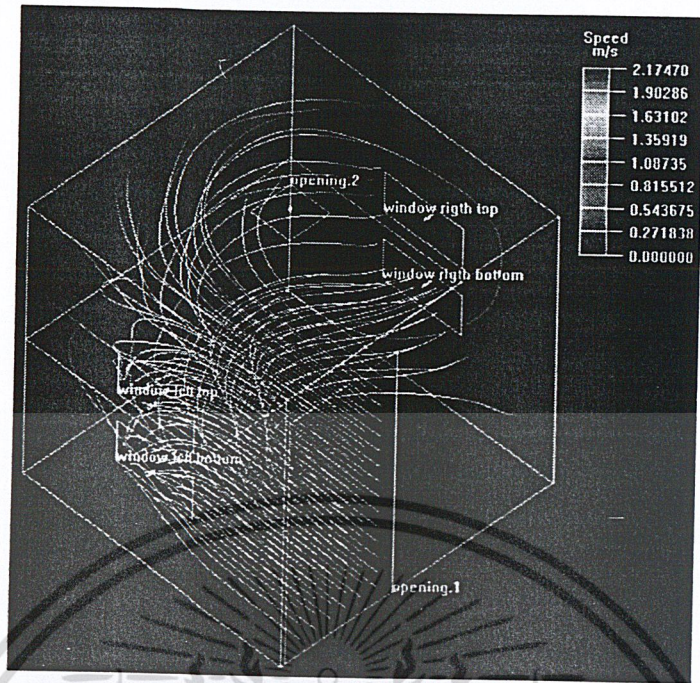


รูป 4-19 แสดงถึงเส้นทางการไหลอุณหภูมิของอากาศ

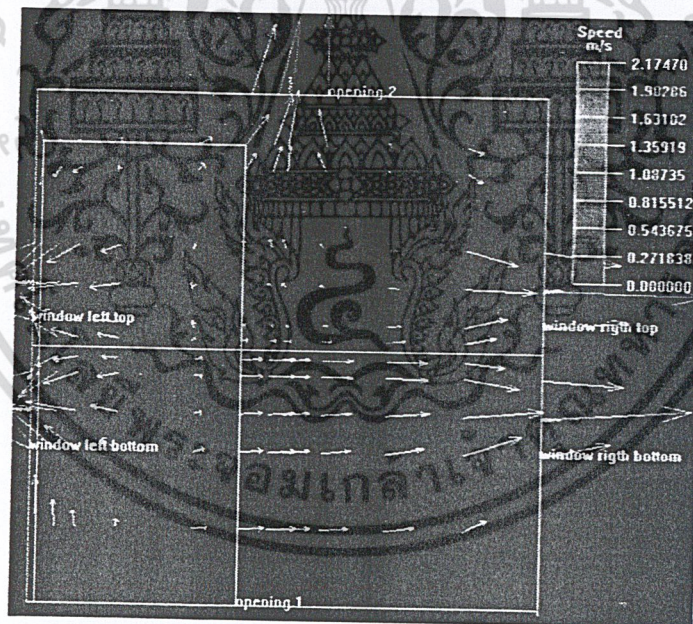


รูป 4-20 แสดงถึงเวกเตอร์อุณหภูมิการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



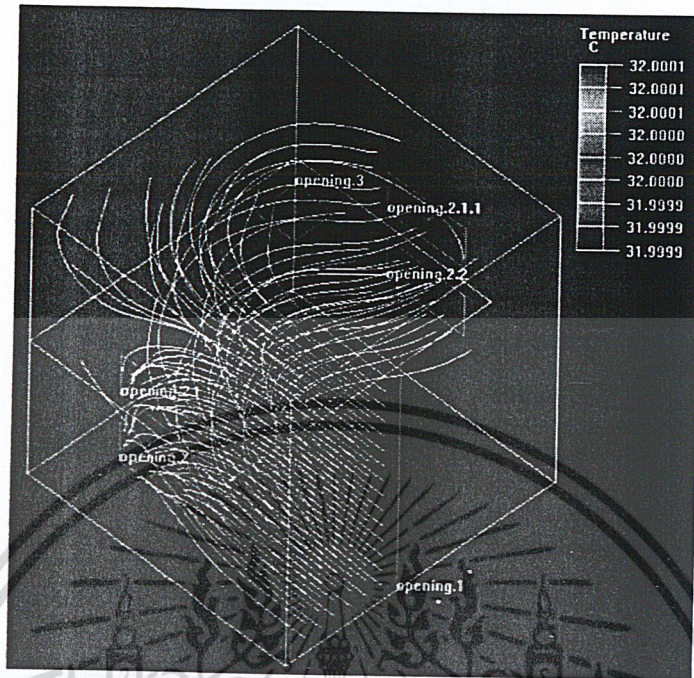
รูป 4-21 แสดงถึงเส้นทางการไหลของความเร็วอากาศ



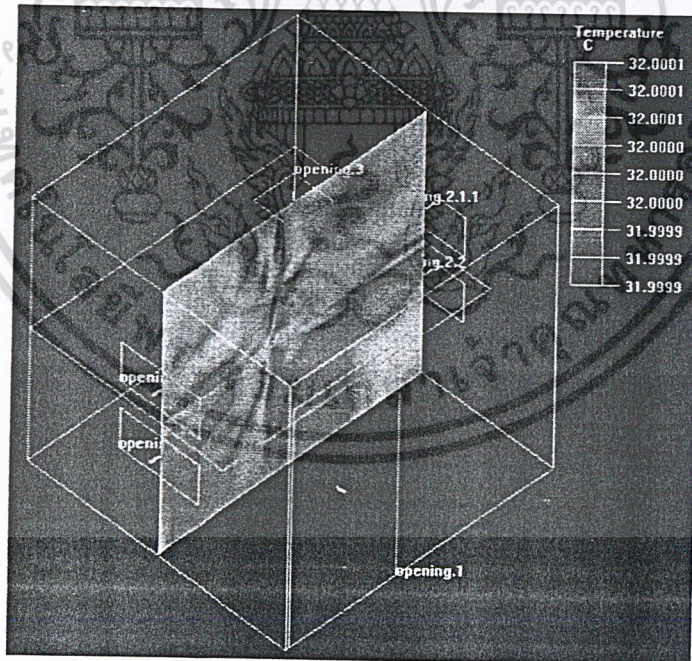
รูป 4-22 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow

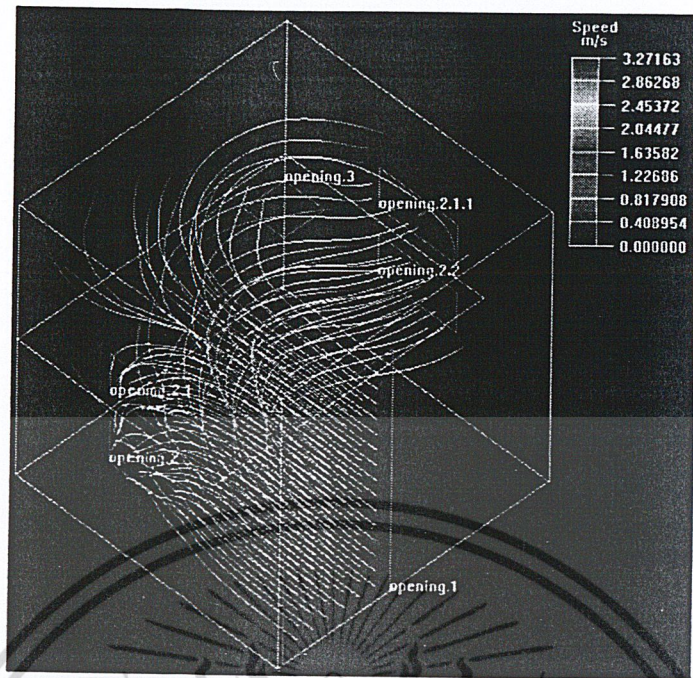


รูป 4-23 แสดงถึงเส้นทางการไหลอุณหภูมิของอากาศ

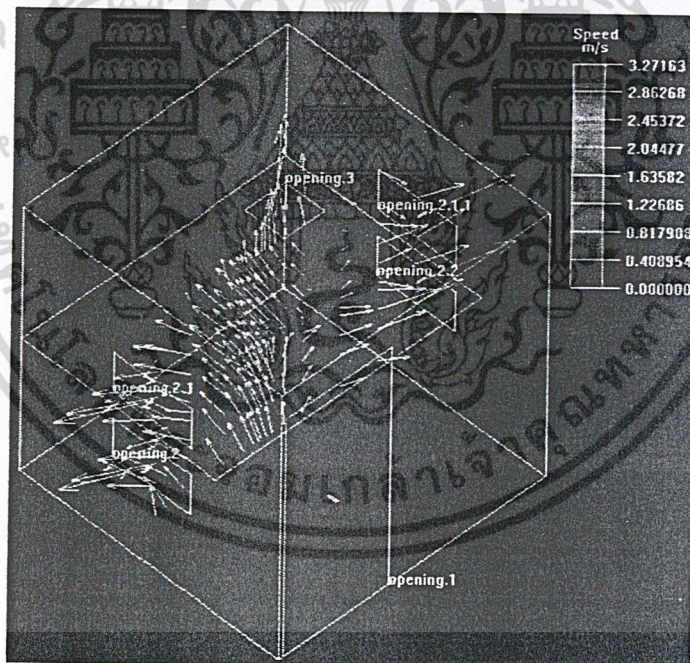


รูป 4-24 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



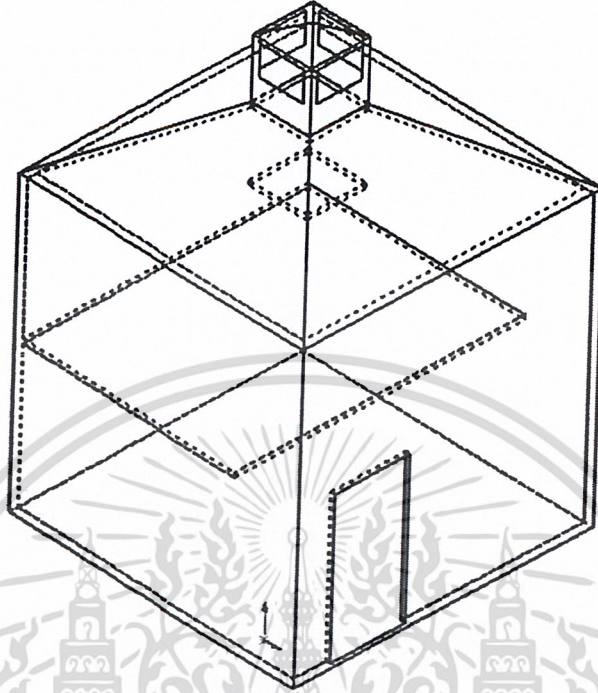
รูป 4-25 แสดงถึงเส้นทางการไหลของความเร็วอากาศ



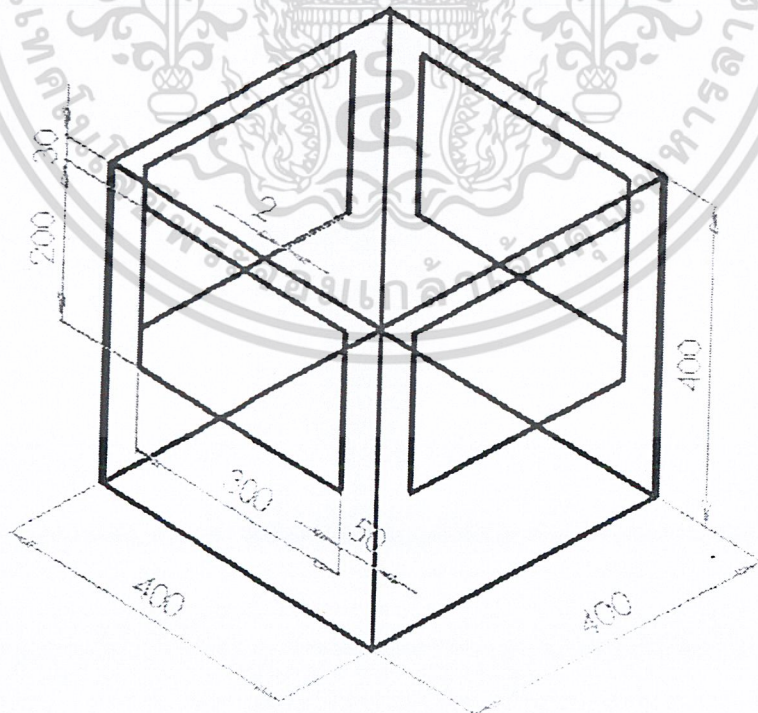
รูป 4-26 แสดงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่



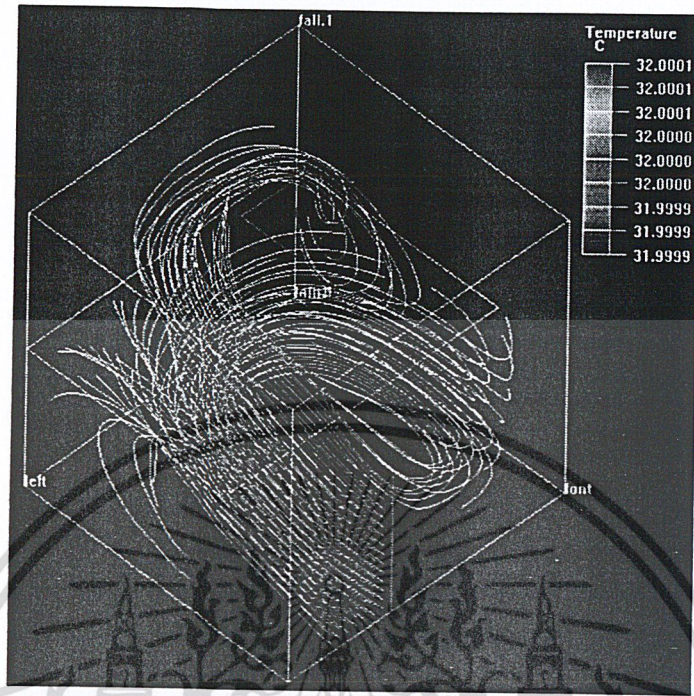
รูป 4-27 แสดงบ้านจำลองสองชั้นที่มีการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่



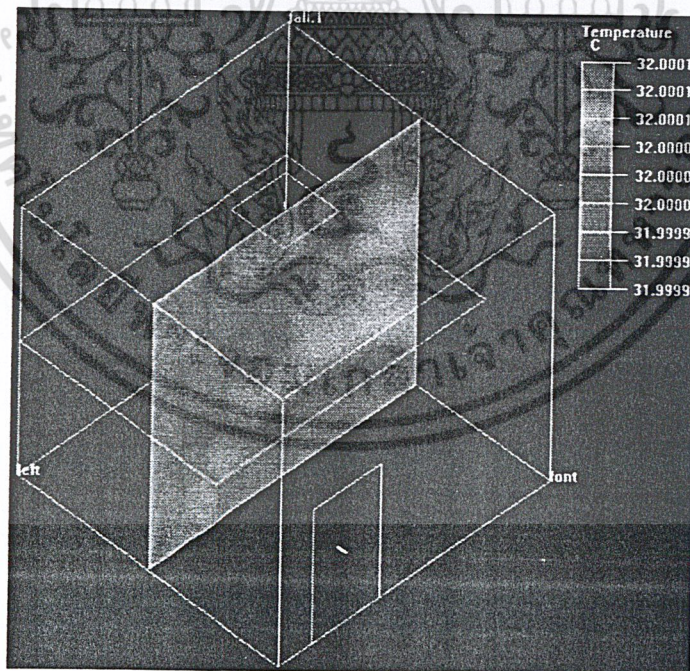
รูป 4-28 แสดงถึงขนาดของปล่องรังสีอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow

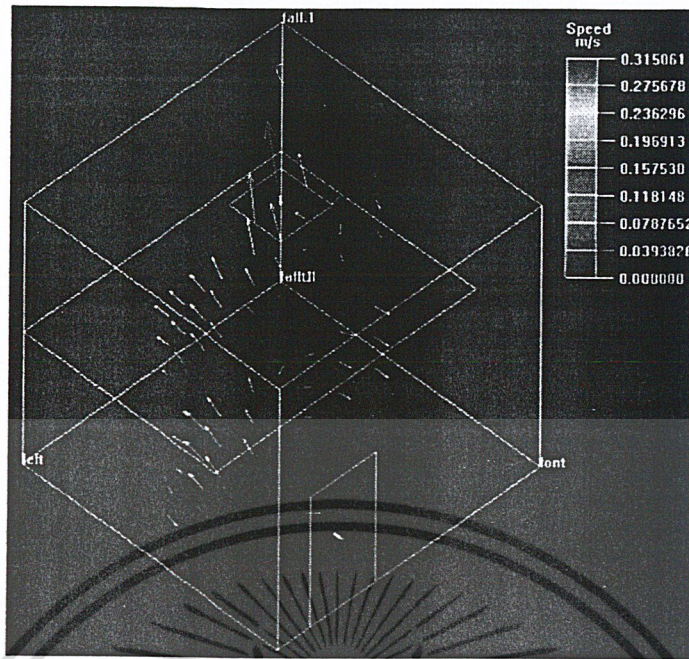


รูป 4-29 แสดงถึงเส้นทางอนุกรมการไหลของอนุกรมอากาศ

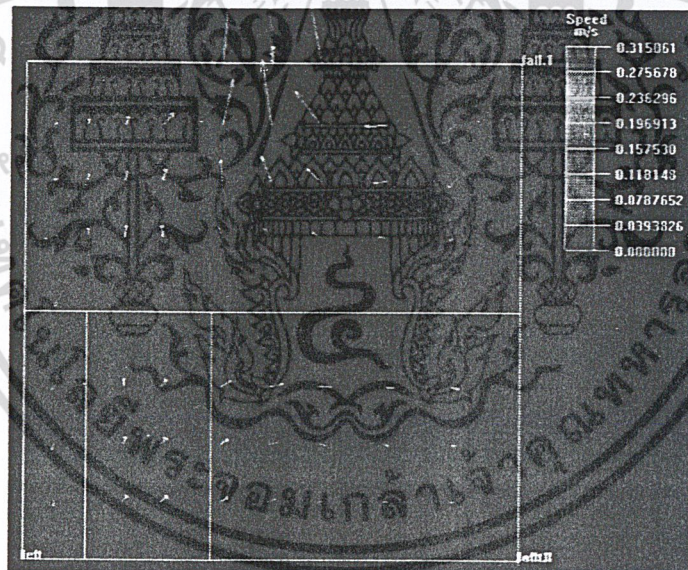


รูป 4-30 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



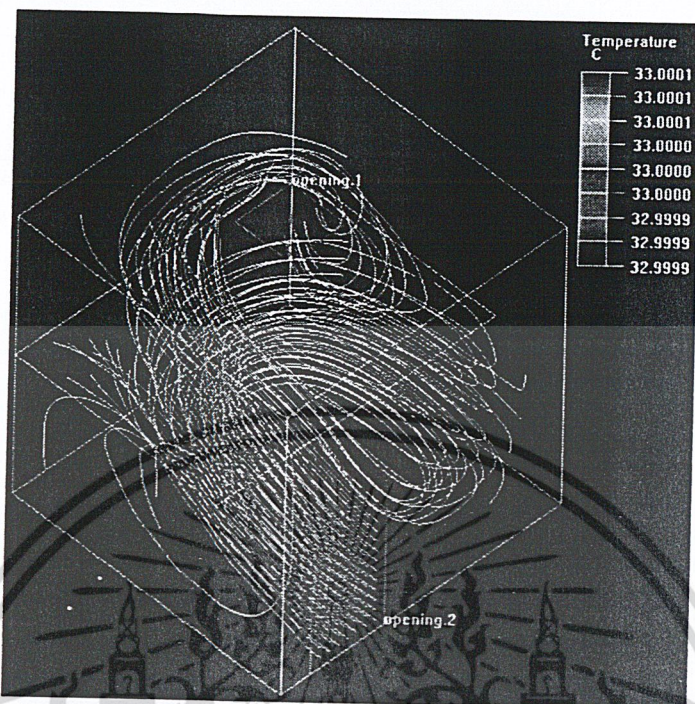
รูป 4-31 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ



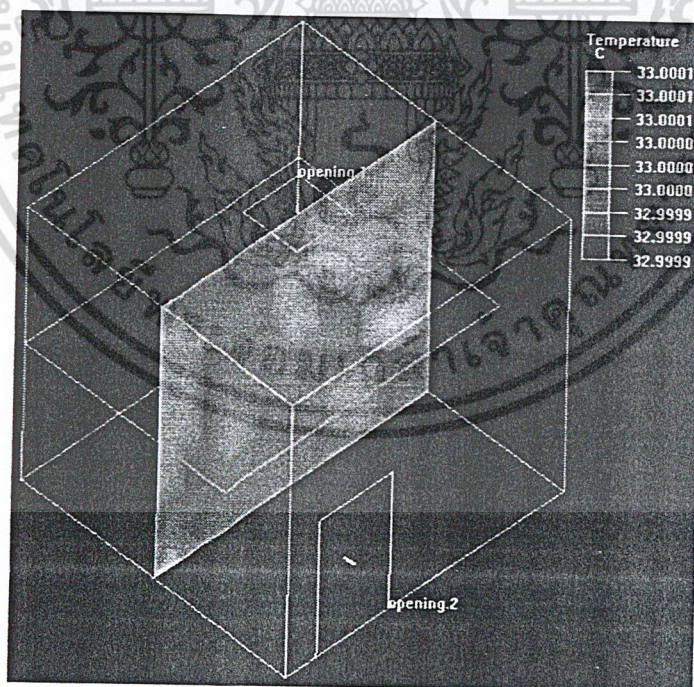
รูป 4-32 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow

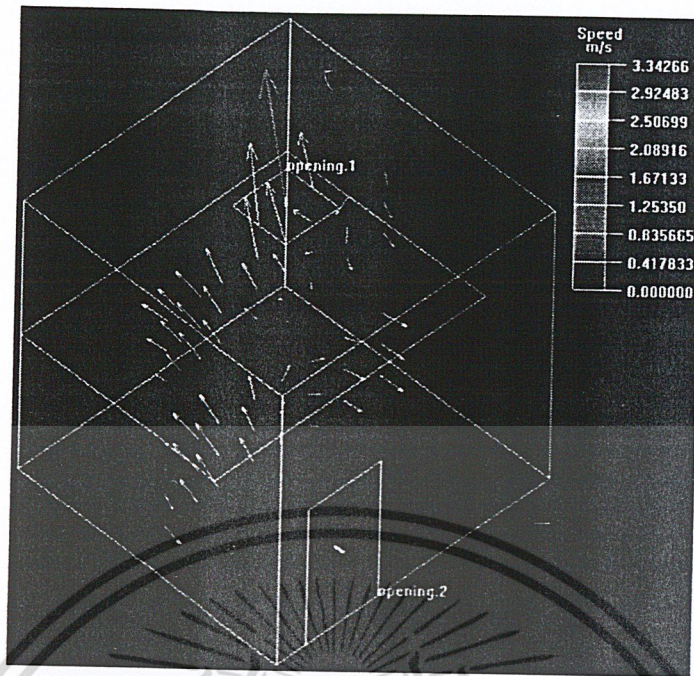


รูป 4-33 แสดงถึงเส้นทางการไหลของอากาศ

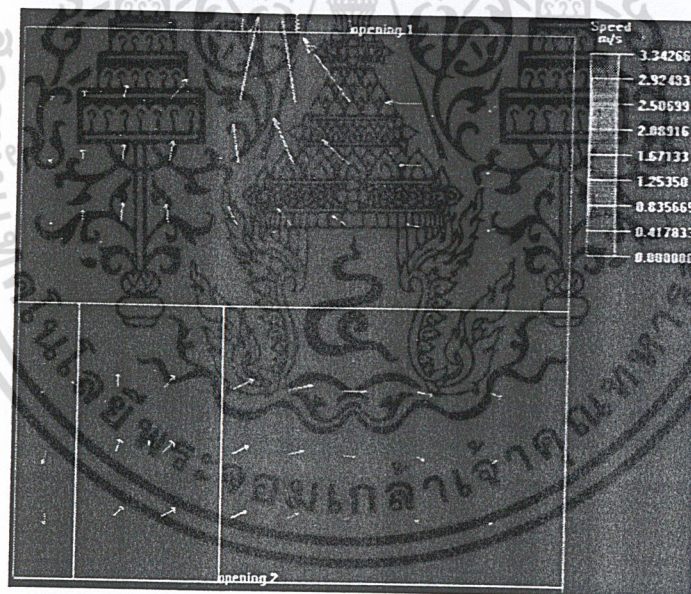


รูป 4-34 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



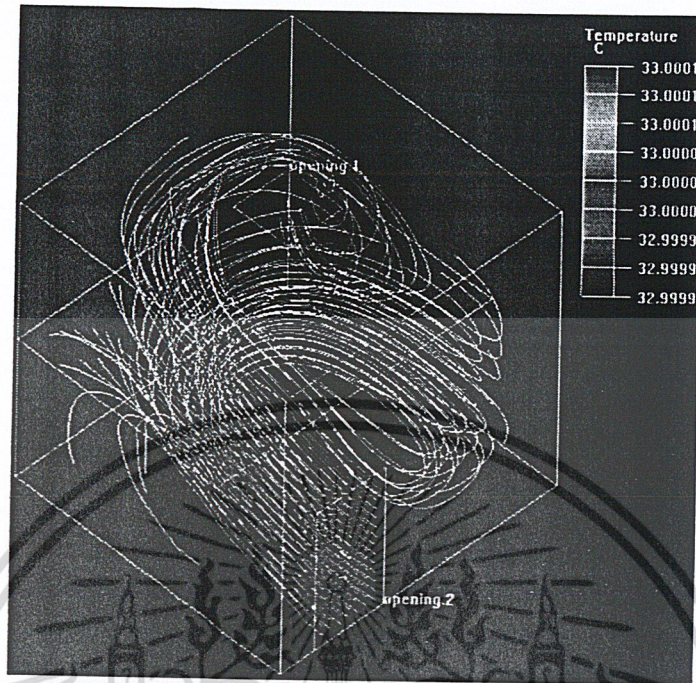
รูป 4-35 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ



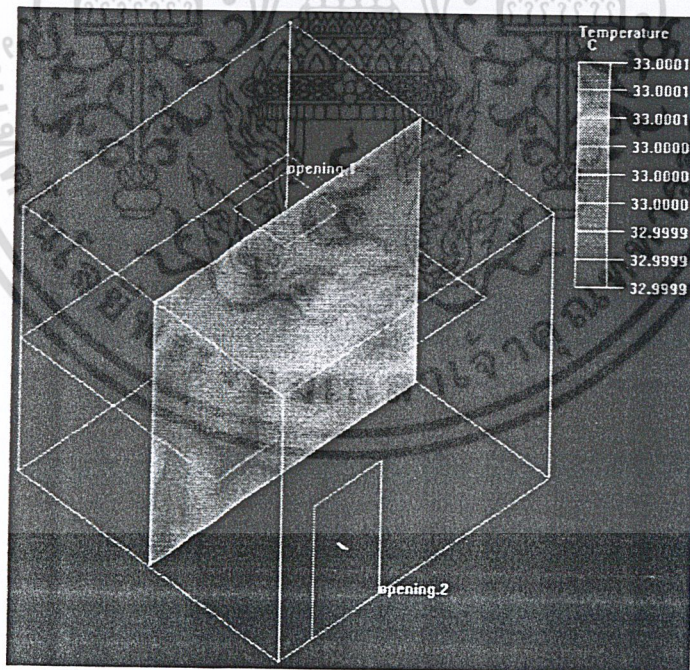
รูป 4-36 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow

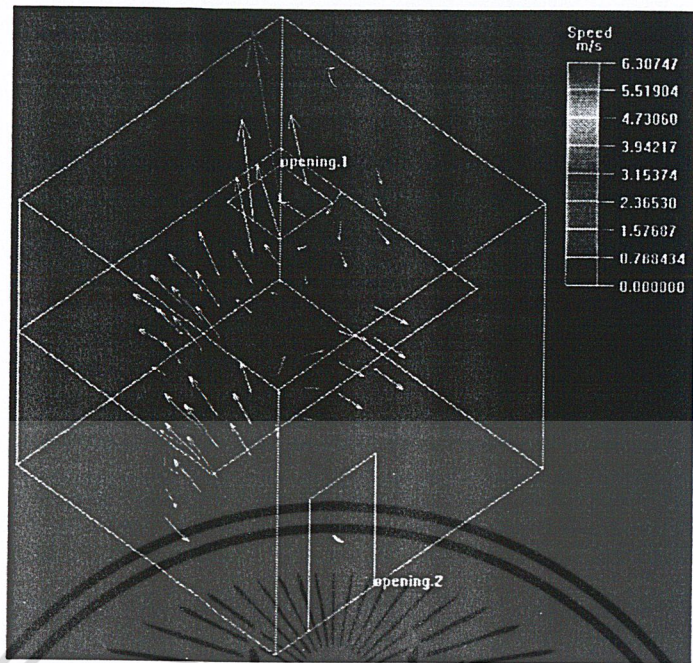


รูป 4-37 แสดงถึงเส้นทางการไหลของอากาศ

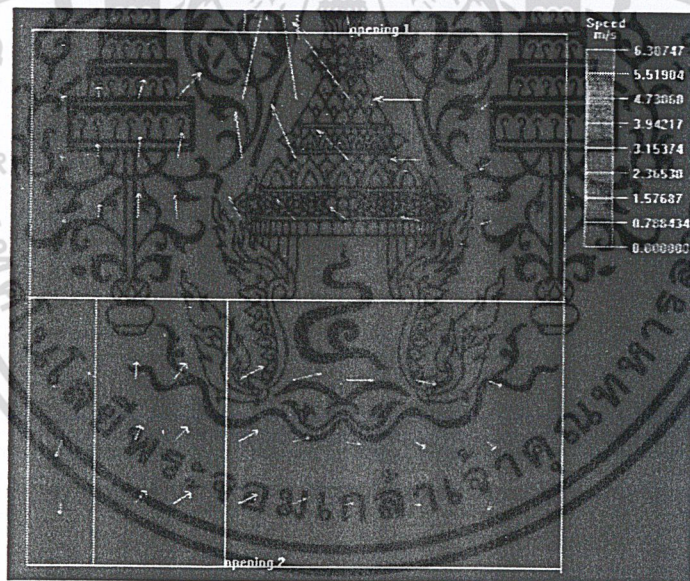


รูป 4-38 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



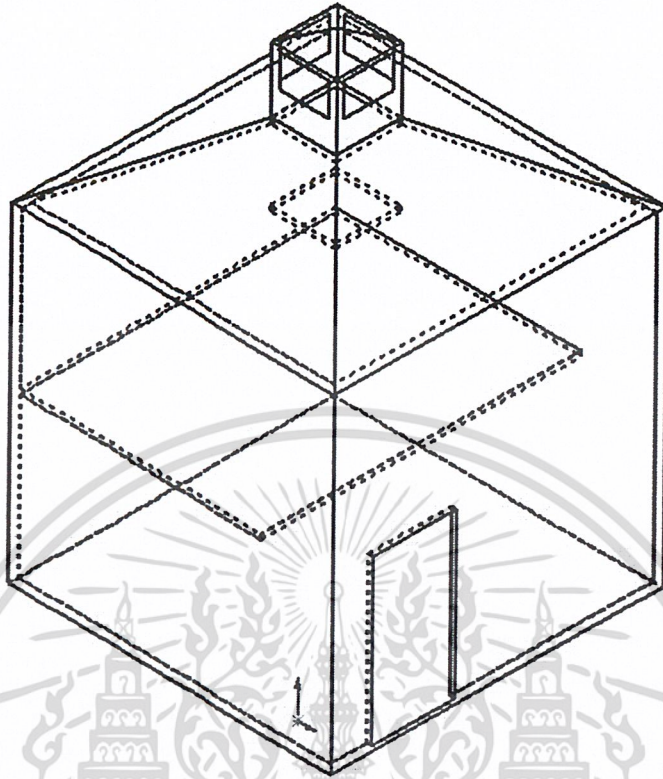
รูป 4-39 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ



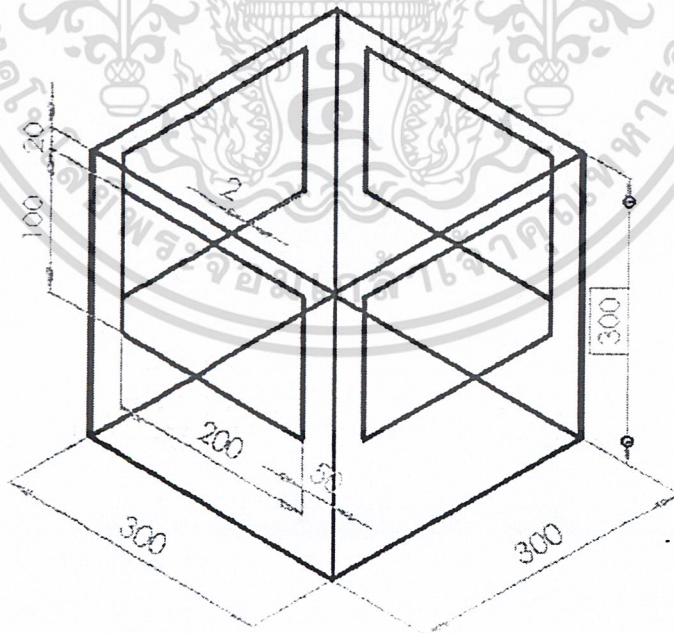
รูป 4-40 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กรณีบ้านจำลองสองชั้นที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก



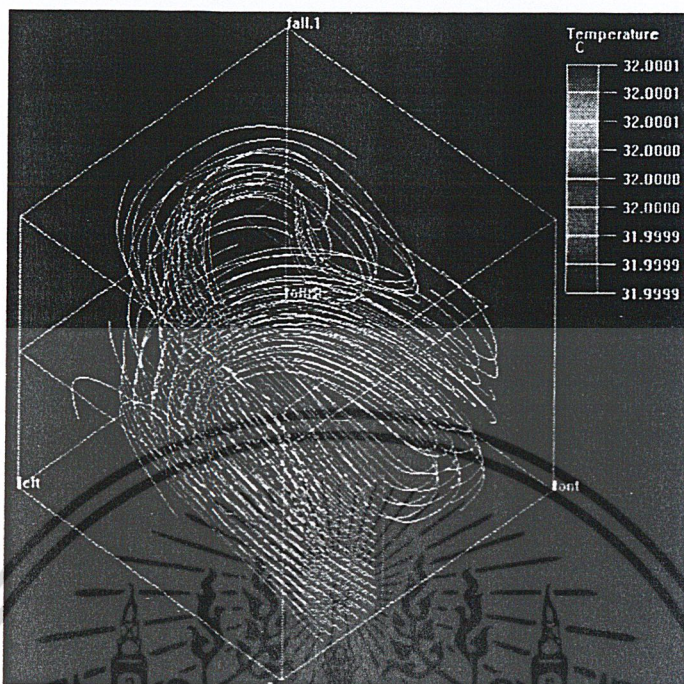
รูป 4-41 แสดงถึงบ้านจำลองสองชั้นที่ติดตั้งปล่องรังสีขนาดเล็ก



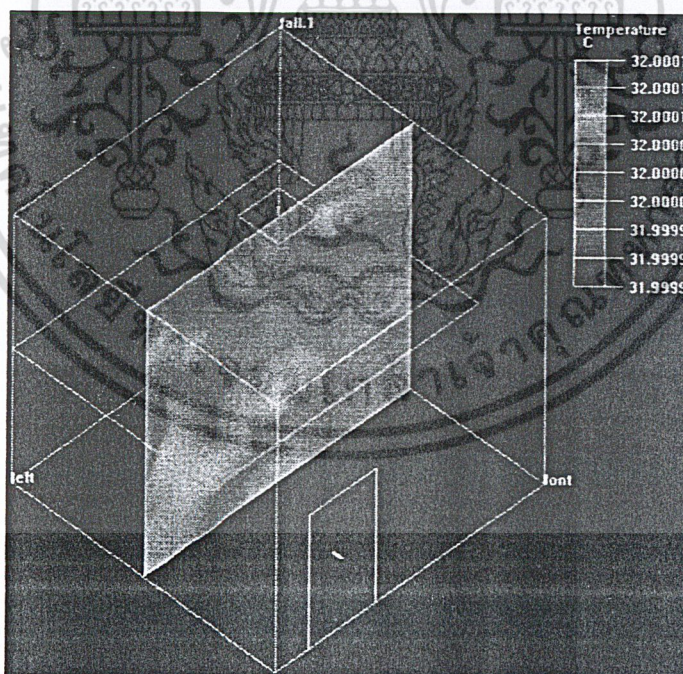
รูป 4-42 แสดงถึงขนาดของปล่องรังสีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 กรณีการไหลของอากาศแบบ Natural Convection Flow

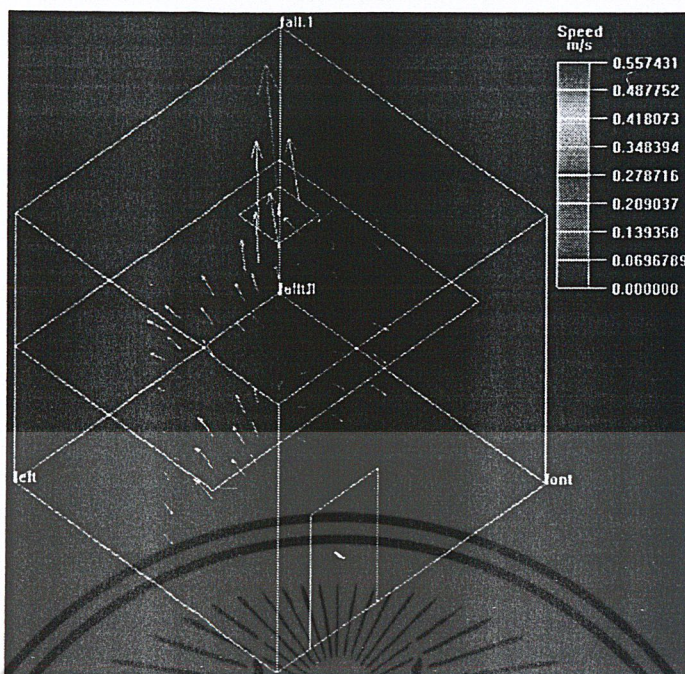


รูป 4-43 แสดงถึงเส้นทางอุณหภูมิการไหลของอากาศ

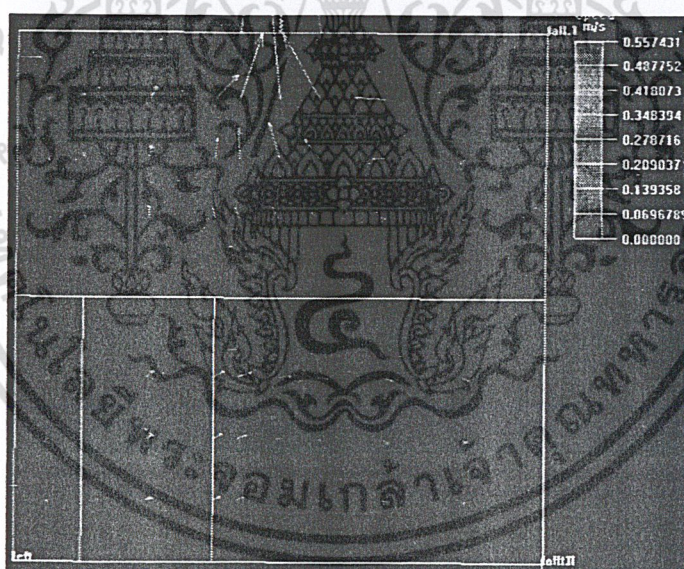


รูป 4-44 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



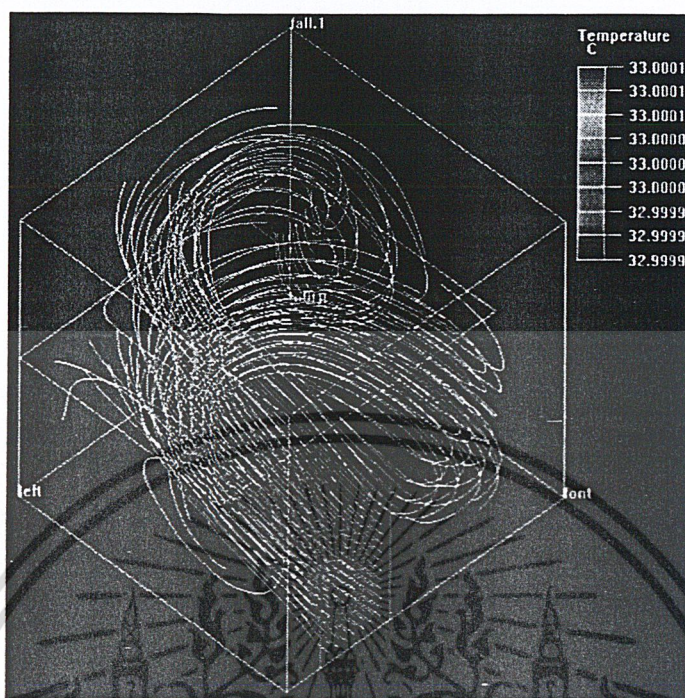
รูป 4-45 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ



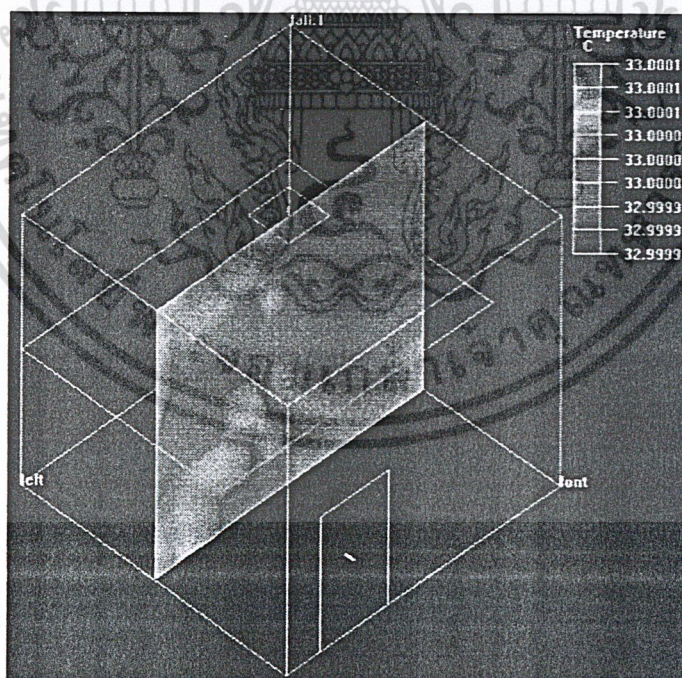
รูป 4-46 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 กรณีการไหลของอากาศแบบ Mixed Convection Flow

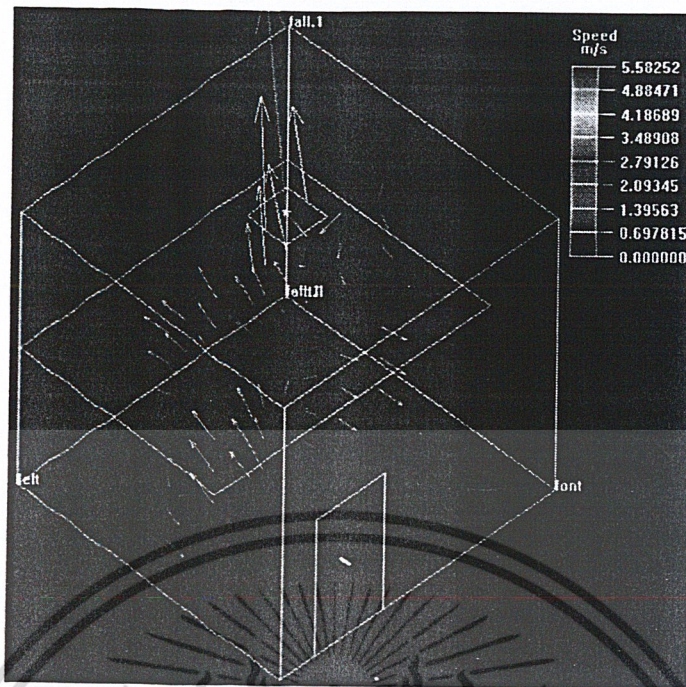


รูป 4-47 แสดงถึงเส้นทางการไหลของอากาศ

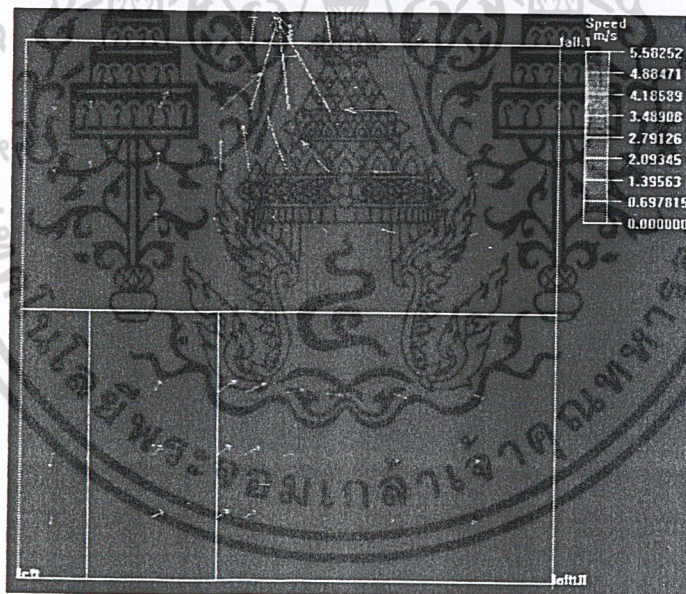


รูป 4-48 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



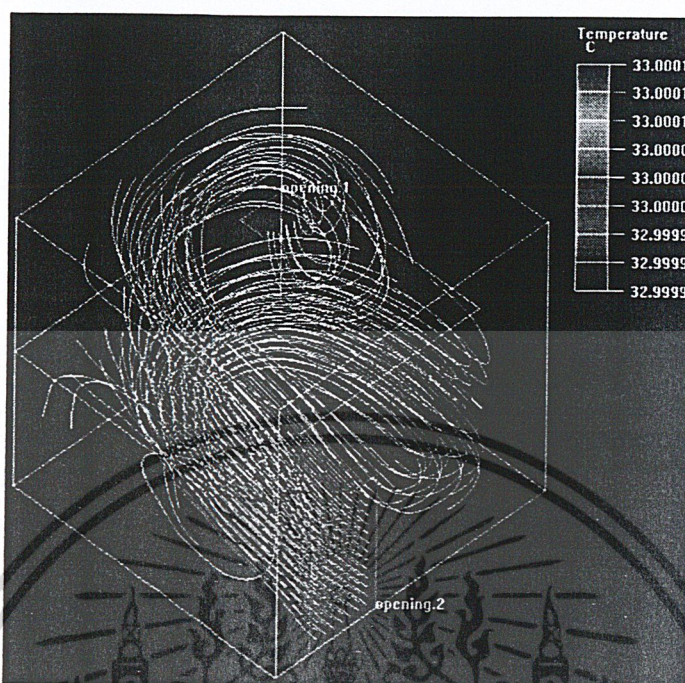
รูป 4-49 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ



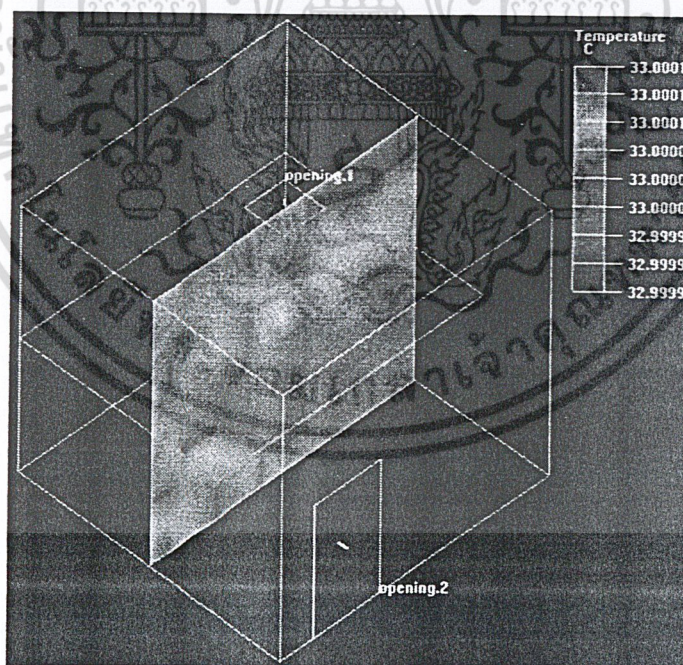
รูป 4-50 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 กรณีการไหลของอากาศแบบ Forced Convection Flow

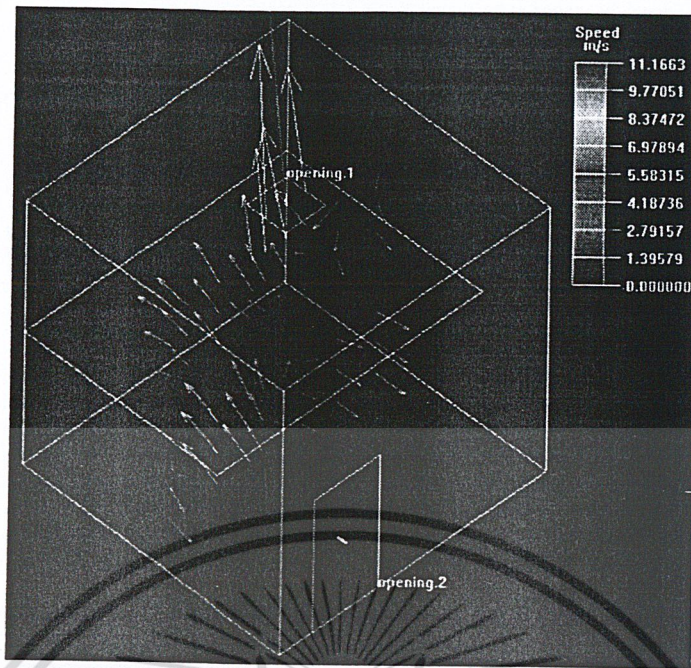


รูป 4-51 แสดงถึงเส้นทางการไหลของอากาศ

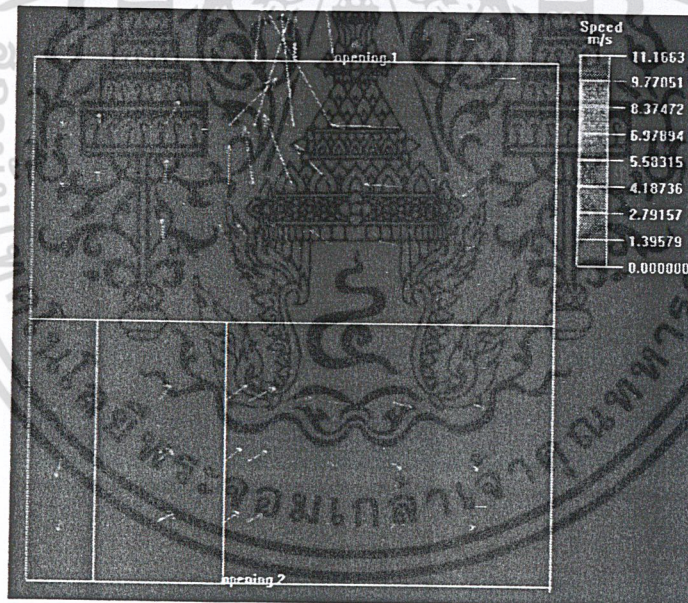


รูป 4-52 แสดงถึงระนาบอุณหภูมิของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



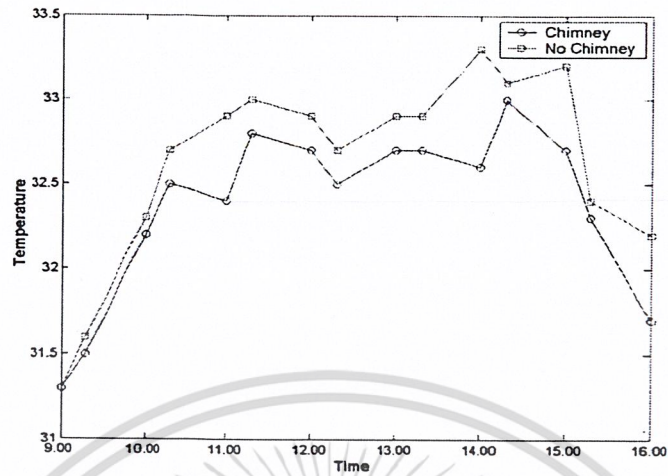
รูป 4-53 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศใน 3 มิติ



รูป 4-54 แสดงถึงเวกเตอร์ความเร็วการไหลของอากาศ

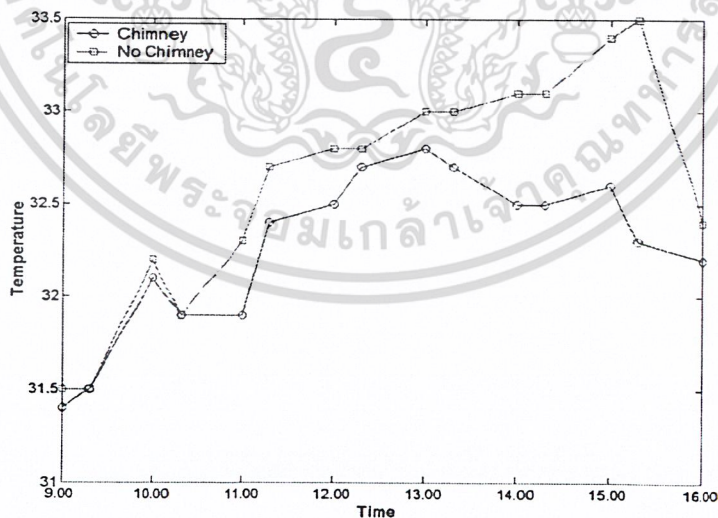
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของบ้านในแต่ละกรณี



รูป 4-55 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์แบบ *Natural Convection flow*

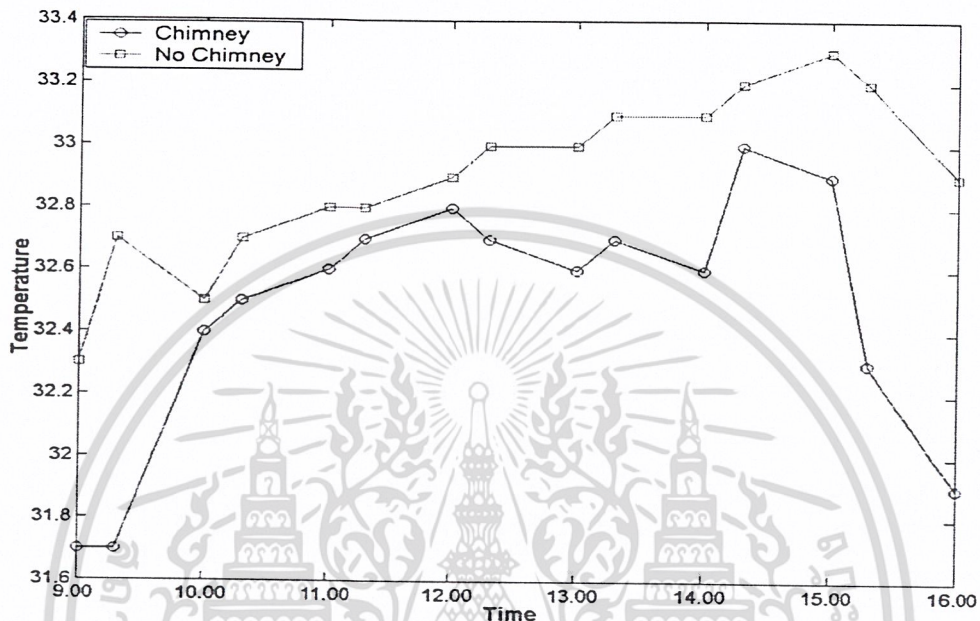
แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านบนของห้องที่ติดตั้งรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ติดตั้งรังสีอาทิตย์ พบว่าห้องที่ติดตั้งรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ไม่ติดตั้งรังสีอาทิตย์ลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นตามเวลาอันเนื่องมาจากความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น และความแตกต่างของอุณหภูมิลดลงเมื่อเวลา 14.00 น. เพราะความเข้มแสงลดลง



รูป 4-56 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านบนของตัวบ้านแบบ *Natural Convection Flow*

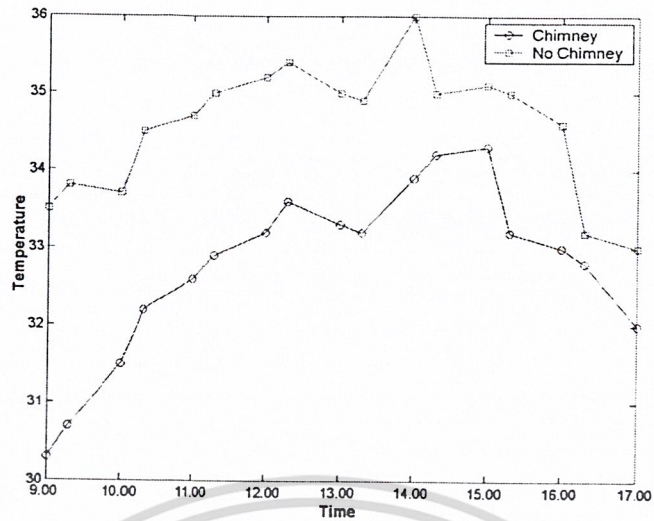
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกนั้นอุณหภูมิจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากเพราะในช่วงแรกนั้นค่าความเข้มแสงยังไม่สูงมากนักและกราฟจะมีแนวโน้มค่อยๆสูงขึ้นเนื่องจากค่าความเข้มแสงที่มีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะมีค่าแตกต่างกันสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 น. หลังจากนั้นกราฟก็จะค่อยๆลดลงเนื่องจากความเข้มแสงที่ลดลง



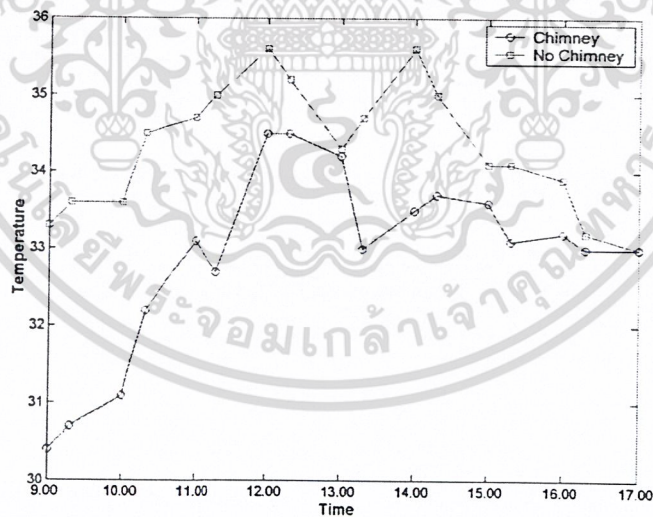
รูป 4-57 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านล่างของตัวบ้านแบบ Natural Convection Flow

เป็นการเปรียบเทียบอุณหภูมิด้านล่างของห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์และที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ จะพบว่ากราฟมีลักษณะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึง 15.00 น. เส้นกราฟจะเริ่มลดลงเนื่องมาจากความเข้มของแสงลดลง โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากกราฟ พบว่ามีค่าต่างกันพอสมควรและห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำกว่าแสดงให้เห็นว่าห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์มีการระบายอากาศร้อนออกได้ดีจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่า



รูป 4-58 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์แบบ *Mixed Convection flow*

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในกราฟทั้งสองนั้นจะมีแนวโน้มที่มีการสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และในช่วงแรกๆ อุณหภูมิจะมีค่าแตกต่างกันพอสมควร และในหลังที่มีปล่องรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหลังที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิที่แตกต่างกันสูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส

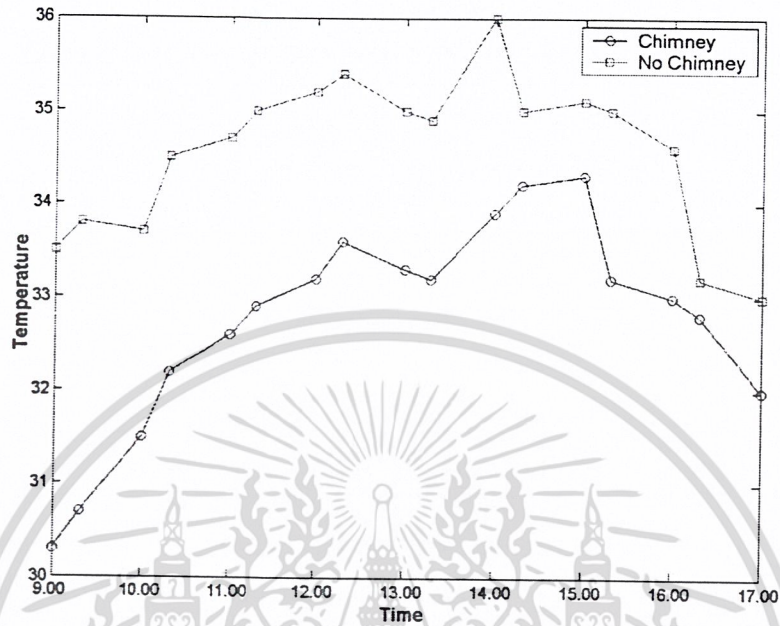


รูป 4-59 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านบนของตัวบ้านแบบ *Mixed Convection Flow*

แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ พบว่าห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้น

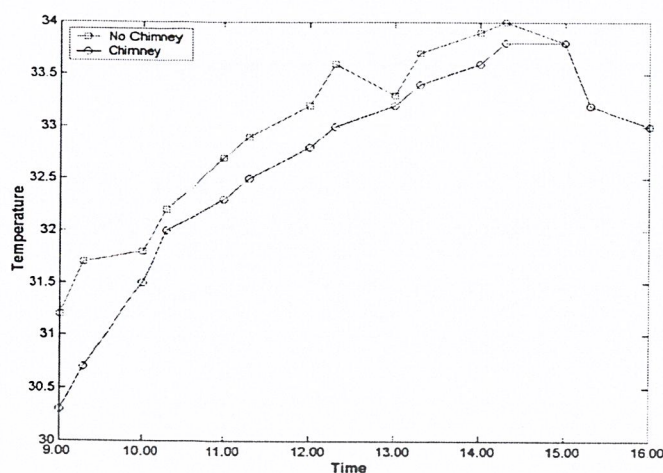
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเวลาอันเนื่องมาจากความเข้มของแสง จนถึงเวลา 14.00 น. อุณหภูมิจะคงที่และเริ่มลดลง ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันพอสมควร(ประมาณ 2 องศาเซลเซียส)



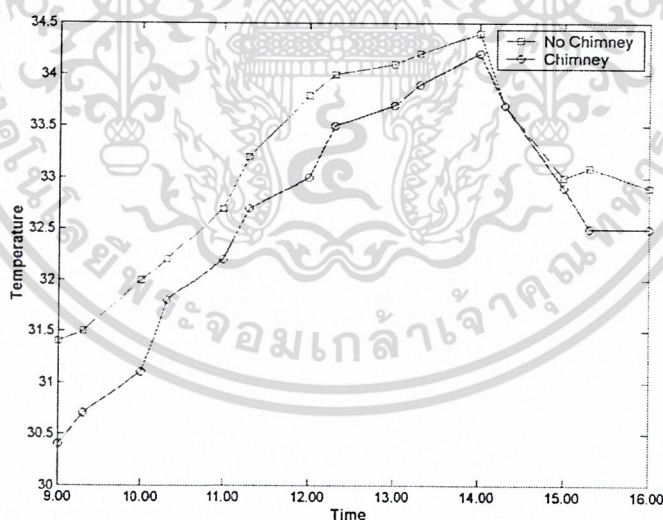
รูป 4-60 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านล่างของตัวบ้านแบบ *Mixed Convection Flow*

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในกราฟทั้งสองนั้นจะมีแนวโน้มที่มีการสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้นและความเข้มของแสง และในช่วงแรกๆ อุณหภูมิจะมีค่าแตกต่างกันพอสมควร และในหลังที่มีปล่องรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหลังที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิที่แตกต่างกันอยู่ที่ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิ สูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส



รูป 4-61 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์แบบ *Forced Convection flow*

จากกราฟการทดลองจะเห็นได้ว่าในกราฟจะมีอุณหภูมิต่ำในช่วงแรกๆ และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามช่วงเวลาและค่าความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น และจนถึงเวลาประมาณ 14.30 น. อุณหภูมิจะขึ้นถึงจุดสูงสุด และจากกราฟจะพบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีค่าประมาณที่ 1 องศาเซลเซียส จะพบได้ว่าบ้านจำลองที่มีปล่องรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า

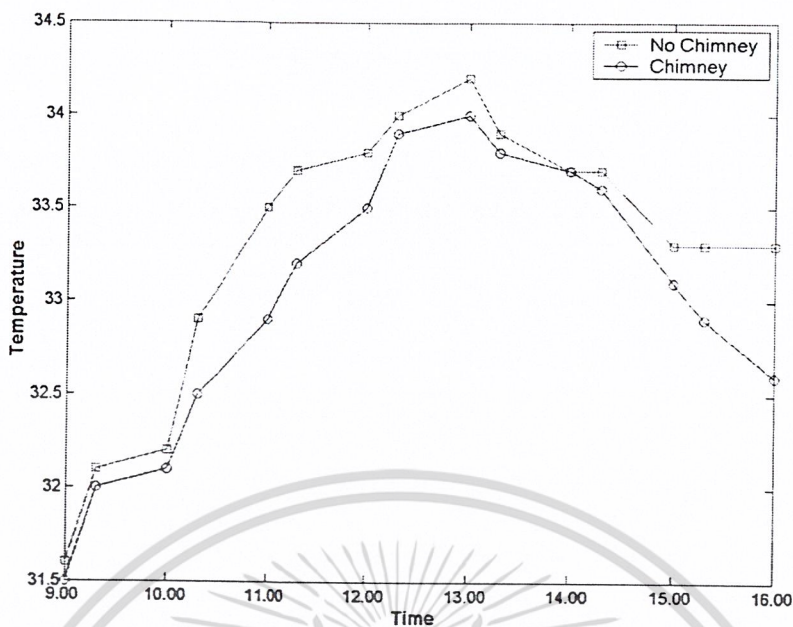


รูป 4-62 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านบนของตัวบ้านแบบ *Forced Convection Flow*

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องที่เป็นการไหลแบบ *Forced Convection flow* ที่ติดและไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์พบว่าห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นตามเวลาเนื่องจากความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้นจนถึงเวลา 14.00 น.

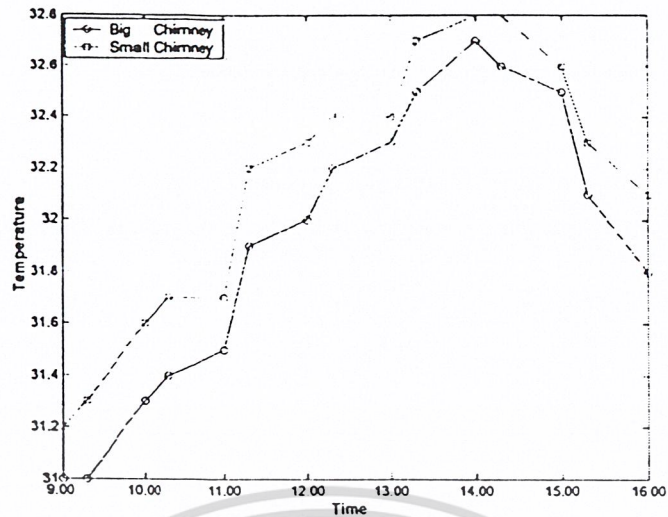
อุณหภูมิจะคงที่และเริ่มลดลง ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1 องศาเซลเซียส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



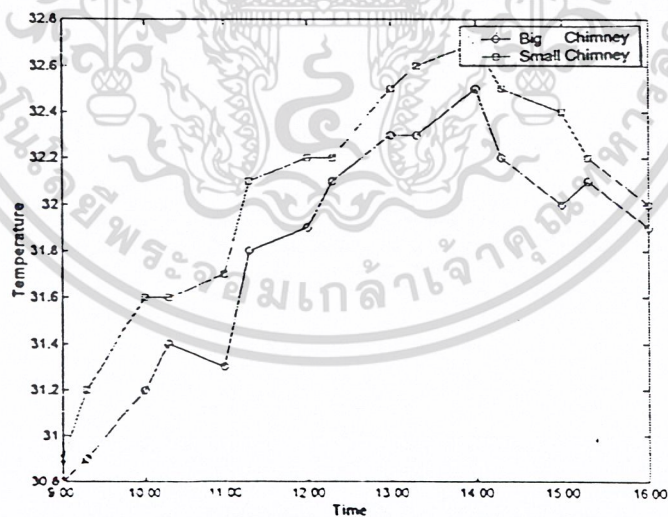
รูป 4-63 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ ในส่วนด้านล่างของตัวบ้านแบบ *Forced Convection Flow*

จากรูปแสดงการเปรียบเทียบในส่วนของด้านล่างของห้องทดลองจะเห็นได้ว่าเส้นความชันของกราฟจะมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงแรกๆ จะพบว่าค่าของอุณหภูมิจะมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก และกราฟจะเริ่มมีความแตกต่างกันมากที่ประมาณ 1-1.5 องศาเซลเซียสที่ประมาณช่วงเวลา 16.00 น. ในส่วนของอุณหภูมิจะสูงสุดที่เวลาประมาณ 13.00 น. และจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง



รูป 4-64 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก *Natural Convection flow*

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกนั้นอุณหภูมิจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากเพราะในช่วงแรกนั้นค่าความเข้มแสงยังไม่สูงมากนักและกราฟจะมีแนวโน้มค่อยๆสูงขึ้นเนื่องจากค่าความเข้มแสงที่มีค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะมีค่าแตกต่างกันสูงสุดในช่วงเวลา 14.00 น. หลังจากนั้นกราฟก็จะค่อยๆลดลงเนื่องจากความเข้มแสงที่ลดลง

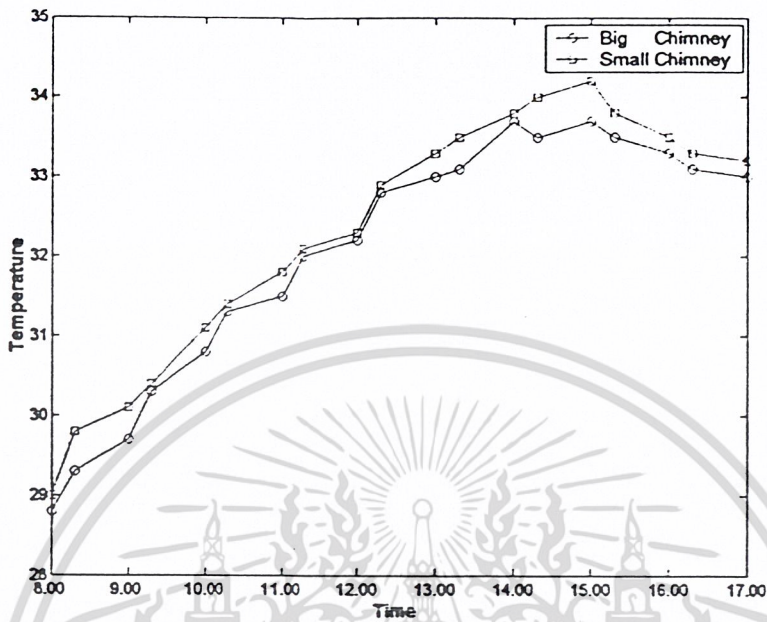


รูป 4-65 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก *Natural Convection flow* กับบ้านจำลองในส่วนของค่านบน

จากกราฟการทดลองจะพบว่าอุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และกราฟจะมีการจะมีค่าที่เพิ่มขึ้น และมีการลดลงในบางช่วงเวลาและค่าอุณหภูมิจะเกิดขึ้นสูงสุดที่เวลาประมาณ 14.00 น. และหลังจากนั้น

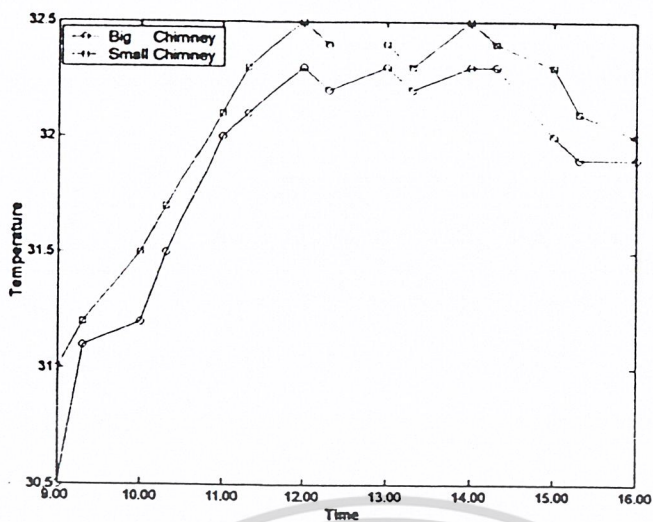
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ และจากกราฟการทดลอง จะพบว่ามีความแตกต่างของอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 1-1.5 องศาเซลเซียส



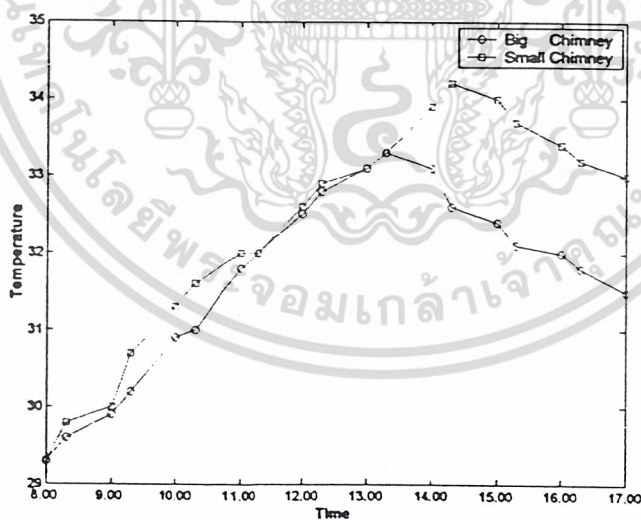
รูป 4-66 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก *Natural Convection flow* กับบ้านจำลองในส่วนของคานอ่าว

จากกราฟ จะพบว่าอุณหภูมิในช่วงกลางวันจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันและแนวโน้มของกราฟจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิจะสูงสุดที่ช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. และหลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของบ้านหลังที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าหลังที่มีปล่องขนาดเล็ก เนื่องจากปริมาณการระบายอากาศของปล่องใหญ่ที่มีมากกว่า



รูป 4-67 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Mixed Convection flow

จากกราฟ จะพบว่าอุณหภูมิในช่วงต่างๆจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันและแนวโน้มของกราฟจะมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิจะสูงสุดที่ช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. และหลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของบ้านหลังที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าหลังที่มีปล่องขนาดเล็ก เนื่องจากปริมาณการระบายอากาศของปล่องใหญ่ที่มีมากกว่า

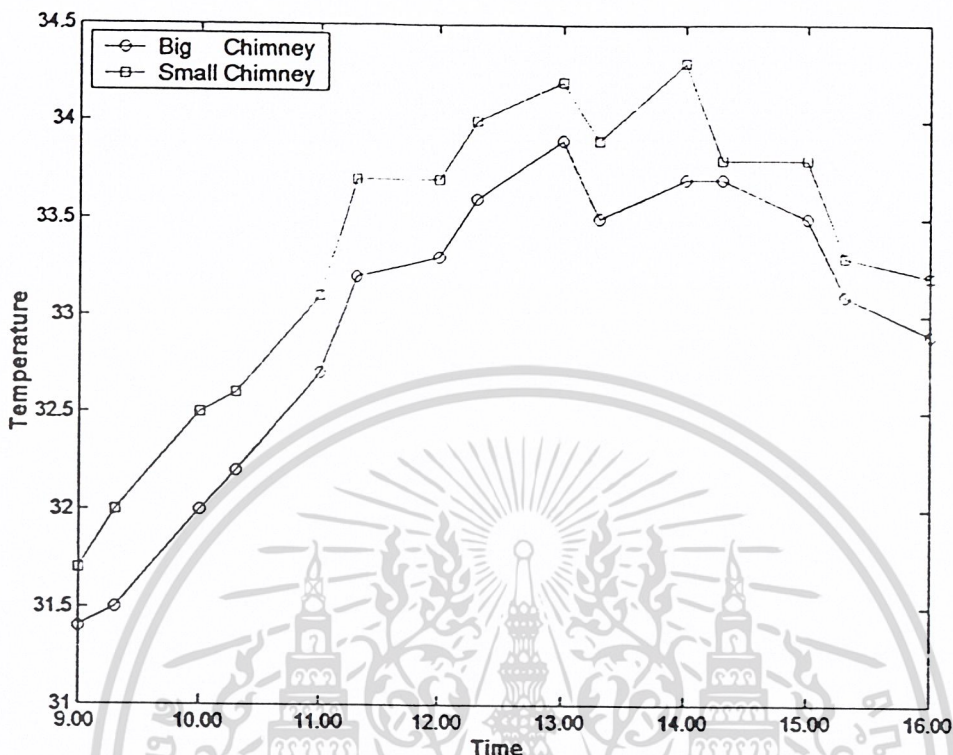


รูป 4-68 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Mixed Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของคานบน

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในบริเวณด้านล่างของบ้านตลอดทั้งตองจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน กราฟจะมีแนวโน้มที่มีอุณหภูมิที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิในช่วงแรกๆนั้นจะยังไม่มีความแตกต่างกันมากนัก

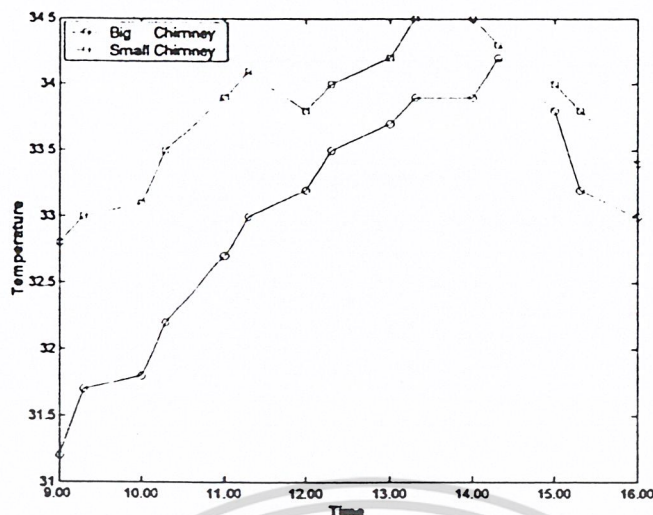
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากยังมีค่าของความร้อนไม่สูงมากจนถึงเวลาประมาณ 13.00 จะเริ่มมีค่าของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากขึ้นเนื่องมาจากความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นและพบว่าอุณหภูมิแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 1.5 องศา



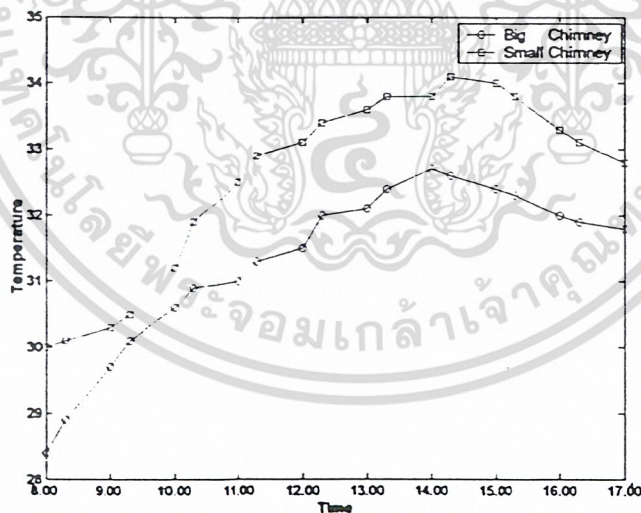
รูป 4-69 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Mixed Convection flow กับบ้านจำลองในด้านของค่าน้ำต่าง

รูปกราฟทั้งสองจะเห็นได้ว่าช่วงแรกๆอุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 30-31 องศาเซลเซียส และจากนั้นค่าอุณหภูมิจะค่อยๆมีค่าสูงมากขึ้นเรื่อยๆ และจะเห็นได้ว่าบ้านจำลองหลังที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านที่มีการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็กและค่าแตกต่างกันของอุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 0.5-1 องศาเซลเซียส



รูป 4-70 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Forced Convection flow

จากกราฟจะเห็นได้ว่าในกราฟทั้งสองนั้นจะมีแนวโน้มที่มีการสูงขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และในช่วงแรกๆ อุณหภูมิจะมีค่าแตกต่างกันพอสมควร และในหลังที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหลังที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก จะพบว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันสูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส

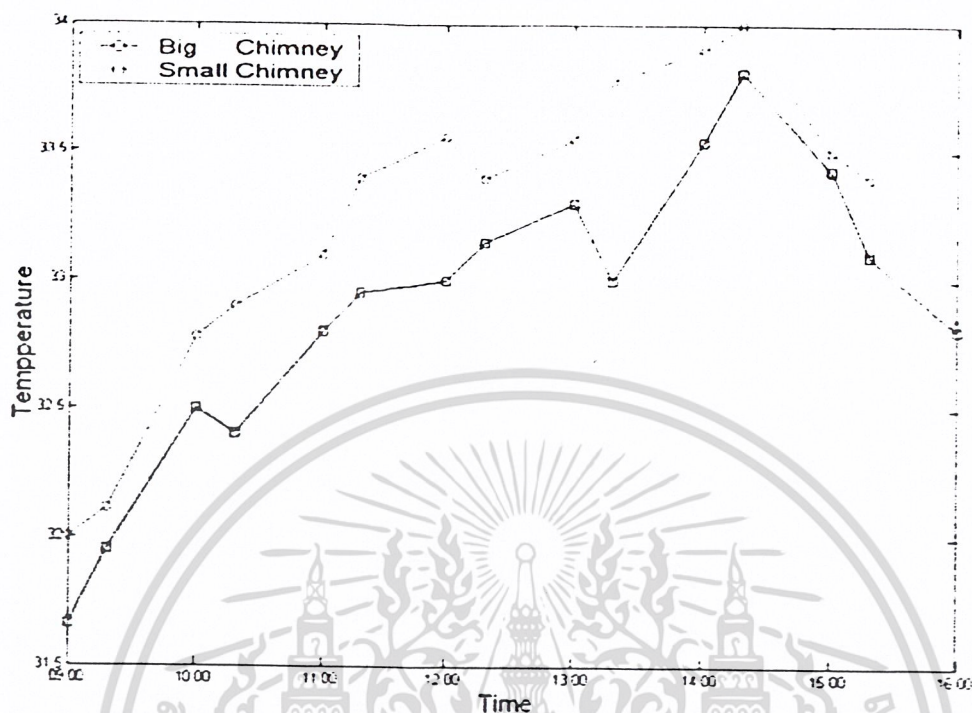


รูป 4-71 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก Forced Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของคานบน

จากกราฟจะพบว่าอุณหภูมิของบ้านที่มีปล่องขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหลังที่มีปล่องรังสีขนาดเล็ก อันเนื่องมาจากปล่องที่มีขนาดใหญ่จะมีการระบายอากาศได้ดีกว่า(มีพื้นที่การระบายมากกว่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่งผลให้เกิดการเหนียวอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจากภายนอกเข้ามาในห้องที่สูงกว่าหลังที่มี ปล่องสี่
 อาทิสัยขนาดเล็ก



รูป 4-72 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างบ้านที่มีปล่องรังสีอาทิสัยขนาดใหญ่กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิสัยขนาดเล็ก Forced Convection flow กับบ้านจำลองในส่วนของคานล่าง

แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิสัยขนาดใหญ่กับห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิสัยขนาดเล็ก พบว่าห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิสัยขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิสัยขนาดเล็กลักษณะกราฟจะเพิ่มขึ้นตามเวลาอันเนื่องมาจากความเข้มของแสง จนถึงเวลา 14.00 น. อุณหภูมิจะคงที่และเริ่มลดลง ส่วนความแตกต่างของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันพอสมควร (ประมาณ 1 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและทำการทดลองการไหลของอากาศ แบบ Natural Convection Flow, Force Convection Flow และ Mixed Convection Flow จากการทดลองจะพบได้ว่าการเปรียบเทียบระหว่างการไหลแบบ Mixed Convection Flow กับ แบบ Natural Convection Flow จะพบว่าการไหลแบบ Mixed Convection Flow จะมีการถ่ายเทของอุณหภูมิได้ดีกว่าแบบ Natural Convection Flow การเปรียบเทียบกันระหว่างการไหลแบบ Force Convection Flow กับแบบ Natural Convection Flow จะพบว่าการไหลแบบ Force Convection Flow จะสามารถลดอุณหภูมิลงและสามารถถ่ายเทอากาศได้ดีกว่า และจากการเปรียบเทียบระหว่างการไหลแบบ Force Convection Flow กับการไหลแบบ Mixed Convection Flow ลักษณะการไหลแบบ Force Convection Flow จะสามารถถ่ายเทอุณหภูมิได้ดีกว่าการไหลแบบ Mixed Convection Flow เนื่องจากแรงลมที่ไหลเข้ามีค่าที่แตกต่างกัน แรงลมที่มีมากกว่าจะส่งผลให้เกิดการระบายความร้อนได้ดีกว่า

ส่วนการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (Solar Chimney) และไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ จะพบว่าอุณหภูมิของบ้านที่มีการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส หรือ อาจจะกล่าวได้ว่า ปล่องรังสีอาทิตย์มีผลที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิลงได้จริง

ในการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีการทดลองระหว่างบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่ กับบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีขนาดเล็ก จะพบว่า ลักษณะการไหลของอากาศของบ้านจำลองทั้งสองมีลักษณะการไหลของอากาศที่คล้ายคลึงกัน และมีอุณหภูมิในบ้านจำลองที่ใกล้เคียงกัน แต่จะพบว่าบ้านจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านจำลองที่มีปล่องรังสีขนาดเล็ก ซึ่งเกิดจากพื้นที่การระบายอากาศของปล่องรังสีอาทิตย์ที่ใหญ่กว่า มีการระบายออกมากกว่าเร็วกว่า และจะส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำอากาศจากภายนอกบ้านจำลองที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้ามาแทนที่ได้มากกว่าจึงส่งผลให้อุณหภูมิภายในบ้านต่ำกว่า อาจจะกล่าวได้ว่าปล่องรังสีขนาดใหญ่สามารถระบายภาระทาง ความร้อนได้ดีกว่าปล่องรังสีขนาดเล็ก

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผลการทดลองที่เกิดขึ้นจริง กับผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าแนวโน้มของอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีลักษณะคล้ายกันกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง แต่ค่าที่ได้จะไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากค่าที่วัดได้จากการทดลองจริงไม่คงที่ เช่น ความเข้มของแสง ความเร็ว และทิศทางของลมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่วนผนังของห้องทดลองที่สมมติให้เป็นฉนวนนั้นก็ไม่เป็นฉนวนร้อยเปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำการทดลองตลอดจน การประยุกต์ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์กับบ้านพักอาศัยมีข้อเสนอแนะ และพิจารณา ดังนี้.

1. ในการทดลองควรทำการทดลองและทำการเก็บข้อมูลในวันที่ฟ้าเปิดและมีแสงแดดเต็มที่
2. การติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์นั้นควรระวังเรื่องการรั่วซึมของน้ำบริเวณรอยต่อ
3. ความสะอาดของอากาศบริเวณรอบๆ บ้าน หากอากาศไม่สะอาดจะเกิดปัญหาฝุ่นผงขึ้นในบ้านมีมาก
4. ติดตั้งกันสาดและตะแกรงที่ช่องทางออกของปล่องรังสีอาทิตย์เพื่อแก้ปัญหาเรื่องฝนและแมลง
5. การสร้างบ้านเรือนในปัจจุบันมีการสร้างเกือบจะชิดติดกัน จึงทำให้ไม่สามารถนำอิทธิพลของลมมาใช้ในการลดการระคายความร้อนและการระบายอากาศได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการประยุกต์ใช้หลักการของปล่องรังสีอาทิตย์ในการลดความร้อนและการระบายอากาศแบบธรรมชาติจึงมีความเหมาะสมกับประเทศไทย



ภาคผนวก

ก. ข้อมูลผลการทดลอง

ข. ข้อมูลอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ผลของอุณหภูมิในกรณีบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ กับไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์

ตารางที่ ก-1 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Natural Convection Flow ชุดที่ 1

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.9	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	33.2	33.5	33.6	34.2	32.6	32.8	32.5	32.3
	2	30.0	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.0	33.1	33.6	33.5	34.1	32.8	32.9	32.4	32.2
	3	30.0	30.0	30.3	31.1	31.4	32.0	32.0	33.3	33.5	33.4	33.6	32.8	32.7	32.3	32.3
	4	30.1	30.2	30.3	31.2	31.3	32.0	31.9	33.4	33.4	33.6	33.2	33.1	32.5	32.3	32.5
	5	30.0	30.2	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	33.2	33.5	33.7	33.5	33.1	32.8	32.3	32.1
	6	30.0	30.1	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	33.2	33.5	33.6	33.1	32.5	32.9	32.1	32.3
	7	30.1	30.1	30.4	31.2	31.0	31.7	32.1	33.1	33.5	33.1	33.2	32.6	33.0	32.1	32.1
	8	30.1	30.1	30.3	31.3	31.3	31.7	32.3	33.2	33.4	33.0	33.3	32.7	33.1	32.3	32.0
	9	30.1	30.2	30.3	31.2	31.4	31.6	32.3	33.4	33.6	33.8	33.6	32.6	32.9	32.3	32.4
	10	30.1	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	32.0	33.0	33.4	33.4	32.8	32.7	32.6	32.1	32.1
	11	30.1	30.3	30.5	30.8	31.6	32.1	32.0	33.6	33.6	33.5	32.9	32.7	32.8	32.3	32.0
	12	30.2	30.3	30.4	31.0	31.6	32.0	32.1	33.2	33.5	33.5	32.8	33.1	32.9	32.4	32.0
	13	30.2	30.4	30.6	31.2	31.6	32.1	31.9	33.5	33.5	33.6	33.0	32.6	32.5	32.4	32.3
	14	30.0	30.3	30.4	31.2	31.7	32.0	32.0	33.4	33.3	34.1	33.1	32.7	32.8	32.3	32.0
	15	30.0	30.3	30.5	31.3	31.8	32.3	32.3	33.3	33.4	33.9	32.8	32.8	32.9	32.4	32.1
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่ปล่องรังสีอาทิตย์	1	30.1	30.5	30.8	30.9	31.6	32.1	32.7	33.2	33.5	34.0	32.4	32.5	32.3	32.1	32.1
	2	30.1	30.4	30.7	30.9	31.4	32.0	32.8	33.3	33.6	34.1	32.5	32.6	32.2	32.3	32.0
	3	30.2	30.6	30.8	31.1	31.7	32.3	32.8	33.2	33.6	34.2	32.8	32.7	32.3	32.3	31.8
	4	30.2	30.6	30.8	31.2	31.6	32.0	32.9	33.2	33.4	34.1	32.8	32.7	32.1	32.1	31.9
	5	30.3	30.5	30.7	31.2	31.5	32.0	32.8	33.3	33.5	33.8	32.7	32.5	32.1	32.3	32.3
	6	30.3	30.6	30.8	31.3	31.7	32.1	32.9	33.4	33.5	33.7	32.5	33.1	32.3	32.3	31.8
	7	30.3	30.7	30.5	31.3	31.8	32.3	32.9	33.5	33.6	33.6	32.5	32.3	32.1	32.4	31.6
	8	30.1	30.6	30.8	31.2	31.8	32.4	32.8	33.2	33.5	33.5	32.4	32.6	32.1	32.3	31.5
	9	30.2	30.5	30.7	31.4	31.9	32.4	32.8	33.5	33.6	33.6	32.6	32.7	32.0	32.1	31.6
	10	30.3	30.4	30.0	31.3	31.8	32.5	32.7	33.4	33.7	33.7	32.7	32.6	32.3	32.0	31.5
	11	30.4	30.6	30.8	31.6	31.7	32.6	32.9	33.4	33.8	33.5	32.7	32.7	32.4	31.9	31.5
	12	30.2	30.7	30.9	31.4	31.7	32.5	33.0	33.4	33.8	33.6	32.5	32.8	32.4	31.8	31.6
	13	30.4	30.5	30.8	31.5	31.8	32.6	33.1	33.4	33.7	33.5	32.6	32.8	32.5	31.9	31.6
	14	30.1	30.1	30.7	31.3	31.8	32.4	33.3	33.3	33.7	33.4	32.7	32.6	32.5	31.8	31.6
	15	30.4	30.5	30.9	31.6	31.9	32.6	33.2	33.3	33.8	33.3	32.9	32.7	32.3	31.7	31.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Natural Convection Flow ชุดที่ 2

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งรังสีอาทิตย์	1	31.5	31.3	31.5	31.9	32.0	32.7	32.9	32.5	32.5	32.9	32.9	33.0	33.3	33.0	32.8
	2	31.3	32.3	31.6	32.2	32.2	32.5	33.1	32.7	32.8	33.2	33.2	33.0	33.2	32.9	32.9
	3	31.9	32.3	31.9	32.1	32.5	32.4	32.8	32.8	32.7	32.5	33.0	33.0	33.3	32.7	32.7
	4	31.6	32.0	31.1	32.0	32.8	32.3	32.5	32.5	32.7	32.9	32.7	32.8	32.8	32.3	32.5
	5	31.8	32.1	31.7	32.4	32.1	32.3	33.0	32.5	32.5	33.0	33.0	33.1	33.3	33.0	32.8
	6	32.0	32.5	32.5	32.7	32.5	32.3	32.9	32.9	32.5	33.0	33.1	33.2	33.3	33.1	32.9
	7	31.7	32.3	31.5	31.9	32.7	32.4	32.5	32.1	32.1	33.1	33.3	33.4	33.3	32.9	33.0
	8	31.6	32.3	32.7	32.9	33.0	32.9	32.7	32.9	32.9	33.3	33.1	33.2	32.4	32.2	33.1
	9	32.7	32.5	32.7	32.8	32.8	32.9	33.0	33.0	33.1	33.1	33.2	33.3	33.2	32.9	32.9
	10	31.7	32.6	32.4	32.3	32.7	32.9	32.8	33.0	33.0	33.1	33.2	33.1	33.3	32.7	32.6
	11	31.5	32.2	31.9	32.3	32.7	32.8	32.8	33.0	33.0	33.1	33.1	33.4	33.5	32.4	32.8
	12	31.4	32.5	32.3	31.8	32.7	32.5	32.2	32.3	33.0	33.0	33.1	32.8	33.0	32.2	32.9
	13	31.7	32.5	32.3	32.5	32.5	32.7	32.9	32.9	32.9	33.0	33.1	32.7	32.7	32.8	32.5
	14	32.0	32.5	32.8	32.7	33.1	32.9	33.0	32.4	32.7	32.9	33.3	33.4	33.0	32.8	32.8
	15	31.5	32.0	31.7	31.9	32.5	32.7	32.7	32.7	33.1	33.1	33.0	33.1	32.1	32.1	32.9
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีติดตั้งรังสีอาทิตย์	1	31.6	32.6	32.4	32.5	33.0	32.9	32.7	32.9	32.7	32.7	33.1	33.2	32.7	31.9	31.6
	2	31.7	32.7	32.5	32.3	32.7	33.0	32.5	32.9	32.8	33.4	33.1	33.1	32.4	32.0	31.4
	3	31.6	32.3	32.2	32.3	32.9	32.3	32.8	32.9	32.7	32.6	33.1	32.7	32.5	32.3	31.7
	4	31.6	32.3	32.3	32.2	32.6	33.0	32.8	32.7	32.5	32.4	32.0	32.3	32.2	31.9	31.6
	5	31.7	32.5	32.1	32.2	32.8	33.1	32.7	32.7	32.6	32.6	32.5	32.3	32.3	31.8	31.5
	6	31.7	32.3	31.9	32.2	32.8	32.8	33.0	32.7	32.7	32.5	32.9	32.8	32.5	32.3	31.7
	7	31.8	32.4	32.1	32.2	32.9	33.3	32.8	33.0	32.7	32.6	33.0	33.2	32.8	32.5	31.8
	8	31.5	32.2	32.5	32.4	32.8	32.7	32.5	32.7	32.7	32.6	33.0	32.7	32.3	31.7	31.8
	9	31.7	32.4	32.5	32.6	32.7	32.8	32.7	32.6	32.7	32.6	33.0	32.9	32.3	31.9	31.9
	10	31.4	32.3	32.0	32.3	32.9	33.4	32.9	32.7	32.8	32.7	32.7	33.0	32.9	31.9	31.8
	11	31.5	32.1	31.9	31.9	32.4	32.5	32.7	32.8	32.7	32.5	32.5	32.6	32.3	32.2	31.7
	12	31.7	32.1	31.9	32.0	32.3	32.2	32.5	32.6	32.3	32.5	32.9	32.1	32.3	32.3	31.7
	13	31.5	32.0	31.7	31.7	32.0	32.0	32.2	31.9	32.1	32.0	32.5	32.4	32.4	31.7	31.8
	14	31.6	32.0	32.1	32.7	32.7	32.8	33.1	33.5	33.2	33.7	33.0	32.9	32.5	32.0	31.8
	15	31.8	31.9	32.2	32.8	32.8	32.9	32.6	32.8	33.0	33.2	33.1	33.5	32.9	32.6	31.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Natural Convection Flow ชุดที่ 3

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	33.2	33.5	32.0	32.1	32.3	32.4	32.5	32.1	32.1
	2	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.0	33.1	33.6	31.8	32.1	32.2	32.5	32.6	32.3	32.0
	3	30.0	30.3	31.1	31.4	32.0	32.0	33.3	33.5	31.5	32.3	32.3	32.8	32.7	32.3	31.8
	4	30.2	30.3	31.2	31.3	32.0	31.9	33.4	33.4	31.5	32.6	32.6	32.8	32.7	32.1	31.9
	5	30.2	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	33.2	33.5	31.3	32.3	32.7	32.7	32.5	32.3	32.3
	6	30.1	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	33.2	33.5	31.6	32.3	32.5	32.5	33.1	32.3	31.8
	7	30.1	30.4	31.2	31.0	31.7	32.1	33.1	33.5	31.6	32.5	32.3	32.5	32.3	32.4	31.6
	8	30.1	30.3	31.3	31.3	31.7	32.3	33.2	33.4	31.3	32.6	32.1	32.4	32.6	32.3	31.5
	9	30.2	30.3	31.2	31.4	31.6	32.3	33.4	33.6	31.2	31.5	32.2	32.6	32.7	32.1	31.6
	10	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	32.0	33.0	33.4	31.8	31.3	32.3	32.7	32.6	32.0	31.5
	11	30.3	30.5	30.8	31.6	32.1	32.0	33.6	33.6	31.5	31.8	31.8	32.7	32.7	31.9	31.5
	12	30.3	30.4	31.0	31.6	32.0	32.1	33.2	33.5	31.8	32.0	32.5	32.5	32.8	31.8	31.6
	13	30.4	30.6	31.2	31.6	32.1	31.9	33.5	33.5	31.5	32.3	32.4	32.6	32.8	31.9	31.6
	14	30.3	30.4	31.2	31.7	32.0	32.0	33.4	33.3	31.6	32.1	32.3	32.7	32.6	31.8	31.6
	15	30.3	30.5	31.3	31.8	32.3	32.3	33.3	33.4	31.8	32.0	32.1	32.9	32.7	31.7	31.5
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	1	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	33.2	32.5	32.9	32.9	33.0	33.3	33.0	32.8	32.5
	2	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.0	33.1	32.8	33.2	33.2	33.0	33.2	32.9	32.9	32.4
	3	30.1	30.3	31.1	31.4	32.0	32.0	33.3	32.7	32.5	33.0	33.0	33.3	32.7	32.7	32.3
	4	29.8	30.3	31.2	31.3	32.0	31.9	33.4	32.7	32.9	32.7	32.8	32.8	32.3	32.5	32.3
	5	29.9	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	33.2	32.5	33.0	33.0	33.1	33.3	33.0	32.8	32.3
	6	29.8	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	33.2	32.5	33.0	33.1	33.2	33.3	33.1	32.9	32.1
	7	30.2	30.4	31.2	31.0	31.7	32.1	33.1	32.1	33.1	33.3	33.4	33.3	32.9	33.0	32.1
	8	30.3	30.3	31.3	31.3	31.7	32.3	33.2	32.9	33.3	33.1	33.2	32.4	32.2	33.1	32.3
	9	30.3	30.3	31.2	31.4	31.6	32.3	33.4	33.1	33.1	33.2	33.3	33.2	32.9	32.9	32.3
	10	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	32.0	33.0	33.0	33.1	33.2	33.1	33.3	32.7	32.6	32.1
	11	30.1	30.5	30.8	31.6	32.1	32.0	33.6	33.0	33.1	33.1	33.4	33.5	32.4	32.8	32.3
	12	30.2	30.4	31.0	31.6	32.0	32.1	33.2	33.0	33.0	33.1	32.8	33.0	32.2	32.9	32.4
	13	30.3	30.6	31.2	31.6	32.1	31.9	33.5	32.9	33.0	33.1	32.7	32.7	32.8	32.5	32.4
	14	30.4	30.4	31.2	31.7	32.0	32.0	33.4	32.7	32.9	33.3	33.4	33.0	32.8	32.8	32.3
	15	30.2	30.5	31.3	31.8	32.3	32.3	33.3	33.1	33.1	33.0	33.1	32.1	32.1	32.9	32.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Mixed Convection Flow ชุดที่ 1

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.5	29.8	30.2	30.1	31.2	31.1	31.2	31.5	32.0	32.1	32.3	32.4	32.5	32.3	32.1
	2	29.4	30.1	30.1	30.1	30.8	31.0	31.3	31.6	31.8	32.1	32.2	32.5	32.6	32.2	32.3
	3	29.5	30.1	30.1	30.1	30.6	31.1	31.3	31.5	31.5	32.3	32.3	32.8	32.7	32.3	32.3
	4	29.5	30.1	30.1	30.3	30.8	31.2	31.4	31.5	31.5	32.6	32.6	32.8	32.7	32.1	32.1
	5	29.6	30.1	30.1	30.3	30.9	31.3	32.0	31.3	31.3	32.3	32.7	32.7	32.5	32.1	32.3
	6	29.7	30.0	30.1	30.2	30.8	31.3	31.5	31.6	31.6	32.3	32.5	32.5	33.1	32.3	32.3
	7	29.7	30.0	30.0	30.2	30.8	31.4	31.6	31.8	31.6	32.5	32.3	32.5	32.3	32.1	32.4
	8	29.9	29.9	29.9	30.2	30.9	31.3	31.6	31.8	31.3	32.6	32.1	32.4	32.6	32.1	32.3
	9	29.9	29.9	29.9	30.2	30.9	30.9	31.7	31.7	31.2	31.5	32.2	32.6	32.7	32.0	32.1
	10	30.1	29.8	29.8	30.1	30.9	30.9	31.6	31.6	31.8	31.3	32.3	32.7	32.6	32.3	32.0
	11	30.0	30.0	29.9	30.2	30.8	31.0	31.3	31.5	31.5	31.8	31.8	32.7	32.7	32.4	31.9
	12	29.9	30.0	30.0	30.3	30.9	31.0	31.6	31.5	31.8	32.0	32.5	32.5	32.8	32.4	31.8
	13	29.8	30.0	30.1	30.3	31.0	31.1	31.7	31.8	31.5	32.3	32.4	32.6	32.8	32.5	31.9
	14	29.8	30.0	30.1	30.1	31.0	31.3	31.6	31.8	31.6	32.1	32.3	32.7	32.6	32.5	31.8
	15	29.9	29.8	30.1	30.3	31.0	31.3	31.5	31.7	31.8	32.0	32.1	32.9	32.7	32.3	31.7
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.9	29.9	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	32.2	32.4	32.7	32.8	32.6	32.8	32.5
	2	29.8	30.0	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.0	32.2	32.5	32.7	32.8	32.8	32.9	32.4
	3	30.1	30.0	30.0	30.3	31.1	31.4	32.0	32.0	31.9	32.8	33.0	33.0	32.8	32.7	32.3
	4	30.1	30.1	30.2	30.3	31.2	31.3	32.0	31.9	31.8	32.6	33.1	33.1	33.1	32.5	32.3
	5	29.8	30.0	30.2	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	31.8	32.5	33.2	33.3	33.1	32.8	32.3
	6	29.9	30.0	30.1	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	31.9	32.6	33.1	33.0	32.5	32.9	32.1
	7	29.5	30.1	30.1	30.4	31.2	31.0	31.7	32.1	32.3	32.7	33.4	33.0	32.6	33.0	32.1
	8	29.8	30.1	30.1	30.3	31.3	31.3	31.7	32.3	32.3	32.6	33.0	33.1	32.7	33.1	32.3
	9	29.9	30.1	30.2	30.3	31.2	31.4	31.6	32.3	32.4	32.3	32.8	32.8	32.6	32.9	32.3
	10	29.9	30.1	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	32.0	32.4	32.5	32.6	32.7	32.7	32.6	32.1
	11	30.0	30.1	30.3	30.5	30.8	31.6	32.1	32.0	32.0	32.6	32.7	32.8	32.7	32.8	32.3
	12	30.0	30.2	30.3	30.4	31.0	31.6	32.0	32.1	32.0	32.7	32.6	33.0	33.1	32.9	32.4
	13	30.0	30.2	30.4	30.6	31.2	31.6	32.1	31.9	32.1	32.8	33.1	33.1	32.6	32.5	32.4
	14	30.0	30.0	30.3	30.4	31.2	31.7	32.0	32.0	32.4	32.6	33.1	32.8	32.7	32.8	32.3
	15	29.7	30.0	30.3	30.5	31.3	31.8	32.3	32.3	32.1	33.0	33.4	32.5	32.8	32.9	32.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Mixed Convection Flow ชุดที่ 2

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.8	30.0	30.3	31.2	31.5	31.8	32.0	32.8	33.1	33.3	33.7	33.9	34.0	33.8	33.2
	2	30.2	30.3	30.7	30.9	31.1	31.4	31.7	31.6	31.9	32.0	32.5	32.4	32.4	32.1	31.8
	3	30.2	30.7	31.7	32.4	32.6	32.6	33.4	33.6	33.2	33.6	34.1	34.3	33.8	33.6	33.2
	4	30.1	30.7	31.2	31.5	31.7	32.0	32.3	32.8	32.8	32.9	33.5	33.5	33.1	33.2	33.1
	5	30.1	30.4	31.3	32.0	32.6	32.6	33.3	33.6	34.0	34.1	33.6	33.6	33.5	33.2	32.5
	6	30.3	30.6	31.2	31.8	32.5	32.9	33.1	34.1	34.0	33.4	33.0	32.5	32.4	33.0	33.1
	7	30.4	30.9	31.3	32.2	32.7	33.0	33.3	34.0	32.9	33.2	34.0	33.8	34.2	33.1	32.9
	8	30.3	30.7	31.5	32.2	32.6	32.9	33.2	33.6	33.3	33.2	33.9	34.2	34.3	33.2	33.0
	9	31.5	32.0	31.2	32.9	33.5	32.7	31.7	33.5	33.0	33.0	35.0	35.0	35.6	33.0	33.0
	10	31.5	32.1	32.1	32.8	33.4	32.6	34.7	35.0	34.4	33.0	33.4	33.6	33.3	32.9	33.3
	11	30.4	30.7	31.1	32.2	33.1	32.7	34.5	34.5	34.2	33.0	33.5	33.7	33.6	33.1	33.2
	12	30.6	30.9	31.2	32.4	32.4	32.5	33.1	34.6	33.0	33.0	33.4	33.6	33.2	33.0	32.8
	13	30.8	31.2	31.4	32.8	33.3	33.6	33.8	34.7	33.1	32.4	33.6	33.6	32.5	32.5	32.4
	14	31.7	32.0	31.2	32.9	33.5	34.0	34.5	34.8	34.2	34.2	34.8	33.7	33.3	33.3	33.2
	15	30.5	31.2	31.3	32.6	33.2	33.3	33.2	33.3	33.1	33.1	33.8	33.6	33.6	33.2	33.3
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	1	32.6	33.2	33.2	34.3	34.2	34.9	35.4	35.1	34.5	34.6	35.1	34.3	33.9	33.8	33.7
	2	33.1	33.4	33.3	34.2	34.7	35.0	35.3	35.0	34.8	34.8	35.3	34.8	34.2	34.0	33.8
	3	33.3	33.6	33.6	34.5	34.7	35.0	35.6	35.2	34.3	34.7	35.6	35.0	34.1	34.1	33.9
	4	32.1	32.5	32.9	33.4	33.7	34.3	34.7	35.3	34.3	34.2	34.9	34.4	34.4	33.4	33.2
	5	32.2	32.7	32.9	33.4	33.8	34.4	34.6	34.6	34.5	34.4	34.9	34.6	33.8	33.6	33.4
	6	32.1	32.8	32.9	33.5	33.9	34.4	34.7	34.6	34.0	34.5	35.1	34.7	33.6	33.2	33.0
	7	33.4	33.9	33.6	34.5	34.4	35.2	35.7	34.7	34.2	35.0	35.9	35.0	34.3	34.0	33.9
	8	33.5	33.8	33.7	34.5	34.7	35.0	35.2	35.4	35.0	34.9	36.0	35.0	35.1	35.0	34.6
	9	33.5	33.7	33.8	34.4	35.1	35.3	35.7	35.6	35.1	34.7	36.2	35.1	35.2	34.8	34.3
	10	33.4	32.8	33.0	33.6	33.8	34.4	34.7	34.8	34.6	34.4	35.1	34.3	34.9	34.3	34.0
	11	32.3	32.7	33.2	33.4	33.6	34.4	34.8	35.0	34.4	34.3	35.2	34.5	34.5	34.0	33.6
	12	32.4	32.8	33.1	33.3	33.7	34.5	34.7	34.6	34.3	34.3	35.0	34.3	34.4	34.3	33.8
	13	32.1	32.5	33.5	33.4	33.5	34.0	34.8	34.9	34.4	34.2	34.9	34.1	34.0	34.0	33.2
	14	32.8	33.2	33.4	33.6	33.9	34.6	35.1	35.4	35.6	34.1	35.2	34.8	34.7	33.9	33.0
	15	32.5	32.7	33.0	33.6	33.2	33.3	33.5	33.3	33.0	33.4	33.8	33.6	33.3	33.9	33.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Mixed Convection Flow ชุดที่ 3

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.7	30.0	30.2	30.2	31.2	31.2	31.5	31.4	31.5	31.5	31.5	32.1	31.5	31.5	31.1
	2	29.9	29.9	30.2	30.3	30.8	31.0	31.6	31.5	31.5	31.3	31.7	32.1	31.5	31.5	31.0
	3	29.9	29.9	30.2	30.3	30.6	31.1	31.5	31.3	31.4	31.6	30.6	32.3	31.4	31.4	31.1
	4	30.1	29.8	30.2	30.3	30.8	31.2	31.5	31.6	31.3	31.6	31.5	32.6	31.3	31.3	31.2
	5	30.0	30.0	30.1	30.2	30.9	31.3	31.3	31.6	31.3	31.3	31.7	32.3	31.3	31.3	31.3
	6	29.9	30.0	30.2	30.4	30.8	31.3	31.6	31.4	31.0	31.2	30.9	32.3	31.0	31.0	31.3
	7	29.8	30.0	30.3	30.4	30.8	31.2	31.8	31.5	31.0	31.5	31.0	32.5	31.0	31.0	31.4
	8	29.8	30.0	30.3	30.3	30.9	31.3	31.8	31.4	31.3	31.3	31.5	32.6	31.3	31.3	31.3
	9	29.9	29.8	30.1	30.3	30.9	31.2	31.7	31.5	31.4	31.6	31.8	31.5	31.4	31.4	31.3
	10	29.9	29.9	30.3	30.3	30.9	30.9	31.6	31.6	31.5	31.6	31.7	31.3	31.5	31.5	31.0
	11	29.8	30.0	30.1	30.2	30.8	31.2	31.5	31.5	31.6	31.3	31.8	31.8	31.6	31.6	31.0
	12	30.1	30.0	30.1	30.4	30.9	31.0	31.5	31.5	31.6	31.2	31.7	32.0	31.5	31.6	31.3
	13	30.1	30.0	30.1	30.4	31.0	31.1	31.8	31.3	31.6	31.8	32.4	32.3	31.6	31.6	31.4
	14	29.8	30.0	30.3	30.3	31.0	31.2	31.8	31.6	31.7	31.5	31.4	32.1	31.5	31.7	31.5
	15	29.9	29.7	30.3	30.3	31.0	31.3	31.7	31.8	31.8	31.6	31.8	32.0	31.2	31.8	31.6
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.9	29.9	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	32.2	32.4	32.7	32.8	32.6	32.8	32.5
	2	29.8	30.0	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.0	32.2	32.5	32.7	32.8	32.8	32.9	32.4
	3	30.1	30.0	30.0	30.3	31.1	31.4	32.0	32.0	31.9	32.8	33.0	33.0	32.8	32.7	32.3
	4	30.1	30.1	30.2	30.3	31.2	31.3	32.0	31.9	31.8	32.6	33.1	33.1	33.1	32.5	32.3
	5	29.8	30.0	30.2	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	31.8	32.5	33.2	33.3	33.1	32.8	32.3
	6	29.9	30.0	30.1	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	31.9	32.6	33.1	33.0	32.5	32.9	32.1
	7	29.5	30.1	30.1	30.4	31.2	31.0	31.7	32.1	32.3	32.7	33.4	33.0	32.6	33.0	32.1
	8	29.8	30.1	30.1	30.3	31.3	31.3	31.7	32.3	32.3	32.6	33.0	33.1	32.7	33.1	32.3
	9	29.9	30.1	30.2	30.3	31.2	31.4	31.6	32.3	32.4	32.3	32.8	32.8	32.6	32.9	32.3
	10	29.9	30.1	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	32.0	32.4	32.5	32.6	32.7	32.7	32.6	32.1
	11	30.0	30.1	30.3	30.5	30.8	31.6	32.1	32.0	32.0	32.6	32.7	32.8	32.7	32.8	32.3
	12	30.0	30.2	30.3	30.4	31.0	31.6	32.0	32.1	32.0	32.7	32.6	33.0	33.1	32.9	32.4
	13	30.0	30.2	30.4	30.6	31.2	31.6	32.1	31.9	32.1	32.8	33.1	33.1	32.6	32.5	32.4
	14	30.0	30.0	30.3	30.4	31.2	31.7	32.0	32.0	32.4	32.6	33.1	32.8	32.7	32.8	32.3
	15	29.7	30.0	30.3	30.5	31.3	31.8	32.3	32.3	32.1	33.0	33.4	32.5	32.8	32.9	32.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Force Convection Flow ชุดที่ 1

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.8	30.0	30.3	31.2	31.5	31.8	32.0	32.8	33.1	33.3	33.7	33.9	34.0	33.8	33.2
	2	30.2	30.3	30.7	30.9	31.1	31.4	31.7	31.6	31.9	32.0	32.5	32.4	32.4	32.1	31.8
	3	30.2	30.7	31.7	32.4	32.6	32.6	33.4	33.6	33.2	33.6	34.1	34.3	33.8	33.6	33.2
	4	30.1	30.7	31.2	31.5	31.7	32.0	32.3	32.8	32.8	32.9	33.5	33.5	33.1	33.2	33.1
	5	30.1	30.4	31.3	32.0	32.6	32.6	33.3	33.6	34.0	34.1	33.6	33.6	33.5	33.2	32.5
	6	30.3	30.6	31.2	31.8	32.5	32.9	33.1	34.1	34.0	33.4	33.0	32.5	32.4	33.0	33.1
	7	30.4	30.9	31.3	32.2	32.7	33.0	33.3	34.0	32.9	33.2	34.0	33.8	34.2	33.1	32.9
	8	30.3	30.7	31.5	32.0	32.3	32.5	32.8	33.0	33.2	33.4	33.6	33.8	33.8	33.2	33.0
	9	31.5	32.0	31.2	32.9	33.5	32.7	31.7	33.5	33.0	33.0	35.0	35.0	35.6	33.0	33.0
	10	31.5	32.0	32.1	32.5	32.9	33.2	33.5	33.9	34.0	33.8	33.7	33.6	33.1	32.9	32.6
	11	30.4	30.7	31.1	31.8	32.2	32.7	33.0	33.5	33.7	33.9	34.2	33.7	32.9	32.5	32.5
	12	30.6	30.9	31.2	32.4	32.4	32.5	33.1	34.6	33.0	33.0	33.4	33.6	33.2	33.0	32.8
	13	30.8	31.2	31.4	32.8	33.3	33.6	33.8	34.7	33.1	32.4	33.6	33.6	32.5	32.5	32.4
	14	31.7	32.0	31.2	32.9	33.5	34.0	34.5	34.8	34.2	34.2	34.8	33.7	33.3	33.3	33.2
	15	30.5	31.2	31.3	32.6	33.2	33.3	33.2	33.3	33.1	33.1	33.8	33.6	33.6	33.2	33.3
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	1	31.4	31.5	31.5	31.8	32.5	32.9	33.3	33.3	33.0	33.2	34.1	33.5	34.0	33.1	33.0
	2	31.4	31.3	31.3	32.1	32.7	33.0	33.5	33.5	33.1	33.2	34.2	33.7	34.1	33.2	33.0
	3	31.3	31.5	31.8	32.5	32.7	32.7	33.6	33.4	33.1	33.4	34.2	33.7	33.9	33.3	33.0
	4	31.5	31.5	31.7	31.8	32.5	32.7	33.1	33.2	32.8	33.1	33.9	33.6	33.7	33.0	32.8
	5	31.1	31.7	31.9	32.0	32.5	32.7	33.6	34.0	32.9	33.1	33.8	33.6	33.8	33.1	32.9
	6	31.3	31.7	31.8	32.9	32.5	32.7	33.7	34.0	32.9	33.2	33.7	33.7	33.8	34.3	32.8
	7	31.4	31.5	31.8	32.2	32.7	33.0	33.3	33.6	33.3	33.2	34.0	33.8	34.2	33.1	33.2
	8	31.2	31.7	31.8	32.2	32.7	32.9	33.2	33.6	33.3	33.7	33.9	34.0	33.8	33.2	33.0
	9	31.5	31.9	32.2	32.9	33.5	32.7	31.7	32.0	32.2	31.0	35.0	35.0	35.6	33.0	33.3
	10	31.6	32.1	32.2	32.9	33.5	33.7	33.8	34.0	34.2	33.9	33.7	33.7	33.3	33.3	33.3
	11	31.4	31.5	32.0	32.2	32.7	33.2	33.8	34.0	34.1	34.2	34.4	33.7	33.0	33.1	32.9
	12	31.6	31.9	32.0	32.4	33.2	32.4	33.3	34.7	33.1	33.0	33.4	33.6	33.2	33.0	32.9
	13	31.8	31.9	32.3	32.8	33.3	33.0	33.9	34.8	33.2	32.5	32.6	33.6	32.5	32.5	32.5
	14	31.5	32.0	32.0	32.9	33.4	32.6	34.8	35.0	34.4	33.0	33.4	33.6	33.0	32.9	32.8
	15	31.4	31.5	31.5	31.8	32.5	32.9	33.3	33.3	33.0	33.2	34.1	33.5	34.0	33.1	33.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Force Convection Flow ชุดที่ 2

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	29.8	30.0	30.3	31.2	31.5	31.8	32.0	32.8	33.1	32.2	32.4	32.7	32.8	32.6	32.8
	2	30.2	30.3	30.7	30.9	31.1	31.4	31.7	31.6	31.9	32.2	32.5	32.7	32.8	32.8	32.9
	3	30.2	30.7	31.7	32.4	32.6	32.6	33.4	33.6	33.2	31.9	32.8	33.0	33.0	32.8	32.7
	4	30.1	30.7	31.2	31.5	31.7	32.0	32.3	32.8	32.8	31.8	32.6	33.1	33.1	33.1	32.5
	5	30.1	30.4	31.3	32.0	32.6	32.6	33.3	33.6	34.0	31.8	32.5	33.2	33.3	33.1	32.8
	6	30.3	30.6	31.2	31.8	32.5	32.9	33.1	34.1	34.0	31.9	32.6	33.1	33.0	32.5	32.9
	7	30.4	30.9	31.3	32.2	32.7	33.0	33.3	34.0	32.9	32.3	32.7	33.4	33.0	32.6	33.0
	8	30.3	30.7	31.5	32.0	32.3	32.5	32.8	33.0	33.2	32.3	32.6	33.0	33.1	32.7	33.1
	9	31.5	32.0	31.2	32.9	33.5	32.7	31.7	33.5	33.0	32.4	32.3	32.8	32.8	32.6	32.9
	10	31.5	32.0	32.1	32.5	32.9	33.2	33.5	33.9	34.0	32.4	32.5	32.6	32.7	32.7	32.6
	11	30.4	30.7	31.1	31.8	32.2	32.7	33.0	33.5	33.7	32.0	32.6	32.7	32.8	32.7	32.8
	12	30.6	30.9	31.2	32.4	32.4	32.5	33.1	34.6	33.0	32.0	32.7	32.6	33.0	33.1	32.9
	13	30.8	31.2	31.4	32.8	33.3	33.6	33.8	34.7	33.1	32.1	32.8	33.1	33.1	32.6	32.5
	14	31.7	32.0	31.2	32.9	33.5	34.0	34.5	34.8	34.2	32.4	32.6	33.1	32.8	32.7	32.8
	15	30.5	31.2	31.3	32.6	33.2	33.3	33.2	33.3	33.1	32.1	33.0	33.4	32.5	32.8	32.9
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	1	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	32.3	32.4	32.5	32.3	32.4	32.4	33.6	32.5	32.5
	2	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.1	32.2	32.5	32.6	32.2	32.8	32.6	33.5	32.7	32.7
	3	30.0	30.3	31.1	31.4	32.0	32.3	32.3	32.8	32.7	32.3	32.9	32.9	33.7	32.7	32.7
	4	30.2	30.3	31.2	31.3	32.0	32.6	32.6	32.8	32.7	32.1	31.9	32.2	32.7	32.5	32.5
	5	30.2	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	32.7	32.7	32.5	32.1	32.0	32.2	32.7	32.5	32.5
	6	30.1	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	32.5	32.5	33.1	32.3	32.1	32.2	32.8	32.5	32.5
	7	30.1	30.4	31.2	31.0	31.7	32.5	32.3	32.5	32.3	32.1	33.2	32.9	33.8	32.7	32.7
	8	30.1	30.3	31.3	31.3	31.7	32.6	32.1	32.4	32.6	32.1	33.0	33.1	33.5	32.7	32.7
	9	30.2	30.3	31.2	31.4	31.6	31.5	32.2	32.6	32.7	32.0	33.0	33.1	33.8	33.5	33.5
	10	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	31.3	32.3	32.7	32.6	32.3	32.1	32.3	32.9	33.5	33.4
	11	30.3	30.5	30.8	31.6	32.1	31.8	31.8	32.7	32.7	32.4	32.0	32.5	32.6	32.7	32.7
	12	30.3	30.4	31.0	31.6	32.0	32.0	32.5	32.5	32.8	32.4	32.1	32.4	32.8	33.2	33.2
	13	30.4	30.6	31.2	31.6	32.1	32.3	32.4	32.6	32.8	32.5	31.8	31.9	32.8	33.3	33.3
	14	30.3	30.4	31.2	31.7	32.0	32.1	32.3	32.7	32.6	32.5	32.5	32.7	32.7	33.4	33.5
	15	30.3	30.5	31.3	31.8	32.3	32.0	32.1	32.9	32.7	32.3	32.3	32.6	32.8	32.7	33.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Force Convection Flow ชุดที่ 3

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์	1	31.2	31.5	31.5	31.8	32.5	32.9	33.3	33.3	33.0	33.2	32.7	32.8	32.6	32.8	32.5
	2	31.3	31.6	31.3	32.1	32.7	33.0	33.5	33.5	33.1	33.2	32.7	32.8	32.8	32.9	32.4
	3	31.3	31.5	31.8	32.5	32.7	32.7	33.6	33.4	33.1	33.4	33.0	33.0	32.8	32.7	32.3
	4	31.4	31.5	31.7	31.8	32.5	32.7	33.1	33.2	32.8	33.1	33.1	33.1	33.1	32.5	32.3
	5	32.0	31.3	31.9	32.0	32.5	32.7	33.6	34.0	32.9	33.1	33.2	33.3	33.1	32.8	32.3
	6	31.5	31.6	31.8	32.9	32.5	32.7	33.7	34.0	32.9	33.2	33.1	33.0	32.5	32.9	32.1
	7	31.6	31.8	31.8	32.2	32.7	33.0	33.3	33.6	33.3	33.2	33.4	33.0	32.6	33.0	32.1
	8	31.6	31.8	31.8	32.2	32.7	33.0	33.2	33.5	33.7	33.9	33.0	33.1	32.7	33.1	32.3
	9	31.7	31.7	32.2	32.9	33.5	32.7	31.7	32.0	32.2	31.0	32.8	32.8	32.6	32.9	32.3
	10	31.6	31.6	32.0	32.9	33.4	32.6	34.8	35.0	34.4	33.0	32.6	32.7	32.7	32.6	32.1
	11	31.3	31.5	32.0	32.2	32.7	33.2	33.3	33.6	33.9	33.5	32.7	32.8	32.7	32.8	32.3
	12	31.6	31.5	32.0	32.4	33.2	32.4	33.3	34.7	33.1	33.0	32.6	33.0	33.1	32.9	32.4
	13	31.7	31.8	32.3	32.8	33.3	33.0	33.9	34.8	33.2	32.5	33.1	33.1	32.6	32.5	32.4
	14	31.6	31.8	32.2	32.9	33.5	34.0	32.9	35.0	34.6	33.1	33.1	32.8	32.7	32.8	32.3
	15	31.5	31.7	32.4	32.6	33.2	33.3	33.5	33.4	33.1	33.1	33.4	32.5	32.8	32.9	32.4
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ไม่มีปล่องรังสีอาทิตย์	1	31.9	32.4	32.4	32.4	32.7	32.4	32.7	32.8	34.3	33.8	34.0	33.5	34.0	33.1	33.0
	2	32.4	32.8	32.6	32.5	32.7	32.5	32.7	32.8	34.3	33.8	34.1	33.7	34.1	33.2	33.0
	3	32.6	32.9	32.9	32.8	33.0	32.8	33.0	33.0	34.3	33.7	34.0	33.7	33.9	33.3	33.0
	4	31.4	31.9	32.2	32.6	33.1	32.6	33.1	33.1	33.6	33.5	33.6	33.6	33.7	33.0	32.8
	5	31.6	32.0	32.2	32.5	33.2	32.5	33.2	33.3	33.6	33.5	33.7	33.6	33.8	33.1	32.9
	6	31.5	32.1	32.2	32.6	33.1	32.6	33.1	33.0	33.7	33.5	33.8	33.7	33.8	34.3	32.8
	7	32.8	33.2	32.9	32.7	33.4	32.7	33.4	33.0	34.5	33.9	34.3	33.8	34.2	33.1	33.2
	8	32.8	33.0	33.1	32.6	33.0	32.6	33.0	33.1	34.1	33.8	34.0	34.2	33.8	33.2	33.0
	9	32.6	33.0	33.1	32.3	32.8	32.3	32.8	32.8	34.5	33.7	34.0	35.0	35.6	33.0	33.3
	10	31.6	32.1	32.3	32.5	32.6	32.5	32.6	32.7	33.7	33.9	33.7	33.6	33.0	32.9	32.8
	11	31.7	32.0	32.5	32.6	32.7	32.6	32.7	32.8	33.7	33.7	34.0	33.7	33.5	33.1	32.9
	12	31.5	32.1	32.4	32.7	32.6	32.7	32.6	33.0	33.6	33.6	33.7	33.6	33.2	33.0	32.9
	13	31.4	31.8	31.9	32.8	33.1	32.8	33.1	33.1	33.5	32.9	33.4	33.6	32.5	32.5	32.5
	14	32.1	32.5	32.7	32.6	33.1	32.6	33.1	32.8	34.0	34.0	34.0	33.7	33.3	33.3	32.6
	15	31.8	32.3	32.6	33.0	33.4	33.0	33.4	32.5	33.1	34.2	34.1	34.2	33.6	33.2	33.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของอุณหภูมิในกรณีบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่ กับบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก

ตารางที่ ก-10 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Natural Convection Flow ชุดที่ 1

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตามทางชุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่	1	29.6	30.2	30.2	30.2	31.2	31.1	31.2	31.8	32.0	32.1	32.3	32.4	32.5	32.3	32.1
	2	29.7	30.0	30.3	30.3	30.8	31.0	31.3	31.7	31.8	32.1	32.2	32.5	32.6	32.2	32.3
	3	29.7	30.0	30.1	30.1	30.6	31.1	31.3	32.0	31.5	32.3	32.3	32.8	32.7	32.3	32.3
	4	29.8	30.1	30.2	30.4	30.8	31.2	31.4	32.0	31.5	32.6	32.6	32.8	32.7	32.1	32.1
	5	29.9	29.8	30.3	30.3	30.9	31.3	32.0	32.1	31.3	32.3	32.7	32.7	32.5	32.1	32.3
	6	30.0	29.9	30.3	30.2	30.8	31.3	31.5	32.1	31.6	32.3	32.5	32.5	33.1	32.3	32.3
	7	30.0	29.8	30.1	30.4	30.8	31.4	31.6	31.7	31.6	32.5	32.3	32.5	32.3	32.1	32.4
	8	29.4	29.8	30.4	30.3	30.9	31.3	31.6	31.7	31.3	32.6	32.1	32.4	32.6	32.1	32.3
	9	29.6	29.9	30.1	30.2	30.9	30.9	31.7	31.6	31.2	31.5	32.2	32.6	32.7	32.0	32.1
	10	29.7	29.8	30.2	30.5	30.9	30.9	31.6	31.7	31.8	31.3	32.3	32.7	32.6	32.3	32.0
	11	29.7	30.0	30.1	30.6	30.8	31.0	31.3	32.1	31.5	31.8	31.8	32.7	32.7	32.4	31.9
	12	29.8	30.0	29.9	30.4	30.9	31.0	31.6	32.0	31.8	32.0	32.5	32.5	32.8	32.4	31.8
	13	29.7	30.0	30.1	30.5	31.0	31.1	31.7	32.1	31.5	32.3	32.4	32.6	32.8	32.5	31.9
	14	29.9	30.0	30.1	30.3	31.0	31.3	31.6	32.0	31.6	32.1	32.3	32.7	32.6	32.5	31.8
	15	29.8	29.8	30.2	30.4	31.0	31.3	31.5	32.3	31.8	32.0	32.1	32.9	32.7	32.3	31.7
ตำแหน่งชุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก	1	29.8	29.9	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	33.2	33.5	33.6	34.2	32.6	32.8	32.5
	2	29.9	30.0	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.0	33.1	33.6	33.5	34.1	32.8	32.9	32.4
	3	29.9	30.0	30.0	30.3	31.1	31.4	32.0	32.0	33.3	33.5	33.4	33.6	32.8	32.7	32.3
	4	30.1	30.1	30.2	30.3	31.2	31.3	32.0	31.9	33.4	33.4	33.6	33.2	33.1	32.5	32.3
	5	30.0	30.0	30.2	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	33.2	33.5	33.7	33.5	33.1	32.8	32.3
	6	30.1	30.0	30.1	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	33.2	33.5	33.6	33.1	32.5	32.9	32.1
	7	30.1	30.1	30.1	30.4	31.2	31.0	31.7	32.1	33.1	33.5	33.1	33.2	32.6	33.0	32.1
	8	30.2	30.1	30.1	30.3	31.3	31.3	31.7	32.3	33.2	33.4	33.0	33.3	32.7	33.1	32.3
	9	30.0	30.1	30.2	30.3	31.2	31.4	31.6	32.3	33.4	33.6	33.8	33.6	32.6	32.9	32.3
	10	30.0	30.1	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	32.0	33.0	33.4	33.4	32.8	32.7	32.6	32.1
	11	30.1	30.1	30.3	30.5	30.8	31.6	32.1	32.0	33.6	33.6	33.5	32.9	32.7	32.8	32.3
	12	29.8	30.2	30.3	30.4	31.0	31.6	32.0	32.1	33.2	33.5	33.5	32.8	33.1	32.9	32.4
	13	29.9	30.2	30.4	30.6	31.2	31.6	32.1	31.9	33.5	33.5	33.6	33.0	32.6	32.5	32.4
	14	29.8	30.0	30.3	30.4	31.2	31.7	32.0	32.0	33.4	33.3	34.1	33.1	32.7	32.8	32.3
	15	29.8	30.0	30.3	30.5	31.3	31.8	32.3	32.3	33.3	33.4	33.9	32.8	32.8	32.9	32.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-12 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Mixed Convection Flow ชุดที่ 1

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบานพัดตรงบงของโรงอาหารเขตขนาด	1	29.5	29.8	30.2	30.1	31.2	31.1	31.1	31.5	32.0	32.1	32.3	32.4	32.5	32.3	32.1
	2	29.4	30.1	30.1	30.1	30.8	31.0	31.0	31.6	31.8	32.1	32.2	32.5	32.6	32.2	32.3
	3	29.5	30.1	30.1	30.1	30.6	31.1	31.1	31.5	31.5	32.3	32.3	32.8	32.7	32.3	32.3
	4	29.5	30.1	30.1	30.3	30.8	31.2	31.2	31.5	31.5	32.6	32.6	32.8	32.7	32.1	32.1
	5	29.6	30.1	30.1	30.3	30.9	31.3	31.3	31.3	31.3	32.3	32.7	32.7	32.5	32.1	32.3
	6	29.7	30.0	30.1	30.2	30.8	31.3	31.3	31.6	31.6	32.3	32.5	32.5	33.1	32.3	32.3
	7	29.7	30.0	30.0	30.2	30.8	31.4	31.4	31.8	31.6	32.5	32.3	32.5	32.3	32.1	32.4
	8	29.9	29.9	29.9	30.2	30.9	31.3	31.3	31.8	31.3	32.6	32.1	32.4	32.6	32.1	32.3
	9	29.9	29.9	29.9	30.2	30.9	30.9	30.9	31.7	31.2	31.5	32.2	32.6	32.7	32.0	32.1
	10	30.1	29.8	29.8	30.1	30.9	30.9	30.9	31.6	31.8	31.3	32.3	32.7	32.6	32.3	32.0
	11	30.0	30.0	29.9	30.2	30.8	31.0	31.0	31.5	31.5	31.8	31.8	32.7	32.7	32.4	31.9
	12	29.9	30.0	30.0	30.3	30.9	31.0	31.0	31.5	31.8	32.0	32.5	32.5	32.8	32.4	31.8
	13	29.8	30.0	30.1	30.3	31.0	31.1	31.1	31.8	31.5	32.3	32.4	32.6	32.8	32.5	31.9
	14	29.8	30.0	30.1	30.1	31.0	31.3	31.3	31.8	31.6	32.1	32.3	32.7	32.6	32.5	31.8
	15	29.9	29.8	30.1	30.3	31.0	31.3	31.3	31.7	31.8	32.0	32.1	32.9	32.7	32.3	31.7
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของงานที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก	1	29.9	29.9	30.0	30.2	31.2	31.5	31.8	32.1	32.2	32.4	32.7	32.8	32.6	32.8	32.5
	2	29.8	30.0	30.0	30.3	31.0	31.5	31.7	32.0	32.2	32.5	32.7	32.8	32.8	32.9	32.4
	3	30.1	30.0	30.0	30.3	31.1	31.4	32.0	32.0	31.9	32.8	33.0	33.0	32.8	32.7	32.3
	4	30.1	30.1	30.2	30.3	31.2	31.3	32.0	31.9	31.8	32.6	33.1	33.1	33.1	32.5	32.3
	5	29.8	30.0	30.2	30.2	31.3	31.3	32.1	32.3	31.8	32.5	33.2	33.3	33.1	32.8	32.3
	6	29.9	30.0	30.1	30.4	31.3	31.0	32.1	32.3	31.9	32.6	33.1	33.0	32.5	32.9	32.1
	7	29.5	30.1	30.1	30.4	31.2	31.0	31.7	32.1	32.3	32.7	33.4	33.0	32.6	33.0	32.1
	8	29.8	30.1	30.1	30.3	31.3	31.3	31.7	32.3	32.3	32.6	33.0	33.1	32.7	33.1	32.3
	9	29.9	30.1	30.2	30.3	31.2	31.4	31.6	32.3	32.4	32.3	32.8	32.8	32.6	32.9	32.3
	10	29.9	30.1	30.3	30.5	30.9	31.5	31.7	32.0	32.4	32.5	32.6	32.7	32.7	32.6	32.1
	11	30.0	30.1	30.3	30.5	30.8	31.6	32.1	32.0	32.0	32.6	32.7	32.8	32.7	32.8	32.3
	12	30.0	30.2	30.3	30.4	31.0	31.6	32.0	32.1	32.0	32.7	32.6	33.0	33.1	32.9	32.4
	13	30.0	30.2	30.4	30.6	31.2	31.6	32.1	31.9	32.1	32.8	33.1	33.1	32.6	32.5	32.4
	14	30.0	30.0	30.3	30.4	31.2	31.7	32.0	32.0	32.4	32.6	33.1	32.8	32.7	32.8	32.3
	15	29.7	30.0	30.3	30.5	31.3	31.8	32.3	32.3	32.1	33.0	33.4	32.5	32.8	32.9	32.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-13 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Mixed Convection Flow ชุดที่ 2

เวลา		9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก	1	29.7	30.0	30.2	30.2	31.2	31.2	31.5	31.4	31.5	31.5	31.5	32.1	31.5	31.5	31.1
	2	29.9	29.9	30.2	30.3	30.8	31.0	31.6	31.5	31.5	31.3	31.7	32.1	31.5	31.5	31.0
	3	29.9	29.9	30.2	30.3	30.6	31.1	31.5	31.3	31.4	31.6	30.6	32.3	31.4	31.4	31.1
	4	30.1	29.8	30.2	30.3	30.8	31.2	31.5	31.6	31.3	31.6	31.5	32.6	31.3	31.3	31.2
	5	30.0	30.0	30.1	30.2	30.9	31.3	31.3	31.6	31.3	31.3	31.7	32.3	31.3	31.3	31.3
	6	29.9	30.0	30.2	30.4	30.8	31.3	31.6	31.4	31.0	31.2	30.9	32.3	31.0	31.0	31.3
	7	29.8	30.0	30.3	30.4	30.8	31.2	31.8	31.5	31.0	31.5	31.0	32.5	31.0	31.0	31.4
	8	29.8	30.0	30.3	30.3	30.9	31.3	31.8	31.4	31.3	31.3	31.5	32.6	31.3	31.3	31.3
	9	29.9	29.8	30.1	30.3	30.9	31.2	31.7	31.5	31.4	31.6	31.8	31.5	31.4	31.4	31.3
	10	29.9	29.9	30.3	30.3	30.9	30.9	31.6	31.6	31.5	31.6	31.7	31.3	31.5	31.5	31.0
	11	29.8	30.0	30.1	30.2	30.8	31.2	31.5	31.5	31.6	31.3	31.8	31.8	31.6	31.6	31.0
	12	30.1	30.0	30.1	30.4	30.9	31.0	31.5	31.5	31.6	31.2	31.7	32.0	31.5	31.6	31.3
	13	30.1	30.0	30.1	30.4	31.0	31.1	31.8	31.3	31.6	31.8	32.4	32.3	31.6	31.6	31.4
	14	29.8	30.0	30.3	30.3	31.0	31.2	31.8	31.6	31.7	31.5	31.4	32.1	31.5	31.7	31.5
	15	29.9	29.7	30.3	30.3	31.0	31.3	31.7	31.8	31.8	31.6	31.8	32.0	31.2	31.8	31.6
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่	1	29.9	30.2	31.2	31.5	31.5	32.0	32.1	32.4	33.0	33.3	32.7	32.6	32.3	31.2	31.2
	2	30.0	30.3	31.0	31.5	31.5	31.8	32.1	32.5	32.9	33.7	32.7	32.8	32.2	31.3	31.0
	3	30.0	30.3	31.1	31.1	31.4	31.5	32.3	32.8	32.9	32.8	33.0	32.8	32.3	31.3	31.1
	4	30.1	30.3	31.2	31.3	31.3	31.5	32.6	32.6	33.3	33.7	33.1	33.1	32.1	31.4	31.2
	5	30.0	30.2	31.3	30.9	31.3	31.3	32.3	32.5	32.9	33.1	33.2	33.1	32.1	32.0	31.3
	6	30.0	30.4	31.3	31.4	31.0	31.6	32.3	32.6	33.0	32.7	33.1	32.5	32.3	31.5	31.3
	7	30.1	30.4	31.2	31.9	31.0	31.6	32.5	32.7	33.4	32.7	33.4	32.6	32.1	31.6	31.2
	8	30.1	30.3	31.3	31.4	31.3	31.3	32.6	32.6	32.9	33.7	33.0	32.7	32.1	31.6	31.3
	9	30.1	30.3	31.2	31.5	31.4	31.2	31.5	32.3	33.3	33.2	32.8	32.6	32.0	31.7	31.2
	10	30.1	30.5	30.9	31.3	31.5	31.8	31.3	32.5	33.4	33.0	32.6	32.7	32.3	31.6	30.9
	11	30.1	30.5	30.8	31.6	31.6	31.5	31.8	32.6	32.9	33.1	32.7	32.7	32.4	31.3	30.8
	12	30.2	30.4	31.0	31.6	31.6	31.8	32.0	32.7	33.0	33.1	32.6	33.1	32.4	31.6	31.0
	13	30.2	30.6	31.2	31.4	31.6	31.5	32.3	32.8	32.9	34.2	33.1	32.6	32.5	31.7	31.2
	14	30.0	30.4	31.2	31.5	31.7	31.6	32.1	32.6	33.1	34.0	33.1	32.7	32.5	31.6	31.2
	15	30.0	30.5	31.3	31.4	31.8	31.8	32.0	33.0	33.0	34.0	33.4	32.8	32.3	31.5	31.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-14 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Forced Convection Flow ชุดที่ 1

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบานหน้าต่างตรงกลางของห้อง	1	31.4	31.5	31.5	32.4	32.5	32.9	33.3	33.3	33.0	33.2	34.1	33.5	34.0	33.1	33.0
	2	31.4	31.3	31.3	32.6	32.7	33.0	33.5	33.5	33.1	33.2	34.2	33.7	34.1	33.2	33.0
	3	31.3	31.5	31.8	32.9	32.7	32.7	33.6	33.4	33.1	33.4	34.2	33.7	33.9	33.3	33.0
	4	31.5	31.5	31.7	32.2	32.5	32.7	33.1	33.2	32.8	33.1	33.9	33.6	33.7	33.0	32.8
	5	31.1	31.7	31.9	32.2	32.5	32.7	33.6	34.0	32.9	33.1	33.8	33.6	33.8	33.1	32.9
	6	31.3	31.7	31.8	32.2	32.5	32.7	33.7	34.0	32.9	33.2	33.7	33.7	33.8	34.3	32.8
	7	31.4	31.5	31.8	32.9	32.7	33.0	33.3	33.6	33.3	33.2	34.0	33.8	34.2	33.1	33.2
	8	31.2	31.7	31.8	33.1	32.7	33.0	33.2	33.5	33.7	33.9	33.9	34.2	33.8	33.2	33.0
	9	31.5	31.9	32.2	33.1	33.5	32.7	31.7	32.0	32.2	31.0	35.0	35.0	35.6	33.0	33.3
	10	31.5	32.0	32.0	32.3	33.4	32.6	34.8	35.0	34.4	33.0	33.4	33.6	33.0	32.9	32.8
	11	31.4	31.5	32.0	32.5	32.7	33.2	33.3	33.6	33.9	33.5	33.7	33.7	33.5	33.1	32.9
	12	31.6	31.9	32.0	32.4	33.2	32.4	33.3	34.7	33.1	33.0	33.4	33.6	33.2	33.0	32.9
	13	31.8	31.9	32.3	31.9	33.3	33.0	33.9	34.8	33.2	32.5	32.6	33.6	32.5	32.5	32.5
	14	31.6	32.0	32.2	32.7	33.5	34.0	32.9	35.0	34.6	33.1	34.8	33.7	33.3	33.3	32.6
	15	31.5	31.9	32.4	32.6	33.2	33.3	33.5	33.4	33.1	33.1	33.8	34.2	33.6	33.2	33.2
ตำแหน่งจุดอุณหภูมิของบานหน้าต่างซ้ายสุด	1	31.9	32.4	32.4	33.6	33.5	34.3	33.8	34.0	34.3	34.8	34.4	33.8	34.3	33.2	33.0
	2	32.4	32.8	32.6	33.5	34.0	34.3	33.8	34.1	34.3	34.8	34.7	34.2	34.2	33.4	33.1
	3	32.6	32.9	32.9	33.7	34.0	34.3	33.7	34.0	34.3	35.0	34.6	34.4	34.1	33.4	33.2
	4	31.4	31.9	32.2	32.7	33.0	33.6	33.5	33.6	33.9	34.0	34.2	33.8	33.8	33.0	33.0
	5	31.6	32.0	32.2	32.7	33.2	33.6	33.5	33.7	33.9	34.0	34.2	33.9	33.8	33.2	33.0
	6	31.5	32.1	32.2	32.8	33.2	33.7	33.5	33.8	34.0	34.0	34.3	34.0	33.7	33.2	33.0
	7	32.8	33.2	32.9	33.8	33.7	34.5	33.9	34.3	34.6	35.0	35.2	34.3	34.5	33.4	32.9
	8	32.8	33.0	33.1	33.5	33.9	34.1	33.8	34.0	34.2	34.5	34.5	34.3	34.0	33.8	33.4
	9	32.6	33.0	33.1	33.8	34.3	34.5	33.7	34.0	34.3	35.1	35.3	34.3	34.2	33.6	33.0
	10	31.6	32.1	32.3	32.9	33.2	33.7	33.9	33.7	35.0	34.0	34.3	33.7	34.1	33.1	33.3
	11	31.7	32.0	32.5	32.6	33.1	33.7	33.7	34.0	34.2	33.9	34.3	33.8	33.8	33.3	33.2
	12	31.5	32.1	32.4	32.8	33.1	33.6	33.6	33.7	34.3	34.0	34.3	33.8	33.7	33.2	32.8
	13	31.4	31.8	31.9	32.8	33.2	33.5	32.9	33.4	33.6	34.1	33.8	33.5	33.5	33.3	32.4
	14	32.1	32.5	32.7	32.7	33.2	34.0	34.0	34.0	34.4	34.4	34.5	33.9	34.1	33.7	33.2
	15	31.8	32.3	32.6	32.8	32.7	33.1	34.2	34.1	34.3	34.2	34.2	34.0	34.0	33.8	33.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-14 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้ในกรณี Forced Convection Flow ชุดที่ 2

เวลา	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดกลาง	1	30.9	31.0	31.0	31.4	31.3	31.5	32.4	32.4	32.7	32.6	33.5	33.0	33.3	32.4	32.5
	2	30.8	31.1	31.2	31.4	31.4	31.3	32.6	32.8	32.7	32.8	34.0	33.2	33.5	32.6	32.6
	3	30.4	31.1	31.4	31.3	31.3	31.8	32.9	32.9	32.8	32.7	34.0	33.2	33.4	32.8	32.4
	4	30.6	31.0	31.3	31.5	31.3	31.7	32.2	31.9	32.6	32.4	33.0	33.7	33.2	32.1	32.6
	5	31.2	31.1	31.2	31.1	31.4	31.7	32.2	32.0	32.5	32.5	33.2	33.9	34.0	32.3	32.8
	6	31.0	31.2	31.3	31.3	31.5	31.5	32.2	32.1	32.4	33.0	33.2	34.3	34.0	32.0	31.9
	7	31.1	30.9	31.1	31.4	31.0	31.6	32.9	33.2	32.4	33.1	33.7	33.2	33.6	32.7	32.9
	8	31.2	30.8	31.5	31.2	31.2	31.4	33.1	33.0	32.5	33.2	33.9	33.1	33.5	33.2	33.0
	9	31.0	30.9	31.2	31.5	31.2	31.6	33.1	33.0	32.4	33.3	34.3	33.1	32.0	32.6	33.3
	10	31.3	31.1	31.0	31.5	31.2	32.0	32.3	32.1	32.4	33.1	33.2	33.2	32.7	32.5	32.8
	11	31.3	31.0	31.2	31.4	31.4	31.9	32.5	32.0	32.3	32.6	33.1	33.2	33.4	32.4	32.9
	12	30.8	31.0	31.3	31.6	31.5	31.7	32.4	32.1	32.6	32.8	33.1	32.7	32.9	32.8	32.4
	13	31.2	31.4	31.4	31.8	31.7	31.8	31.9	31.8	32.7	32.4	33.2	33.3	33.6	32.0	32.3
	14	31.2	31.3	31.3	31.6	31.6	32.2	32.7	32.5	32.6	32.7	33.2	32.6	32.7	32.7	32.4
	15	31.1	31.3	31.5	31.5	31.5	32.4	32.6	32.3	32.5	32.6	32.7	32.5	32.5	32.6	32.6
ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิของบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก	1	30.9	31.2	31.3	31.9	32.2	33.6	32.5	32.7	33.0	33.5	33.3	33.5	33.8	33.1	32.7
	2	30.8	31.5	31.4	31.8	32.5	33.5	32.6	32.8	33.0	33.8	33.5	34.0	34.2	33.1	33.5
	3	31.0	31.6	31.3	31.8	32.0	33.7	32.4	32.9	32.1	32.9	33.6	34.0	34.4	33.0	33.4
	4	31.2	31.4	31.3	31.7	32.1	32.7	32.5	32.5	32.0	32.6	33.1	33.0	33.8	33.2	32.7
	5	31.4	31.5	31.4	31.8	32.0	32.7	32.6	32.6	32.1	32.8	33.5	33.2	33.9	33.3	33.2
	6	31.3	31.9	31.5	32.1	32.1	32.8	32.3	32.4	31.8	32.8	33.4	33.2	34.0	33.0	33.3
	7	31.2	31.7	31.0	31.2	33.2	33.8	32.4	32.5	32.5	32.7	33.5	33.7	34.3	33.4	33.5
	8	31.3	31.6	31.2	32.3	33.0	33.5	32.6	32.6	32.3	32.8	33.6	33.9	34.3	33.5	33.2
	9	30.9	31.5	31.2	32.2	33.0	33.8	32.8	33.5	33.5	32.5	33.4	34.3	34.3	33.0	33.3
	10	30.8	31.4	31.2	32.3	32.1	32.9	32.3	33.4	34.0	32.7	33.3	33.2	33.7	33.1	33.5
	11	31.6	30.9	31.4	31.9	32.0	32.6	32.5	32.7	34.0	32.7	33.3	33.1	33.8	33.2	33.6
	12	31.5	30.9	31.5	31.8	32.1	32.8	32.4	33.2	33.0	32.5	33.3	33.1	33.8	32.8	33.1
	13	31.0	31.6	31.7	31.2	31.8	32.8	32.5	33.3	33.2	32.5	33.9	33.2	33.5	32.4	33.6
	14	31.2	31.5	31.6	32.2	32.5	32.7	32.7	33.5	33.2	32.5	32.9	33.2	33.9	33.2	33.7
	15	31.3	31.8	31.5	32.1	32.3	32.8	32.7	33.2	33.7	32.7	33.5	32.7	34.0	33.3	33.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-15 ความเร็วลมที่ช่องเปิด อุณหภูมิบรรยากาศ ความเร็วลมและทิศทางที่ลมพัดเข้าหาบ้าน

เวลา	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	
บ้านจำลองหลังที่ไม่มีปล่องรังสี กรณี Natural Convection Flow	1*	0.4	0.2	0.5	0.2	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1	0.5	0.4	0.3	0.1	0.5	0.3
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	30.6	30.6	30.9	31	31.3	31.4	31.6	31.8	32	32.2	32.3	31.8	31.7	31.5	31.5
	V	2.16	1.5	2	3	2.5	5	0.5	3	3	2.7	3.8	2	4.8	5	4
	D	S	S	S	S	SW	S	S	S	SW	S	S	SW	SW	SW	SW
บ้านจำลองหลังที่ไม่มีปล่องรังสี กรณี Mixed Convection Flow	1*	0.5	0.6	0.5	1.0	0.4	1.2	0.9	0.6	0.7	0.3	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	30.1	30.9	31.2	32.4	33.3	32.7	33.5	34.2	32.9	32.4	32.3	33.5	32.3	32.3	32
	V	1	1.5	3	1.4	4	4.5	2.6	4.7	2.7	4.3	4.5	4.2	3.3	3.1	4.5
	D	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S	S
บ้านจำลองหลังที่ไม่มีปล่องรังสี กรณี Forced Convection Flow	1*	0.7	1.7	1.2	1.4	1.2	0.8	0.5	0.6	0.9	0.8	1.1	1.1	1.8	0.6	0.8
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	31	31.2	32.3	32.9	32.4	32.6	32.1	32.3	32	33.1	32.1	33.6	33.2	33.3	32.6
	V	1	1.5	2.5	2.5	1.5	2	2.5	1.5	2.5	2.5	3	2	3	3	3
	D	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S

หน่วย

อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$), ความเร็วลม (m/s)

(มีต่อ)

1*, 2* และ 3*

คือ ความเร็วลมที่ช่องประตูทางเข้า, ช่องทางออก และปล่องรังสีอาทิตย์ตามลำดับ

4* และ 5*

คือ ความเร็วลมที่ช่องทางเข้าและช่องทางออกตามลำดับ

T, V และ D

คือ อุณหภูมิบรรยากาศ, ความเร็วลม และทิศทางที่ลมพัดเข้าหาตัวบ้านตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-16 ความเร็วลมที่ช่องเปิด อุณหภูมิบรรยากาศ ความเร็วลมและทิศทางที่ลมพัดเข้าหาบ้าน

เวลา	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	
บ้านจำลองหลังที่มีปล่องรังสี กรณี Natural Convection Flow	1*	0.4	0.2	0.5	0.2	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1	0.5	0.4	0.6	0.1	0.5	0.6
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	0.2	0.15	0.54	0.3	0.5	0.3	0.3	0.6	0.8	0.8	0.7	0.4	0.5	0.2	0.6
	4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	30.6	30.6	30.9	31	31.3	31.4	31.6	31.8	32	32.2	32.3	31.8	31.7	31.5	31.5
	V	2.16	1.5	2	3	2.5	5	0.5	3	3	2.7	3.8	2	4.8	5	4
	D	S	S	S	S	SW	S	S	S	SW	S	S	SW	SW	SW	SW
บ้านจำลองหลังที่มีปล่องรังสี กรณี Mixed Convection Flow	1*	0.2	0.2	0.2	1.5	0.2	1.2	1.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	0.4	0.6	0.4	0.8	1	0.6	0.9	0.8	0.6	1.9	1.3	0.3	0.6	0.8	0.3
	4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	30.1	30.9	31.2	32.4	33.3	32.7	33.5	34.2	32.9	32.4	32.3	33.5	32.3	32.3	32
	V	1	1.5	3	1.4	4	4.5	2.6	4.7	2.7	4.3	4.5	4.2	3.3	3.1	4.5
	D	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S	S
-บ้านจำลองหลังที่มีปล่องรังสี กรณี Forced Convection Flow	1*	0.7	1.7	1.2	0.4	0.2	0.8	0.5	0.6	0.5	0.5	1.1	1.1	1.8	0.6	0.8
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	0.4	0.6	0.4	0.8	1	0.6	0.9	0.8	0.6	1.9	1.3	0.3	0.6	0.8	0.3
	4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	31	31.2	32.3	32.9	32.4	32.6	32.1	32.3	32	33.1	32.1	33.6	33.2	33.3	32.6
	V	1	1.5	2.5	2.5	1.5	2	2.5	1.5	2.5	2.5	3	2	3	3	3
	D	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S

หน่วย อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$), ความเร็วลม (m/s)

(มีต่อ)

1*, 2* และ 3* คือ ความเร็วลมที่ช่องประตูทางเข้า, ช่องทางออก และปล่องรังสีอาทิตย์ตามลำดับ

4* และ 5* คือ ความเร็วลมที่ช่องทางเข้าและช่องทางออกตามลำดับ

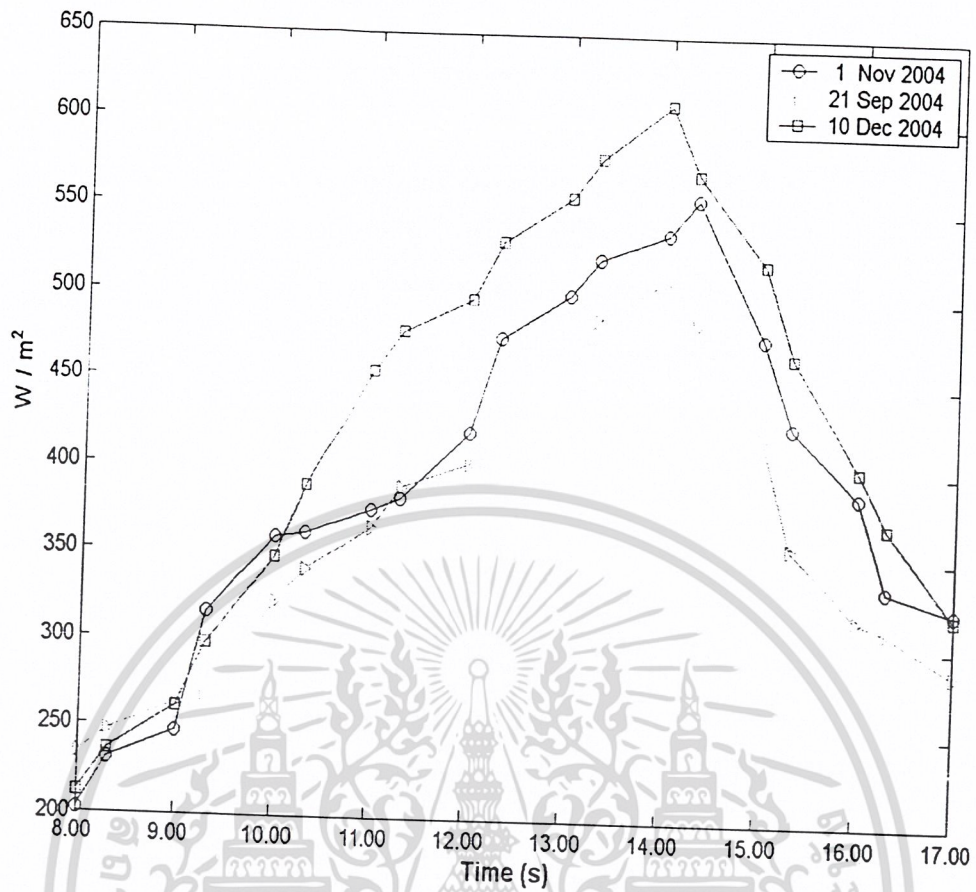
T, V และ D คือ อุณหภูมิบรรยากาศ, ความเร็วลม และทิศทางที่ลมพัดเข้าหาตัวบ้านตามลำดับ

ตารางที่ ก-18 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์

เวลา	วันที่ 16 ส.ค. 2547	วันที่ 21ก.ย. 2547	วันที่ 1 พ.ย. 2547	วันที่ 10 ธ.ค. 2548	วันที่ 11 ม.ค. 2548
9:00	247	263	432	221	321
9:30	315	268	292	297	120
10:00	359	321	345	341	190
10:30	342	277	372	372	123
11:00	352	311	425	421	133
11:30	382	285	342	347	271
12:00	388	339	322	319	341
12:30	476	347	241	249	307
13:00	442	340	233	329	267
13:30	422	378	231	245	291
14:00	433	472	457	420	307
14:30	392	405	297	371	272
15:00	347	367	335	330	349
15:30	321	342	277	209	345
16:00	225	277	221	175	272

หน่วย (W/m²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 แสดงค่าความเข้มของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ข-1 Monthly Sunshine Duration (hrs.)

Station: 455201 BANGKOK METROPOLISES

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
2000	217.4	196.5	221.7	165.4	203.6	116.7	130.5	168.8	125.8	135.6	210.4	229.4	2121.8
2001	209.6	234.8	197.8	256.8	205.1	158	181.3	142.4	166	154.9	217.2	219.8	2343.7
2002	241.1	227.6	234.9	249.8	194.7	168.9	-	111.1	138.9	187.6	184.1	200.4	-
2003	249.4	228.2	206.1	277.4	236.4	184.1	172.9	164.6	117.4	189.4	234.8	257.7	2518.4
mean	229.4	221.8	215.1	237.4	210	156.9	161.6	146.7	137	166.9	211.6	226.8	2321.2

Computer Section

Climatology division

Meteorological department

30-Apr-2004

ตารางที่ ข-2 Extreme Maximum Wind (Knots)

Station: 455201 BANGKOK METROPOLISES

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
2000	18	17	16	24	22	25	23	21	23	25	13	14	25
2001	15	15	20	16	22	21	27	18	17	30	15	14	30
2002	14	14	20	20	24	24	24	19	21	20	16	15	24
2003	17	16	16	15	21	28	25	22	27	14	15	15	28
Ext.	18	17	20	24	24	28	27	22	27	30	16	15	30

Computer Section

Climatology division

Meteorological department

30-Apr-2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 Monthly Mean Wind Speed (knots) and Prevailing Wind

Station: 455201 BANGKOK METROPOLISES

YEAR		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2000	spd.	2.4	2.2	2.9	2.6	2.2	2.1	2.5	2.4	1.9	1.3	1.7	1.5
	prev.	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	S	N	NE
2001	spd.	2.1	2.3	2.2	2.6	2.6	2.9	2.8	2.9	1.7	1.1	1.4	1.5
	prev.	S	S	S	S	S	W	SW	W	W	E	NE	NE
2002	spd.	1.6	2.5	3.1	2.8	2.5	2.1	2.8	2.5	2.5	1.4	1.6	1.3
	prev.	S, E	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	E	NW	E
2003	spd.	1.9	2.7	2.5	3.3	3	2.8	2.3	2.7	2	1.9	1.6	2
	prev.	E	S	S	S	SW	SW	S	W	W	E	E	E
mean spd.		2	2.4	2.7	2.8	2.6	2.5	2.6	2.6	2	1.4	1.6	1.6
prev. wind		S	S	S	S	S	SW	S, SW	S, SW	SW, S	E		NE, N

“-” is missing value/incomplete data

Data Processing sub-division

Climatology division

Meteorological department

30-Apr-2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 Monthly Temperature in Celsius

Station: 455201 BANGKOK METROPOLISES

YEAR		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
2000	mean	28	28.1	29.7	29.5	29.9	28.9	28.8	29	28.5	28.4	27.8	28.5	28.8
	m max.	33	33.5	34.3	33.5	34	32.6	32.5	32.6	32.8	32.6	32.6	33.4	33.1
	maximum	35.5	35.7	37	37.1	36.1	34.4	35.1	34.8	35.1	35.1	35	35.6	37.1
	day	5	28	14	8	29	8	31	1.12	26	26	28	2	8-Apr
	m min.	24.1	23.7	26	26.2	26.3	25.9	26	25.6	25.4	25.3	24.3	24.3	25.3
	minimum	20.4	18.6	22.6	23.4	23.2	23.4	24.2	23.5	24	23.9	20.4	20	18.6
day	29	2	24	17	4	21	6	13	3	8	4	25	2-Feb	
2001	mean	28.6	29.2	29	31.6	29.5	29.5	29.7	29.2	29	28.2	26.9	27.4	29
	m max.	33.3	33.8	33.1	35.7	33.4	33.2	33.1	32.7	33.5	32.6	31.7	32.1	33.2
	maximum	35.7	36.9	36.4	37.4	36.2	35.5	35.7	35.5	35.9	35.8	35.6	35.2	37.4
	day	20	13	29	20	7	6	25	25	17	15	6	7	20-Apr
	m min.	25.1	25.4	25.8	28.3	25.9	26.3	26.8	26.4	25.7	25.3	22.9	23.3	25.6
	minimum	22.2	22	22.1	26.2	24	24.2	24.2	24.5	23.9	24	19.4	18.6	18.6
day	2	17	11	1	3	7	12	16	19	6	27	22	23	23-Dec
2002	mean	27.4	29	29.6	31.2	29.8	29.9	29.9	29	28.7	28.6	28.3	28.7	29.2
	m max.	32.4	33.6	33.5	35.7	33.7	33.6	33.3	32.5	32.5	32.9	32.7	33.2	33.3
	maximum	34.6	35.5	36	38	36.6	34.9	34.7	34.5	34.2	35.2	35.2	35.4	38
	day	18	20	24	9	1	8	12	27	7.10	3	13	5	9-Apr
	m min.	23.3	25.7	26.4	27.4	25.8	25.3	25.5	24.5	23.9	23.1	24.1	25.2	25.1
	minimum	19.5	23.8	21.5	25.2	23.5	22.5	22.4	22.3	21.5	19.8	19.2	22.4	19.2
day	3	26	9	12	21	23	29	21	30	11	6	29	6-Nov	
2003	mean	27.4	29.1	29.4	31.4	30.7	29.9	29	29.4	28.3	29.1	39.8	27	29.2
	m max.	32.5	33.9	33.8	35.8	35	34	32.7	33.1	32.1	33.2	34.7	32.4	33.6
	maximum	35	35.5	36.3	38.2	38.6	35.8	35.8	35.8	33.9	35.2	36.9	35.2	38.6
	day	31	2	5	28	7	10	18	29	25	6	9	25	7-Mav
	m min.	23.1	25.4	25.8	27.7	27.1	26.4	26	26.6	25.5	25.5	25.5	22.4	25.6
	minimum	19.3	20.5	22.6	24.7	24.2	23	23.6	23.6	23.5	23.3	22.6	18.1	18.1
day	13	6	15	2	11	22	25	17	19	14	30	21	21-Dec	
mean	mean	27.9	28.9	29.4	30.9	30	29.6	29.4	29.2	28.6	28.6	28.2	27.9	29.1
mean	m max.	32.8	33.7	33.7	35.2	34	33.4	32.9	32.7	32.7	32.8	32.8	32.8	33.3
ext.	maximum	35.7	36.9	37	38.2	38.6	35.8	35.8	35.8	35.9	35.8	36.9	35.6	38.6
mean	m min.	23.9	25.1	26	27.4	26.3	26	26.1	25.8	25.1	24.8	24.1	23.8	25.4
ext.	minimum	19.3	18.6	21.5	23.4	23.2	22.5	22.4	22.3	21.5	19.8	19.2	18.1	18.1

remarks : in line day, if the number of days with maximum or minimum temperature greater than 2 days, the number of days is shown in parenthesis, other number(s) showing the day with maximum or minimum temperature in that month.

Computer Section

Climatology division

Meteorological department

30-Apr-2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 Monthly Relative Humidity (%)

Station: 455201 BANGKOK METROPOLISES

YEAR		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
2000	mean	67	67	69	78	75	78	76	75	77	80	64	63	72
	m max.	82	84	85	90	89	91	89	88	89	93	78	78	86
	m min.	49	47	50	63	60	63	60	61	60	63	49	47	56
	minimum	31	27	27	48	48	55	40	52	40	55	35	40	27
2001	mean	70	70	77	72	77	73	72	73	79	82	65	65	73
	m max.	84	85	90	85	90	87	84	84	92	94	79	78	86
	m min.	52	50	59	55	62	60	59	60	61	65	50	50	57
	minimum	32	29	42	36	39	50	50	51	50	50	32	40	29
2002	mean	66	73	74	71	78	78	77	74	77	76	73	71	74
	m max.	82	88	86	84	90	89	88	86	89	89	87	84	87
	m min.	46	52	59	52	64	66	66	60	61	60	57	55	58
	minimum	36	35	46	31	53	60	51	51	53	36	48	48	31
2003	mean	68	70	75	70	70	72	79	75	79	74	62	58	71
	m max.	80	82	88	83	85	86	91	87	90	88	78	72	84
	m min.	54	52	56	53	54	56	64	61	64	58	45	44	55
	minimum	39	33	39	41	44	47	51	43	52	43	21	34	21
mean	mean	68	70	74	73	75	75	76	74	78	78	66	64	73
mean	m max.	82	85	87	86	89	88	88	86	90	91	81	78	86
mean	m min.	50	50	56	56	60	61	62	61	62	62	50	49	57
ext.	minimum	31	27	27	31	39	47	40	43	40	36	21	34	21

Data Processing sub-division

Climatology division

Meteorological department

30-Apr-2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 Daily Radiation (sun and sky) T, MJ.m⁻²

Station: 455201 BANGKOK METROPOLIS Years: 2000

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	19.38	20.01	-	23.52	25.72	17.98	21.84	-	10.73	14.28	21.04	13.72
2	18.87	20.09	-	22.03	19.55	15.49	9.29	-	12.75	17.07	21.2	18.53
3	17.56	19.5	-	21.48	23.55	12.71	15.51	-	11.42	18.1	20.58	18.09
4	18.55	19.87	-	20.83	16.78	8.8	19.3	-	14.08	18.47	20.8	18.5
5	17.19	19.27	-	19.51	22.73	10.66	14.29	-	10.92	12.28	21.3	18.18
6	17.41	20.2	20.57	15.84	17.6	14.83	13.8	-	12.68	12.48	20.1	17.64
7	14.55	17.17	22.32	20.58	20.29	22.13	12.81	-	15.61	12.19	21.36	17.52
8	14.34	20.22	20.79	15.79	20.09	15.36	16.43	-	22.14	16.14	19.75	13.85
9	14.66	19.37	22.33	20.77	22.65	15.07	16.4	-	17.57	18.34	19.51	12.48
10	16.54	17.67	21.93	8.52	23.71	19.73	14.71	16.55	19.4	13.81	19.72	17.8
11	16.22	18.02	22.8	17.49	22.85	3.37	10.57	23.5	11.07	7.4	19.57	16.02
12	15.59	17.78	24.38	12.08	16.62	18.08	8.32	23.4	15.64	9.41	19.54	16.26
13	14.84	16.98	23.62	14.48	17.21	15.54	14.91	22.88	18.31	11.36	16.04	18.7
14	17.04	16.64	21.26	4.88	17.44	18.26	16.21	23.14	17.5	10.84	17.92	16.33
15	15.26	13.69	24.39	8.75	16.62	20.24	14.28	20.82	12.02	10.87	18.32	4.96
16	16.21	16.29	24.81	17.62	17.98	12.92	11.45	20.42	19.03	15.33	17.57	17.71
17	11.64	13.95	24.73	15.8	16.52	13.55	12.47	19.11	21.64	8.4	10.85	17.33
18	15.83	17.45	22.49	13.47	16.81	14.67	17.04	19.36	12.78	14.43	9.98	15.74
19	12.59	17.34	21.75	15.59	19.39	15.17	16.31	17.67	14.92	9.28	15.9	16.22
20	17.09	16.13	21.14	9.16	15.38	17.63	17.09	20.86	11.48	16.46	19.82	15.25
21	18.41	20.59	21.35	22.69	8.4	19.65	18.63	18.8	16.42	19.77	12.89	17.09
22	18.57	20.18	20.36	10.51	20.23	10.59	20.92	11.67	15.7	11.65	15.97	17.74
23	18.51	21.18	19.24	16.83	10.27	10.16	17.26	11.22	22.7	11.97	14.61	16.59
24	16.96	18.51	6.11	21.29	12.5	9.73	19.16	6.53	17.02	18.76	16.18	17.15
25	13.25	17.7	18.85	18.37	20.91	-	15.11	12.77	14.58	18.58	14.72	17.65
26	19.1	14.8	15.41	23.37	21.6	14.32	21.14	16.54	21.76	17.11	8.13	15.08
27	18.58	19.41	15.19	21.68	21.46	5.31	21.64	14.91	18.53	15.3	16.66	17.54
28	18.58	20.04	18.48	17.88	-	16.13	19.67	14.72	9.51	12.86	17.13	11.72
29	18.44	10.9	10.7	20.17	22.29	23.77	22.91	14.59	17.23	14.69	13.23	16.99
30	15.97		18.43	18.47	20.08	11.89	24.35	16.26	17.48	15.37	16.14	15.39
31	19.76		18.83		9.82		24.76	11.17		10.95		18.02
N	31	29	26*	30	30*	29*	31	22*	30	31	30	31
Total	517.49	520.95	522.26	509.45	557.05	423.54	518.58	376.89	472.62	433.95	516.53	501.79
Mean	16.69	17.96	20.09	16.98	18.57	14.6	16.73	17.13	15.75	14	17.22	16.19

Annual total =5871.1*

Annual mean = 16.83*

(มีต่อ)

"-" is missing value or no data reported

"*" means incomplete data in the specified month and annual values

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6(ต่อ) Daily Radiation (sun and sky) T, MJ.m⁻²

Station: 455201 BANGKOK METROPOLIS Years: 2001

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	18.16	16.75	17.53	20.26	13.6	-	-	-	-	-	-	-
2	18.87	14.8	16.66	19.68	12.15	-	-	-	-	-	-	-
3	17.19	18.65	18.85	23.59	10.85	-	-	-	-	-	-	-
4	17.34	14.34	14.69	23.39	12.86	-	-	-	-	-	-	-
5	15.16	15.01	17.71	21.69	12.77	-	-	-	-	-	-	-
6	9.1	16.4	19.61	23.05	-	-	-	-	-	-	-	-
7	16.62	17.08	17.91	23.57	-	-	-	-	-	-	-	-
8	14.56	12.56	17.57	25.85	-	-	-	-	-	-	-	-
9	17.37	14.04	11.16	22.81	-	-	-	-	-	-	-	-
10	15.46	4.12	6.79	23.18	-	-	-	-	-	-	-	-
11	14.7	15.99	7.46	23.79	-	-	-	-	-	-	-	-
12	16.08	17.42	6.19	14.61	-	-	-	-	-	-	-	-
13	12.75	17.91	11.86	20.25	-	-	-	-	-	-	-	-
14	5.65	10.59	16.76	23.82	-	-	-	-	-	-	-	-
15	13.27	20.23	20.07	19.54	-	-	-	-	-	-	-	-
16	18.02	19.65	21.92	21.93	-	-	-	-	-	-	-	-
17	17.92	19.09	22.41	22.7	-	-	-	-	-	-	-	-
18	14.36	18.33	21.96	18.76	-	-	-	-	-	-	-	-
19	9.08	17.41	18.71	23.41	-	-	-	-	-	-	-	-
20	17.83	17.53	16.56	25.26	-	-	-	-	-	-	-	-
21	12.3	18.23	10.53	24.7	-	-	-	-	-	-	-	-
22	17.17	16.21	8.81	23.29	-	-	-	-	-	-	-	-
23	18.19	18.7	18.96	23.88	-	-	-	-	-	-	-	-
24	19.69	21.66	22.95	23.94	-	-	-	-	-	-	-	-
25	20.3	22.69	18.66	22.08	-	-	-	-	-	-	-	-
26	18.61	20.5	23.2	15.34	-	-	-	-	-	-	-	-
27	19.12	19.81	22.06	16.59	-	-	-	-	-	-	-	-
28	20.61	19.25	22.41	21.49	-	-	-	-	-	-	-	-
29	10.24		21.68	17.78	-	-	-	-	-	-	-	-
30	17.69		18.15	10.84	-	-	-	-	-	-	-	-
31	14.31		14.26		-	-	-	-	-	-	-	-
N	31	28	31	30	5*	*	*	*	*	*	*	*
Total	487.72	474.95	524.05	641.07	62.23	-	-	-	-	-	-	-
Mean	15.73	16.96	16.9	21.37	12.45	-	-	-	-	-	-	-

Annual total = 2190.02*

Annual mean = 16.68*

(มีต่อ)

"-" is missing value or no data reported

"*" means incomplete data in the specified month and annual values

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6(ต่อ) Daily Radiation (sun and sky) T, MJ.m⁻²

Station: 455201 BANGKOK METROPOLIS Years: 2003

Date	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	16.64	16.91	7.53	22.25	14.26	14.09	5.6	17.86	20.33	-	18.84	4.09
2	18.02	17.69	20.38	22.53	20.43	14.58	19.68	18.63	17.04	18.63	19.89	5.37
3	15.68	20.38	8.88	23.19	19.38	9.09	14.61	17.78	14.25	20.04	21.27	4.82
4	7.22	20.85	18.41	23.23	23.84	14.65	14.91	13.18	20	15.62	-	3.95
5	-	20.08	23.39	26.4	22.7	24.06	10.82	16.73	20.23	16.19	18.11	4.1
6	-	19.13	21.94	24.78	21.97	25.16	14.41	12.83	15.61	19.68	18.8	4.07
7	17.25	18.5	24.25	25.66	21.76	25.23	12.66	15	14.6	14	17.44	3.44
8	17.47	18.29	18.25	22.73	20.05	5.07	17.73	17.44	16.76	13.69	18.66	4.85
9	18.06	13.79	13.73	22.21	17.45	21.12	16.19	16.61	18.71	-	20.66	4.61
10	17.99	-	19.24	22.83	15.06	23.43	23.5	18.09	13.97	20.22	20.46	6.83
11	19.51	-	17.82	23.73	21.88	21.87	19.35	15.85	11.79	23.35	20.17	8.65
12	18.58	-	15.18	23.39	14.4	23.34	17.71	16.21	16.17	11.91	16.51	4.73
13	14.06	13.98	15.2	23.23	12.49	18.96	12.31	17.19	6.91	15.32	-	3.45
14	18.71	13.72	6.97	23.46	20.72	21.05	12.85	22.03	11.61	17.49	-	5.22
15	18.3	17.93	19.46	21.57	23.83	19.71	16.43	21.93	16.47	12.82	15.81	5.48
16	19.12	18.65	19.08	22.74	17.83	17.78	22.99	20.09	14.05	-	17.08	4.69
17	19.09	20.69	24.05	22.76	22.17	17.11	21.16	7.22	11.27	-	18.75	5.1
18	18.09	16.58	23.16	25.74	18.66	13.9	24.61	13.96	14.58	-	17.11	5.91
19	19.06	20.55	23.19	22.25	19.46	15.03	22.07	20.47	17.02	-	9.85	7.69
20	17.84	21.09	22.8	24.35	21.14	11.73	16.59	16.39	17.02	-	17.4	6.8
21	16.7	22.21	17.72	25.39	21.38	13.03	18.31	17.5	7.08	-	12.59	4.64
22	17.7	19.48	16.23	23.33	23.05	9.34	13.26	18.39	21.09	-	20.02	5.46
23	18.08	20.18	10.34	17.64	24.58	8.26	11.93	14.62	11.02	-	19.9	4.03
24	20.01	18.44	17.9	14.81	20.17	23.48	6.06	16.13	11.9	-	18.59	4.21
25	18.67	12.79	20.29	23.78	14.72	24.09	4.19	19.2	17.51	-	15.66	4.24
26	7.58	5.51	6.43	23.1	18.5	23.85	3.95	14.47	18.67	-	14.61	4.55
27	-	15.73	19.75	25.31	24.01	20.96	20.26	18.68	12.05	-	20.68	5.86
28	-	17.86	20.66	17.44	21.52	17.87	20.24	23.17	10.09	19.32	19.37	6.05
29	-	-	11.58	9.93	21.39	17.18	19.11	25.84	10.88	22.44	19.5	5.44
30	-	-	12.5	23.89	17.88	9.61	15.19	12.63	8.5	21.67	16.99	5.18
31	-	-	12.5	-	1.56	-	20.39	7.68	-	21.67	-	5.08
N	24*	25*	31	30	31	30	31	31	30	17*	27*	31
Total	409.43	441.01	528.81	672.65	598.24	524.63	489.07	523.8	437.18	304.06	304.06	158.54
Mean	17.06	17.64	17.06	22.42	19.3	17.49	15.78	16.9	14.57	17.89	17.89	5.11

Annual total = 5572.14*

Annual mean = 16.6*

"-" is missing value or no data reported

"*" means incomplete data in the specified month and annual values

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

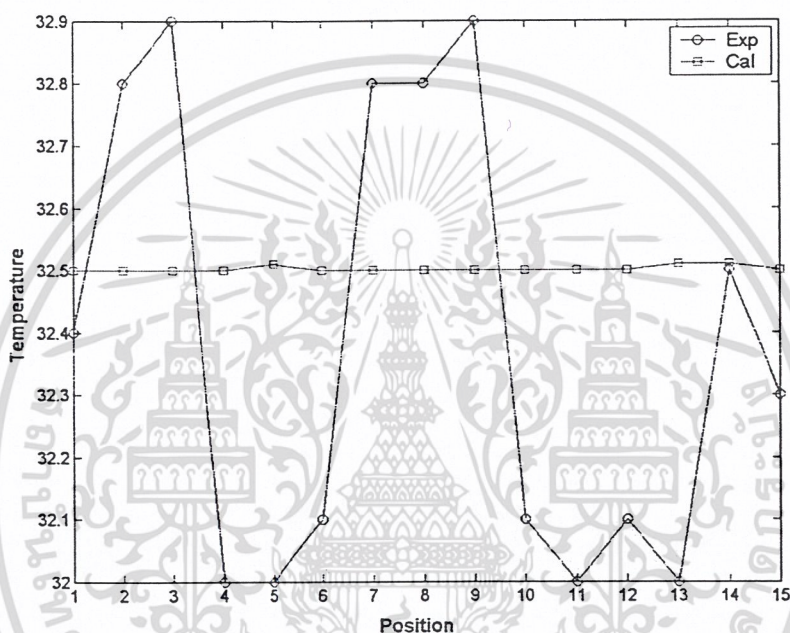
ภาคผนวก ก
แสดงการเปรียบเทียบ
ผลของอุณหภูมิที่คำนวณได้กับการทดลอง



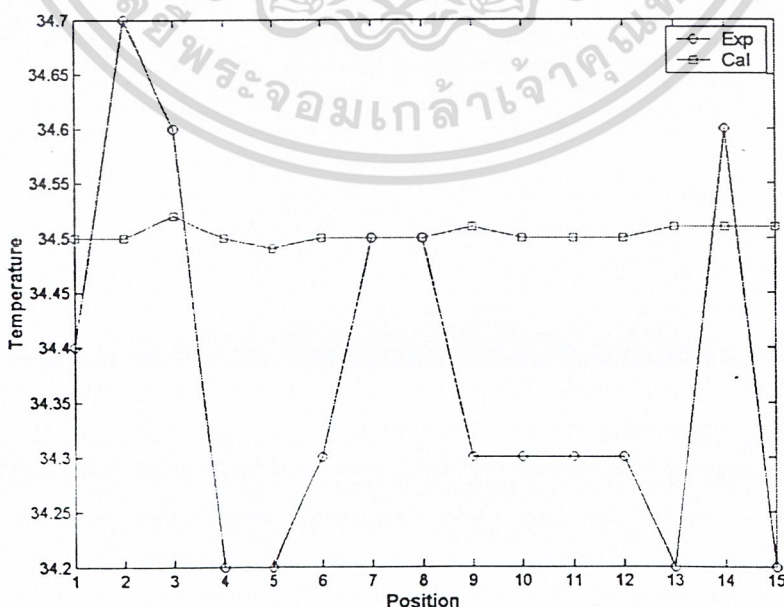
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1แสดงผลอุณหภูมิที่คำนวณได้กับการทดลองลักษณะการไหลแบบ Forced Convection Flow

Test pt.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Big Chimney	Exp.	32.4	32.8	32.9	32	32	32.1	32.8	32.8	32.9	32.1	32	32.1	32	32.5	32.3
	Cal.	32.5	32.5	32.5	32.5	32.51	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.51	32.51	32.5
Small Chimney	Exp.	34.4	34.7	34.6	34.2	34.2	34.3	34.5	34.5	34.3	34.3	34.3	34.3	34.2	34.6	34.2
	Cal.	34.5	34.5	34.52	34.5	34.49	34.5	34.5	34.5	34.51	34.5	34.5	34.5	34.51	34.51	34.51



รูปที่ ค-1 แสดงค่าการเปรียบเทียบบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่

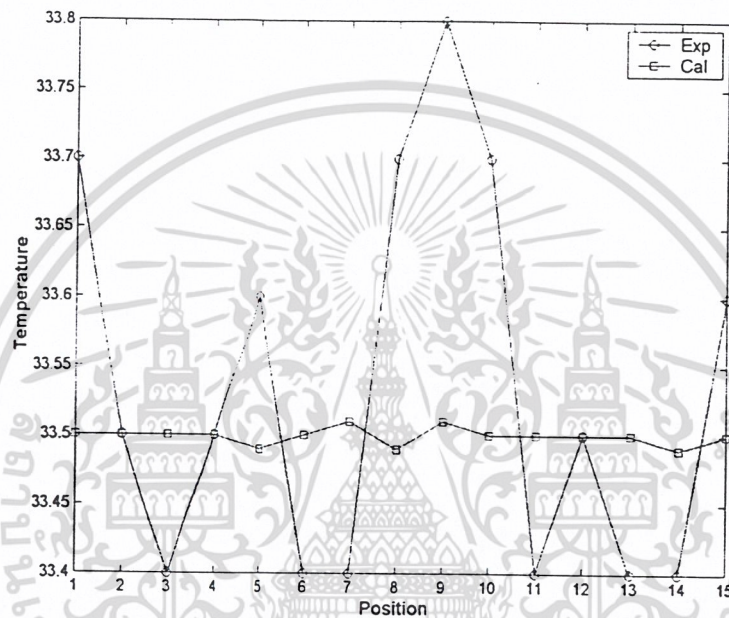


รูปที่ ค-2 แสดงค่าการเปรียบเทียบบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ขนาดเล็ก

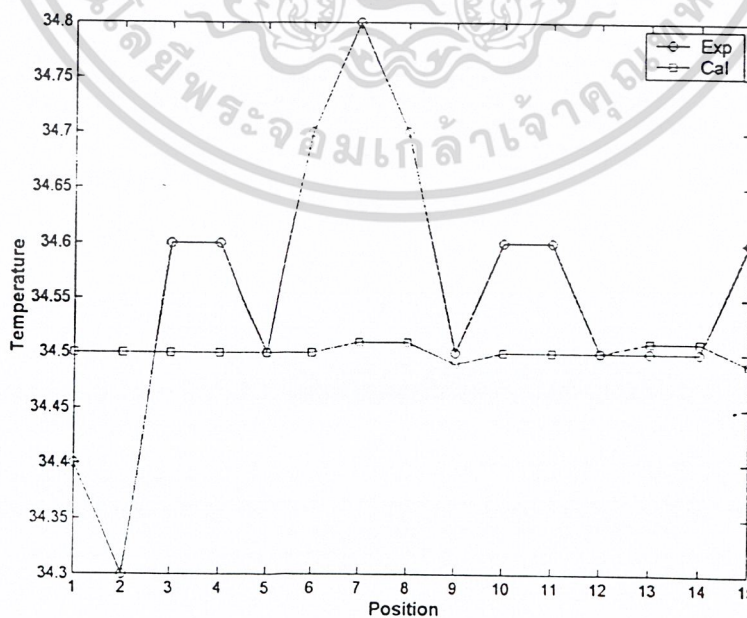
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 แสดงผลอุณหภูมิที่คำนวณได้กับการทดลองลักษณะการไหลแบบ Forced Convection Flow

Test pt.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Chimney	Exp.	33.7	33.5	33.4	33.5	33.6	33.4	33.4	33.7	33.8	33.7	33.4	33.5	33.4	33.4	33.6
	Cal.	33.5	33.5	33.5	33.5	33.49	33.5	33.51	33.49	33.51	33.5	33.5	33.5	33.5	33.49	33.5
No Chimney	Exp.	34.4	34.3	34.6	34.6	34.5	34.7	34.8	34.7	34.5	34.6	34.6	34.5	34.5	34.5	34.6
	Cal.	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.5	34.51	34.51	34.49	34.5	34.5	34.5	34.5	34.51	34.49



รูปที่ ค-3 แสดงค่าการเปรียบเทียบบ้านที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์



รูปที่ ค-4 แสดงค่าการเปรียบเทียบบ้านที่ไม่มีการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการทดลอง

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำการทดลอง กับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าผลการทดลองที่ได้จากการทดลองจริงนั้นจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้นั้นจะมีค่าที่ค่อนข้างจะมีการส่ายขึ้น ลงระหว่างกราฟที่ได้จากผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และพบว่าผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นค่อนข้างจะมีค่าในตำแหน่งต่างๆที่ใกล้เคียงกัน และเราจะเห็นได้จากการทดลองที่เกิดขึ้นจริงจะมีค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่พอสมควร อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากค่าที่ได้จากการทดลองจริงนั้นการวัดอาจจะยังมีค่าที่ผิดพลาดไปบ้างและอุปกรณ์อาจมีค่าที่ไม่ถูกต้อง ร้อยเปอร์เซ็นต์ ดังนั้น หากค่าที่ได้จากการทดลองจริงกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความสอดคล้องกันก็ถือว่าค่าที่ได้สามารถที่จะยอมรับได้ในระดับหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] บุญเลิศ บุญศรี, “การศึกษาอิทธิพลของช่องเปิดต่ออุณหภูมิภายในและการถ่ายเทอากาศแบบธรรมชาติโดยปล่องรังสีอาทิตย์”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ปี พ.ศ.254
- [2] ปราโมทย์ เฉชะอำไพ, “ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม”, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ปี พ.ศ. 2538
- [3] พงษ์เจต พรหมวงศ์, “การถ่ายเทความร้อน”, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิเจ พรีนติ้ง, ปี พ.ศ.2542, หน้า 197-219
- [4] มานิจ ทองประเสริฐ และ สมศรี จรุงเรือง, “พลังงานแสงอาทิตย์ทฤษฎีและการใช้ประโยชน์ทางความร้อน”, พิมพ์ครั้งที่ 1, คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ปี พ.ศ. 2524
- [5] รังสรรค์ พันธุ์เพชร, “โซลาร์คูลลิ่งซิมนี้”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปี พ.ศ. 2543
- [6] John D. Anderson, Jr., “Computational Fluid Dynamics the basics with applications”, McGraw-Hill Inc., Singapore, 1995, pp.49 –72
- [7] Robert W. Fox and Alan T. McDonald, “Introduction to Fluid Mechanics”, 5th ed.. John Willey & Sons, New York, 1998, pp.195-231
- [8] Versteeg, H. K. and Malalaskera, W. , “An Introduction to Computational Fluid Dynamics : The Finite Volume Method”, Longman Group Ltd, 1995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้