

โซล่าคูลลิ่งchimney

SOLAR COOLING CHIMNEY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2543

ISBN 974-622-667-3

๑๖

๑๖

๑๖

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....35170

วัน, เดือน, ปี 23 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOLAR COOLING CHIMNEY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

ISBN 974-622-667-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2000

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โซลาร์คูลลิงchimney
นักศึกษา	นายรังสรรค์ พันธุ์เพชร
รหัสประจำตัว	40062004
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.อัครเดช ตินรุักษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดอุณหภูมิภายในบ้านโดยเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในบ้านที่ติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney กับบ้านที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ในการศึกษาครั้งนี้จะอาศัยหลักการพาความร้อนธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้าน โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะเหนี่ยวนำอากาศภายในห้องเข้าไปยังปล่องร้อนทำให้อากาศมีความหนาแน่นน้อยลง โดยอากาศร้อนจะพยายามลอยตัวขึ้นและจะเคลื่อนที่ออกบริเวณปล่องบนหลังคาโดยอาศัยแรงลอยตัวของอากาศ ซึ่งผลดังกล่าวนี้จะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลงสูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส ในขณะที่เดียวกันนี้ยังได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการทำนายการไหลเวียนของอากาศภายในห้องซึ่งมีผลต่างของการกระจายอุณหภูมิโดย วิธีการ Finite Volume ภายใต้สมมติที่ว่าอากาศภายในห้องมีความหนาแน่นคงที่และเป็นแบบสองมิติ ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างแบบจำลองบ้านในอัตราส่วน 1 : 20 ของอัตราส่วนจริง และติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney พร้อมทั้งยังได้นำพลังงานแสงอาทิตย์เทียมมาใช้ในการทดลองด้วย สำหรับการศึกษาดูอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney จะเป็นการศึกษาภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Solar Cooling Chimney
Student	Mr. Rungson Phunpet
Student ID.	40062004
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Aukaradat Sintupuk

ABSTRACT

This project deals with a study on the cooling effect of solar cooling chimney in term of distribution temperature in the house model, operated under natural convection. The device induces air in the house into a hot chimney resulting in a decrease in air density. Hot air flow upward to the ceiling and to the chimney by buoyancy force. From experimental result, maximum decrease in room temperature is 2 degrees. 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 two-dimensional flow configuration. This project was carried out on a 1:20 model house and with solar cooling chimney device install on the top of the model. Pseudo-Solar device was also used. This study has been carried out under a climate in Thailand.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์จาก รศ.อัครเดช สินธุภักดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด ถึงแม้ลูกจะไม่ค่อยมีเวลาให้ท่านก็ตามท่านก็ยังส่งกำลังใจให้อดทนและต่อสู้ให้สำเร็จ

ขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยาที่อนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในการทำวิจัยในครั้งนี้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนอุปกรณ์ในการทดลองครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

รังสรรค์ พันธุ์เพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในอนาคต.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของ Solar Cooling Chimney.....	4
2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน.....	4
2.1.1 สมการพื้นฐานของการนำความร้อน.....	4
2.1.2 สมการการกระจายความร้อน.....	5
2.1.3 การนำความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ.....	7
2.2 ทฤษฎีการพาความร้อน.....	8
2.2.1 การพาแบบบังคับสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ.....	11
2.2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ.....	13
2.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน.....	17
2.3.1 กำลังในการปล่อยรังสี.....	17
2.3.2 เรดิโอซิตี.....	17
2.3.3 เอเอเรดิเอชัน.....	18
2.3.4 วัตถุดำ.....	19
2.3.5 การดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของผิว.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน.....	25
2.4.1 ดวงอาทิตย์.....	25
2.4.2 ค่าคงที่สุริยะ.....	25
2.4.3 ตัวกลางกั้นแสงอาทิตย์ที่ชั้นบรรยากาศ.....	26
2.4.4 ทิศทางของแสงอาทิตย์แบบตรง.....	26
2.4.5 พลังงานแสงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศบนระนาบระดับ.....	29
2.4.6 การวัดค่าและการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์.....	30
2.4.7 การประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในวันท้องฟ้าแจ่มใส.....	32
2.4.8 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่น.....	35
2.5 ทฤษฎี Solar Passive Cooling	36
2.5.1 การควบคุมการนำความร้อน โดยการหุ้มฉนวนและผนังที่เป็นโพรง.....	38
2.5.2 ประโยชน์ของลม, น้ำและดินสำหรับการทำความเย็นในลักษณะ ภูมิอากาศแห้ง.....	38
2.6 วิธีการปริมาตรควบคุมสืบเนื่อง.....	41
2.6.1 การจัดการผลต่างตรงกลาง.....	42
2.7 การวิเคราะห์ Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume.....	44
2.7.1 หลักการทำงานของ Solar Cooling Chimney.....	44
2.7.2 การวิเคราะห์ Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume.....	46
บทที่ 3 การทดลองวัดอุณหภูมิภายในบ้าน.....	49
3.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	49
3.2 วิธีการทดลอง.....	52
3.3 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้าน.....	53
บทที่ 4 การคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้าน.....	65
4.1 ผลการคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยวิธี Finite Volume.....	65
4.2 ผลการคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายใน Chimney โดยวิธี Finite Volume.....	82
4.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับการทดลองการกระจายอุณหภูมิภายในบ้าน.....	84

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 การคำนวณค่าความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแต่ละทิศทาง.....	86
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	90
บทที่ 5 บทสรุป.....	92
5.1 สรุปผลการทดลอง	92
5.2 ข้อเสนอแนะในการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	95
ประวัติผู้เขียน.....	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงจำนวนวันในแต่ละเดือนของปีนั้น ๆ.....	28
2.2 แสดงค่าตัวประกอบของสภาวะต่าง ๆ จาก Hottel [1976].....	32
2.3 แสดงคุณสมบัติของตัวดูดซับ.....	35
2.4 แสดงค่าเฉลี่ยของดัชนีการหักเหของแสงผ่านวัสดุชนิดต่าง ๆ.....	36
2.5 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ความดันบรรยากาศ.....	36
3.1 แสดงผลการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงกับแสงอาทิตย์เทียมที่ระยะ 90 มิลลิเมตร.....	53
3.2 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	54
3.3 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	55
3.4 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	56
3.5 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	57
3.6 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที.....	58
3.7 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที.....	59
3.8 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลม 2.0 m/s (คิดจนวนกันความร้อน).....	60
4.1 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	72
4.2 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที.....	73
4.3 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	74
4.4 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.5 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที.....	76
4.6 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที.....	77
4.7 แสดงค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิศต่าง ๆ ในวันที่ 18 เมษายน 2542.....	88



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาตรควบคุม $dx \cdot dy \cdot dz$ ในการวิเคราะห์ในพิกัดคาร์ทีเซียน.....	5
2.2 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ.....	8
2.3 แสดงการเกิดบาวร์ดารีเลเยอร์บนแผ่นเรียบ.....	11
2.4 แสดงค่า Nu สำหรับการพาความร้อนอิสระจากแผ่นเรียบแนวตั้ง.....	12
2.5 แสดงค่าเรคิโอดีของผิว.....	18
2.6 แสดงลักษณะของรังสีที่ตกกระทบ.....	19
2.7 แสดงกระบวนการดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของตัวกลาง.....	21
2.8 แสดงค่าการสะท้อนของรังสีตั้งฉากและการดูดกลืนรังสีตั้งฉากของผิวเลือก.....	23
2.9 แสดงค่าการผ่านทะลุรังสีของผิวที่ความยาวคลื่นใด ๆ ของผิวเลือก.....	24
2.10 แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	27
2.11 แสดงมุมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนพื้นผิว.....	28
2.12 แสดงลักษณะความเย็นภายในที่อยู่อาศัย.....	37
2.13 แสดงการกระจายความเย็นในเวลากลางคืน.....	38
2.14 แสดงการหมุนเวียนของลมในหอรับลม.....	39
2.15 แสดงลักษณะการทำให้เย็นโดยหอรับลม.....	40
2.16 แสดงการไหลเวียนของอากาศ.....	41
2.17 แสดงปริมาตรควบคุมรอบจุด P.....	42
2.18 แสดงการทำงานของ Solar Cooling Chimney.....	45
2.19 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติในปล่อง.....	47
2.20 แสดง Node ต่าง ๆ ในการคำนวณ.....	48
3.1 แสดงอุปกรณ์การทดลองการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จริง.....	49
3.2 แสดงอุปกรณ์การทดลองการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เทียม.....	49
3.3 แสดงอุปกรณ์การทดลองการวัดอุณหภูมิภายในบ้าน.....	50
3.4 แสดงแบบจำลองบ้านที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.5 แสดงการสร้างลมใช้ในการทดลองและเครื่องมือวัดลม.....	51
3.6 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติดตั้ง Solar Cooling Chimney.....	51
3.7 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติดตั้ง Solar Cooling Chimney.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 แสดงผลเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงกับแสงอาทิตย์เทียม.....	61
3.9 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 1	61
3.10 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 2	62
3.11 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 3	62
3.12 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 4	63
3.13 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5	63
3.14 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 6	64
3.15 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 7	64
3.16 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 8	65
3.17 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 9	65
4.1 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 2.0 m/s).....	66
4.2 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 2.0 m/s).....	66
4.3 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.5 m/s).....	67
4.4 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.5 m/s).....	67
4.5 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.16 m/s).....	68
4.6 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.16 m/s).....	68
4.7 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 2.0 m/s, ที่เวลา 130 นาที).....	69
4.8 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 2.0 m/s, ที่เวลา 130 นาที).....	69
4.9 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.5 m/s, ที่เวลา 130 นาที).....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.5 m/s, ที่เวลา 130 นาที).....	70
4.11 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.16 m/s, ที่เวลา 130 นาที).....	71
4.12 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 1.16 m/s, ที่เวลา 130 นาที).....	71
4.13 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 1 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	78
4.14 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 2 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	78
4.15 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 3 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	79
4.16 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 4 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	79
4.17 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	80
4.18 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 6 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	80
4.19 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 7 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	81
4.20 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 8 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	81
4.21 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 9 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป....	82
4.22 แสดง Temperature Contour ใน Chimney โดยวิธี Finite Volume (ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที, สภาวะ Steady).....	82
4.23 แสดง Temperature Contour ใน Chimney โดยวิธี Finite Volume (ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที, สภาวะ Steady).....	83
4.24 แสดง Temperature Contour ใน Chimney โดยวิธี Finite Volume (ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที, สภาวะ Steady).....	83
4.25 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิที่ Node 3 (ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที).....	84
4.26 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิที่ Node 5 (ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที).....	84
4.27 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิที่ Node 8 (ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที).....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.28 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิที่ Node 8 (ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที).....	85
4.29 แสดงค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิศเหนือ-ใต้ ในวันที่ 18 เมษายน 2542....	89
4.30 แสดงค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิศตะวันออก-ตะวันตก ในวันที่ 18 เมษายน 2542.....	89



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การศึกษาเกี่ยวกับ Solar Cooling ได้มีการศึกษากันมาตลอดจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากพลังงานที่ใช้อยู่ปัจจุบันเริ่มลดน้อยลง สิ่งหนึ่งที่นักวิจัยความสนใจมากก็คือพลังงานที่หาได้ตามธรรมชาติ แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น ซึ่งเป็นพลังงานที่หาได้ง่ายและมีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง ส่วนใหญ่แล้วการศึกษา Solar Cooling จะเป็นการนำเอาความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์เข้ากับระบบทำความเย็นทั้งระบบการปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น นอกจากนี้ยังมีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับระบบ Solar Cooling แบบอื่น ๆ อีกมากมาย ส่วนการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะเป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วยในการลดอุณหภูมิภายในที่อยู่อาศัยซึ่งเรียกว่า Solar Cooling Chimney โดยส่วนใหญ่แล้วในประเทศแถบเมืองร้อนจะให้ความสนใจอย่างกว้างขวางเป็นพิเศษ โดยเฉพาะประเทศในแถบเมืองร้อนจะมีอุณหภูมิในตอนกลางวันค่อนข้างสูงมากและประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ตั้งอยู่บนเส้นศูนย์สูตร ซึ่งก็เป็นประเทศในแถบร้อนจะเห็นว่าอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney จึงเหมาะสมและเป็นไปได้มากที่จะนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ในประเทศไทย เพราะปัจจุบันประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีสูงมาก จากสถิติ เดือนมีนาคม – มิถุนายน พ.ศ. 2539 มีอุณหภูมิเฉลี่ยถึง 34.37 C° และจากสถิติเดือนมีนาคม – มิถุนายน พ.ศ. 2540 มีอุณหภูมิเฉลี่ยถึง 35.13 C° และเห็นว่าช่วงเดือนดังกล่าวจะเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงมากที่สุดในประเทศไทย การติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney จึงเหมาะสมกับสภาวะอากาศในแถบเมืองร้อนเป็นอย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อจำลองพลังงานแสงอาทิตย์เทียมโดยเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์จริง

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองบ้าน Solar Cooling Chimney

1.2.3 เพื่อศึกษาการลดลงของอุณหภูมิภายในบ้านเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney กับบ้านที่ไม่มีติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ในช่วงฤดูร้อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สำหรับในการวิจัยครั้งนี้เป็นการนำโคมไฟขนาด 150 วัตต์ มาใช้เป็นแบบจำลองพลังงานแสงอาทิตย์เทียม โดยอาศัยการเปรียบเทียบผลของการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแสงอาทิตย์จริงกับแสงอาทิตย์เทียม โดยจะทำการพิจารณาเฉพาะช่วงที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือช่วงฤดูร้อน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 แบบจำลองบ้าน Solar Cooling Chimney จะเป็นการสร้างแบบจำลองบ้านโดยย่อจากขนาดจริงเป็น 20 เท่าของบ้านจริง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สร้างบ้านทั้งหมดจะเป็นไม้อัดและสามารถถอดประกอบได้

1.3.3 การลดลงของอุณหภูมิภายในบ้าน จะเป็นการศึกษาโดยการใช้แบบจำลองของบ้าน Solar Cooling Chimney โดยจะทำการศึกษาในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงสุดและใช้แสงอาทิตย์เทียมเป็นแหล่งพลังงานความร้อน

1.3.4 ศึกษาการลดลงของอุณหภูมิโดยวิธี Finite Volume ลักษณะแบบสองมิติในสภาวะสม่ำเสมอและตลอดจนได้ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในแบบจำลองบ้าน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำรูปแบบของการวิจัยไปใช้ในการสร้างบ้านเรือนซึ่งเหมาะสำหรับบ้านเรือนชนบทในเมืองไทยซึ่งจะไม่นิยมติดเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นอากาศภายในบ้านในช่วงเวลากลางวันจะร้อนและอบอ้าว การนำรูปแบบของการวิจัยในส่วนการลดอุณหภูมิภายในบ้านเรือนจึงเหมาะสมและมีประโยชน์ต่อคนไทยมากที่สุด ซึ่งผลพลอยได้ที่ตามมา ก็จะเป็นการช่วยประเทศประหยัดพลังงานอีกส่วนหนึ่ง

1.5 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในอนาคต

การวางแผนที่จะเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน ได้เกิดขึ้นทั่วไปในส่วนต่าง ๆ ของโลก สำหรับประเทศไทยยังไม่มีแผนการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน จึงขอยกตัวอย่างบางประเทศที่มีการวางแผนระยะยาวในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นประเทศที่ใช้พลังงานประมาณ 30 % ของพลังงานที่ใช้ทั่วโลก ซึ่งเป็นการใช้พลังงานอย่างมหาศาล และปัจจุบันนี้การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ก็เริ่มมีบทบาทมากขึ้น และมีการวิจัยและการพัฒนากันอย่างกว้างขวาง

งานวิจัยและงานพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ให้ใช้ทดแทนน้ำมันได้แบ่งเป็นสองประเภทด้วยกันตามระดับความสูงค่าของเทคโนโลยีที่ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ประเภทแรกใช้ระดับเทคโนโลยีต่ำ เช่น เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องทำความเย็น เครื่องมือประเภทนี้ออกแบบและสร้างทำได้โดยง่าย ประเภทที่สองใช้เทคโนโลยีสูง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ สำหรับเครื่องมือเครื่องใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในประเภทแรกนั้นขณะนี้ได้มีการวิจัยและการพัฒนาถึงขั้นผลิตออกมาจำหน่ายเชิงการค้าแล้วแต่ราคาจำหน่ายของอุปกรณ์ดังกล่าวยังราคาสูงและประกอบกับราคาน้ำมันยังสูงไม่พอ จึงยังมีผู้สนใจอุปกรณ์ดังกล่าวอยู่น้อย ส่วนอุปกรณ์เทคโนโลยีประเภทที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอง ขณะนี้ยังอยู่ในขั้นวิจัยและนำออกมาจำหน่ายในเชิงการค้าในน้อย ซึ่งคาดว่าในอนาคตจะนำเทคโนโลยีประเภทดังกล่าวมาใช้ทดแทนน้ำมันอย่างแน่นอน

สำหรับประเทศไทยไม่ใช่ประเทศผู้ผลิตน้ำมัน แม้จะมีแก๊สธรรมชาติ แต่ก็มีปริมาณไม่มากพอที่จะใช้ทดแทนพลังงานจากที่มีอยู่เดิม พลังงานแสงอาทิตย์ที่ประเทศไทยได้รับมีอัตราสูงสุดตลอดปี โดยเฉลี่ยแล้วอัตราแสงอาทิตย์ที่ได้รับประมาณ 16,500 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือเทียบเท่ากับพลังงานที่ได้จากน้ำมันเป็นปริมาณ 400,000 ลิตร ซึ่งถ้านำพลังงานดังกล่าวมาใช้จะทดแทนพลังงานจากน้ำมันได้เป็นบางส่วนเป็นอย่างดี ประเภทของงานที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้ในปัจจุบันคือการนำไปใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่ใช้กับ บ้านเรือนที่อยู่อาศัย โรงแรม และโรงงานอุตสาหกรรม การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น และในอนาคตอันใกล้ก็น่าจะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าและผลิตไอน้ำสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

ดังได้กล่าวมาแล้ว อุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปที่นำไปใช้ประโยชน์ยังมีราคาสูง ระยะเวลาในการคุ้มทุนยังนาน ในบางประเทศมีนโยบายส่งเสริมให้นำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ โดยลดภาษีบางส่วนให้กับบริษัทที่ติดตั้งอุปกรณ์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังมีกองทุนให้กู้ไปซื้ออุปกรณ์ดังกล่าวในอัตราดอกเบี้ยต่ำ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยยังไม่มีนโยบายช่วยเหลือผู้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทน ฉะนั้นความนิยมในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนจึงไม่มี

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานของ Solar Cooling Chimney

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

2.1.1 สมการพื้นฐานของการนำความร้อน (Conduction Equation)

การนำความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงผ่านตัวกลางไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานกันในแต่ละอนุภาค โดยอนุภาคที่อยู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะมีระดับพลังงานสูง ซึ่งอนุภาคจะเกิดการสั่นอย่างรวดเร็วและเกิดการชนกันของอนุภาคแล้วจะเกิดการเคลื่อนที่โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์กับอนุภาคที่ระดับพลังงานต่ำ ในกรณีของโลหะจะเป็นการไหลของกระแสอิเล็กตรอน สำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่คิดจะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากมายที่เคลื่อนไหวอยู่ภายในโครงสร้างซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าวัตถุที่นำความร้อนได้ดีจะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย

ในการวัดการถ่ายเทความร้อนในตัวกลางไม่สามารถวัดได้โดยตรงดังนั้นจึงใช้วิธีการวัดการกระจายอุณหภูมิของวัตถุแทน ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ เทอร์โมคอปเปิล เทอร์มิสเตอร์ และเทอร์โมมิเตอร์ ในการวัด โดยการไหลของความร้อนในตัวกลางจะเป็นการคำนวณได้จากการวัดสนามของอุณหภูมิของผนังซึ่งจะเป็นรากฐานของการนำความร้อน จากกฎของ ฟูริเยร์ (Fourier Law) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า อัตราการนำความร้อนในทิศทางที่กำหนดจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อนและเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางนั้น สำหรับการไหลของความร้อนในทิศทาง x กฎของฟูริเยร์กำหนดได้เป็น

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

หรือ

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

โดยที่ q_x คือ อัตราการนำความร้อนผ่านพื้นที่หน้าตัด A ในทิศทางบวก

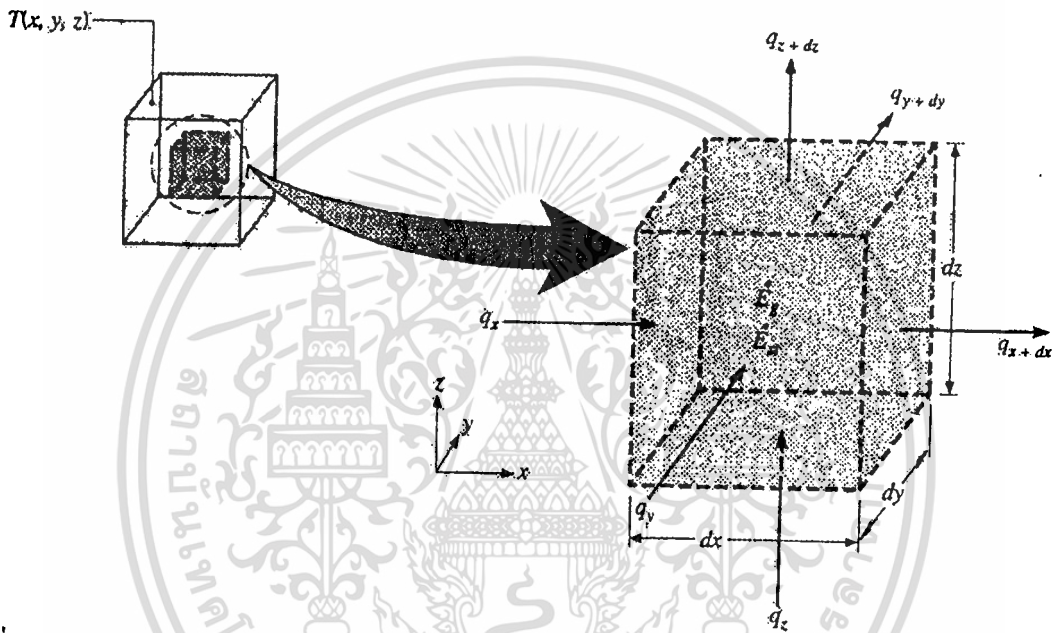
q_x'' คือ ฟลักซ์ความร้อนในทิศทางบวก x

k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัตถุ (Thermal conductivity of material) และ

เป็นค่าบวก

2.1.2 สมการการกระจายความร้อน (The Heat Diffusion Equation)

พิจารณาในตัวกลางเนื้อเดียวกันการกระจายของอุณหภูมิ $T(x, y, z)$ จึงกำหนดในพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) เรากำหนดปริมาตรควบคุมเล็กๆมาก ๆ $dx \cdot dy \cdot dz$ ตามรูปที่ 2.1 ถ้ามีเกร็ดเย็นอุณหภูมิแล้วการนำความร้อนจะเกิดขึ้นบริเวณตรงข้ามของแต่ละอันของผิวควบคุม อัตราการนำความร้อนนี้จะตั้งฉากกับผิวควบคุมแต่ละอันที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนต x, y, z ซึ่งจะแสดงในเทอมของ q_x, q_y, q_z ตามลำดับ อัตราการนำความร้อนที่ผิวตรงข้ามสามารถกระจายโดยอนุกรมเทเลอร์ (Taylor series expansion) โดยไม่คิดเทอมลำดับสูง ๆ (Higher order terms)



รูปที่ 2.1 แสดงปริมาตรควบคุม $dx \cdot dy \cdot dz$ ในการวิเคราะห์ในพิกัดคาร์ทีเซียน

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \quad (2.2a)$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \quad (2.2b)$$

$$q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz \quad (2.2c)$$

ในแกน x อัตราการนำความร้อน $x+dx$ จะมีค่าเท่ากับค่าปริมาณความร้อนบนแกน x บวกกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความร้อนเทียบกับระยะ dx ที่เวลาใด ๆ ในตัวกลางที่มีแหล่งพลังงานความร้อนซึ่งสามารถผลิตความร้อนได้เทอมนี้จะแทนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{E}_g = \dot{q} dx dy dz \quad (2.3)$$

โดยที่ \dot{q} คืออัตราพลังงานที่ผลิตขึ้นในตัวกลางต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (W/m^3) ในการเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความร้อนที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุในปริมาตรควบคุม ถ้าวัตถุไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะโดยที่ผลกระทบของพลังงานที่แฝง (Latent Energy) จะไม่มีผลกระทบ พลังงานที่เก็บไว้จะแสดงดังนี้

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

โดยที่ $\rho c_p T / \partial t$ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของตัวกลางต่อเวลาที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ในขั้นตอนสุดท้ายจะแสดงในรูปทั่วไปของกฎทรงพลังงานจะแสดงดังสมการ

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

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าอัตราการนำความร้อนประกอบด้วย (\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

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

จากกฎของฟูรีเยอร์อัตราการนำความร้อนสามารถประมาณได้เท่ากับ

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

จากสมการ (2.9) เป็นรูปทั่วไปในพิกัดคาร์ทีเซียนของสมการการพึ่งกระจายของความร้อน โดยทั่วไปจะเรียกสมการนี้เรียกว่า สมการความร้อน ซึ่งจะเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การนำความร้อน สำหรับกรณีค่า k คงที่สมการความร้อนแสดงดังนี้

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

โดยที่ $\alpha = k / \rho c_p$ เรียกว่า ค่าการพึ่งกระจายของความร้อนของวัสดุ (Thermal Diffusivity)

2.1.3 การนำความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ (One Dimensional Steady-State)

ในที่นี้จะเป็นการพิจารณาเกี่ยวกับปัญหาการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอในหนึ่งมิติเพื่อหาการกระจายของอุณหภูมิและความร้อนที่ไหลภายในวัสดุที่รูปร่างเป็นแบบผนังเรียบ ลักษณะการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอที่จะกล่าวถึงนี้จะมีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิและการไหลของความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางเพียงทิศทางเดียว โดยที่อุณหภูมิแต่ละจุดของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

2.1.3.1 การกระจายของอุณหภูมิในผนังเรียบ

การกระจายอุณหภูมิในผนัง หาได้จากสมการการพึ่งกระจายของความร้อนและเงื่อนไขที่ขอบแบบต่าง ๆ ตามเงื่อนไขดังกล่าว และไม่มีการผลิตความร้อนภายในผนัง ดังนั้นจะสามารถลดรูปสมการเป็น

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

ถ้าสมมติว่าค่า k คงที่ และทำการอินทิเกรต 2 ครั้ง จะได้คำตอบทั่วไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จะได้ค่าคงที่จากการอินทิเกรต C_1 และ C_2 ซึ่งจำเป็นต้องประยุกต์เงื่อนไขที่ขอบเพื่อหาคำตอบจากการอินทิเกรต ดังนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขที่ขอบเป็น $x = 0$ และ $x = L$ จะได้

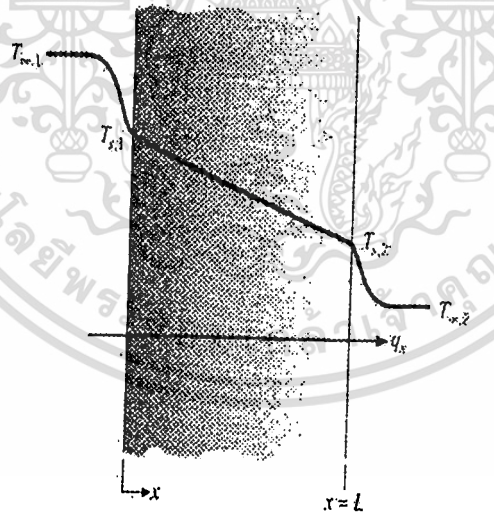
$$T(0) = T_{s,1} \quad \text{และ} \quad T(L) = T_{s,2}$$

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

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

ดังนั้นจะสามารถหาค่า C_1 ได้

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



รูปที่ 2.2 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ

แทนค่าคงที่จากการอินทิเกรตลงในสมการทั่วไปจะได้สมการการกระจายของอุณหภูมิดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการการกระจายของอุณหภูมิ (2.13) สามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

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

2.1.3.2 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

ในที่นี้เราจะนำสมการ (2.14) ซึ่งให้แนวทางสำคัญมากมาใช้นั้นคือความความคล้ายคลึงระหว่างการฟุ้งกระจายของความร้อนและประจุไฟฟ้า โดยความต้านทานทางไฟฟ้านั้นจะเกี่ยวข้องกับการนำทางไฟฟ้า ดังนั้นความต้านทานทางไฟฟ้าจึงเกี่ยวข้องกับการนำความร้อน จากสมการ (2.14) ความต้านทานการนำความร้อนคือ

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

ในทำนองเดียวกันสำหรับการนำความร้อนในระบบที่เหมือนกัน 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)

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

ความต้านทานการพาความร้อนสำหรับการพาความร้อนเป็น

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

วงจรความร้อนสมมูลย์สำหรับผนังเรียบที่มีการพาความร้อนที่ผิวแสดงในรูปที่ 2.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนหาได้จากการแยกพิจารณาในแต่ละช่วงของวงจร ซึ่งจะได

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{l/h_1 A} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{L/kA} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,2}}{l/h_2 A} \quad (2.19)$$

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

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

เนื่องจากความต้านทานการนำและการพาต่ออนุกรมกัน จึงนำมารวมกันในแต่ละช่วงจึงสามารถเขียนสมการได้เป็น

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

นอกจากนี้แล้วยังสามารถพิจารณาในส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีที่ผิว T_s กับสิ่งแวดล้อม T_{surr} ในลักษณะความต้านทานความร้อนโดยการแผ่รังสีเขียนสมการเป็น

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

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

2.2 ทฤษฎีการพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่จะกล่าวในที่นี้จะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็งจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับของแข็ง กลไกการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อน ในที่นี้จะได้อธิบายลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เรียกว่า การพาความร้อนอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or Natural Convection) และการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ซึ่งจะได้นำหลักการมาประยุกต์ใช้ในส่วนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney เพื่อให้ลักษณะการคำนวณการถ่ายเทความร้อนง่ายขึ้นและสะดวกระหว่างผิวที่ร้อน T_w และอุณหภูมิของของไหลเย็นที่ไหลผ่านบนผิวที่อุณหภูมิ T_f โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h จึงกำหนดสมการความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะดังสมการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

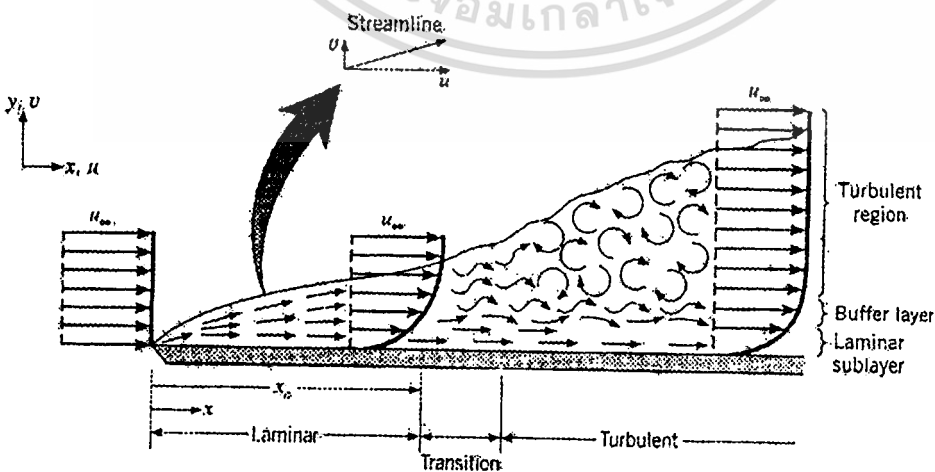
โดยที่ q'' คือฟลักซ์ของความร้อนที่มีการถ่ายเทจากของไหลที่ร้อนไปสู่ผนังเย็น โดยที่อุณหภูมิมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส หรือเคลวิน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$

2.2.1 การพาแบบบังคับสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ (Force Convection for Flow over Bodies)

การพาความร้อนของของไหลที่เกิดขึ้นและทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในของไหล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ระหว่างของไหลกับผิวที่ถูกกระทำจากภายนอก เช่น พัดลม เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะไม่เกิดจากแรงลอยตัวที่กระทำกับของไหลนั่นเอง ลักษณะการพาความร้อนเช่นนี้เรียกว่า การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ดังนั้นปัญหาในการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หรือออกจากผิวในการไหลแบบ External Flow โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเกิดขึ้นในของไหล สถานการณ์การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างของไหลและพื้นที่ผิวเรียกว่า การพาความร้อนแบบบังคับ ในที่นี้เพื่อต้องการหาค่า h หรือ \bar{h} จากสหพันธ์ (Correlation) ซึ่งได้จากการทดลองทั้งสิ้น เพื่อจะแก้สมการหาค่า q ต่อไป

2.2.1.1 การไหลบนแผ่นราบเรียบ (The Flat Plate in Parallel Flow)

การไหลของของไหลผ่านแผ่นเรียบถ้าแผ่นเรียบนั้นยาวมากจะเกิดบาวร์คาร์เรียลเลอร์ขึ้นทั้งแบบลามินาร์และแบบเทอร์บูเลนต์ โดยลามินาร์บาวร์คาร์เรียลเลอร์จะเกิดขึ้นก่อนและเมื่อ x เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งจากนั้นจะเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition) แล้วจึงจะเข้าสู่ช่วงเทอร์บูเลนต์เมื่อ x เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดบาวร์คาร์เรียลเลอร์บนแผ่นเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาพฤติกรรมของบาวว์คาร์เลเยอร์นั้นจะสมมุติว่าอยู่ในช่วง Transition เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง x_c ตำแหน่งที่ทำให้ได้จากกลุ่มตัวแปรไร้มิตินี้จึงเรียกว่า (Reynolds Number , Re)

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

โดยที่ค่า x เป็นระยะทางจากขอบด้านหน้า สำหรับการไหลภายนอกวัตถุค่า Re ที่เกิดขึ้นในช่วง Transition จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ 10^5 ถึง 3×10^6 สำหรับการปั่นป่วนของกระแสอิสระโดยปกติแล้วจะมีค่า Re อยู่ที่ 5×10^5

2.2.1.2 การไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow)

พารามิเตอร์ของการพาที่เกี่ยวเนื่องกับการไหลแบบลามินาร์ ซึ่งการแก้ปัญหาในรูปแบบที่เหมาะสมของสมการบาวว์คาร์เลเยอร์ โดยใช้ Similarity Variable ซึ่งจะให้ Similarity Solution สำหรับการพาความร้อนที่พื้นผิวโดยมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ ค่าของ Local Nusselt จะถูกกำหนดอยู่ในรูป

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

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของการไหลแบบลามินาร์จะแสดงดังนี้

$$\bar{h}_x = \frac{1}{x} \int_0^x h_x dx = 0.322 \left(\frac{k}{x} \right) Pr^{1/3} \left(\frac{u_\infty}{\nu} \right)^{1/2} \int_0^x \frac{dx}{x^{1/2}} \quad (2.26)$$

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

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

2.2.1.3 การไหลแบบเทอร์บูเลนต์ (Turbulent Flow)

สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ ค่า Re ใดๆ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 5×10^5 และ 10^7 ดังนั้นค่า Nusselt Number จะเขียนสมการได้ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการไหลแบบลามินาร์ ส่วนการไหลแบบเทอร์บูเลนต์นั้นค่า $n = 1/3$ นอกจากนี้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ จะต้องอยู่ภายใต้อุณหภูมิฟิล์ม T_f ซึ่งก็คืออุณหภูมิที่บาร์คาร์เรียลเยอร์เฉลี่ยนั่นเอง หาได้จากสมการดังนี้

$$T_f = \frac{T_s - T_\infty}{2} \quad (2.32)$$

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

1) แผ่นเรียบวางอยู่ในแนวเอียง (Inclined Plate)

Churchill และ Chu ได้แนะนำสมการในการคำนวณค่าการไหลแบบลามินาร์ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{4/9}} \right\} \quad 0 < Ra_L < 10^9 \quad (2.33)$$

โดยการแทนค่า g เท่ากับ $g \cos \theta$ ในค่า Ra ในสมการ (2.31) สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์จะสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \quad (2.34)$$

2) แผ่นเรียบในแนวนอน (Horizontal Plate)

สำหรับกรณีนี้รูปแบบของสมการจะขึ้นอยู่กับแผ่นเรียบเป็นแผ่นร้อนหรือแผ่นเย็น เมื่อเทียบกับของไหลที่ล้อมรอบ โดยถือว่าแผ่นเรียบมีหน้าเดียว McAdams [1952] ได้แสดงสมการสหพันธ์ที่นำมาใช้ โดยการปรับปรุงค่า L ใหม่ให้ขึ้นอยู่กับความยาวเฉพาะ กำหนดเป็น

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

โดยที่ A_s และ P เป็นพื้นที่ผิวและเส้นรอบรูปของแผ่นตามลำดับ ดังนั้นสหพันธ์ที่ใช้คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{1/4} \quad (Ra_L < 2 \times 10^8) \quad (2.36)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.15Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \quad (2.37)$$

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

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

สมการที่กล่าวมาสำหรับกรณีอุณหภูมิที่ผิวคงที่ กรณีฟลักซ์ของความร้อนคงที่ ต้องใช้สมการดังต่อไปนี้

ก. สำหรับแผ่นเรียบแนวนอนที่แผ่นร้อนหงายขึ้น

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

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

ข. สำหรับแผ่นร้อนคว่ำลง

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

สำหรับกรณีของฟลักซ์ของความร้อนคงที่ คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ใช้หาที่อุณหภูมิเฉลี่ยจึงกำหนดเป็น

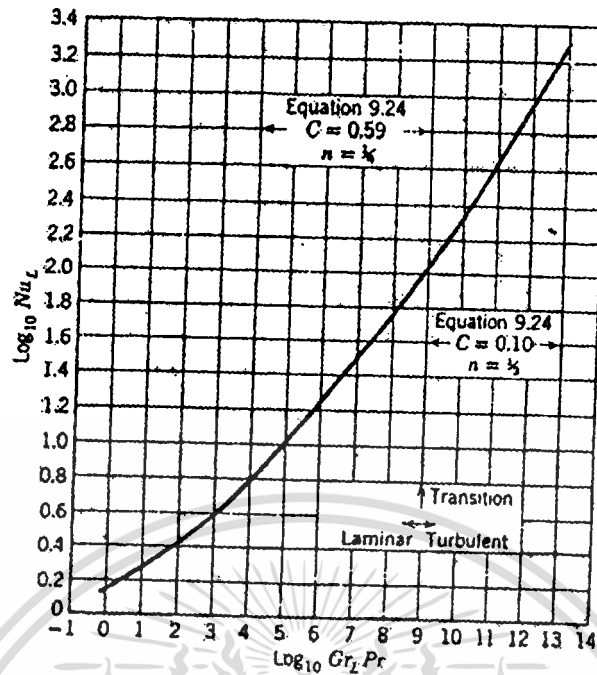
$$T_f = T_s - 0.25(T_s - T_\infty) \quad (2.42)$$

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

3) แผ่นเรียบแนวตั้ง (Vertical plate)

จากสมการสหพันธ์ได้ถูกพัฒนาสำหรับแผ่นเรียบแนวตั้งและค่าสัมประสิทธิ์ของ C และค่ากำลังสอง n จะขึ้นอยู่กับช่วงของค่า Ra สำหรับค่า $Ra \leq 10^4$ ค่าของ Nu สามารถหาได้โดยตรงจากรูปได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงค่า Nu สำหรับการพาความร้อนอิสระจากแผ่นเรียบแนวดิ่ง

Churchill และ Chu [1975] ได้แสดงสมการสหพันธ์ตลอดช่วงค่า Ra_L ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{4/27}} \right\}^2 \quad 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \quad (2.43)$$

โดยการแทนสมการ (2.43) สามารถใช้ได้ตลอดช่วงลามินาร์และเทอร์บูเลนต์ ส่วนสมการที่ทำให้ความแม่นยำมากในช่วงลามินาร์แสดงได้ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{4/9}} \right\} \quad 0 < Ra_L < 10^9 \quad (2.44)$$

สำหรับสมการทั้งสองสามารถใช้ได้กับกรณีอุณหภูมิของแผ่นเรียบคงที่ แต่ถ้าเงื่อนไขมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นฟังก์ชันของความร้อนคงที่สมการดังกล่าวก็ยังคงสามารถใช้ได้และให้ความถูกต้องพอประมาณ

จากที่กล่าวมาทั้งสามรูปแบบนั้นการหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ สามารถหาได้จากการประมาณค่าอุณหภูมิ $T_f \equiv (T_s - T_\infty) / 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation Method)

การแผ่รังสีความร้อน เป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจะถูกส่งออกโดยวัตถุ โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ การแผ่รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีการแผ่รังสีจากวัตถุใดๆ ที่อุณหภูมิ T_s จะพิจารณาว่าการปล่อยออกทุกความยาวคลื่นจาก $\lambda = 0$ ถึง $\lambda = \infty$ ที่พบมากที่สุดทางวิศวกรรม พลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจะอยู่ในช่วง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu\text{m}$ โดยที่แถบช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมระหว่าง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu\text{m}$ จึงถูกอ้างว่าเป็นช่วง “การแผ่รังสีความร้อน” โดยปกติดวงอาทิตย์จะส่งรังสีความร้อนที่อุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 5800 K กลุ่มของพลังงานจะอยู่ในช่วงความยาวระหว่าง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 0.3 \mu\text{m}$ โดยทั่วไปสเปกตรัมทั่วไปของ “การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์” จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง $\lambda = 0.4$ ถึง $\lambda = 0.7 \mu\text{m}$ ซึ่งสามารถมองเห็นด้วยตาและเรียกสเปกตรัมนี้ว่าเป็น “การแผ่รังสีที่มองเห็นได้”

2.3.1 กำลังในการปล่อยรังสีออก (Emissive Power)

กำลังในการปล่อยออก (E) หมายถึงปริมาณการแผ่รังสีที่มีการปล่อยออกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. กำลังปล่อยออกที่ความยาวคลื่นหนึ่ง โดยใช้ E_λ นิยามเป็นอัตราการแผ่รังสีของความยาวคลื่น λ ที่ปล่อยออกในทุกทิศทางจากพื้นผิวหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยความยาว $d\lambda$ รอบ λ และต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว ดังนั้นจะสามารถหาค่า E ได้ดังนี้

$$E_\lambda(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,c}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad (\text{W} / \text{m}^2 \cdot \mu\text{m}) \quad (2.45)$$

2. กำลังปล่อยออกทั้งหมด โดยใช้ (E) หมายถึงอัตราการแผ่รังสีทั้งหมดที่ปล่อยออกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งก็คือเป็นการรวมกันของ E_λ ทุกความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

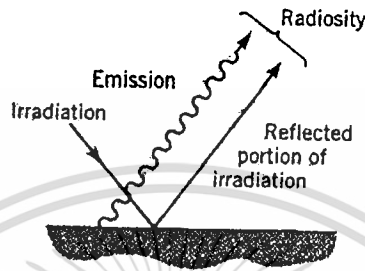
$$E = \int_0^\infty E_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (\text{W} / \text{m}^2) \quad (2.46)$$

2.3.2 เรดิโอซิตี (Radiosity)

เรดิโอซิตีหมายถึงรังสีทั้งหมดที่ออกไปจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว เนื่องจากการแผ่รังสีจะรวมรังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิวนั้นและรังสีที่มาจากที่อื่นซึ่งตกกระทบบนพื้นผิวนั้นแล้วสะท้อนออกจากผิว โดยทั่วไปแล้วค่าเรดิโอซิตีจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ

1. Spectral Radiosity (J_λ) คืออัตรารังสีที่ความยาวคลื่น λ ออกจากหนึ่งหน่วยพื้นผิวต่อช่วงความยาวคลื่นหนึ่งหน่วย $d\lambda$ รอบ λ เนื่องจากเป็นรังสีที่ออกไปทุกทิศทางจึงเกี่ยวข้องกับความเข้มของรังสีที่ปล่อยออกรวมกับที่สะท้อนออกจากพื้นผิว $I_{\lambda, e+r}(\lambda, \theta, \phi)$

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



รูปที่ 2.5 แสดงเรดิโอซิตีของผิว

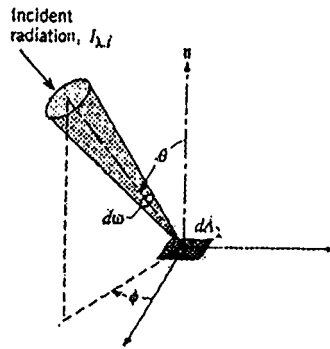
2. Total Radiosity เรียกสั้น ๆ ว่า Radiosity (J) คืออัตราการแผ่รังสีทั้งหมดที่ทุกความยาวคลื่นออกจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว

$$J = \int_0^\infty J_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (W/m^2) \quad (2.48)$$

2.3.3 เออเรดิเอชัน (Irradiation)

รังสีที่มากกระทบนั้นอาจเกิดการปล่อยออกและการสะท้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวอื่น และรังสีนี้มี spectral และ direction distributions ซึ่งหาได้โดย spectral intensity, $I_{\lambda, i}(\lambda, \theta, \phi)$ ซึ่งปริมาณนี้เป็นพลังงานจากการแผ่รังสีของความยาวคลื่นที่ตกลงมากระทบจากทิศทาง (θ, ϕ) ต่อหน่วยพื้นที่ของผิวหน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางนี้ต่อหน่วยมุมรองรับรูปกรวยรอบทิศทางนี้และต่อช่วงหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น $d\lambda$ รอบ λ โดยความเข้มของรังสีที่ตกลงมากระทบเกี่ยวข้องกับเทอมของฟังก์ชันรังสีเรียกว่าเออเรดิเอชัน (Irradiation) โดยที่ค่าเออเรดิเอชันของความยาวคลื่นหนึ่งหรือ Spectral Irradiation, G_λ กำหนดเป็นอัตราของรังสีที่ความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนผิวหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ผิวและต่อช่วงความยาวคลื่นหนึ่งหน่วย $d\lambda$ รอบ λ

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



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของรังสีที่ตกกระทบ

ค่าเออเรดิเอชันรวม (Total Irradiation) G คืออัตราที่รังสีตกกระทบหนึ่งหน่วยพื้นที่จากทุกทิศทาง และความยาวคลื่น

$$G = \int_0^{\infty} G_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (W/m^2) \quad (2.50)$$

2.3.4 วัตถุดำ (Blackbody Radiation)

วัตถุดำคือตัวดูดรังสีความร้อนที่สมบูรณ์โดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นหรือทิศทางที่รังสีตกลงบนวัตถุดำ รังสีที่ตกกระทบทั้งหมดจะถูกดูดไว้ วัตถุดำเป็นเพียงวัตถุที่สมมุติขึ้นมาเนื่องจากวัตถุที่แท้จริงทั้งหลายจะสะท้อนรังสีบางส่วนและยอมให้รังสีบางส่วนผ่านทะลุได้

โดยธรรมชาติถึงแม้ว่าจะไม่มีวัตถุดำที่แท้จริงเกิดขึ้นก็ตาม วัตถุบางชนิดก็มีสมบัติใกล้เคียงกับวัตถุดำ เช่น แผ่นคาร์บอนดำหาดูดรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมดได้ประมาณ 99 % อาจถือเป็นวัตถุดำได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัตถุดำมีคุณสมบัติดังนี้

1. วัตถุดำจะดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบทั้งหมดไว้ ไม่มีการสะท้อนกลับ โดยจะไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นและทิศทาง
 2. วัตถุดำสามารถแผ่รังสีได้มากกว่าวัตถุอื่น ๆ ทุกชนิดที่อุณหภูมิและความยาวคลื่นเดียวกัน
 3. วัตถุดำจะแผ่รังสีออกโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง นั่นคือวัตถุดำเป็น Diffuse Emitter
- โดยทั่วไปจึงใช้วัตถุดำเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการแผ่รังสีของผิวจริงต่าง ๆ

2.3.4.1 การกระจายของแพลนค์ (Planck Distribution)

การแผ่รังสีของวัตถุดำนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น (Spectral Distribution) ซึ่งความเข้มของรังสีที่ความยาวคลื่นใด เป็นดังนี้

$$I_{\lambda,b}(\lambda, T) = \frac{2h_p c_0^2}{\lambda^5 [\exp(h_p c_0 / \lambda k_B T) - 1]} \quad (2.51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ h_p คือ ค่าคงที่สากลของ Planck = $6.625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
 k_B คือ ค่าคงที่สากลของ Boltzmann = $1.3805 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
 c_0 คือ ค่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ = $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$
 T คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ของวัตถุค่า K

เนื่องมาจากวัตถุค่าเป็น Diffuse Emitter ดังนั้น Spectral Emissive Power แสดงดังนี้

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

โดยที่ $C_1 = 2\pi h_p c_0^2 = 3.7413 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 / \text{m}^2$
 $C_2 = h_p c_0 / k = 1.4388 \times 10^4 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}$

สมการ (2.52) นี้เรียกว่า Planck Distribution

2.3.4.2 กฎของ Stefan-Boltzmann

โดยการแทนค่า Planck Distribution สมการ (2.44) ลงในสมการ (2.52) ดังนั้นค่า Total Emissive Power ของวัตถุค่าเขียนได้ดังนี้

$$E_b = \int_0^\infty \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]} d\lambda \quad (2.53)$$

ผลลัพธ์จะได้เป็น

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

โดยที่ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า C_1 และ C_2 มีค่าเป็น

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

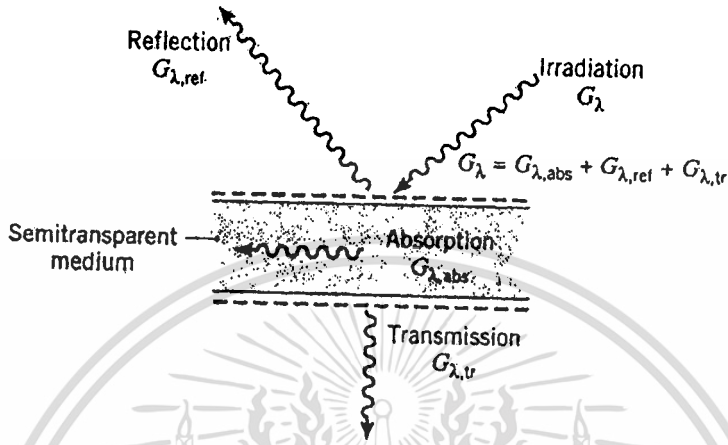
สำหรับวัตถุค่า ความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุค่าหาได้จาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของผิว

ในหัวข้อที่จะกล่าวถึงนี่จะเป็นการพิจารณากระบวนการอันเป็นผลมาจากการตกกระทบของรังสีโดยตัวกลางที่เป็นของแข็งหรือของเหลว สำหรับค่าเออร์ดิเอชันของคลื่นหนึ่ง (G_λ) เมื่อตกกระทบลงบนตัวกลาง ส่วนของรังสีนี้จะเกิดการสะท้อน ถูกดูดกลืน และการผ่านทะลุตัวกลาง



รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของตัวกลาง

ซึ่งในแต่ละกระบวนการจะได้อธิบายถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุและการตกแต่งผิว อุณหภูมิผิวและความยาวคลื่น และทิศทางของรังสีที่ตกมากระทบ

2.3.5.1 ค่าการดูดกลืนของผิว (Absorptivity)

เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการดูดความร้อนไว้ และยังแสดงลักษณะที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง (Directional) และการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น (Spectral) โดยที่ค่า Spectral Directional Absorptivity นิยามว่าเป็นเศษส่วนของความเข้มข้นที่ความยาวคลื่นหนึ่งที่ตกกระทบผิว ($I_{\lambda,i}$) ในทิศทาง (θ, ϕ) ซึ่งดูดกลืนโดยผิว ดังนั้น

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

สำหรับการคำนวณทางวิศวกรรม คุณสมบัติของผิวจะแทนด้วยค่าเฉลี่ยของทิศทาง เพราะฉะนั้นเรานิยาม Spectral, Hemispherical Absorptivity $\alpha_\lambda(\lambda)$ เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน Total Hemispherical Absorptivity, α (หรือ Total Absorptivity) แทนการรวมค่าเฉลี่ยทั่วทั้งทุกทิศทางและทุกความยาวคลื่น โดยได้กำหนดเป็นเศษส่วนของ Total Irradiation ที่ดูดกลืนโดยผิว

$$\alpha \equiv \frac{G_{abs}}{G} \quad \text{หรือ} \quad \alpha \approx \frac{\int_0^\infty \alpha_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda) d\lambda} \quad (2.58)$$

เนื่องจาก α ขึ้นอยู่กับการกระจายคลื่นของเอเรดิเอชันและค่านี้ขณะที่พื้นผิวได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์จะแตกต่างจากค่าที่ผิวนี้ได้รับจากรังสีคลื่นยาวซึ่งเกิดจากแหล่งอุณหภูมิต่ำ เพราะการกระจายคลื่นของรังสีของดวงอาทิตย์แทบจะเป็นสัดส่วนกับค่าที่ได้จากการปล่อยออกของวัตถุที่ 5800 K จากสมการ (2.85) ซึ่งแทน α_s เนื่องจากแสงอาทิตย์ประมาณว่า

$$\alpha_s \approx \frac{\int_0^\infty \alpha_\lambda(\lambda) E_{\lambda,b}(\lambda, 5800 \text{ K}) d\lambda}{\int_0^\infty E_{\lambda,b}(\lambda, 5800 \text{ K}) d\lambda} \quad (2.59)$$

2.3.5.2 ค่าการสะท้อนของผิว (Reflectivity)

Reflectivity (ρ) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการสะท้อนรังสีที่ตกมากระทบหาได้จากเศษส่วนของรังสีที่ตกกระทบที่สะท้อนโดยพื้นผิว อย่างไรก็ตามนิยามเฉพาะนี้ให้รูปแบบที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัตินี้เป็น Bidirectional ตามธรรมชาติ นั่นคือ ขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีตกกระทบและขณะเดียวกันก็ขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีที่สะท้อนซึ่งอาจสะท้อนเป็นแบบกระจัดกระจาย (Diffuse) หรือเป็นแบบลำรังสีเหมือนก่อนการตกกระทบ (Specular) ตามลักษณะการสะท้อนของรังสี การสะท้อนแบบ Diffuse เกิดขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีที่สะท้อนไม่ขึ้นกับมุมสะท้อนและไม่คำนึงทิศทางของรังสีที่ตกกระทบ ในทางกลับกันถ้าการสะท้อนทั้งหมดอยู่กับทิศทางที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบแล้วเรียกว่าการสะท้อนแบบ Specular ตามปกติแล้วไม่มีพื้นผิวใดให้การสะท้อนเป็นแบบ Diffuse หรือ Specular สมบูรณ์แบบส่วนมากเป็นการประมาณ

ค่า Specular, Directional Reflectivity, $\rho_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi)$ ของผิวกำหนดเป็นเศษส่วนของความเข้มของรังสีตกกระทบที่คลื่นในทิศทาง (θ, ϕ) ซึ่งถูกสะท้อนโดยผิว ดังนั้น

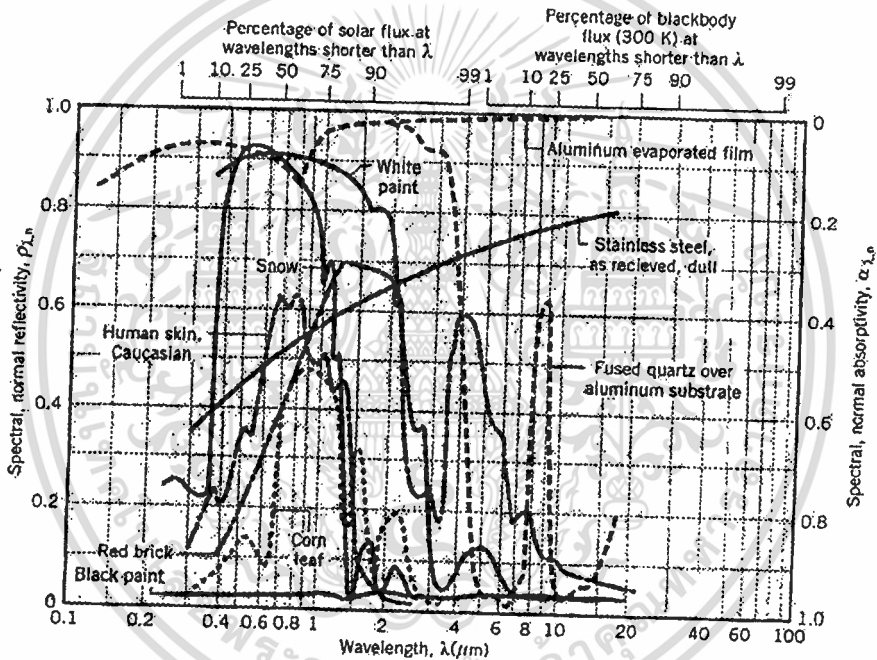
$$\rho_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi) \equiv \frac{I_{\lambda,i,ref}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda,i}(\lambda, \theta, \phi)} \quad (2.60)$$

เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยทั่วทั้งครึ่งทรงกลม นั่นคือจะไม่ขึ้นกับทิศทางเพราะฉะนั้นค่า Specular, Hemispherical Reflectivity, $\rho_\lambda(\lambda)$ นิยามว่าเป็นเศษส่วนของเอริเอจันของคลื่นหนึ่งที่สะท้อนโดยพื้นผิว

$$\rho_\lambda(\lambda) \equiv \frac{G_{\lambda,ref}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \tag{2.61}$$

ส่วนค่า Total Reflectivity, ρ กำหนดเป็น

$$\rho \equiv \frac{G_{ref}}{G} \quad \text{หรือ} \quad \rho = \frac{\int_0^\infty \rho_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda) d\lambda} \tag{2.62}$$



รูปที่ 2.8 แสดงค่าการสะท้อนรังสีตั้งฉากและการดูดกลืนรังสีตั้งฉากของผิวเลือก

2.3.5.3 ค่าการผ่านทะลุของผิว (Transmissivity)

เป็นคุณสมบัติของผิวที่เกิดขึ้นในตัวกลางโปร่งแสง (Semitransparent) เท่านั้น หมายถึงคุณลักษณะอย่างหนึ่งของผิวที่ยอมให้รังสีผ่านทะลุ เรียกว่า Transmissivity (τ) โดยใช้ Hemispherical Transmissivity จะได้ค่า Spectral Transmissivity ว่าเป็นส่วนหนึ่งของเอริเอจัน (G) ที่ผ่านทะลุพื้นผิว ดังนั้น

$$\tau_\lambda(\lambda) \equiv \frac{G_{\lambda,tr}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \tag{2.63}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า Total Transmissivity (τ) เป็นการรวม τ_λ ทุกความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

$$\tau_\lambda = \frac{G_r}{G} \quad (2.64)$$

หรือ

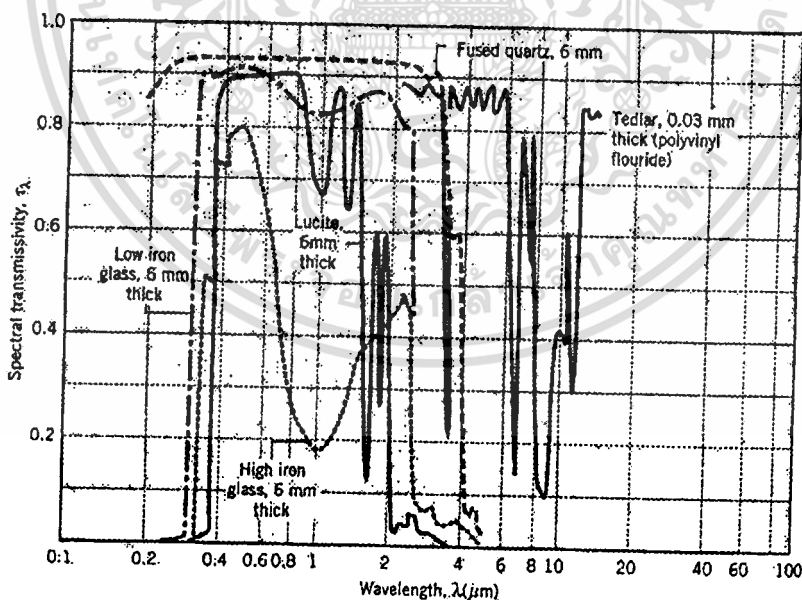
$$\tau = \frac{\int_0^\infty G_{\lambda, tr}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_0^\infty \tau_\lambda G_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda) d\lambda} \quad (2.65)$$

เนื่องจาก α, ρ และ τ ได้กำหนดไว้ว่าเป็นเศษส่วนของรังสีตกกระทบหรือเอเรดิเอชัน (G) ดังนั้น สำหรับพื้นผิวใด ๆ จะได้ว่า

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad \text{หรือ} \quad \rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2.66)$$

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

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda = 1 \quad \text{หรือ} \quad \rho + \alpha = 1 \quad (2.67)$$



รูปที่ 2.9 แสดงค่าการผ่านทะลุรังสีของผิวที่ความยาวคลื่นใด ๆ ของผิวเลือก

สำหรับวัตถุดำแล้ว $\rho = 0$ เสมอ นั่นคือถ้าเป็นวัตถุดำและทึบแสงด้วยจะได้ $\alpha = \epsilon = 1.0$ ค่าการกระจายตามคลื่นการสะท้อนตั้งฉากและค่าการดูดกลืนตั้งฉากได้แสดงดังรูป สำหรับผิวทึบที่ถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก วัตถุเช่นแก้วหรือน้ำที่โปร่งแสงที่ความยาวคลื่นสั้น ๆ จะกลายเป็นวัตถุทึบที่ความยาวคลื่นยาว ๆ หมายความว่ายอมให้รังสีผ่านทะลุได้เมื่อความยาวคลื่นของรังสีนั้นสั้น และไม่ยอมให้รังสีผ่านทะลุผิวถ้าความยาวคลื่นของรังสีนั้นยาวหรือมีค่าสูง สังเกตว่าค่า τ ของแก้วจะขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กที่ผสมอยู่กับแก้ว ส่วนค่า τ ของพลาสติกจะมีค่ามากกว่าค่า τ ของแก้วในช่วงอินฟราเรด ซึ่งเฟลคเตอร์เหล่านี้มีความสำคัญต่อการเลือกวัสดุที่เป็นฝาปิดแผงรับแสงอาทิตย์

2.4 ทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ในที่นี้จะกล่าวถึงพลังงานแสงอาทิตย์ในส่วนด้านนอกบรรยากาศและส่วนที่เหลือภายหลังผ่านชั้นบรรยากาศของโลกลงสู่พื้นโลก นอกจากนี้จะแปรผันตามเวลาแล้วปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ยังแปรผันตามสถานที่อีกด้วย นอกจากนี้แล้วยังจะกล่าวถึงวิธีคำนวณปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะแยกหัวข้อออกเป็นดังนี้

2.4.1 ดวงอาทิตย์ (Sun)

ดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.39×10^6 กิโลเมตร หนัก 2.2×10^{27} ตัน ดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองด้วยอัตรา 1 รอบต่อ 28 วัน พลังงานที่ดวงอาทิตย์แผ่รังสีออกมาได้จากการเปลี่ยนมวลของดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน กล่าวคือแก๊สไฮโดรเจนในดวงอาทิตย์ 4 อะตอมรวมกันเป็นแก๊สฮีเลียม 1 โมเลกุล โดยที่แก๊สฮีเลียม 1 โมเลกุลมีมวลน้อยกว่าไฮโดรเจนจำนวน 4 อะตอม และจะพบว่ามวลส่วนหนึ่งจะหายไป ดังนั้นมวลส่วนที่หายไปก็จะเปลี่ยนเป็นพลังงาน

2.4.2 ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant)

โลกและดวงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กันซึ่งมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของโลกและดวงอาทิตย์เท่ากับ 1.495×10^{11} เมตร โดยดวงอาทิตย์จะมีการแผ่รังสีความร้อนผ่านชั้นบรรยากาศและผ่านมายังโลก ซึ่งจะพิจารณาในรูปค่าคงที่ของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Constant G_s) เป็นค่าของพลังงานของดวงอาทิตย์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยที่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะเป็นการแผ่รังสีที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว การประมาณค่าคงที่ของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ทำโดยการวัดค่าที่จากพื้นดินซึ่งการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะแผ่รังสีผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งบางส่วนอาจจะมีการดูดซับและมีการสะท้อนกลับจากชั้นบรรยากาศ 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 ค่าดังกล่าวได้รับการยอมรับจากองค์การ NASA [1971] และ American Society for Testing Material [ASTM]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ตัวกลางกั้นแสงอาทิตย์ที่ชั้นบรรยากาศ

บรรยากาศของโลกประกอบด้วยแก๊สด้วยหลายชนิดเช่น O_2 , N_2 , ไอน้ำและฝุ่นละออง เป็นตัวกลางกั้นแสงอาทิตย์ทำให้พลังงานที่ได้รับบนพื้นโลกน้อยกว่าที่ได้รับนอกชั้นบรรยากาศซึ่งพลังงานที่หายไปก็เนื่องมาจากแสงอาทิตย์บางส่วนมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศและแสงอาทิตย์บางส่วนจะถูกดูดเอาไว้โดยแก๊สในบรรยากาศ

แสงอาทิตย์จะผ่านบรรยากาศมากน้อยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการยอมให้แสงผ่านของแก๊สแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นบรรยากาศซึ่งแก๊สที่ประกอบเป็นบรรยากาศจะยอมให้แสงบางส่วนผ่านและยอมให้แสงผ่านหลังจากที่แก๊สในบรรยากาศดูดพลังงานบางส่วนเอาไว้ค่าการยอมให้แสงผ่านบางตัวสามารถหาได้จากสมการ

$$\tau_\lambda(s) = \left[\tau_{a\lambda}^{P/760} (\tau_{d\lambda})^{d/800} (\tau_{w\lambda})^{w/20} \right]^m \quad (2.68)$$

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 (มม.ปรอท) d คือจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองในบรรยากาศต่อชม.³ w คือความสูงของน้ำเป็นมิลลิเมตรที่ได้จากไอน้ำในบรรยากาศเหนือผู้สังเกตการณ์ในแนวตั้งที่กลั่นตัวเป็นน้ำ และ m คือ แอร์มีสท (Mist) ดังนั้นคุณสมบัติของการยอมให้ผ่านสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\tau_{a\lambda} = 10^{-0.00389 \lambda^{-4}} \quad (2.69a)$$

$$\tau_{d\lambda} = 10^{-0.0353 \lambda^{-0.75}} \quad (2.69b)$$

$$\tau_{w\lambda} = 10^{-0.0075 \lambda^{-2}} \quad (2.69c)$$

เมื่อ λ คือความยาวคลื่นเป็นไมโครเมตร , ความดันบรรยากาศเท่ากับ 760 มม.ปรอท , ปริมาณของอนุภาคฝุ่นในอากาศเท่ากับ 800 อนุภาคต่อ ชม.³ และ m เท่ากับ 1

2.4.4 ทิศทางของแสงอาทิตย์แบบตรง (Direction of Beam Radiation)

ทิศทางของแสงอาทิตย์ซึ่งจะแปรเปลี่ยนตามเวลาและสถานที่เป็นสิ่งสำคัญ เช่น ตำแหน่งและวงโคจรของดวงอาทิตย์ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 2.10 ซึ่งวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เกือบจะเป็นวงกลม จากความสัมพันธ์ระหว่างระนาบที่วางอยู่ที่โลกและได้รับค่าแสงการแผ่รังสีของดวงเอกสตรานี้เป็นเอกสตรานี่ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์ โดยตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์กับระนาบ Benford และ Bock [1939] ได้ทำการอธิบายในรูปของมุมต่างๆ โดยมุมและความสัมพันธ์ระหว่างเทอมต่างๆ จะได้อธิบายดังนี้

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

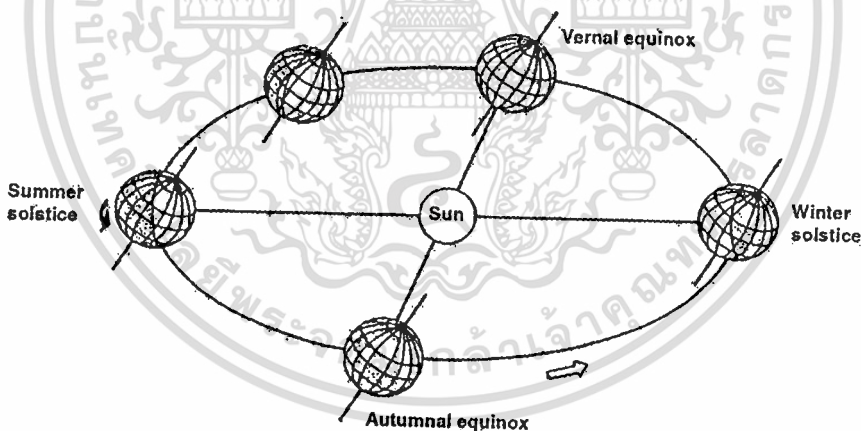
δ มุมลาดเอียง (Declination) เป็นค่าของมุมที่แสดงถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เวลาเที่ยงวันเทียบกับระนาบกับเส้นของเส้นศูนย์สูตร บริเวณทางเหนือมีค่าเป็นบวก $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

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

γ มุมอะซิมุทของผิว (Surface Azimuth Angle) แสดงถึงค่าเบี่ยงเบนของการตกกระทบบนระนาบแนวนอน ค่าในทางทิศตะวันออกเป็นลบและทางทิศตะวันตกเป็นบวก $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$

ω (Hour Angle) แสดงถึงการเคลื่อนที่เชิงมุมของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับแกนหมุนของโลกมีค่าเท่ากับ 15 องศาต่อชั่วโมง สำหรับในตอนเช้าจะมีค่าเป็นลบและในตอนบ่ายมีค่าเป็นบวก

θ (Angle of Incidence) เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างการแผ่ลำแสงของดวงอาทิตย์ลงบนพื้นผิวและเส้นตั้งฉากพื้นผิว



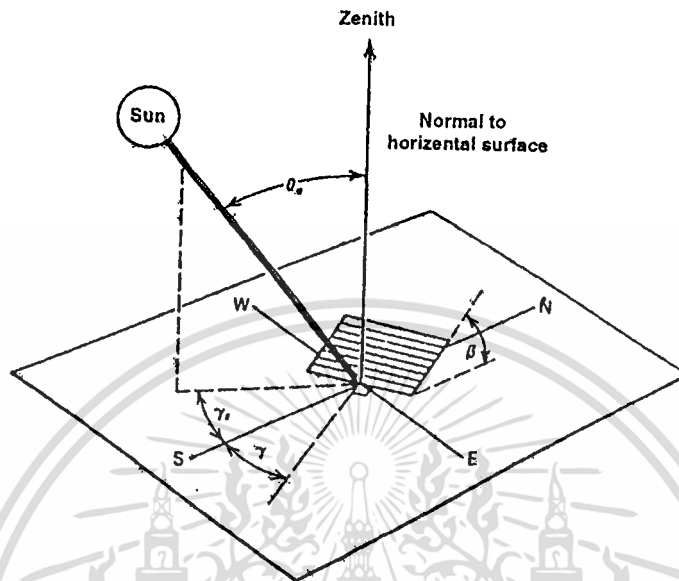
รูปที่ 2.10 แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ [Threlkeld 1970]

มุมเซนนิท, มุมชันและมุมอะซิมุทที่ผิวแสดงตามรูปที่ 2.11 สำหรับค่ามุมลาดเอียง δ สามารถหาได้จากสมการของ Cooper [1969] :

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) \quad (2.70)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n เป็นจำนวนวันของปีนั้นๆ ; n สามารถหาค่าได้จากตารางที่ 2.1 จากสมการดังต่อไปนี้จะเป็นการหาความสัมพันธ์ของมุมระหว่างการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนพื้นผิว θ



รูปที่ 2.11 แสดงมุมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนพื้นผิว

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนวันในแต่ละเดือนของปีนั้น [Klein (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\
 &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\
 &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\
 &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega
 \end{aligned} \tag{2.71}$$

Solar Azimuth Angle เป็นมุมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบระนาบแนวนอนในทางทิศใต้และแสดงในรูปที่ 2.11 จะเห็นว่ามุมที่เกิดขึ้นที่ด้านข้างได้กำหนดไว้ $(90 - \theta_z)$ สำหรับแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกยึดอยู่กับที่มุมชันที่กวาดไปทางทิศใต้หรือทิศเหนือ มุมของอะซิมุทที่เกิดขึ้นก็จะมีมุมตั้งแต่ 0° ไปถึง 180° และสำหรับพิวในแนวตั้ง $\beta = 90^\circ$ จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \cos \theta &= -\sin \delta \cos \phi \cos \gamma + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega \\
 &+ \cos \delta \sin \gamma \sin \omega
 \end{aligned} \tag{2.72}$$

สำหรับพิวในแนวระดับ $\beta = 0^\circ$ และมุมอินซเด้นจะเป็นมุมเซนนิทของดวงอาทิตย์ θ_z ดังนั้นจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \tag{2.73}$$

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

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

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \tag{2.74}$$

โดยที่จำนวนชั่วโมงของการส่องแสงในแต่ละวันสามารถแสดงดังสมการ

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(\tan \phi \tan \delta) \tag{2.75}$$

2.4.5 พลังงานแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศบนระนาบระดับ

การคำนวณค่าการแผ่รังสีจะเป็นการคำนวณทางทฤษฎีที่สามารถเป็นไปได้โดยการคำนวณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะคิดว่าไม่มีชั้นของบรรยากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่บริเวณด้านนอกของชั้นบรรยากาศบนระนาบแนวนอนสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos \theta_z \quad (2.76)$$

เมื่อ G_{sc} คือ ค่า Solar Constant 1353 W/m^2
 n คือ จำนวนวันของปี

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega) \quad (2.77)$$

ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันบนผิวระนาบแนวนอน H_o สามารถคำนวณได้โดยการอินทิเกรตสมการ (2.77) ในช่วงเวลาการตกของดวงอาทิตย์ (Sunset) และ การขึ้นของดวงอาทิตย์ (Sunrise) H_o มีหน่วยเป็นจูลต่อตารางเมตร

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.78)$$

เมื่อ ω_s เป็น Sunset Hour Angle มีหน่วยเป็น องศาของมุม สิ่งที่น่าสนใจอีกเป็นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมง I_o บนระนาบแนวนอนหาได้โดยการอินทิเกรตสมการ (2.77) อินทิเกรตในช่วง Hour Angle ω_1 และ ω_2 เมื่อค่าของ ω_2 มีค่าใหญ่มาก ซึ่งจัดสมการได้ดังนี้

$$I_o = \frac{12 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right] \times \left[\cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (2.79)$$

2.4.6 การวัดค่าและการประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์

จากอัตราหรือปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้นอกชั้นบรรยากาศของโลกต่อหน่วยพื้นที่และเวลา (Extraterrestrial) G_o คงที่ ส่วนที่รับได้บนพื้นโลกขึ้นกับการยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านบนโลก ณ บริเวณนั้น (Atmospheric Transmittance) τ ดังนั้นโดยการคูณ G_o ด้วยค่าการยอมให้แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์ผ่านอากาศ ณ บริเวณนั้น ซึ่งก็จะทำให้ทราบอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับได้บนพื้นโลก วิธีการคำนวณอัตราพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีดังกล่าวไม่ได้รับความนิยม เพราะค่าตัวแปรที่ใช้ในการประกอบการคำนวณค่าการยอมให้แสงอาทิตย์ผ่าน เช่น ปริมาณไอน้ำในอากาศและฝุ่นละอองจะผันแปรอยู่ตลอดเวลาทำให้ยากต่อการประเมินค่าที่ถูกต้องของ τ อย่างยิ่ง

วิธีหาค่าอัตราพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นโลกที่นิยมใช้มี 3 วิธี วิธีแรกโดยการใช้เครื่องมือวัดอัตราพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง วิธีนี้เป็นวิธีตรงที่ให้ค่าดีที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องมาจากเครื่องมือราคาแพง ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูล การวัดและการบันทึกข้อมูลอาจทำเป็นรายวันหรือรายชั่วโมง วิธีที่สองใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ประเมินอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ของสถานที่ที่ต้องการจากอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งวัดและบันทึกของสถานที่ใกล้เคียงที่มีการวัดอัตราพลังงานแสงอาทิตย์อยู่แล้ว เช่น ถ้าต้องการทราบอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งไม่มีสถานีวัดพลังงานแสงอาทิตย์แต่ที่กรุงเทพฯ ซึ่งเป็นสถานที่ใกล้เคียงมีสถานีวัดอยู่ก็สามารถคำนวณหาได้ [7] ดังนั้นก็จะทราบอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ได้เช่นเดียวกัน วิธีที่สามทำได้โดยการคำนวณจากสมการ ที่ใช้ประกอบค่าตัวแปรและค่าคงที่ สำหรับการเลือกค่าคงที่ก็ต้องเลือกให้เหมาะสมกับกับสถานที่นั้น ๆ ซึ่งอัตราพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน

การวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่รับ (Total or Global Solar Radiation) แบ่งออกเป็นสองชนิดตามความยาวคลื่นของรังสีชนิดแรกพลังงานที่ส่งมาตามความยาวคลื่นที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 3 ไมโครเมตร หรือพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตรง (Beam Solar Radiation) พลังงานชนิดนี้ได้จากการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์และบริเวณรอบดวงอาทิตย์ ทิศทางของการสะท้อนหรือการหักเหเมื่อกระทบหรือผ่านตัวกลางใด ๆ อาจคำนวณได้ค่อนข้างแน่นอนโดยใช้สมการ ชนิดที่สองพลังงานชนิดรังสีกระจาย (Diffuse Solar Radiation) พลังงานชนิดนี้ไม่ได้แผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่มาจากแหล่งอื่นที่รับพลังงานโดยตรงจากดวงอาทิตย์และส่งถ่ายทอดต่ออีกที เช่น กลุ่มเมฆในท้องฟ้าซึ่งจะรับพลังงานจากดวงอาทิตย์แล้วทำให้ตัวมันเองอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิโดยรอบ ความยาวคลื่นของพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจายจะมีความยาวคลื่นมากกว่า 3 ไมโครเมตร วันที่แจ่มใสพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนมากจะเป็นแบบรังสีตรงและวันที่มีปริมาณเมฆมากพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยชนิดรังสีกระจายมากกว่าชนิดรังสีตรงและวันที่มีเมฆมากจนมองไม่เห็นดวงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับจะมีแต่ชนิดรังสีกระจายเท่านั้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 การประมาณค่าการแผ่รังสีในวันท้องฟ้าแจ่ม (Estimation of Clear Sky Radiation)

ผลจากการกระทบจากการสะท้อนกลับและการดูดซับผ่านชั้นบรรยากาศในขณะที่มีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เวลาหนึ่งหรือมีการเปลี่ยนแปลงมวลของอากาศจะถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ในวันท้องฟ้าแจ่มใสและการคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์รายวันและรายชั่วโมงภายใต้พื้นผิวแนวระนาบก็จะพิจารณาเป็นลักษณะค่าคงที่เช่นกัน

Hottel [1976] ได้แสดงทฤษฎีที่เกี่ยวกับการประมาณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาชั้นบรรยากาศ โดยมีการแยกสภาวะภูมิอากาศออกเป็น 4 สภาวะภูมิอากาศ ดังนั้นรังสีของดวงอาทิตย์ที่มีการแผ่รังสีผ่านเข้ามาชั้นบรรยากาศ τ_b สามารถแสดงค่าได้ดังสมการ

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-k/\cos\theta_z} \quad (2.80)$$

a_0^* , a_1^* และ k^* เป็นค่าคงที่ของสภาวะอากาศมาตรฐานและค่า a_0 , a_1 และ k เป็นค่าสภาวะอากาศต่าง ๆ และ A เป็นระยะทางของผู้สังเกตมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

$$a_0^* = 0.4237 - 0.00821(6 - A)^2 \quad (2.81)$$

$$a_1^* = 0.5055 + 0.00595(6.5 - A)^2 \quad (2.82)$$

$$k^* = 0.2711 + 0.01858(2.5 - A)^2 \quad (2.83)$$

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าตัวประกอบของสภาวะอากาศต่าง ๆ จาก 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 นั้นจะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะอากาศต่าง ๆ โดยที่ค่าตัวประกอบสามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$r_0 = a_0 / a_0^* \quad (2.84)$$

$$r_1 = a_1 / a_1^* \quad (2.85)$$

$$r_k = k / k^* \quad (2.86)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสสามารถหาได้จากสมการ

$$G_b = G_{on} \tau_b \cos \theta_t \quad (2.87)$$

การคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนระนาบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส โดยพิจารณาเป็นช่วงเวลา, ชั่วโมง

$$I_b = I_{on} \tau_b \cos \theta_t \quad (2.88)$$

การประมาณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในระนาบแนวนอน การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดจะมีค่าใกล้เคียงกัน Lui และ Jordan [1960] ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การผ่านทะลุและการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสได้ดังสมการ

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939 \tau_b \quad (2.89)$$

เมื่อ τ_d คืออัตราส่วนของการผ่านทะลุของรังสีแบบพุ่งกระจายและสำหรับการแผ่รังสีที่ตกกระทบลงบนระนาบตามแนวนอน (G_d/G_0 หรือ I_d/I_0) นั้น สามารถหาค่าการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ได้จากสมการดังนี้

$$G = G_b + G_d \quad (2.90)$$

สำหรับการแผ่รังสีและการพุ่งกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ทุกชั่วโมง Stautter และ Klein [1979] ใช้พาราโนมิเตอร์และพาสีลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) เก็บข้อมูลจากทั้งหมด 5 รัฐของสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของลำแสงของดวงอาทิตย์ที่ผ่านทะลุและพุ่งกระจายผ่านชั้นบรรยากาศและหาความสัมพันธ์ของการกระจายกับค่าของรังสีที่ตกกระทบจริงดังสมการ

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1.0 - 0.1 \frac{I}{I_T} & \text{สำหรับ } 0 \leq \frac{I}{I_T} < 0.48 \\ 1.11 + 0.0396 \left(\frac{I}{I_T} \right) - 0.789 \left(\frac{I}{I_T} \right)^2 & \text{สำหรับ } 0.48 \leq \frac{I}{I_T} < 1.10 \\ 0.20 & \text{สำหรับ } 1.10 \leq \frac{I}{I_T} \end{cases} \quad (2.91)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนผิวที่เอียงนั้นจะประกอบด้วยส่วนประกอบของรังสีที่เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนของรังสีที่ตกกระทบลงบนผิวเอียงบนระนาบตามแนวนอน ดังนั้นความสัมพันธ์ของรังสีความร้อนเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{G \cos \theta}{G \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.92)$$

โดยที่ $G_{b,T}$ คือ การแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์บนผิวระนาบ

G_b คือ การแผ่รังสีรังสีความร้อนของแสงอาทิตย์บนผิวเอียง

เขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \quad (2.93)$$

สำหรับการฟุ้งกระจายในท้องฟ้าจะตกกระทบลงบนผิวแนวระนาบเช่นเดียวกับการตกกระทบที่เกิดขึ้นบนผิวเอียง สำหรับผิวจะประกอบไปด้วยส่วนของท้องฟ้าและพื้นดิน โดยมีจะแผ่รังสีจากท้องฟ้าเข้าไปกระทบส่วนหนึ่งของที่บริเวณผิว ดังนั้นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวที่เป็นส่วนของท้องฟ้า แสดงดังสมการ

$$R_s = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \quad (2.94)$$

การฟุ้งกระจายที่พื้นดินนั้นจะมีการสะท้อนกลับจากกระบวนการแผ่รังสีความร้อนที่ตกกระทบผิว ซึ่งจะสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$R_g = \frac{(1 - \cos \theta)}{2} = 1 - R_s \quad (2.95)$$

สำหรับการสะท้อนกลับของพื้นดินที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั้นจะมีรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์การตกกระทบลงบนพื้นดิน พลังงานที่ตกกระทบลงบนพื้นดินยังประกอบด้วยการแผ่รังสีและการฟุ้งกระจายของรังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้นพลังงานรวมทั้งหมดของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผิเอียงประกอบด้วย

$$G_T = R_b G_b + R_s G_d + \rho' R_g (G_b + G_d) \quad (2.96)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ρ' เป็นค่าการสะท้อนกลับของพื้นดินเท่ากับ 1 จากสภาวะอากาศมาตรฐานสามารถสังเกตได้จากตาราง 2.2 ดังนั้นการคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในวันท้องฟ้าแจ่มใสหาได้ เมื่อ G_{on} เป็นค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่กระทบลงพื้นในแต่ละวันของปีซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \quad (2.97)$$

โดยที่ n คือ จำนวนวันของปีนั้น ๆ

G_{sc} คือ ค่า Solar Constant $1353 \text{ W} / \text{m}^2$

2.4.8 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่น (Flat-Plate Collectors)

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเป็นหน่วยใช้สำหรับรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนระนาบที่แผ่เป็นบริเวณกว้างและแปลงให้เป็นพลังงานรูปอื่นที่สะดวกต่อการนำไปใช้ในรูปอื่น ส่วนสำคัญของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นคือ แผ่นดูดพลังงาน (Absorbing Plate) ซึ่งทำหน้าที่รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลที่ไหลผ่านแผ่นดูดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ด้านบนของแผ่นดูดคือ แผ่นรับแสงอาทิตย์ หรือแผ่นปิดด้านบน (Top Cover) ซึ่งเป็นวัสดุโปร่งใส เช่น กระจกหรือแผ่นพลาสติกใส ซึ่งจะช่วยกั้นความร้อนไม่ให้ไหลจากแผ่นดูดกลับสู่ภายนอก ส่วนสำหรับแผ่นดูดวัสดุที่ให้อาจต้องมีค่าการนำความร้อนที่สูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับพลังงานจึงทาหรือเคลือบแผ่นดูดด้านที่รับแสงอาทิตย์ด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับพลังงานสูง เช่น ทาด้วยสีดำซึ่งเป็นสีที่มีค่าการดูดซับสูงเป็นต้น

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของตัวดูดซับ [Brenndorfer (1985)]

Surface Layer	Substrate	Solar Absorption
Black nickel	Iron ,Copper , Zinc /Al	0.85-0.96
Black chrome	Nickel / Al / Copper / Iron	0.82-0.96
Black copper	Copper	0.85-0.95
Cobalt oxide	Copper , Iron , Al	0.87-0.95
Black Zinc	Nickel	0.91

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าเฉลี่ยของดัชนีการหักเหของแสงผ่านวัสดุชนิดต่าง ๆ

Cover Material	Average Refractive Index
Glass	1.526
Polymethyl methacrylate	1.49
Polyfluorinated ethylene propylene	1.34
Polytetrafluoroethylene	1.37
Polycarbonate	1.60

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ความดันบรรยากาศ

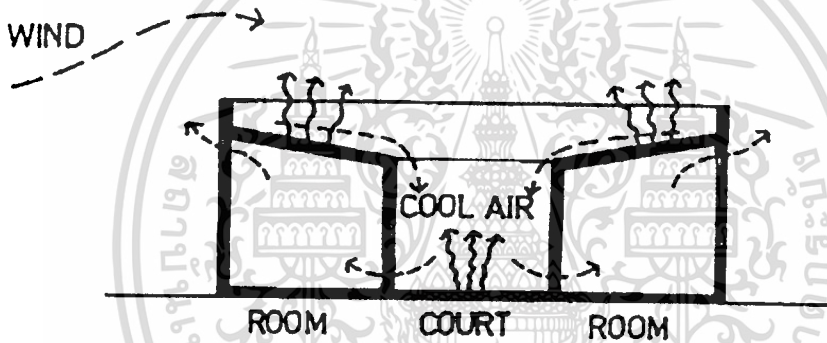
Material	Temperature (K)	K (W/m.K)
Metal		
Aluminum	297	190
Copper	297	390
Iron	297	78
Nonmetal		
Asbestos	273	0.151
Glass (Pyrex)	297	1.177
Water	297	0.6
Gases		
Hydrogen	297	0.182
Nitrogen	297	0.026
Air	297	0.026

2.5 ทฤษฎี Solar Passive Cooling

สำหรับการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดยการแผ่รังสีของความร้อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำและสำหรับการกระจัดกระจายความร้อนเข้าสู่อาศัยนั้นมีความสำคัญอยู่ 2 ประการคือ หนึ่งจะต้องควบคุมการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อมโดยตรงและสองจะต้องควบคุมแหล่งอื่น ๆ ที่มีการปล่อยความร้อนออกมา ส่วนของการกระจัดกระจายของความร้อนจะพบว่าปริมาณมากในเวลากลางคืน สำหรับผิวแนวระดับต่าง ๆ จะมีผลต่อการกระจัดกระจายของความร้อนในแต่ละลักษณะภูมิอากาศ สิ่งที่สำคัญในการกั้นการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าได้แก่ ดินไม้ ผงและเมฆเป็นต้น ซึ่งตัวกั้นนี้จะทำให้เกิดการลดลงของการแผ่รังสีความร้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการพิจารณาบริเวณผิวหลังคาร้อนนั้น อุณหภูมิจะลดลงได้โดยอาศัยการพาความร้อนอิสระ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวหลังคาเท่ากับอุณหภูมิของอากาศภายนอก การเพิ่มขึ้นของความเย็นนั้นเกิดขึ้นได้โดยการกระจายอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในเวลากลางวันซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในเวลากลางคืนและจะพบว่าช่วงเวลาดอนเวลากลางคืนอุณหภูมิภายในที่อยู่อาศัยจะต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ถ้าการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุณหภูมิที่ผิวหลังคาลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ นั้น จะพบว่าจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำขึ้นที่บริเวณผิวหลังคาและอนุภาคของความชื้นจะถูกควบแน่นจนกลายเป็นความชื้น ยกตัวอย่างถ้าผิวหลังคามีความชันตามรูปที่ 2.12 จะพบว่าความชื้นจะไหลเข้าไปสู่บริเวณที่อยู่อาศัยภายใน โดยผ่านเข้าไปในช่องทางต่าง ๆ ที่เปิดไว้และผนังรอบ ๆ จะทำหน้าที่การป้องกันการรวมตัวของอากาศและไอน้ำ อย่างไรก็ตามทฤษฎีนี้จะทำงานไม่ได้ถ้าปราศจากลมจากสิ่งแวดล้อม สำหรับผลของลมที่เกิดการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา นั้นจะทำให้เกิดการพาอนุภาคของความชื้นออกไปจากผนังและจะทำให้ลดความชื้นได้

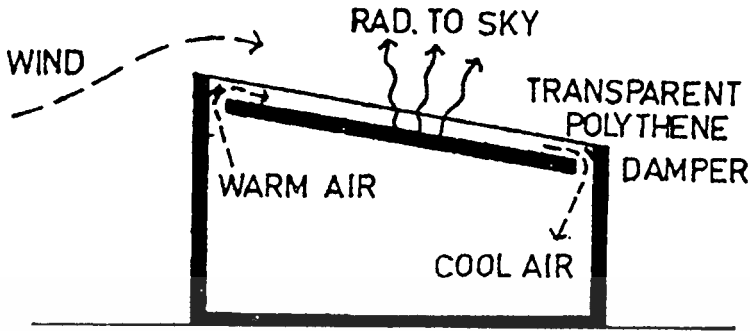


รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะความชื้นภายในที่อยู่อาศัย

ส่วนหลังคาจะครอบด้วยแผ่นโพลีสไตรีน ซึ่งคุณสมบัติของแผ่นโพลีสไตรีนนั้นจะยอมให้รังสีเกิดการผ่านทะลุได้ดีในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด ในกรณีคลื่นของรังสีมีความยาวหรือมีค่าสูงแต่มีข้อเสียที่มีอายุการใช้งานสั้น ตัวอย่างตามรูปที่ 2.13 ทางเข้าและทางออกจะถูกเปิดไว้สำหรับให้อากาศภายในหลังคาเกิดการหมุนเวียน แต่ยังมีทางเลือกอีกทางสำหรับทฤษฎีนี้โดยการครอบหลังคาด้วยแผ่นเหล็กที่ทำเป็นรอนแล้วทาด้วยสีขาวก็ผลได้เช่นเดียวกัน การเปิดช่องบนหลังคานั้นจะทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่และในช่วงเวลากลางวันจะต้องปิดช่องเพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเข้ามาแทนที่ในบริเวณที่อยู่อาศัย แต่สำหรับช่วงเวลากลางคืนจะต้องเปิดช่องเพื่อให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ภายใต้แผ่นเคลือบซึ่งจะช่วยพัดความชื้นเข้ามาภายในบริเวณห้องอาศัย ในกรณีนี้แผ่นเหล็กที่เป็นรอนนั้นประสิทธิภาพของการทำความเย็นจะดีก็เป็นผลมาจากการพาอนุภาคของความชื้นที่อยู่ด้านนอกไป ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการพัฒนาโดย Catanoloth [1975] และ Harrisor [1978] โดยผิวที่ออกแบบนั้นจะมีค่าการดูดกลืนของผิวน้อยในช่วงของความยาวคลื่นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถมองเห็นและกำหนดให้ค่าการส่งออกของพลังงานต่ำในช่วงใกล้กับช่วงความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรด



รูปที่ 2.13 แสดงการกระจายความเย็นในเวลากลางวัน

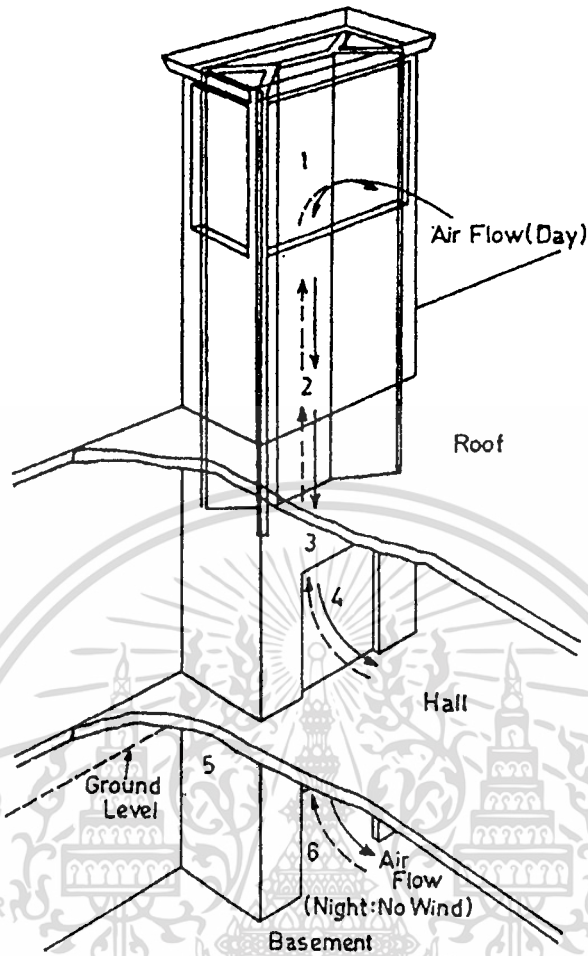
2.5.1 การควบคุมการนำความร้อนโดยการหุ้มฉนวนและผนังที่เป็นโพรง

ปริมาณของความร้อนที่เคลื่อนที่เข้ามาภายในห้องนั้นสามารถลดได้โดยการหุ้มฉนวนในส่วนประกอบของอาคารบางส่วน โดยปกติแล้วฉนวนจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณผิวด้านนอกของผิว โดยความหนาของฉนวนที่ใช้จะต้องคุ้มค่าที่สุดทั้งในเชิงเศรษฐศาสตร์และเชิงวิศวกรรม ซึ่งการหุ้มฉนวนนั้นจะทำให้ความเย็นไม่เกิดการสูญหายไปไหน

หลังคาและผนังที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นโพรงหรือเป็นช่องว่างนั้นจะเป็นฉนวนที่ดีที่ช่วยกันการผ่านทะลุของความร้อนที่เข้ามาในบริเวณที่อยู่อาศัย

2.5.2 ประโยชน์ของลม, น้ำและดินสำหรับการทำความเย็นในลักษณะภูมิอากาศแห้งแล้ง

สำหรับการทำความเย็นอีกแบบหนึ่งสามารถทำได้โดยอาศัย หอรับลม, ช่องระบายอากาศ, ถังเก็บน้ำและน้ำแข็ง ซึ่งทั้งหมดจะเหมาะสมสำหรับการทำความเย็นในช่วงฤดูร้อน ยกตัวอย่างหอรับลมตามรูปที่ 2.14 จะเป็นการทำงานตามเส้นทางของลมในแต่ละวันที่มีลมอยู่ ผนังจะมีการดูดซับความร้อนไว้ในเวลากลางวันและจะปล่อยความเย็นออกมาในเวลากลางคืน ซึ่งจะเกิดจากอากาศไหลผ่านหอรับลมโดยอากาศก็ยังคงความเย็นอยู่ เมื่อไม่มีลมความร้อนจากภายนอกจะเข้ามาที่หอรับลมและจะผ่านไปยังช่องทางเปิดด้านข้างตามหมายเลข 1 และจะทำให้เย็นเมื่ออากาศเข้ามาปะทะกับหอรับลม จะพบว่าอากาศที่เย็นจะควบแน่นได้ดีกว่าอากาศร้อน และก็จะพัดผ่านแหล่งดังกล่าวมาที่หอคอยแสดงตามเส้นทางหมายเลข 2, 3 และ 5 เมื่อใดที่มีลม อากาศจะทำให้เกิดความเย็นอย่างเห็นผลจริงและจะเกิดการไหลอย่างรวดเร็วที่ประตูในส่วนเล็ก ๆ ในหอรับลมซึ่งจะถูกเปิดให้อยู่ตรงกึ่งกลางของหอรับลมจนถึงห้องใต้ถุนของตึก เมื่อประตูเปิดความเย็นของอากาศจากหอรับลมจะถูกดึงผ่านเข้ามาในตึกและจะออกทางหน้าต่างหรือประตูอื่น ๆ ความเย็นที่เกิดขึ้นจะการหมุนเวียนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

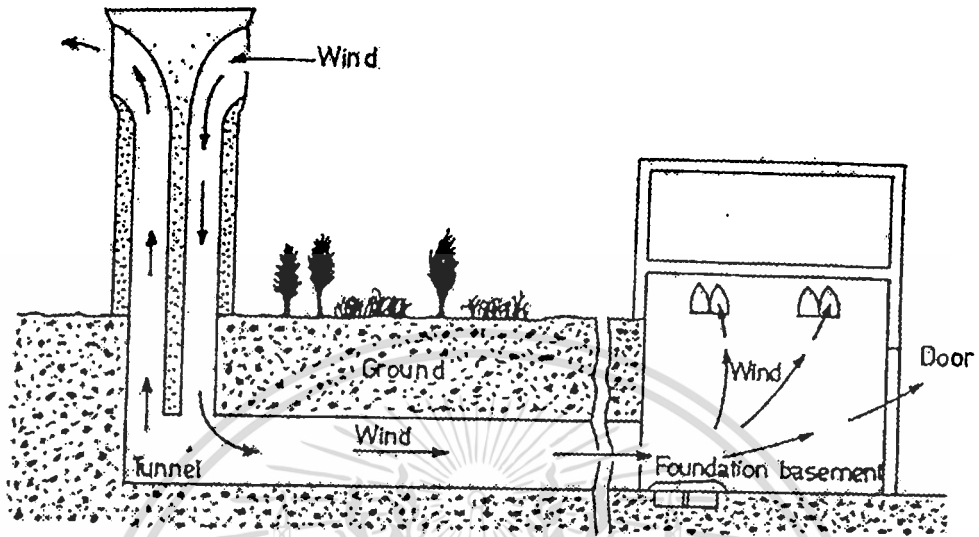


รูปที่ 2.14 แสดงการหมุนเวียนของลมในหอรับลม

เวียนซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของประตูในหอรับลม ในช่วงเวลากลางวันถ้าไม่มีลมแสดงตามลูกศรที่บ่งชี้การทำงานของหอรับลมก็จะคล้ายกับปล่องลม ความร้อนที่เกิดขึ้นจะสะสมอยู่บริเวณผนังในช่วงเวลาวันที่มีอากาศค่อนข้างร้อน อากาศร้อนจะควบแน่นน้อยกว่าอากาศเย็นความดันที่จุดบนของหอรับลมจะลดลงและจะทำให้เกิดลมดูดเกิดขึ้น อากาศในตึกจะมีการไหลเวียนเข้ามาผ่านที่หอรับลมและความเย็นของอากาศในเวลากลางวันจะถูกดึงเข้ามาภายในตึกผ่านประตูและหน้าต่าง เมื่อใดที่มีลมในตอนกลางวัน การไหลของอากาศจะไหลลงที่หอรับลมและจะผ่านมายังตัวตึก ดังนั้นอากาศบริเวณผนังของหอรับลมจะร้อนในเวลากลางวันก่อนที่อากาศจะไหลผ่านเข้ามายังตัวตึก ดังนั้นอุณหภูมิจึงลดต่ำลงมาได้นั่นเอง

ลักษณะของความเย็นอีกแบบหนึ่งคือเกิดขึ้นในดินซึ่งเกิดได้จากการไหลของลมผ่านเข้ามายังหอรับลมแสดงดังรูปที่ 2.15 จะพบว่าการสูญเสียความร้อนจากอากาศผลที่เกิดขึ้นทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลง แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไอน้ำกับอากาศอากาศที่ด้านบนของหอรับลมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

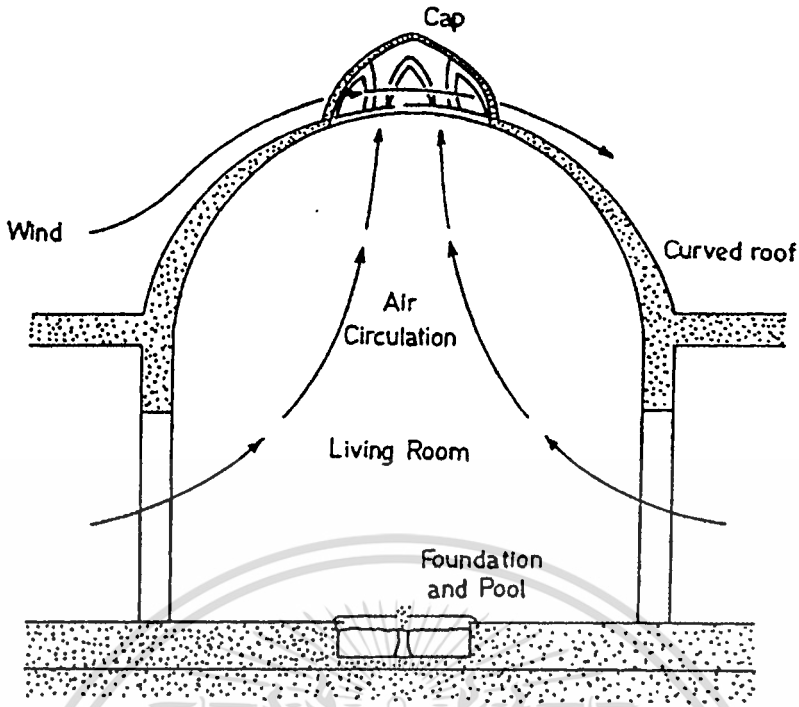
เมื่อใดที่มีน้ำอยู่ในระบบลักษณะของความเย็นจะเกิดขึ้น เพราะจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไอน้ำและอุณหภูมิของอากาศ เมื่ออากาศไม่อิ่มตัวเข้ามาผสมกับไอน้ำ จะพบว่าปริมาณของ-



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะการทำให้เย็นโดยหอรับลม

น้ำจะเกิดการระเหยและจะทำให้อุณหภูมิของอากาศต่ำลงเรื่อย ๆ ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของไอน้ำ สำหรับระบบหอรับลมนี้จะทำให้อากาศเย็นระเหยและจะทำให้ประสิทธิภาพของการทำความเย็นดีขึ้น ความจำเป็นในหอรับลมแบบนี้้นักมีน้ำในดินไหลซึมผ่านมาด้านในของฐานตึก จะทำให้อากาศเย็นไหลผ่านมายังผนังและจะทำให้เกิดความเย็นขึ้น ซึ่งจะพบว่าการระเหยของความเย็นในระบบจะมีปริมาณมากตามรูปที่ 2.15 โดยหอรับลมสูงจากตึกเป็นระยะทาง 50 เมตร และต่อเป็นท่อลมเข้ากับตึก เมื่อมีต้นไม้หรือต้นไม้หญ้าเดี่ยว ๆ บนดินและด้านบนของช่องทางก็จะมีน้ำถูกสะสมไว้ ซึ่งน้ำจะไหลผ่านมายังดินและน้ำจะถูกเก็บไว้ที่ผิวของช่องทางอย่างเปียกชุ่ม อากาศจากหอรับลมจะระเหย ลักษณะความเย็นจะไหลผ่านมายังช่องทางซึ่งบริเวณที่อยู่อาศัยก็จะเย็น อย่างไรก็ตามก็จะเกิดไอน้ำขึ้นและลมจะทำให้เกิดการไหลเวียนและเกิดการกระจายระเหยมายังบริเวณที่อยู่อาศัย หอรับลมโดยปกติแล้วจะออกแบบหลังคาให้เป็นลักษณะโค้งเป็นพื้นที่ใหญ่เพื่อต้องการให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก ดังนั้นความเร็วลมจะสูงมากในกรณีนี้หลังคาทำเป็นลักษณะโค้ง ซึ่งก็จะทำให้สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนสูงตามด้วย อากาศร้อนภายในห้องจะต่ำกว่าที่หลังคา ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาไปสู่อากาศด้านในจะลดลง

การไหลเวียนของอากาศอีกแบบหนึ่งในที่อยู่อาศัยแสดงตามรูปที่ 2.16 อากาศที่มีฝุ่นปะปนมากับลม จะถูกดักไว้ในหอรับลมการไหลเวียนจะเกิดขึ้นที่บริเวณด้านบนของโคมหรือ



รูปที่ 2.16 แสดงการไหลเวียนของอากาศ

บริเวณหลังคาทรงกระบอกซึ่งจะมีช่องทางเปิดเพื่อให้เกิดการไหลเวียนผ่านบริเวณดังกล่าว เมื่ออากาศไหลผ่านที่ผิวที่โค้ง ความเร็วของมันก็จะเพิ่มขึ้นและความดันก็จะลดลงที่บริเวณปลายยอดของหลังคา อากาศร้อนที่เกิดขึ้นภายใต้หลังคาจะถูกไหลเวียนออกไป อากาศที่ไหลเวียนออกไปจะเป็นอากาศที่อยู่ภายในห้องซึ่งอากาศเย็นก็จะไหลเข้ามาแทนที่อากาศร้อน

2.6 วิธีการปริมาตรสี่บเนื้อ (Finite Volume Method)

วิธีการปริมาตรสี่บเนื้อนั้นได้ถูกพัฒนามาจากวิธีผลต่างสี่บเนื้อ (Finite Difference Method) โดยจะใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical) ศึกษาถึงการไหลของของไหลภายในปริมาตรควบคุม จะหาได้จากสมการการเคลื่อนย้าย (General Transport Equation)

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S_\phi \quad (2.98)$$

จากสมการดังกล่าวสามารถประยุกต์ได้กับลักษณะการไหลแต่ละประเภทที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ต่าง ๆ แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะส่วนที่จำเป็นที่นำมาใช้ในการคำนวณแบบจำลอง Solar Cooling Chimney เท่านั้น เพื่อความสะดวกนี้จะใช้การจัดการของผลต่างตรงกลาง (Central Differencing Scheme) มาวิเคราะห์ระบบที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การจัดการของผลต่างตรงกลาง (Central Differencing Scheme)

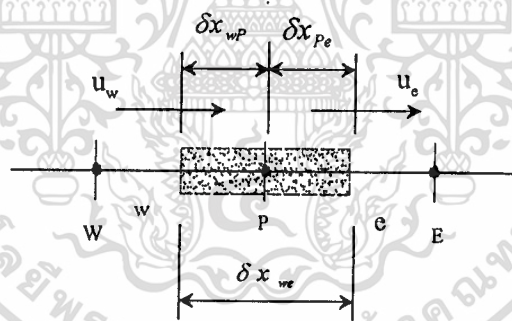
การประมาณของผลต่างตรงกลาง (Central Differencing Approximation) จะเป็นการแสดงถึงเทอมของการแพร่หรือกระจายที่เกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการพาและการกระจายในสภาวะไม่ขึ้นกับเวลาแบบหนึ่งและสองมิติ (Steady One and Two-Dimensional Convection and Diffusion) ดังนั้นคุณสมบัติของ ϕ (เทอมของการกระจาย) ในลักษณะการไหลแบบหนึ่งมิติในสมการ (2.98) โดยตัดเทอมที่ขึ้นอยู่กับเวลาและ Source เทอมออกจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u \phi) = \frac{d}{dx}(\Gamma \frac{d\phi}{dx}) \quad (2.99)$$

การไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่องดังนั้นจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u) = 0 \quad (2.100)$$

พิจารณาในปริมาตรควบคุมหนึ่งมิติแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงปริมาตรควบคุมรอบจุด P

อินทิเกรตสมการ Transport (2.90) ภายในปริมาตรควบคุมตามรูปที่ 2.17 จะได้

$$(\rho u A \phi)_e - (\rho u A \phi)_w = \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \quad (2.101)$$

อินทิเกรตสมการ (2.99) จะได้

$$(\rho u A)_e - (\rho u A)_w = 0 \quad (2.102)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Discretised สมการสำหรับปัญหาการพาและการกระจายซึ่งจำเป็นต้องประมาณในเทอมของสมการ (2.101) เพื่อความเหมาะสมจึงกำหนดตัวแปร F และ D ซึ่งแสดงถึง Mass flux ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ และการกระจายที่หน้าตัดเซลล์ตามลำดับ ดังนั้นจะได้

$$F = \rho u \quad \text{และ} \quad D = \frac{\Gamma}{\delta x} \quad (2.103)$$

ดังนั้นค่า F และ D ที่หน้าตัดเซลล์จะเท่ากับ

$$F_w = (\rho u)_w \quad \text{และ} \quad D_w = \frac{\Gamma_w}{\delta x_{WP}} \quad (2.104)$$

$$F_e = (\rho u)_e \quad \text{และ} \quad D_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_{PE}} \quad (2.105)$$

สามารถเขียนสมการการพาและการกระจาย (Convection and Diffusion) จากสมการ (2.101) โดยการกำหนดให้ $A_w = A_e = A$ ดังนั้นจะได้สมการ

$$F_e \phi_e - F_w \phi_w = D_e (\phi_E - \phi_P) - D_w (\phi_P - \phi_W) \quad (2.106)$$

อินทิเกรตสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) สมการ (2.102) จะได้

$$F_e - F_w = 0 \quad (2.107)$$

สำหรับ Uniform grid จะสามารถเขียนค่าของ Cell face ได้จากคุณสมบัติของ ϕ ดังนั้นจะได้

$$\phi_e = (\phi_P + \phi_E) / 2 \quad (2.108)$$

$$\phi_w = (\phi_W + \phi_P) / 2 \quad (2.109)$$

ดังนั้นแทนค่าลงในสมการ (2.106) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{F_e}{2} (\phi_P + \phi_E) - \frac{F_w}{2} (\phi_W + \phi_P) &= D_e (\phi_E - \phi_P) \\ -D_w (\phi_P - \phi_W) & \end{aligned} \quad (2.110)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าสมการ (2.104) และ (2.105) และทำการ Discretised สมการ สุดท้ายจะได้สมการดังนี้

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E \quad (2.111)$$

$$a_P = a_W + a_E + (F_e - F_w) \quad (2.112)$$

โดยที่

$$a_W = D_w + \frac{F_w}{2} \quad a_E = D_e + \frac{F_e}{2} \quad (2.113)$$

ถ้ากรณีที่มี Source Term เข้ามาเกี่ยวข้องในสมการ (2.111) จะต้องบวก S_w และในสมการที่ (2.112) จะต้องลบออกด้วย S_P สำหรับการพาและการกระจายแบบสองมิติสามารถพิจารณาได้จากหนึ่งมิติแล้วทำการ Discretised สมการจะได้

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_N \phi_N + a_S \phi_S \quad (2.114)$$

$$a_P = a_W + a_E + a_N + a_S + (F_e - F_w) + (F_n - F_s) \quad (2.115)$$

โดยที่

$$a_W = D_w + \frac{F_w}{2} \quad a_E = D_e + \frac{F_e}{2} \quad (2.116)$$

$$a_S = D_s + \frac{F_s}{2} \quad a_N = D_n + \frac{F_n}{2} \quad (2.117)$$

2.7 การวิเคราะห์ Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume

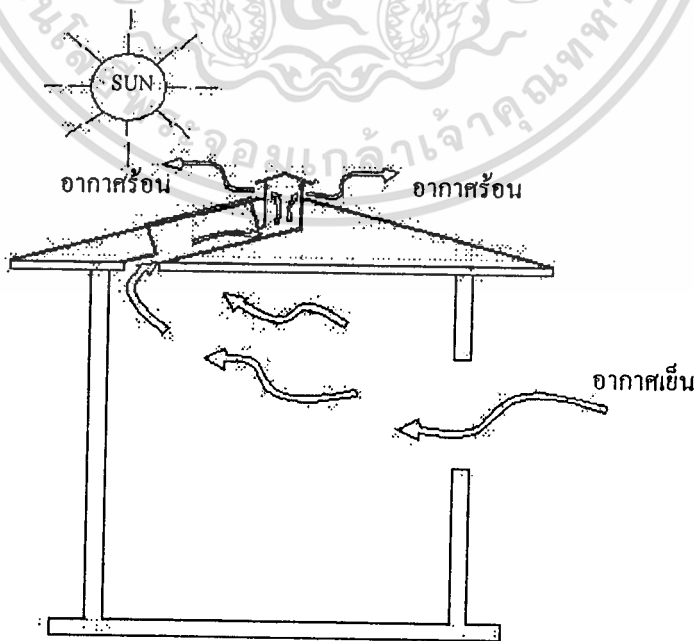
2.7.1 หลักการทำงานของ Solar Cooling Chimney

Solar Cooling Chimney จะเป็นการอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกบ้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในเข้ามาหมุนเวียนภายในบ้าน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง โดยการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกบ้านเข้ามาภายในบ้านนั้นจะไม่ใช่อุปกรณ์ช่วยเหลือ เช่น เครื่องดูดอากาศ หรือ พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น แต่จะเป็นเพียงการประยุกต์หลักการของ Passive Solar Cooling ซึ่งเป็นการดึงดูดอากาศให้มีการเคลื่อนที่ ซึ่งอากาศที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่โดยอาศัยแรงลอยตัวของของไหล (Buoyancy Force)

จากหลักการทั่วไปที่กล่าวมาข้างต้น Solar Cooling Chimney จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดอุณหภูมิภายในบ้านให้ต่ำลง ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะเหมาะสมสำหรับบ้านที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศร้อน

สำหรับการทำงานของ Solar Cooling Chimney ซึ่งเป็นการจำลองรูปแบบขึ้นมาสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ภายในท่ออากาศจะถูกทำให้ร้อนโดยอาศัยการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ โดยลักษณะรูปแบบแล้วท่อจะติดตั้งอยู่ใต้หลังคาบ้าน
 2. ขณะที่มีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บริเวณแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะทำให้อากาศภายในท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งในทำนองเดียวกันนั้นความหนาแน่นก็จะมีค่าต่ำลง ซึ่งจะทำให้กลุ่มของความร้อนนั้นเกิดแรงลอยตัวสูงขึ้นและจะถูกปล่อยออกบริเวณปล่องของอากาศที่ด้านบนหลังคา ในขณะที่เดียวกันนั้นอากาศที่อยู่บริเวณใกล้เคียงจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่โดยวิธีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ
 3. อากาศภายในบ้านจะถูกดึงเข้ามาแทนที่อากาศร้อนภายในปล่อง ในขณะที่เดียวกันนั้นอากาศจากภายนอกที่เย็นกว่าจะถูกดึงเข้าไปแทนที่อากาศร้อนภายในบ้านอีกทอดหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในบ้านเป็นวัฏจักร ซึ่งการไหลเวียนของอากาศจากภายนอกบ้านที่เคลื่อนที่เข้ามาแทนอากาศภายในบ้านนั้น จะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง
- จากหลักการทำงานที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ สามารถสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ในแบบจำลองของบ้านทดลองได้ดังรูป



รูปที่ 2.18 แสดงการทำงานของ Solar Cooling Chimney

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การวิเคราะห์ Solar Cooling Chimney โดยวิธี Finite Volume

สำหรับการคำนวณค่าของการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านทางทฤษฎีเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ในบ้านแล้วนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าจากการวัดค่าจากการทดลอง การคำนวณจะใช้วิธี Finite Volume ซึ่งจะต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical) ควบคู่ไปด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาตามขั้นตอนและเงื่อนไขตามที่กำหนด

ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธี Finite Volume นั้นจะใช้วิธี TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm) [1] ซึ่งจะใช้ในการแก้ปัญหามatrix ในระบบสมการสองมิติ และใช้วิธีการแบบ Point By Point Solve [2] ในการคำนวณค่าการกระจายของอุณหภูมิในแต่ละจุด สำหรับปัญหาการพาและการกระจายนั้นจะใช้วิธีการ Simple Algorithm [1] เพื่อต้องการหา ความดัน, ความเร็วและอุณหภูมิที่กระจายการจายภายในบ้านในสภาวะคงที่ (Steady) โดยโครงสร้างของ Algorithm, โปรแกรมการคำนวณแสดงดังนี้

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

ขั้นตอนที่ 2: Solve Discretised Momentum Equations

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

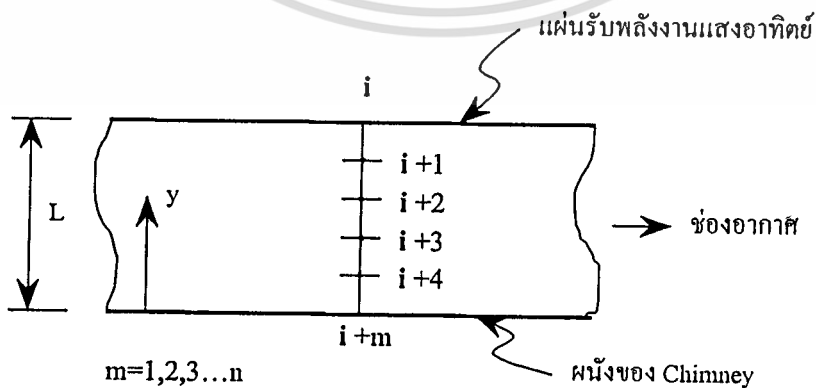
ขั้นตอนที่ 6: Check convergence ถ้าไม่ Convergence ให้กำหนด $p^* = p$
 $u^* = u, v^* = v, \phi^* = \phi$ และแทนค่าลงในขั้นตอนที่ 2 เพื่อหาค่าใหม่จนกว่าจะ Convergence
 และจบโปรแกรม

2.7.2.1 การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิที่ปล่องลมร้อน

สำหรับการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิของปล่องลมร้อน (Chimney) นั้นจะใช้วิธี Finite Volume ดังนั้นเพื่อลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ระบบนี้ จึงได้มีการกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนจะถือเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติขึ้นกับแกน y
2. การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณที่พิจารณาเป็นแบบสภาวะคงที่ (Steady State)
3. ความหนาแน่นของอากาศถูกพิจารณาว่าไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่สามารถหาได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยที่พิจารณา
4. ผิวที่พิจารณาถือเป็นผิวเทา (Gray Surface)
5. ถือว่าอากาศเป็นตัวกลางโปร่งแสง
6. ไม่คิดการรั่วไหลของอากาศภายในบ้าน
7. ถือว่าความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์กระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นรับแสงอาทิตย์
8. ภายในตัวกลางไม่มีแหล่งผลิตพลังงานความร้อน

ดังนั้นการกระจายอุณหภูมิในปล่องลมร้อน (Chimney) สามารถสังเกตได้จากรูปดังนี้



รูปที่ 2.19 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติในปล่อง

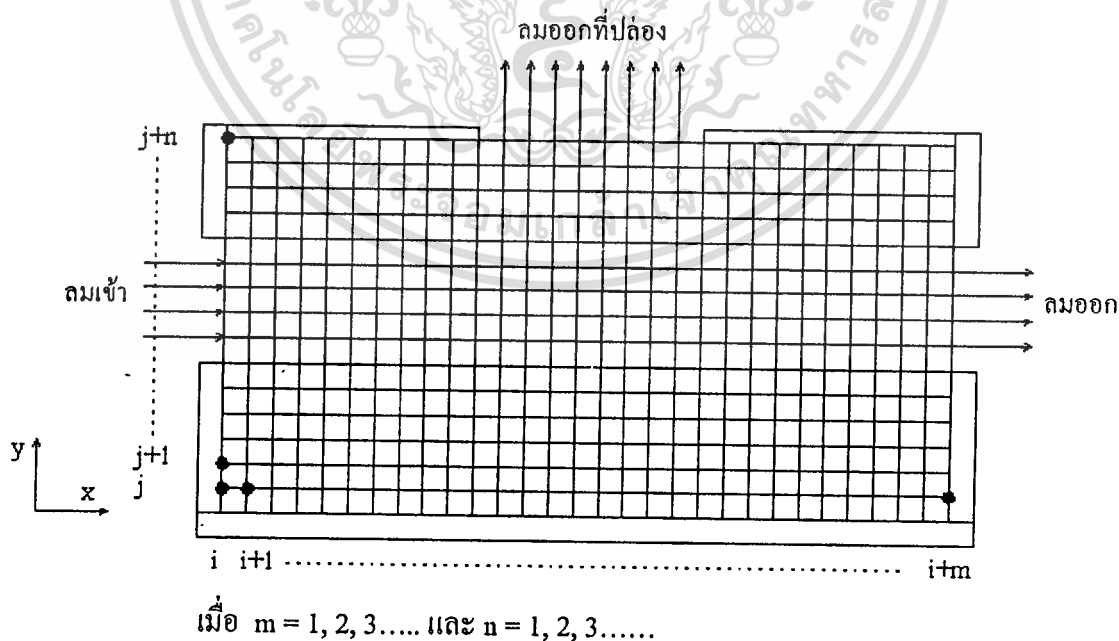
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 การวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในบ้าน

สำหรับการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในบ้านนั้นจะใช้วิธี Finite Volume ดังนั้นเพื่อลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ระบบนี้ จึงได้มีการกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนจะถือเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบสองมิติขึ้นกับแกน x และ y
2. การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณที่พิจารณาเป็นแบบสภาวะคงที่ (Steady state)
3. ความหนาแน่นของอากาศถูกพิจารณาว่าไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่สามารถหาได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยที่พิจารณา
4. ไม่คิดการรั่วไหลของอากาศภายในบ้าน
5. ภายในตัวกลางไม่มีแหล่งผลิตพลังงานความร้อน
6. การถ่ายเทความร้อนสู่ผนังทั้ง 4 ด้านน้อยมาก
7. ไม่คิดค่าการแผ่รังสีบนเพดานเนื่องจากมีค่าน้อยมาก ประมาณ 12.10 W/m^2
8. ลมเข้าเท่ากับ 2.0, 1.5 และ 1.16 m/s
9. ลมออกกรณีมีปล่องร้อนเท่ากับ 0.9, 0.75 และ 0.50 m/s (จากการวัด)
10. ลมออกกรณีไม่มีปล่องร้อนเท่ากับ 1.1, 0.85 และ 0.65 m/s (จากการวัด)
11. ลมออกที่ปล่องเท่ากับ $\frac{dy}{dx} = 0$

จากเงื่อนไขที่พิจารณานั้นสามารถพิจารณาได้จากสมการทั่วไปของการถ่ายเทความร้อน



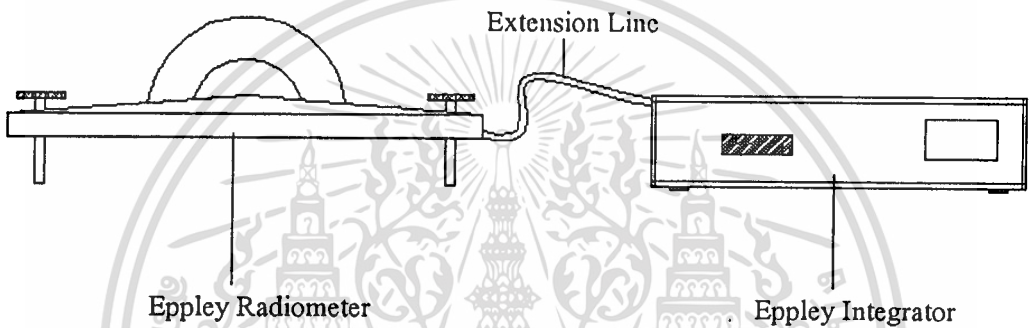
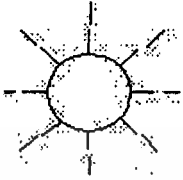
รูปที่ 2.20 แสดง Node ต่าง ๆ ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

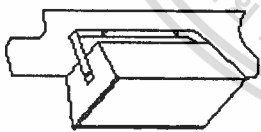
บทที่ 3

การทดลองการวัดอุณหภูมิภายในบ้าน

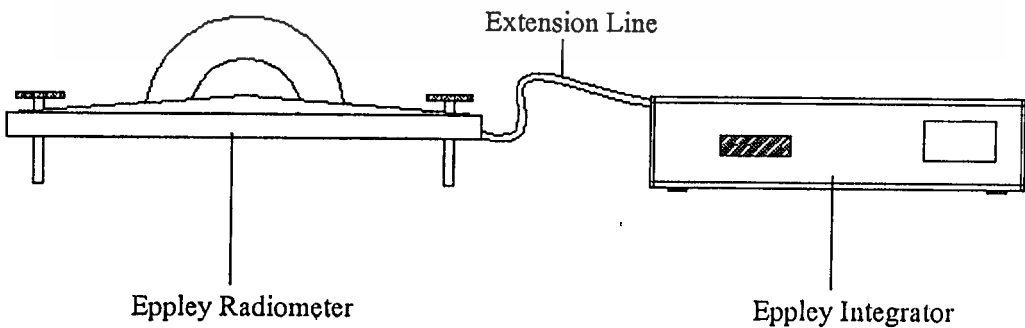
3.1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์การทดลองการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์จริง

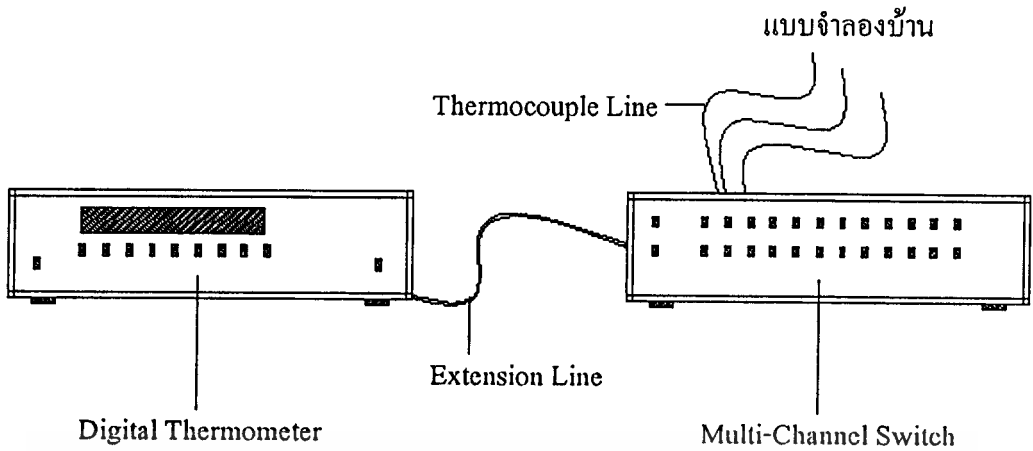


โคมไฟ 150 วัตต์

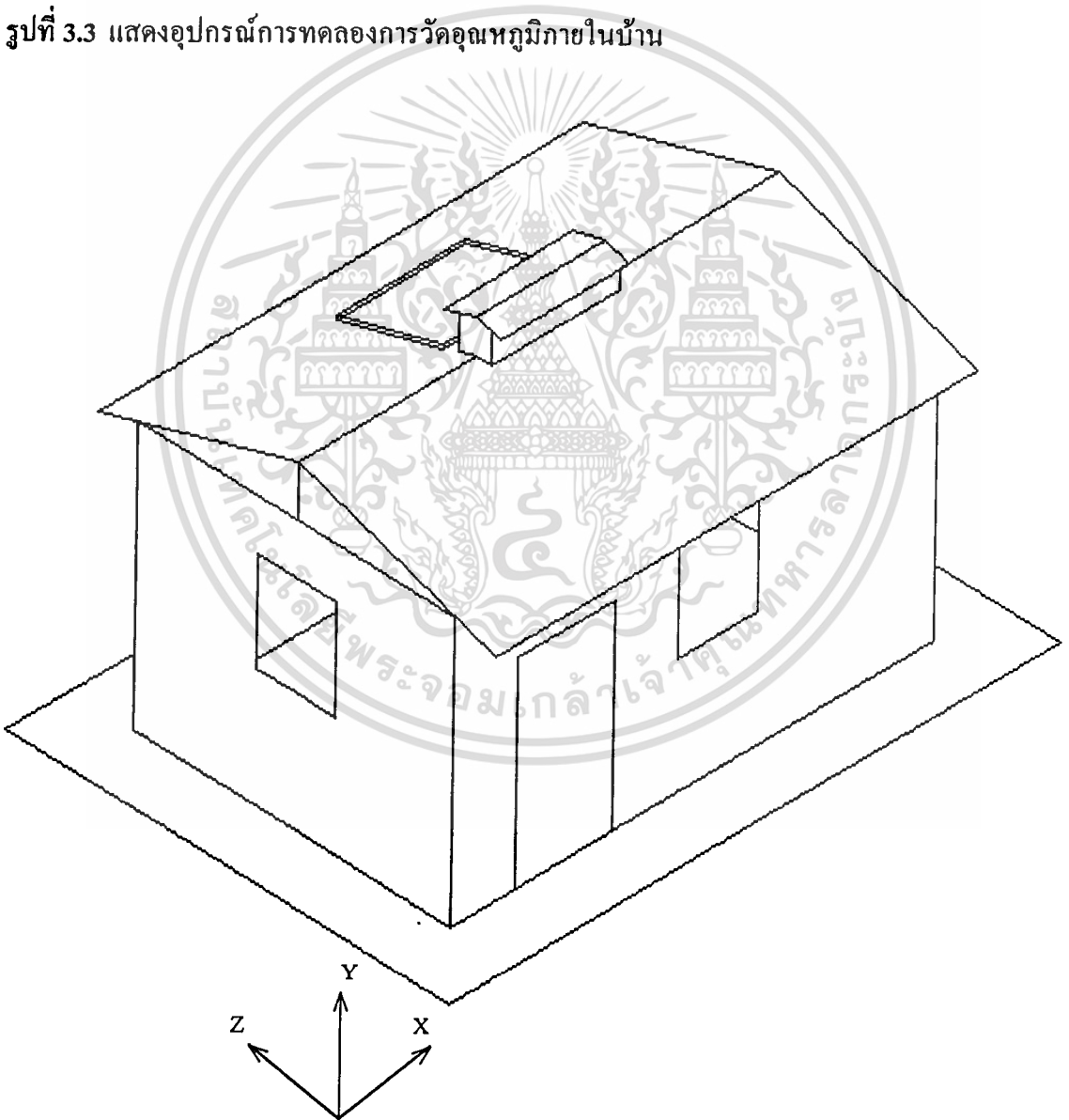


รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์การทดลองการเก็บพลังงานแสงอาทิตย์เทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

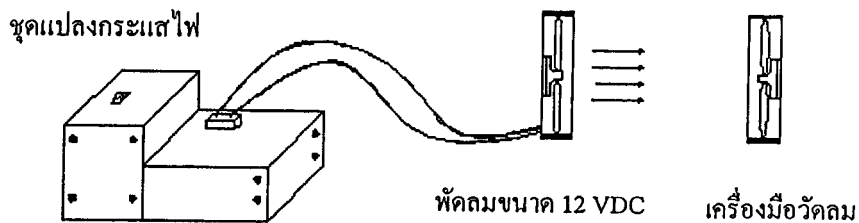


รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์การทดลองการวัดอุณหภูมิภายในบ้าน

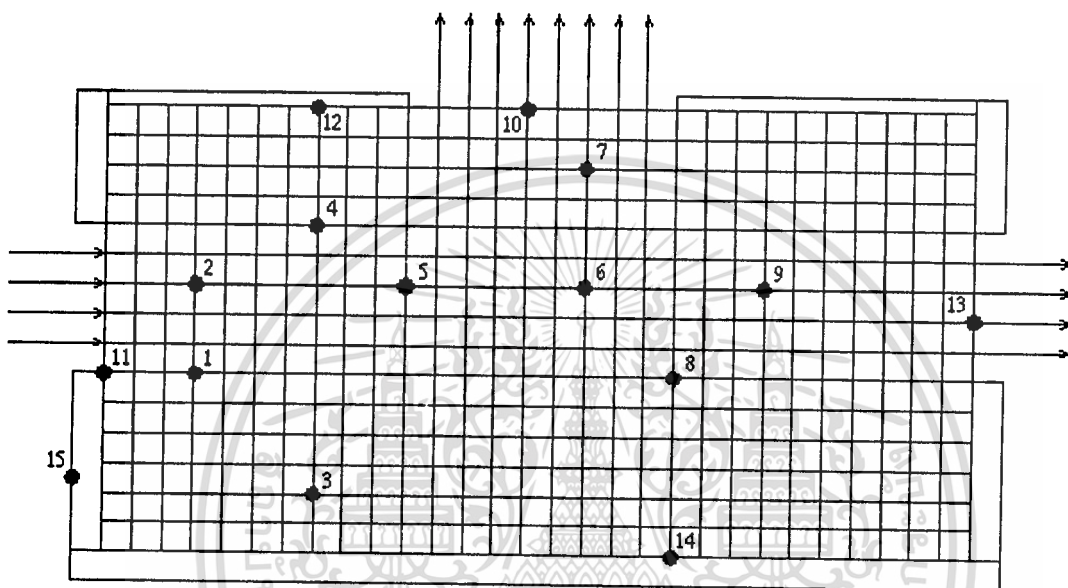


รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองบ้านที่ใช้ในการทดลอง

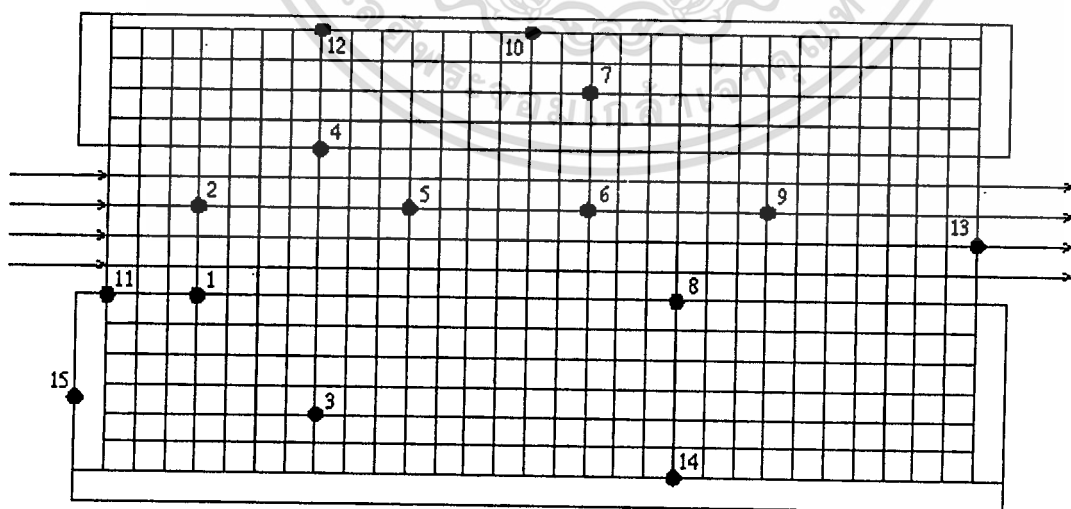
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างลมใช้ในการทดลองและเครื่องมือวัดลม



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney



รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านไม่ที่ติด Solar Cooling Chimney

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 วิธีการทดลองวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงและแสงอาทิตย์เทียม

1. ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 3.1
2. ทำการเก็บข้อมูลค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงทุก 5 นาที ตั้งแต่เวลา 9.00 - 14.00 น. (ในการทดลองเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะทำการทดลองในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 18 เมษายน 2542 บริเวณลานจอดรถภาควิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งเป็นวันที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด)
3. หลังจากทำการเก็บข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จริงแล้ว ก็ทำการทดลองเก็บค่าพลังงานแสงอาทิตย์เทียม ในการทดลองนี้จะใช้โคมไฟขนาด 150 วัตต์ โดยกำหนดระยะความสูงระหว่างเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์กับโคมไฟที่ระยะต่าง ๆ และเก็บข้อมูลทุก 5 นาที จนครบ 5 ชั่วโมง
4. เปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงและแสงอาทิตย์เทียมที่ได้ทำการทดลองหาตำแหน่งของโคมไฟที่ใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์จริงมากที่สุด โดยทำการพิจารณาจากค่าพลังงานแสงอาทิตย์

3.2.2 วิธีการทดลองวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้าน

1. ติดตั้งเทอร์โมคอปเปิลเข้ากับอุปกรณ์ Multi - Channel Switch แล้วพ่วงต่ออุปกรณ์ Multi - Channel Switch เข้ากับ Digital Thermometer แสดงดังรูปที่ 3.3
2. ติดเทอร์โมคอปเปิลเข้า (Type K) เข้ากับตัวขายที่เตรียมไว้แล้วดังรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7
3. ติดตั้งโคมไฟที่ระยะ 90 มิลลิเมตร (ซึ่งเป็นระยะที่ให้ค่าพลังงานใกล้เคียงกันมากที่สุด)
4. ติดตั้งพัดลมดังรูปที่ 3.5 เพื่อต้องการที่จะสร้างลมให้กับแบบจำลองโดยลมที่ใช้ในการทดลองนั้นกำหนดเท่ากับความเร็วลมธรรมชาติ โดยอาศัยเครื่องมือวัดลมเป็นตัวกำหนดความเร็วลมให้เท่ากับความเร็วลมธรรมชาติ
5. ทำการเก็บค่าการกระจายอุณหภูมิในแบบจำลองตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่ 3.6 (สำหรับแบบจำลองที่ติด Solar Cooling Chimney) และรูปที่ 3.7 (สำหรับแบบจำลองที่ติด Solar Cooling Chimney) ในการเก็บค่าการกระจายนั้นจะเก็บข้อมูลทุก 10 นาที จนครบ 3 ชั่วโมง

3.3 ผลการทดลองการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้าน

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงกับแสงอาทิตย์เทียมที่ระยะ 90 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	พลังงานแสงอาทิตย์จริง (W/m ²)	พลังงานแสงอาทิตย์เทียม (W/m ²)	ความแตกต่าง	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
0	0.0	0.0	0.0	-
5	45.0	46.0	1.0	2.22
10	102.0	101.0	1.0	0.98
15	160.0	161.0	-1.0	0.63
20	216.0	215.0	1.0	0.46
25	282.0	282.0	0.0	0.00
30	343.0	345.0	-2.0	0.58
35	396.0	400.0	-4.0	1.01
40	450.0	460.0	-10.0	2.22
45	511.0	514.0	-3.0	0.59
50	570.0	579.0	-9.0	1.58
55	625.0	633.0	-8.0	1.28
60	689.0	689.0	0.0	0.00
65	750.0	753.0	-3.0	0.40
70	813.0	814.0	-1.0	0.12
75	866.0	867.0	-1.0	0.12
80	916.0	918.0	-2.0	0.22
85	978.0	978.0	0.0	0.00
90	1027.0	1029.0	-2.0	0.19
95	1107.0	1102.0	5.0	0.45
100	1175.0	1169.0	6.0	0.51
105	1233.0	1240.0	-7.0	0.57
110	1300.0	1309.0	-9.0	0.69
115	1366.0	1360.0	6.0	0.44
120	1441.0	1432.0	9.0	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	30.4	30.5	30.4	30.6	30.6	30.5	30.6	30.6	30.5	30.7	30.4	31.3	30.6	30.5	30.4
20	30.4	30.5	30.4	30.6	30.6	30.5	30.6	30.6	30.5	30.7	30.4	31.4	30.6	30.6	30.4
30	30.5	30.6	30.5	30.7	30.7	30.6	30.7	30.7	30.6	30.8	30.6	31.6	30.7	30.6	30.5
40	30.6	30.7	30.6	30.8	30.7	30.6	30.7	30.6	30.6	30.8	30.6	31.7	30.7	30.6	30.6
50	30.7	30.8	30.7	30.9	30.8	30.7	30.8	30.7	30.7	31.0	30.7	31.8	30.9	30.7	30.7
60	30.7	30.8	30.7	30.9	30.8	30.7	30.8	30.7	30.7	31.1	30.7	31.9	30.9	30.7	30.7
70	30.7	30.8	30.7	30.9	30.8	30.7	30.8	30.7	30.7	31.1	30.7	31.9	30.9	30.7	30.7
80	30.7	30.8	30.7	30.9	30.8	30.7	30.8	30.7	30.7	31.1	30.7	31.9	30.9	30.7	30.7
90	30.7	30.8	30.7	31.0	30.8	30.8	30.9	30.8	30.7	31.1	30.7	32.0	30.9	30.7	30.8
100	30.8	30.9	30.8	31.1	30.9	30.9	31.0	30.9	30.8	31.2	30.8	32.0	30.9	30.7	30.8
110	30.9	30.9	30.8	31.1	31.0	31.0	31.1	30.9	30.9	31.4	30.9	32.1	30.9	30.8	30.9
120	31.0	31.1	31.0	31.3	31.2	31.2	31.3	31.1	31.0	31.6	31.0	32.3	31.0	31.0	31.0
130	30.9	31.0	30.9	31.2	31.1	31.1	31.1	31.0	31.0	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9
140	30.8	30.9	30.8	31.1	30.9	30.9	31.0	30.9	30.9	31.3	30.9	32.0	30.9	30.7	30.8
150	30.9	30.9	30.8	31.1	31.0	31.0	31.1	30.9	30.9	31.4	30.9	32.1	30.9	30.8	30.9
160	30.9	31.0	30.9	31.2	31.1	31.1	31.1	31.0	31.0	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9
170	30.9	31.0	30.9	31.2	31.1	31.1	31.1	31.0	31.0	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9
180	30.9	31.0	30.9	31.2	31.1	31.1	31.1	31.0	31.0	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	30.6	30.7	30.6	30.8	30.7	30.8	31.1	30.8	30.6	33.2	30.5	33.2	30.7	30.6	30.5
20	30.6	30.7	30.6	30.8	30.7	30.8	31.1	30.8	30.6	33.2	30.5	33.2	30.7	30.6	30.5
30	30.5	30.6	30.5	30.7	30.6	30.7	30.9	30.7	30.6	33.0	30.4	33.0	30.6	30.5	30.4
40	30.6	30.7	30.6	30.8	30.7	30.9	31.2	30.8	30.7	33.2	30.5	33.2	30.7	30.6	30.5
50	30.7	30.8	30.7	31.1	30.9	31.0	31.5	30.9	30.8	33.5	30.6	33.5	30.9	30.7	30.6
60	30.8	30.9	30.9	31.5	31.1	31.3	31.8	31.1	30.9	33.8	30.7	33.8	31.0	30.8	30.7
70	30.8	30.9	30.9	31.6	31.1	31.3	31.9	31.1	30.9	33.8	30.7	33.8	31.0	30.8	30.7
80	30.9	31.0	30.8	31.8	31.2	31.6	32.3	31.2	31.1	34.0	30.7	34.0	31.1	30.9	30.8
90	30.9	31.0	30.8	31.9	31.2	31.7	32.4	31.2	31.1	34.1	30.8	34.1	31.1	30.9	30.8
100	31.0	31.1	30.9	32.2	31.5	31.9	32.7	31.4	31.2	34.3	30.9	34.3	31.2	30.9	30.9
110	31.1	31.2	31.1	32.5	31.7	32.2	33.1	31.6	31.2	34.7	31.1	34.7	31.4	31.0	31.0
120	31.1	31.3	31.1	32.6	31.7	32.4	33.2	31.6	31.2	34.8	31.1	34.8	31.4	31.0	31.0
130	31.0	31.1	30.9	32.2	31.5	32.0	32.8	31.4	31.2	34.4	30.9	34.4	31.3	30.9	30.9
140	30.9	31.0	30.8	31.9	31.2	31.7	32.6	31.2	31.1	34.1	30.8	34.1	31.2	30.9	30.8
150	31.0	31.1	30.9	32.2	31.4	32.0	32.7	31.3	31.2	34.3	30.9	34.3	31.3	30.9	30.9
160	31.1	31.3	31.1	32.6	31.7	32.4	33.2	31.6	31.2	34.8	31.1	34.8	31.4	31.0	31.0
170	31.1	31.4	31.1	32.7	31.7	32.4	33.2	31.6	31.2	34.9	31.2	34.9	31.4	31.1	31.0
180	31.0	31.1	30.9	32.2	31.4	32.0	32.7	31.3	31.2	34.3	30.9	34.3	31.3	30.9	30.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	30.6	30.6	30.6	30.7	30.6	30.5	30.6	30.5	30.6	30.7	30.6	31.6	30.6	30.5	30.5
20	30.7	30.7	30.7	30.8	30.8	30.7	30.7	30.7	30.7	30.9	30.7	32.2	30.8	30.7	30.6
30	30.9	30.9	30.9	31.0	31.0	30.9	30.9	30.9	30.9	31.1	30.9	32.7	31.0	30.9	30.7
40	30.9	31.0	31.0	31.1	31.1	31.0	31.0	31.0	31.0	31.2	30.9	33.0	31.1	30.9	30.7
50	30.9	31.0	31.0	31.1	31.1	31.1	31.0	31.1	31.1	31.3	31.0	33.0	31.2	31.0	30.7
60	31.0	31.1	31.0	31.1	31.1	31.1	31.0	31.1	31.1	31.3	30.9	33.2	31.2	31.0	30.7
70	31.1	31.1	31.1	31.2	31.2	31.2	31.1	31.2	31.3	31.3	31.0	33.5	31.2	31.1	30.6
80	31.0	31.0	31.1	31.1	31.1	31.1	31.0	31.2	31.2	31.2	30.9	33.7	31.2	31.1	30.5
90	31.1	31.1	31.1	31.3	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.4	31.0	33.3	31.3	31.1	30.9
100	31.2	31.2	31.2	31.4	31.3	31.3	31.2	31.3	31.3	31.5	31.1	33.4	31.4	31.2	30.9
110	31.2	31.3	31.3	31.5	31.4	31.4	31.3	31.4	31.4	31.6	31.2	33.5	31.5	31.3	31.0
120	31.2	31.3	31.3	31.5	31.4	31.4	31.3	31.4	31.5	31.6	31.2	33.5	31.5	31.3	31.0
130	31.4	31.4	31.4	31.6	31.5	31.6	31.5	31.5	31.6	31.7	31.3	33.8	31.6	31.4	31.1
140	31.4	31.4	31.5	31.6	31.6	31.6	31.5	31.6	31.7	31.8	31.4	34.0	31.7	31.5	31.2
150	31.4	31.5	31.5	31.7	31.6	31.6	31.5	31.6	31.7	31.8	31.4	33.9	31.7	31.5	31.1
160	31.3	31.4	31.4	31.6	31.5	31.5	31.4	31.5	31.5	31.6	31.2	33.6	31.5	31.4	31.0
170	31.3	31.3	31.3	31.5	31.4	31.4	31.3	31.4	31.5	31.6	31.2	33.6	31.5	31.5	31.3
180	31.2	31.3	31.3	31.4	31.4	31.4	31.3	31.4	31.4	31.6	31.2	33.6	31.5	31.3	31.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	30.4	30.4	30.4	30.5	30.5	30.5	30.5	30.6	30.7	32.8	30.3	32.8	30.8	30.4	30.1
20	30.5	30.6	30.6	30.6	30.8	30.8	30.8	31.0	31.1	33.6	30.5	33.6	31.2	30.7	30.4
30	30.7	30.8	30.8	30.9	31.0	31.1	31.0	31.2	31.3	34.0	30.7	34.0	31.4	31.0	30.5
40	31.0	31.0	31.1	31.1	31.2	31.2	31.2	31.4	31.6	34.4	30.7	34.4	31.7	31.2	30.7
50	31.3	31.3	31.3	31.4	31.6	31.5	31.2	31.9	31.9	31.1	32.3	31.1	31.5	30.8	30.7
60	31.4	31.5	31.5	31.6	31.7	31.8	31.6	31.9	32.1	35.7	31.2	35.7	32.2	31.7	30.6
70	31.4	31.5	31.5	31.5	31.6	31.8	31.6	31.9	32.1	36.2	31.2	36.2	32.2	31.6	30.6
80	31.4	31.5	31.5	31.6	31.7	31.9	31.7	31.9	32.2	36.2	31.3	36.2	32.3	31.7	30.6
90	31.6	31.6	31.7	31.7	31.8	32.0	31.8	32.0	32.3	36.2	31.4	36.2	32.4	31.7	30.9
100	31.5	31.6	31.6	31.7	31.8	32.0	31.8	32.0	32.3	36.2	31.4	36.2	32.4	31.8	30.9
110	31.6	31.7	31.7	31.8	31.9	32.1	31.9	32.1	32.4	36.4	31.5	36.4	32.6	31.9	31.0
120	31.7	31.8	31.9	31.9	32.1	32.2	32.1	32.4	32.5	36.5	31.6	36.5	32.7	32.1	31.1
130	31.7	31.8	31.9	31.9	32.1	32.3	32.1	32.3	32.5	36.4	31.6	36.4	32.7	32.1	31.1
140	31.8	31.8	31.9	32.0	32.1	32.3	32.1	32.4	32.6	36.6	31.7	36.6	32.8	32.2	31.2
150	31.8	31.9	32.0	32.0	32.2	32.4	32.2	32.4	32.6	36.6	31.7	36.6	32.9	32.2	31.3
160	31.9	32.0	32.0	32.0	32.0	32.4	32.2	32.5	32.7	36.8	31.7	36.8	32.9	32.2	31.4
170	31.9	32.0	32.0	32.0	32.2	32.4	32.2	32.4	32.6	37.0	31.7	37.0	32.8	32.2	31.3
180	31.8	31.9	32.0	32.0	32.1	32.4	32.1	32.3	32.5	37.0	31.7	37.0	32.7	32.2	31.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติดตั้ง Solar Cooling Chimney
ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	30.8	31.0	31.0	31.1	31.0	30.9	31.1	31.0	30.9	33.2	30.8	33.0	31.0	31.0	30.4
20	30.8	31.0	31.0	31.1	31.0	30.9	31.1	31.0	30.9	33.3	30.9	33.2	31.0	31.1	30.4
30	30.9	31.1	31.2	31.4	31.2	31.2	31.5	31.5	31.3	33.5	31.0	33.4	31.1	31.2	30.5
40	31.0	31.2	31.4	31.8	31.5	31.5	32.0	31.8	31.8	33.8	31.1	33.5	31.3	31.2	30.6
50	31.1	31.2	31.4	31.8	31.6	31.6	32.2	31.8	31.8	33.9	31.1	33.6	31.3	31.2	30.6
60	31.2	31.3	31.5	32.3	31.9	31.9	32.7	32.0	32.4	33.9	31.2	33.7	31.4	31.2	30.7
70	31.2	31.4	31.5	32.7	32.3	32.4	33.3	32.2	32.6	34.0	31.3	33.8	31.4	31.3	30.8
80	31.3	31.6	31.6	32.9	32.5	32.6	33.6	32.5	32.8	34.2	31.3	33.9	31.4	31.4	30.9
90	31.5	31.7	31.7	33.2	32.7	32.8	34.0	32.7	33.0	34.2	31.4	34.0	31.6	31.5	31.0
100	31.8	31.9	31.7	33.4	32.9	32.9	34.0	32.9	33.1	34.4	31.4	34.1	31.6	31.5	31.1
110	31.9	32.0	31.8	33.5	33.0	33.2	34.0	33.1	33.4	34.8	31.4	34.7	31.6	31.6	31.2
120	31.9	32.1	31.8	33.5	33.0	33.2	34.6	33.1	33.4	35.2	31.5	34.9	31.7	31.6	31.3
130	32.2	32.2	32.0	33.7	33.2	33.5	35.1	33.4	33.6	35.5	31.5	35.3	31.7	31.7	31.4
140	32.5	32.1	32.1	33.9	33.4	33.7	35.5	33.6	33.8	35.9	31.6	35.6	31.8	31.8	31.3
150	32.3	32.1	32.0	33.6	33.1	33.5	35.3	33.2	33.6	35.6	31.5	35.4	31.8	31.7	31.3
160	32.3	32.0	32.0	33.6	33.1	33.5	35.2	33.2	33.6	35.7	31.5	35.3	31.8	31.7	31.2
170	32.0	32.0	31.9	33.3	33.0	33.4	35.1	33.0	33.3	35.5	31.4	35.0	31.7	31.6	31.2
180	32.0	32.1	31.9	33.3	33.0	33.3	35.1	33.0	33.3	35.2	31.4	34.8	31.7	31.6	31.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที

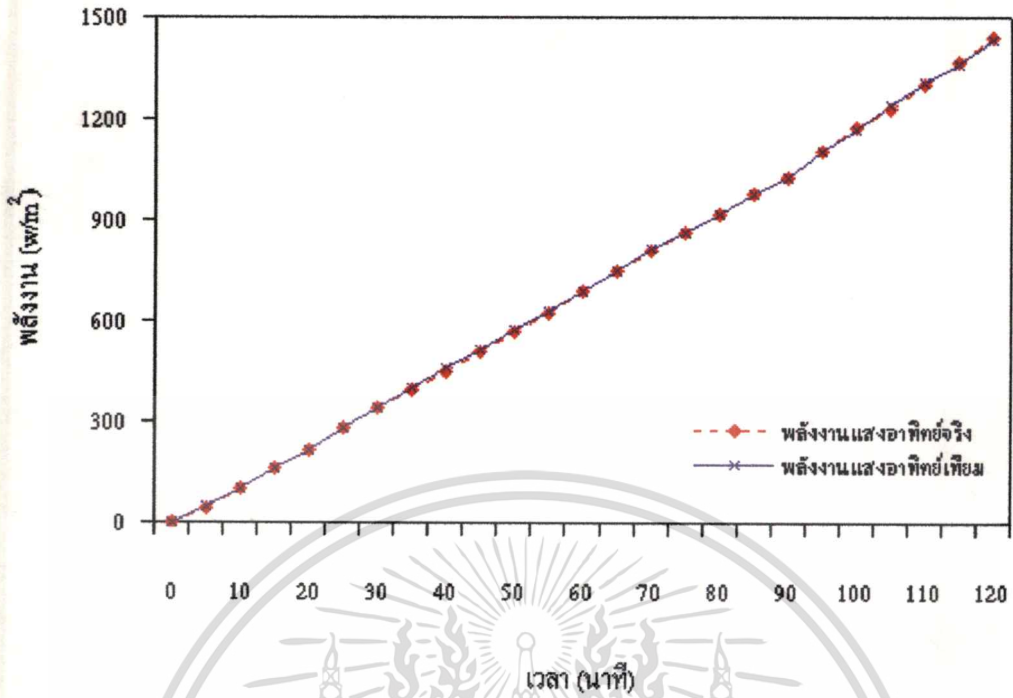
เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	31.1	31.3	31.4	31.9	31.9	31.8	32.3	31.7	31.6	34.6	30.8	34.6	31.0	31.0	30.4
20	31.2	31.4	31.6	32.5	32.4	32.2	32.9	31.9	32.1	35.0	30.8	35.0	31.1	31.1	30.5
30	31.3	31.5	31.9	33.1	32.8	32.6	33.6	32.5	32.6	36.2	30.9	36.2	31.2	31.2	30.6
40	31.4	31.7	31.9	33.7	33.2	33.1	34.0	33.1	33.0	36.5	31.0	36.5	31.3	31.3	30.7
50	31.3	31.4	31.8	33.2	33.0	32.8	33.7	32.8	32.8	35.8	30.9	35.8	31.2	31.2	30.6
60	31.2	31.3	31.6	32.8	32.8	32.4	33.4	32.3	32.6	35.2	30.8	35.2	31.1	31.1	30.5
70	31.3	31.5	31.7	33.6	33.1	32.9	33.6	32.9	33.1	35.7	30.9	35.7	31.2	31.1	30.6
80	31.4	31.6	31.8	34.1	33.3	33.4	34.2	33.5	33.6	36.3	31.0	36.3	31.3	31.2	30.7
90	31.5	31.8	31.8	34.3	33.7	33.9	35.1	33.7	34.0	36.9	31.1	36.9	31.4	31.2	30.8
100	31.6	31.9	31.9	34.5	34.0	34.3	35.4	33.9	34.3	37.2	31.1	37.2	31.5	31.3	30.9
110	31.8	32.0	32.0	34.9	34.2	34.8	35.8	34.3	34.7	37.6	31.2	37.6	31.5	31.3	31.0
120	31.8	32.0	32.0	34.9	34.2	34.8	35.8	34.3	34.7	37.8	31.2	37.8	31.5	31.2	31.0
130	32.0	32.2	32.1	35.0	34.5	35.1	36.0	34.5	34.8	38.2	31.3	38.2	31.6	31.3	31.1
140	32.2	32.3	32.3	35.1	34.7	35.2	36.3	34.6	34.9	38.5	31.4	38.5	31.6	31.3	31.2
150	32.4	32.5	32.4	35.3	34.9	35.3	36.7	34.8	34.9	38.8	31.5	38.8	31.7	31.4	31.3
160	32.3	32.3	32.3	35.0	34.7	35.2	36.2	34.5	34.8	38.2	31.4	38.2	31.6	31.3	31.2
170	32.4	32.5	32.4	35.2	34.8	35.3	36.5	34.7	34.9	38.9	31.5	38.9	31.7	31.4	31.3
180	32.5	32.7	32.5	35.4	34.9	35.4	36.9	34.7	34.9	39.1	31.6	39.1	31.8	31.4	31.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

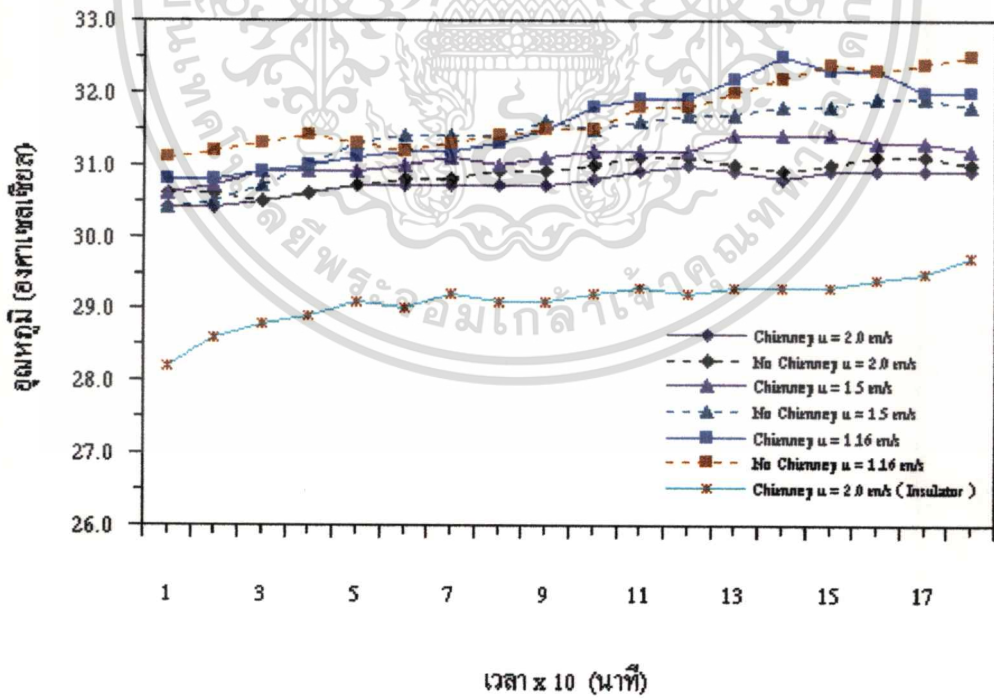
ตารางที่ 3.8 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที (ติดนวนกั้นความร้อน)

เวลา (นาทื)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	28.2	28.3	28.3	28.3	28.4	28.5	28.4	28.5	28.3	29.5	28.3	28.7	28.3	28.3	29.1
20	28.6	28.6	28.7	28.6	28.6	28.7	28.6	28.7	28.7	30.4	28.6	29.3	28.7	28.7	29.3
30	28.8	28.7	28.8	28.8	28.8	28.8	28.9	28.8	28.9	30.8	28.7	29.7	28.8	28.9	29.4
40	28.9	28.8	28.9	28.9	28.9	29.0	28.9	29.0	29.0	31.2	28.8	29.9	29.0	29.0	29.5
50	29.1	29.0	29.2	29.1	29.1	29.2	29.1	29.2	29.2	31.5	29.0	30.1	29.2	29.2	29.6
60	29.0	28.9	29.2	29.1	29.1	29.3	29.2	29.3	29.3	32.1	29.0	30.3	29.3	29.3	29.8
70	29.2	29.1	29.4	29.4	29.3	29.5	29.3	29.4	29.5	32.4	29.1	30.6	29.4	29.5	29.9
80	29.1	29.0	29.2	29.2	29.2	29.4	29.2	29.4	29.5	32.6	29.1	30.7	29.4	29.5	29.9
90	29.1	29.0	29.3	29.3	29.3	29.5	29.3	29.5	29.5	32.7	29.1	30.7	29.5	29.5	30.0
100	29.2	29.1	29.3	29.3	29.3	29.6	29.3	29.5	29.6	32.8	29.2	30.8	29.6	29.5	30.0
110	29.3	29.1	29.4	29.4	29.4	29.6	29.4	29.6	29.6	33.0	29.1	30.8	29.6	29.6	30.1
120	29.2	29.2	29.4	29.5	29.4	29.6	29.4	29.6	29.7	33.1	29.2	30.9	29.7	29.7	30.0
130	29.3	29.2	29.5	29.5	29.5	29.7	29.5	29.7	29.7	33.1	29.2	30.9	29.7	29.6	30.1
140	29.3	29.2	29.5	29.5	29.5	29.8	29.5	29.7	29.8	33.3	29.3	31.0	29.8	29.7	30.1
150	29.3	29.2	29.4	29.5	29.5	29.7	29.4	29.7	29.8	33.4	29.2	31.0	29.7	29.6	30.1
160	29.4	29.2	29.6	29.5	29.5	29.8	29.6	29.8	29.9	33.6	29.4	31.1	29.8	29.7	30.2
170	29.5	29.4	29.8	29.6	29.7	29.9	29.7	29.9	30.0	33.8	29.5	31.2	29.9	29.7	30.4
180	29.7	29.5	29.9	29.7	29.8	30.0	29.8	30.0	30.1	34.0	29.7	31.3	30.1	30.0	30.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

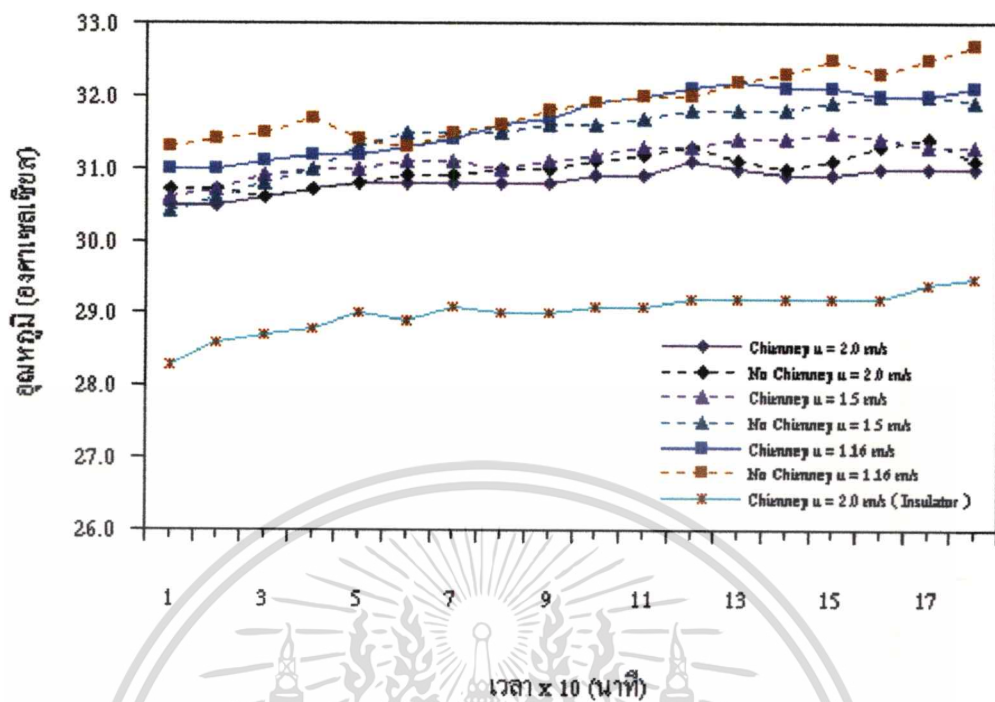


รูปที่ 3.8 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงกับแสงอาทิตย์เทียม

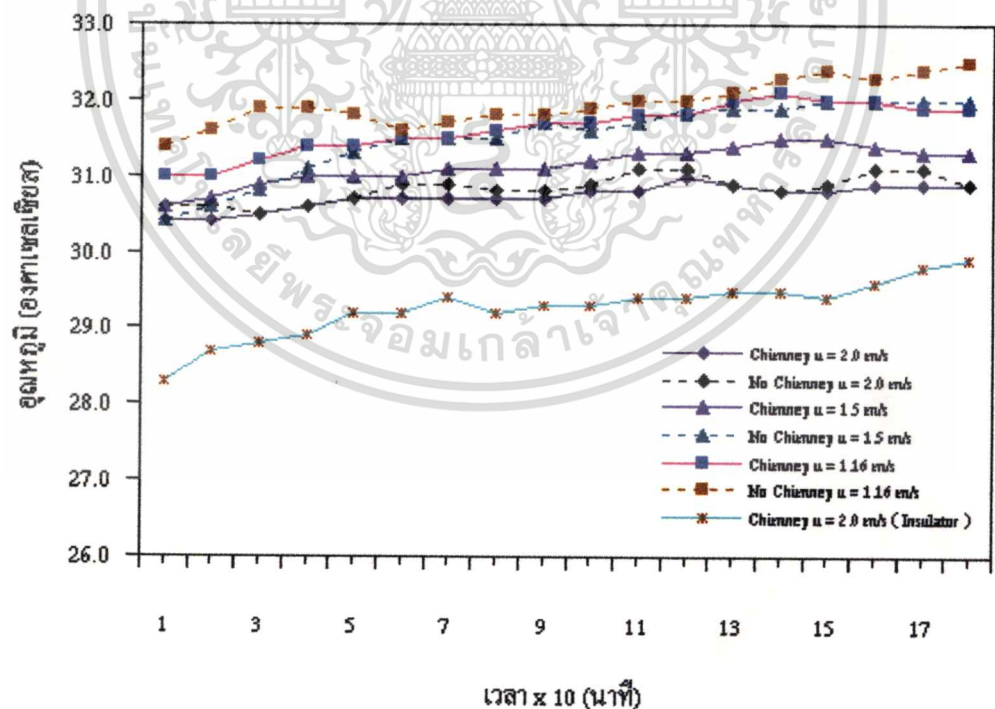


รูปที่ 3.9 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

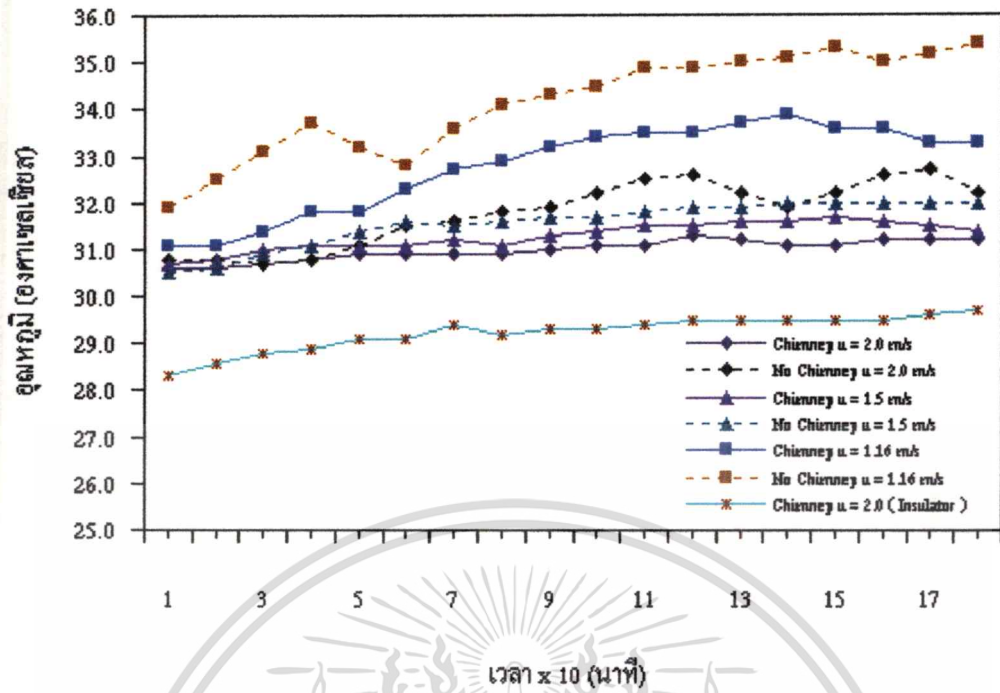


รูปที่ 3.10 แสดงผลการจัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 2

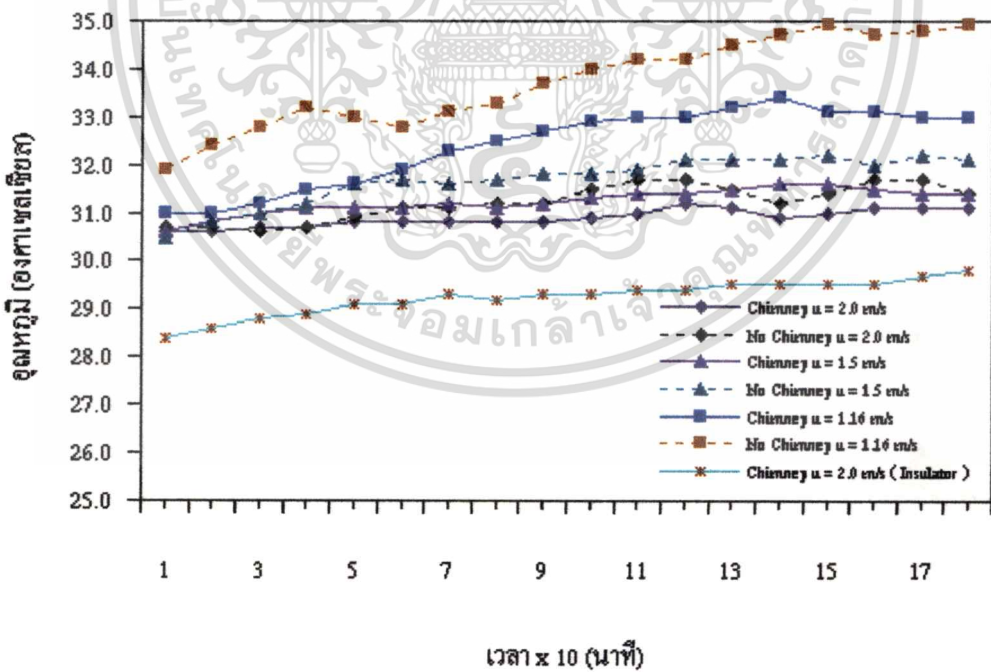


รูปที่ 3.11 แสดงผลการจัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

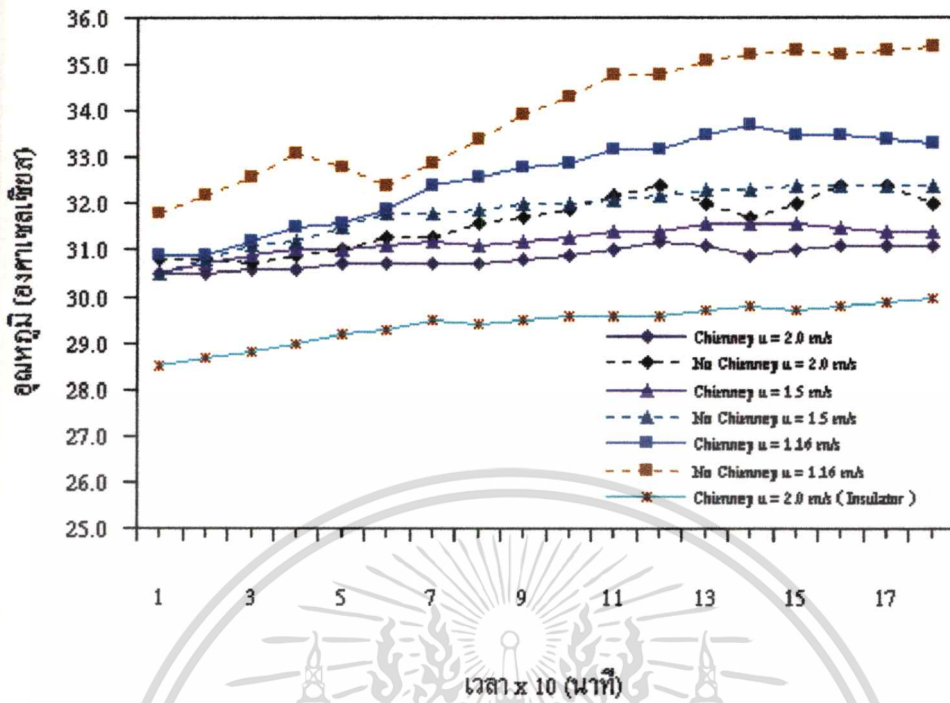


รูปที่ 3.12 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 4

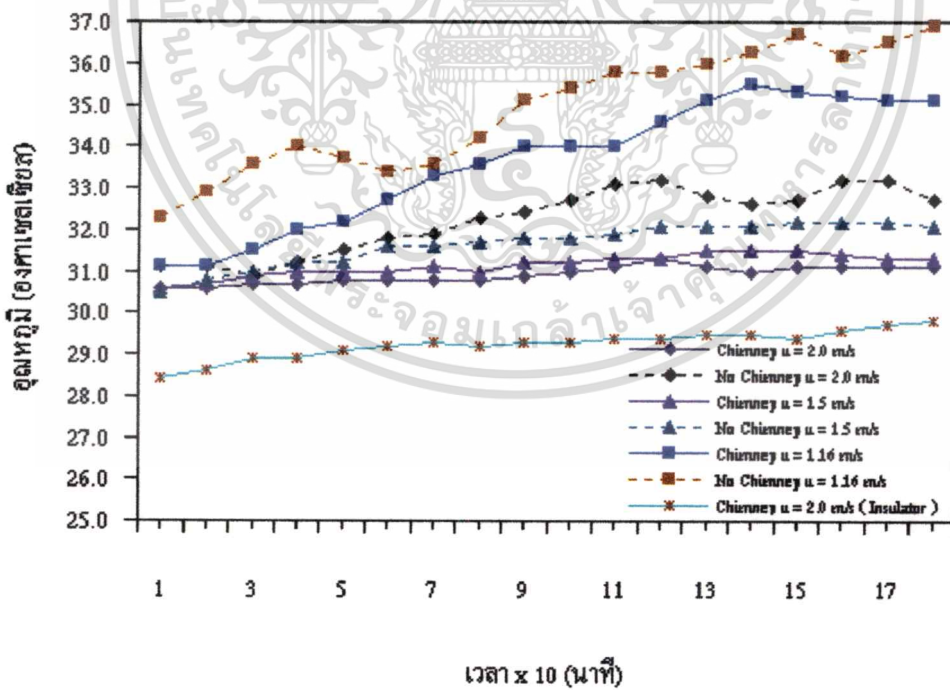


รูปที่ 3.13 แสดงผลการวัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

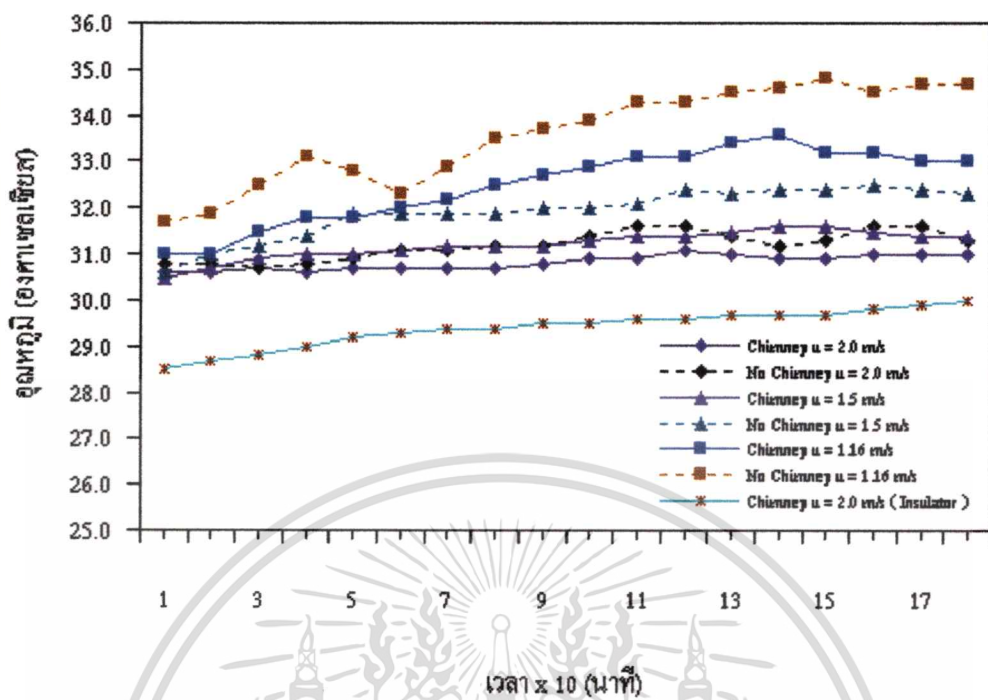


รูปที่ 14. ผลการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิที่ Node 6

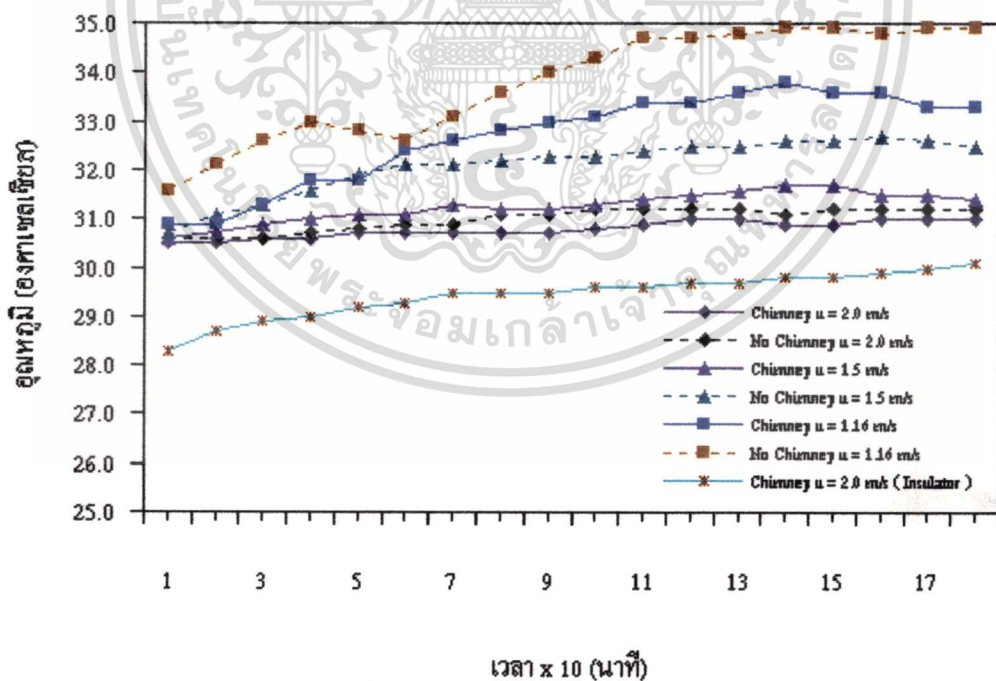


รูปที่ 3.15 แสดงผลการวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิที่ Node 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงผลการจัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 8



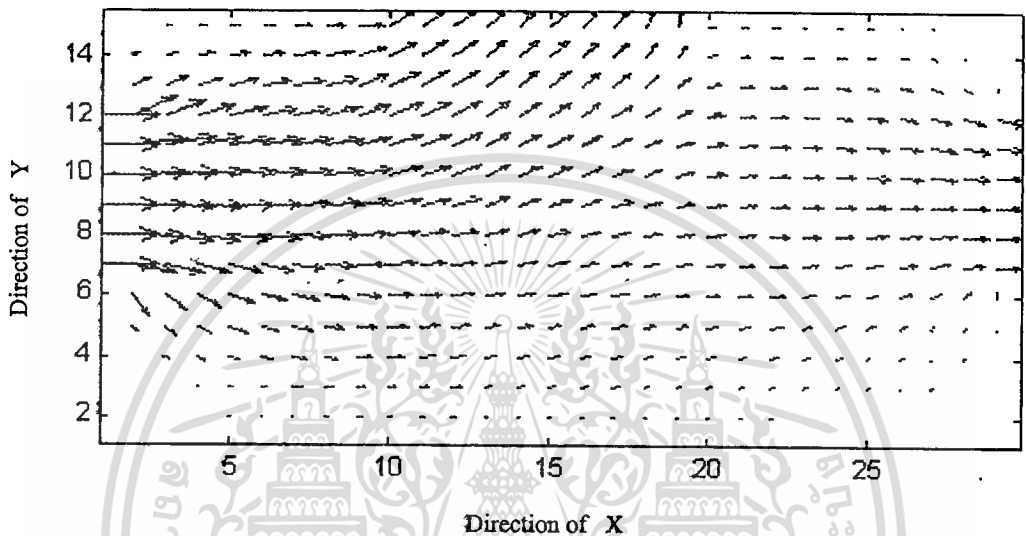
รูปที่ 3.17 แสดงผลการจัดการกระจายอุณหภูมิที่ Node 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

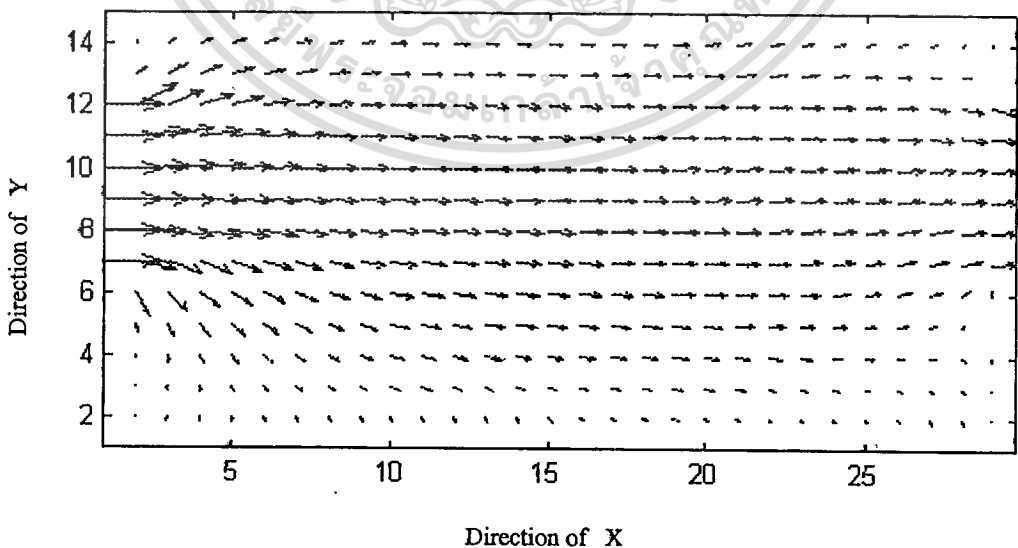
บทที่ 4

การคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้าน

4.1 ผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยวิธี Finite Volume



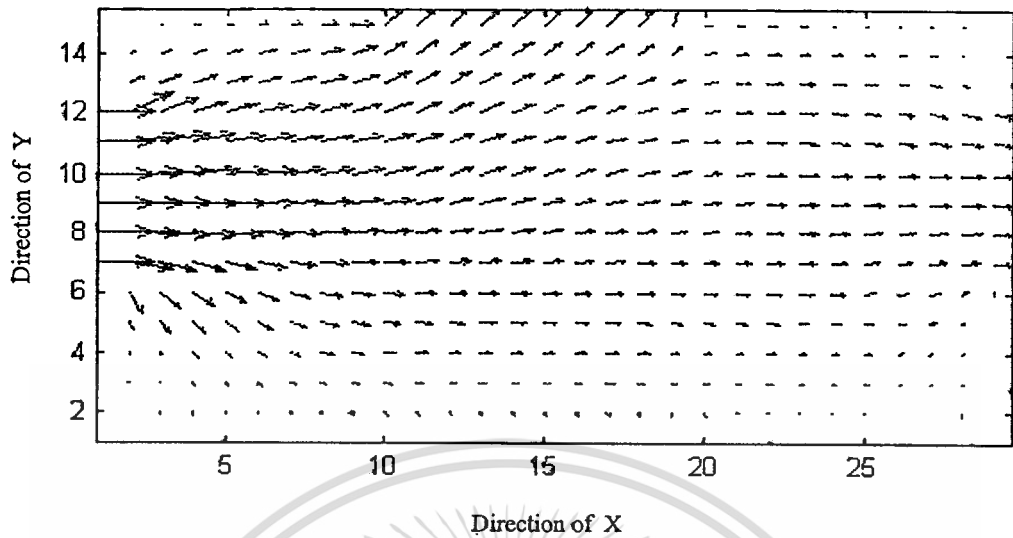
รูปที่ 4.1 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ติดตั้ง Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 2.0 m/s)



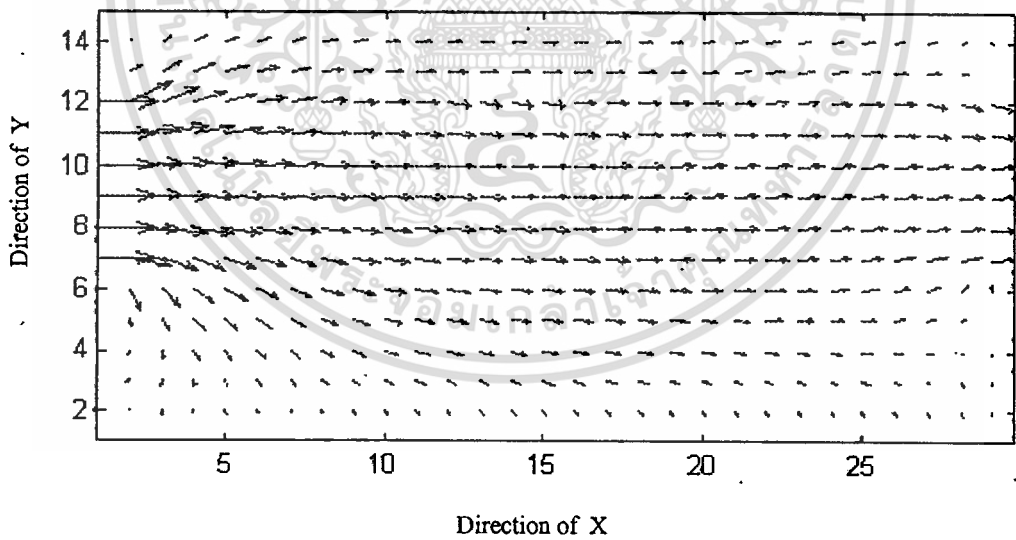
รูปที่ 4.2 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ไม่ติดตั้ง Solar Cooling Chimney

(ความเร็วลม 2.0 m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

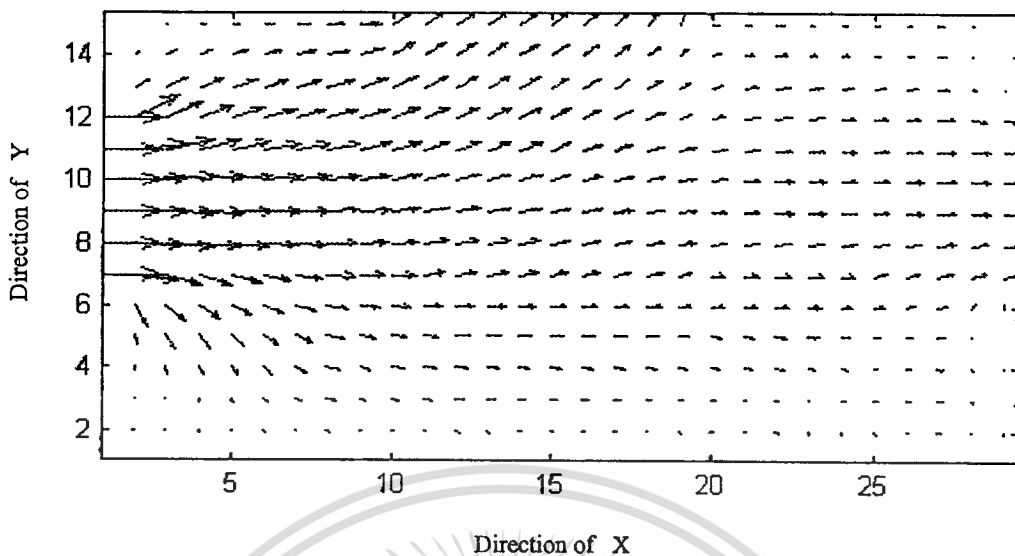


รูปที่ 4.3 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.5 m/s)

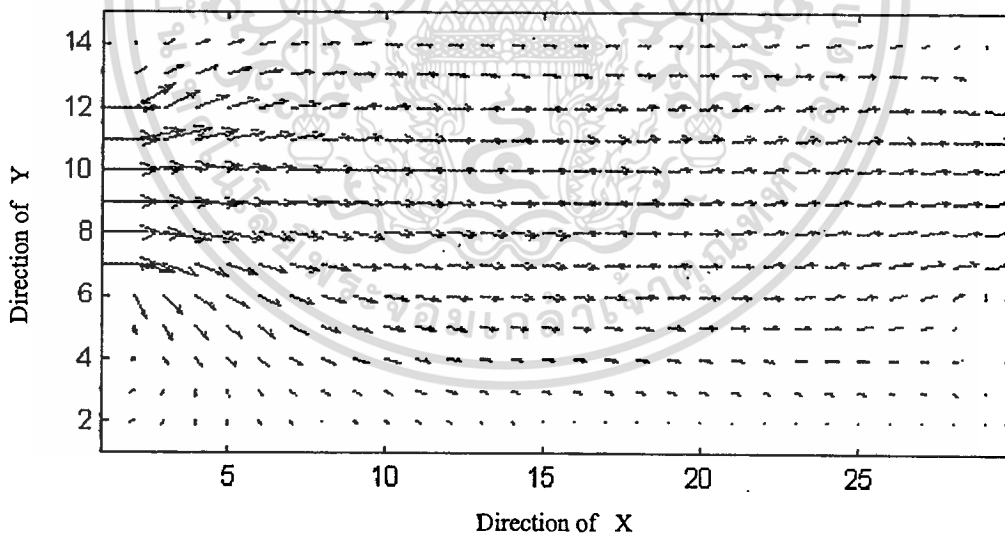


รูปที่ 4.4 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.5 m/s)

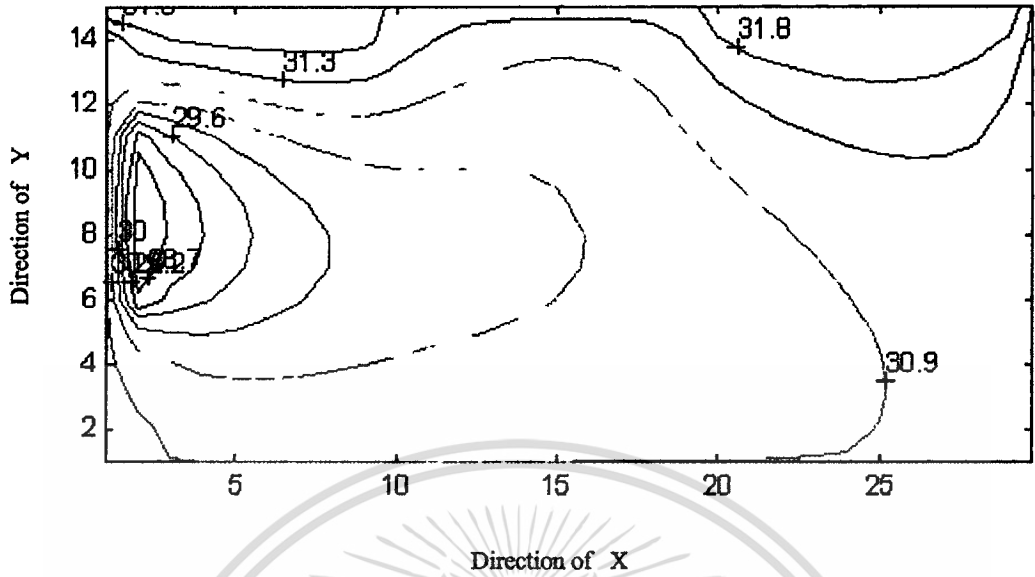
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



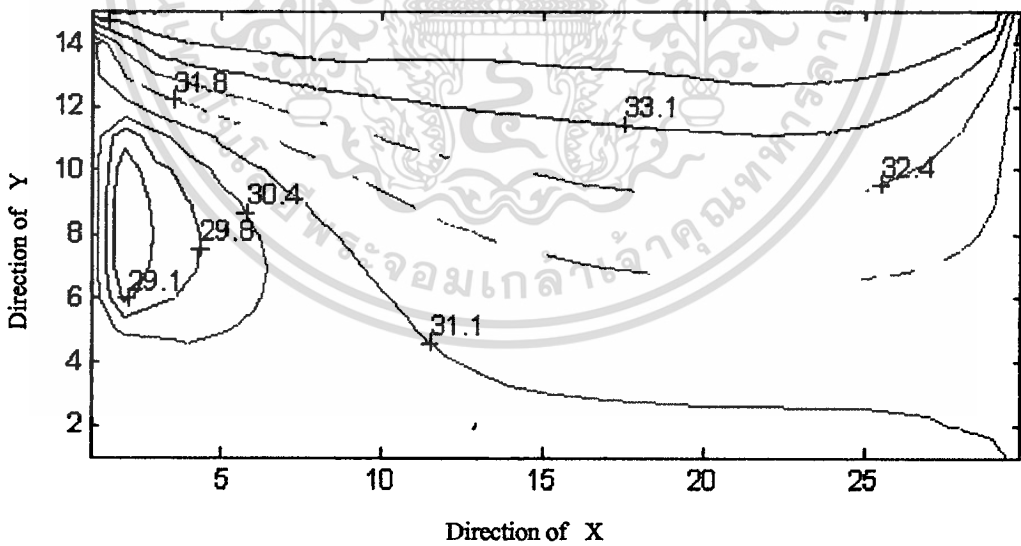
รูปที่ 4.5 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.16 m/s)



รูปที่ 4.6 แสดง Velocity Vector ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.16 m/s)

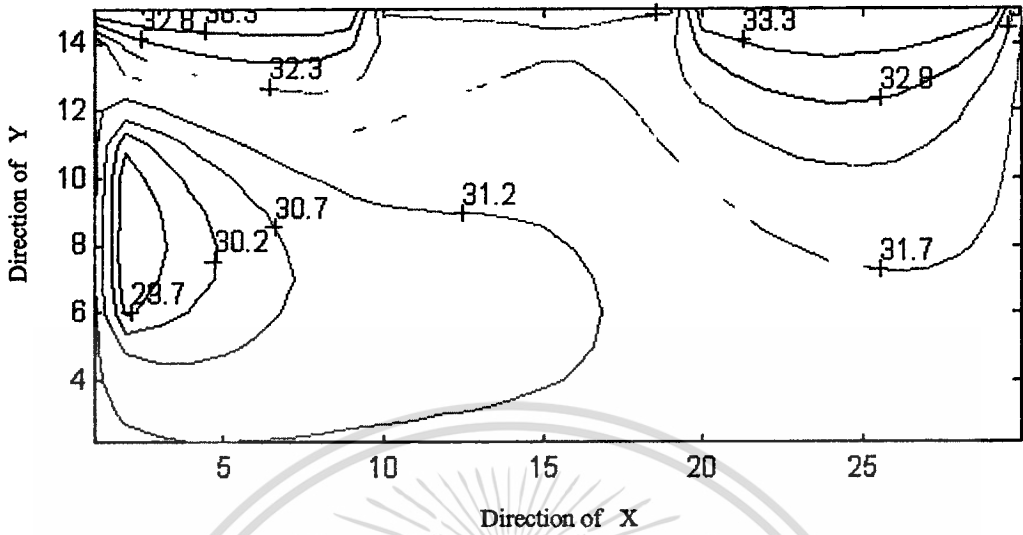


รูปที่ 4.7 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ติดตั้ง Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 2.0 m/s, ที่เวลา 130 นาที)

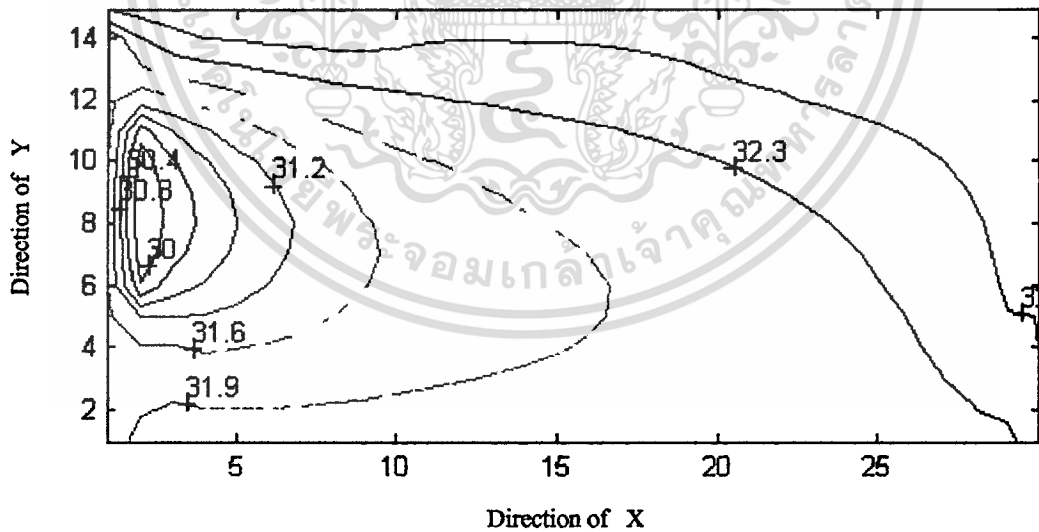


รูปที่ 4.8 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ไม่ติดตั้ง Solar Cooling Chimney (ความเร็วลม 2.0 m/s, ที่เวลา 130 นาที)

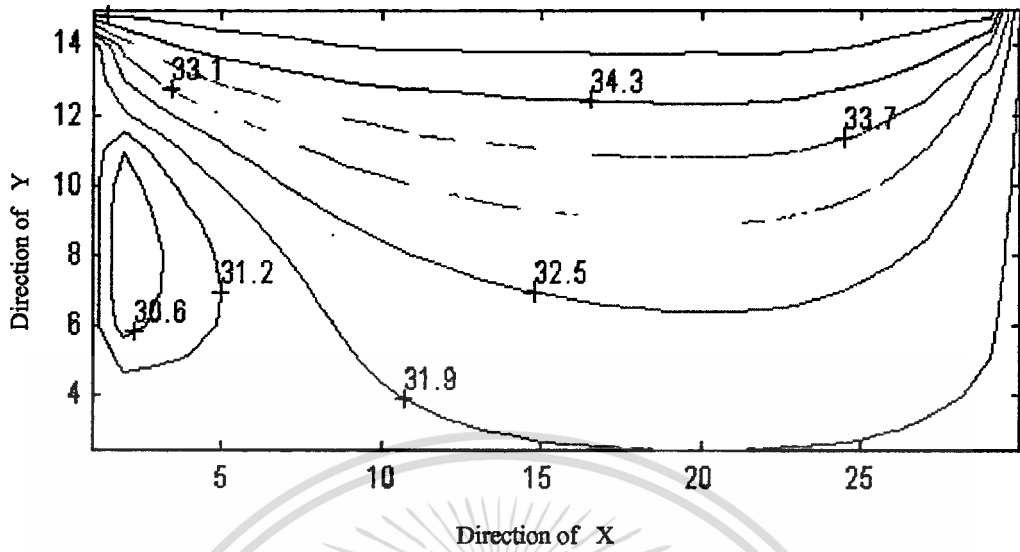
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



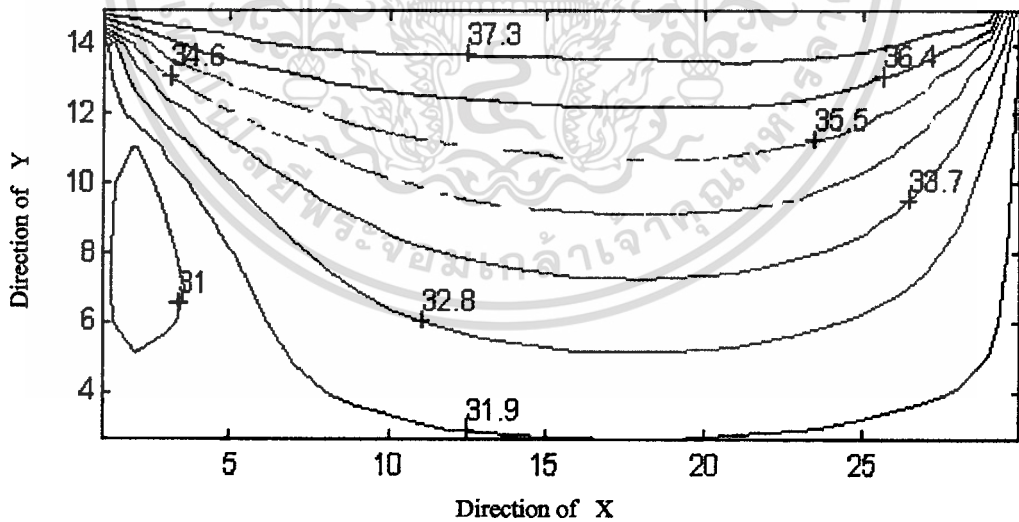
รูปที่ 4.9 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.5 m/s, ที่เวลา 130 นาที)



รูปที่ 4.10 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.5 m/s, ที่เวลา 130 นาที)



รูปที่ 4.11 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.16 m/s, ที่เวลา 130 นาที)



รูปที่ 4.12 แสดง Temperature Contour ภายในบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
(ความเร็วลม 1.16 m/s, ที่เวลา 130 นาที)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	28.0	28.1	30.0	29.9	29.5	29.5	30.2	29.8	30.2	30.7	30.4	31.3	30.6	30.5	30.4
20	27.9	27.9	30.0	29.9	29.5	29.6	30.2	29.9	30.3	30.7	30.4	31.4	30.6	30.6	30.4
30	28.0	28.1	30.1	30.0	29.6	29.7	30.3	30.0	30.4	30.8	30.6	31.6	30.7	30.6	30.5
40	28.1	28.2	30.2	30.2	29.8	29.9	30.5	30.1	30.5	30.8	30.6	31.7	30.7	30.6	30.6
50	28.1	28.2	30.2	30.2	29.8	29.9	30.5	30.1	30.5	31.0	30.7	31.8	30.9	30.7	30.7
60	28.1	28.2	30.2	30.3	29.8	29.9	30.6	30.2	30.6	31.1	30.7	31.9	30.9	30.7	30.7
70	28.1	28.2	30.2	30.3	29.8	29.9	30.6	30.2	30.6	31.1	30.7	31.9	30.9	30.7	30.7
80	28.1	28.2	30.2	30.3	29.8	29.9	30.6	30.2	30.6	31.1	30.7	31.9	30.9	30.7	30.7
90	28.1	28.2	30.2	30.3	29.8	29.9	30.6	30.2	30.6	31.1	30.7	32.0	30.9	30.7	30.8
100	28.2	28.3	30.2	30.3	29.9	30.0	30.7	30.2	30.6	31.2	30.8	32.0	30.9	30.7	30.8
110	28.3	28.4	30.3	30.4	30.0	30.1	30.9	30.3	30.7	31.4	30.9	32.1	30.9	30.8	30.9
120	28.4	28.5	30.5	30.6	30.2	30.3	31.1	30.5	30.9	31.6	31.0	32.3	31.0	31.0	31.0
130	28.4	28.5	30.4	30.5	30.1	30.2	31.0	30.4	30.8	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9
140	28.4	28.5	30.4	30.5	30.1	30.2	31.0	30.4	30.8	31.3	30.9	32.0	30.9	30.7	30.8
150	28.3	28.4	30.3	30.4	30.0	30.1	30.9	30.3	30.7	31.4	30.9	32.1	30.9	30.8	30.9
160	28.4	28.5	30.4	30.5	30.1	30.2	31.0	30.4	30.8	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9
170	28.4	28.5	30.4	30.5	30.1	30.2	31.0	30.4	30.8	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9
180	28.4	28.5	30.4	30.5	30.1	30.2	31.0	30.4	30.8	31.5	31.0	32.2	31.0	30.9	30.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	28.7	28.9	30.4	31.5	31.1	31.7	32.9	31.1	31.8	33.2	30.5	33.2	30.7	30.6	30.5
20	28.7	28.9	30.4	31.5	31.1	31.7	32.9	31.1	31.8	33.2	30.5	33.2	30.7	30.6	30.5
30	28.6	28.8	30.3	31.4	31.0	31.5	32.7	31.0	31.7	33.0	30.4	33.0	30.6	30.5	30.4
40	28.7	28.9	30.4	31.5	31.1	31.7	32.9	31.1	31.8	33.2	30.5	33.2	30.7	30.6	30.5
50	28.8	29.0	30.5	31.7	31.3	31.9	33.2	31.3	32.0	33.5	30.6	33.5	30.9	30.7	30.6
60	28.9	29.2	30.6	32.0	31.6	32.1	33.4	31.5	32.2	33.8	30.7	33.8	31.0	30.8	30.7
70	28.9	29.2	30.6	32.0	31.6	32.1	33.4	31.5	32.2	33.8	30.7	33.8	31.0	30.8	30.7
80	28.9	29.2	30.7	32.1	31.7	32.2	33.6	31.6	32.4	34.0	30.7	34.0	31.1	30.9	30.8
90	29.0	29.3	30.7	32.2	31.7	32.3	33.7	31.7	32.5	34.1	30.8	34.1	31.1	30.9	30.8
100	29.1	29.4	30.8	32.3	31.9	32.4	33.9	31.7	32.6	34.3	30.9	34.3	31.2	30.9	30.9
110	29.3	29.6	30.9	32.6	32.1	32.7	34.3	32.0	32.9	34.7	31.1	34.7	31.4	31.0	31.0
120	29.3	29.6	30.9	32.7	32.2	32.8	34.4	32.0	32.9	34.8	31.1	34.8	31.4	31.0	31.0
130	29.1	29.4	30.8	32.4	31.9	32.5	34.0	31.8	32.6	34.4	30.9	34.4	31.3	30.9	30.9
140	29.0	29.3	30.7	32.2	31.7	32.3	33.7	31.7	32.5	34.1	30.8	34.1	31.2	30.9	30.8
150	29.1	29.4	30.8	32.3	31.9	32.4	33.9	31.8	32.6	34.3	30.9	34.3	31.3	30.9	30.9
160	29.3	29.6	30.9	32.7	32.2	32.8	34.4	32.0	32.9	34.8	31.1	34.8	31.4	31.0	31.0
170	29.4	29.7	31.0	32.8	32.3	32.9	34.5	32.1	33.0	34.9	31.2	34.9	31.4	31.1	31.0
180	29.1	29.4	30.8	32.3	31.9	32.5	33.9	31.8	32.8	34.3	30.9	34.3	31.3	30.9	30.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	28.6	28.8	30.3	30.4	30.0	30.1	30.5	30.2	30.6	30.7	30.6	31.6	30.6	30.5	30.5
20	28.6	28.8	30.3	30.5	30.0	30.1	30.5	30.3	30.7	30.9	30.7	32.2	30.8	30.7	30.6
30	28.8	28.9	30.5	30.7	30.3	30.4	31.0	30.6	31.1	31.1	30.9	32.7	31.0	30.9	30.7
40	28.9	29.0	30.5	30.9	30.3	30.5	30.8	30.5	31.0	31.2	30.9	33.0	31.1	30.9	30.7
50	28.9	29.1	30.6	31.0	30.4	30.5	30.9	30.7	31.2	31.3	31.0	33.0	31.2	31.0	30.7
60	28.9	29.1	30.6	31.1	30.4	30.6	30.9	30.7	31.3	31.3	30.9	33.2	31.2	31.0	30.7
70	29.0	29.2	30.7	31.3	30.5	30.6	31.0	30.8	31.4	31.3	31.0	33.5	31.2	31.1	30.6
80	28.9	29.1	30.7	31.3	30.5	30.6	30.9	30.8	31.4	31.2	30.9	33.7	31.2	31.1	30.5
90	29.0	29.2	30.7	31.2	30.5	30.8	31.0	30.8	31.4	31.4	31.0	33.3	31.3	31.1	30.9
100	29.2	29.4	30.9	31.4	30.7	30.8	31.2	31.0	31.6	31.5	31.1	33.4	31.4	31.2	30.9
110	29.2	29.4	30.9	31.4	30.7	30.8	31.2	31.0	31.6	31.6	31.2	33.5	31.5	31.3	31.0
120	29.2	29.4	30.9	31.4	30.7	31.0	31.2	31.0	31.6	31.6	31.2	33.5	31.5	31.3	31.0
130	29.3	29.5	31.0	31.6	30.8	31.1	31.3	31.1	31.7	31.7	31.3	33.8	31.6	31.4	31.1
140	29.4	29.6	31.1	31.7	31.0	31.1	31.4	31.2	31.9	31.8	31.4	34.0	31.7	31.5	31.2
150	29.4	29.6	31.1	31.7	30.9	30.9	31.4	31.2	31.8	31.8	31.4	33.9	31.7	31.5	31.1
160	29.2	29.4	31.0	31.4	30.8	30.8	31.2	31.1	31.6	31.6	31.2	33.6	31.5	31.4	31.0
170	29.2	29.4	30.9	31.4	30.7	30.8	31.2	31.0	31.6	31.6	31.2	33.6	31.5	31.5	31.3
180	29.2	29.4	30.9	31.4	30.7	30.7	31.2	31.0	31.6	31.6	31.2	33.6	31.5	31.3	31.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	28.8	28.8	30.4	30.5	30.3	30.6	30.9	30.8	30.8	32.8	30.3	32.8	30.8	30.4	30.1
20	28.9	28.9	30.6	30.6	30.3	30.7	30.8	30.9	30.9	33.6	30.5	33.6	31.2	30.7	30.4
30	29.1	29.1	30.7	30.7	30.6	31.0	31.5	30.9	31.1	34.0	30.7	34.0	31.4	31.0	30.5
40	29.1	29.2	30.8	30.9	30.8	31.1	31.7	31.0	31.3	34.4	30.7	34.4	31.7	31.2	30.7
50	29.5	29.6	31.1	31.2	31.1	31.5	32.1	31.4	31.7	31.1	32.3	31.1	31.5	30.8	30.7
60	29.6	29.7	31.3	31.4	31.3	31.7	32.3	31.6	31.9	35.7	31.2	35.7	32.2	31.7	30.6
70	29.6	29.7	31.3	31.5	31.3	31.7	32.4	31.6	31.9	36.2	31.2	36.2	32.2	31.6	30.6
80	29.7	29.8	31.4	31.5	31.4	31.8	32.4	31.6	32.0	36.2	31.3	36.2	32.3	31.7	30.6
90	29.8	29.9	31.4	31.7	31.5	31.9	32.6	31.7	32.1	36.2	31.4	36.2	32.4	31.7	30.9
100	29.8	29.9	31.5	31.6	31.5	31.9	32.5	31.7	32.1	36.2	31.4	36.2	32.4	31.8	30.9
110	29.9	30.0	31.6	31.7	31.6	32.0	32.6	31.8	32.2	36.4	31.5	36.4	32.6	31.9	31.0
120	30.0	30.1	31.7	31.8	31.7	32.1	32.7	32.0	32.3	36.5	31.6	36.5	32.7	32.1	31.1
130	30.0	30.1	31.7	31.8	31.7	32.1	32.7	32.0	32.3	36.4	31.6	36.4	32.7	32.1	31.1
140	30.1	30.2	31.8	31.9	31.8	32.2	32.8	32.1	32.4	36.6	31.7	36.6	32.8	32.2	31.2
150	30.1	30.2	31.8	31.9	31.8	32.2	32.8	32.1	32.4	36.6	31.7	36.6	32.9	32.2	31.3
160	30.1	30.2	31.8	31.9	31.8	32.2	32.8	32.1	32.4	36.8	31.7	36.8	32.9	32.2	31.4
170	30.1	30.2	31.8	31.9	31.8	32.2	32.8	32.1	32.4	37.0	31.7	37.0	32.8	32.2	31.3
180	30.1	30.0	31.7	32.0	31.8	32.0	32.9	32.1	32.5	37.0	31.7	37.0	32.7	32.2	31.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

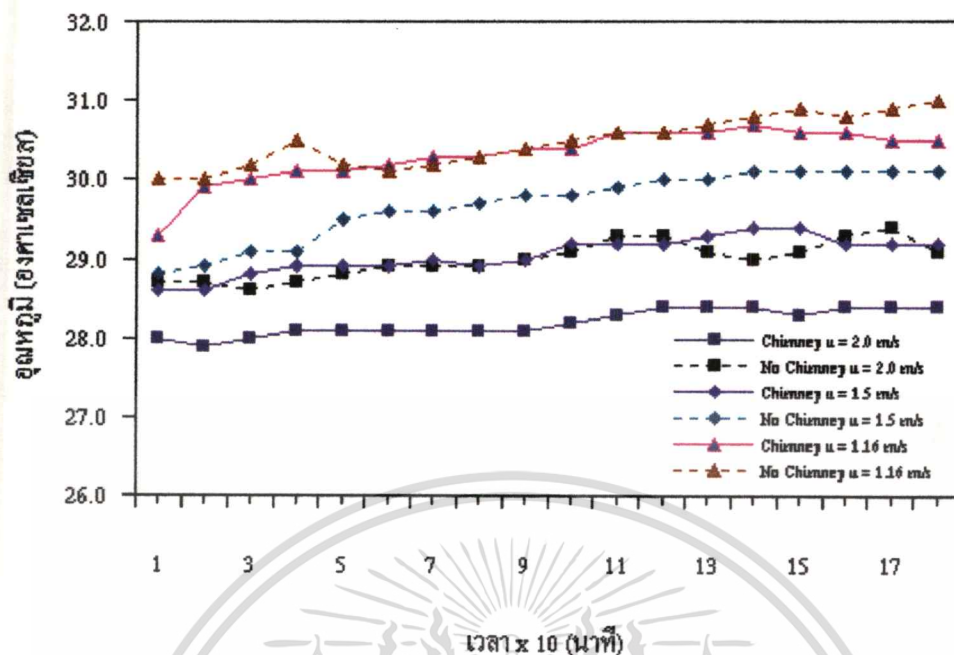
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ติด Solar Cooling Chimney
โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	29.3	30.0	30.9	31.8	31.5	31.7	32.8	31.2	31.6	33.2	30.8	33.0	31.0	31.0	30.4
20	29.9	30.1	31.0	32.0	31.6	31.9	33.0	31.4	31.9	33.3	30.9	33.2	31.0	31.1	30.4
30	30.0	30.2	31.1	32.1	31.7	32.0	33.1	31.6	32.1	33.5	31.0	33.4	31.1	31.2	30.5
40	30.1	30.3	31.1	32.1	31.9	32.2	33.4	31.7	32.2	33.8	31.1	33.5	31.3	31.2	30.6
50	30.1	30.4	31.1	32.3	31.9	32.2	33.5	31.7	32.3	33.9	31.1	33.6	31.3	31.2	30.6
60	30.2	30.4	31.1	32.4	32.0	32.3	33.5	31.7	32.3	33.9	31.2	33.7	31.4	31.2	30.7
70	30.3	30.5	31.2	32.5	32.1	32.4	33.6	31.3	32.4	34.0	31.3	33.8	31.4	31.3	30.8
80	30.3	30.6	31.3	32.6	32.2	32.5	33.8	31.9	32.5	34.2	31.3	33.9	31.4	31.4	30.9
90	30.4	30.7	31.4	32.6	32.2	32.5	33.8	32.0	32.6	34.2	31.4	34.0	31.6	31.5	31.0
100	30.4	30.7	31.4	32.7	32.3	32.6	34.0	32.1	32.7	34.4	31.4	34.1	31.6	31.5	31.1
110	30.6	30.9	31.7	33.2	32.7	33.1	34.6	32.4	33.1	34.8	31.4	34.7	31.6	31.6	31.2
120	30.6	30.9	31.7	33.2	32.7	33.1	34.6	32.4	33.1	35.2	31.5	34.9	31.7	31.6	31.3
130	30.6	31.0	31.8	33.5	33.0	33.4	35.0	32.6	33.4	35.5	31.5	35.3	31.7	31.7	31.4
140	30.7	31.0	31.8	33.7	33.2	33.6	35.4	32.8	33.6	35.9	31.6	35.6	31.8	31.8	31.3
150	30.6	31.0	31.7	33.5	33.0	33.4	35.1	32.6	33.5	35.6	31.5	35.4	31.8	31.7	31.3
160	30.6	31.0	31.7	33.5	33.0	33.4	35.2	32.6	33.4	35.7	31.5	35.3	31.8	31.7	31.2
170	30.5	30.9	31.6	33.4	32.9	33.3	35.0	32.5	33.3	35.5	31.4	35.0	31.7	31.6	31.2
180	30.5	30.8	31.6	33.2	32.7	33.1	34.7	32.4	33.1	35.2	31.4	34.8	31.7	31.6	31.2

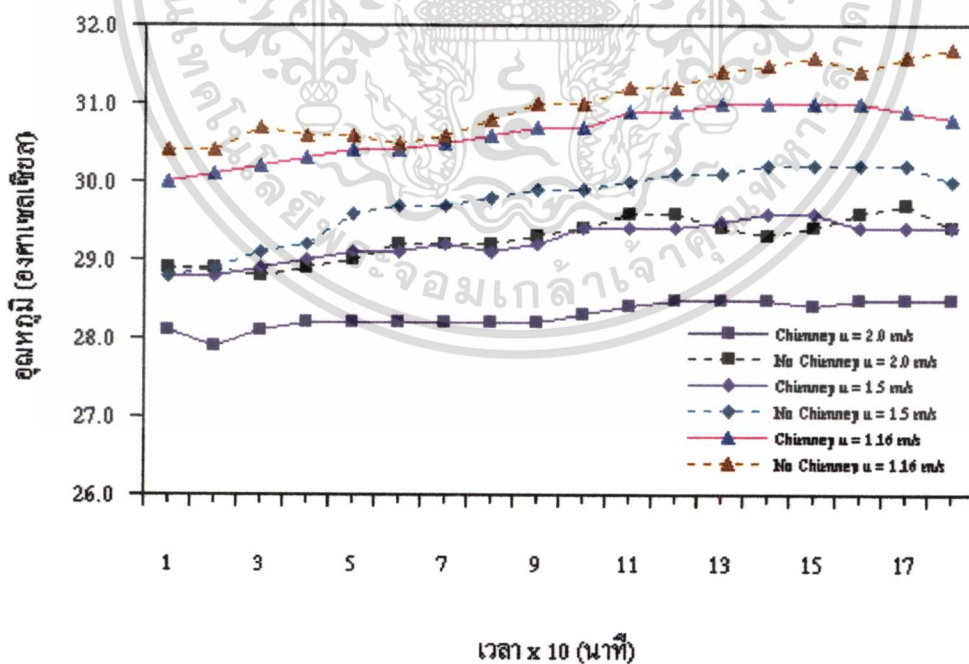
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการคำนวณอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ไม่ติด Solar Cooling Chimney
โดยวิธี Finite Volume ที่ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที

เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	30.0	30.4	31.0	32.9	32.4	32.8	34.2	32.0	32.7	34.6	30.8	34.6	31.0	31.0	30.4
20	30.0	30.4	31.1	33.1	32.5	33.0	34.6	32.2	33.0	35.0	30.8	35.0	31.1	31.1	30.5
30	30.2	30.7	31.3	33.9	33.3	33.8	35.7	32.7	33.7	36.2	30.9	36.2	31.2	31.2	30.6
40	30.5	30.6	31.4	34.6	33.8	33.9	35.9	32.4	32.8	36.5	31.0	36.5	31.3	31.3	30.7
50	30.2	30.6	31.3	33.3	33.4	33.5	35.3	32.5	33.5	35.8	30.9	35.8	31.2	31.2	30.6
60	30.1	30.5	31.2	33.2	32.7	33.1	34.8	32.2	33.1	35.2	30.8	35.2	31.1	31.1	30.5
70	30.2	30.6	31.2	33.6	33.0	33.4	35.2	32.4	33.4	35.7	30.9	35.7	31.2	31.1	30.6
80	30.3	30.8	31.2	34.0	33.4	33.8	35.8	32.7	33.8	36.3	31.0	36.3	31.3	31.2	30.7
90	30.4	31.0	31.4	34.4	33.7	34.2	36.3	33.0	34.1	36.9	31.1	36.9	31.4	31.2	30.8
100	30.5	31.0	31.5	34.6	33.9	34.4	36.6	33.1	34.3	37.2	31.1	37.2	31.5	31.3	30.9
110	30.6	31.2	31.5	34.9	34.2	34.7	37.0	33.3	34.6	37.6	31.2	37.6	31.5	31.3	31.0
120	30.6	31.2	31.5	35.0	34.2	34.8	37.2	33.3	34.6	37.8	31.2	37.8	31.5	31.2	31.0
130	30.7	31.4	31.6	35.3	34.6	35.0	37.5	33.5	34.9	38.2	31.3	38.2	31.6	31.3	31.1
140	30.8	31.5	31.6	35.5	34.5	35.2	37.8	33.6	35.1	38.5	31.4	38.5	31.6	31.3	31.2
150	30.9	31.6	31.8	35.7	34.9	35.4	38.1	33.8	35.3	38.8	31.5	38.8	31.7	31.4	31.3
160	30.8	31.4	31.6	35.3	34.5	35.0	37.5	33.5	34.9	38.2	31.4	38.2	31.6	31.3	31.2
170	30.9	31.6	31.8	35.8	34.9	35.5	38.2	33.8	35.3	38.9	31.5	38.9	31.7	31.4	31.3
180	31.0	31.7	31.8	35.9	35.0	35.6	38.4	33.9	35.5	39.1	31.6	39.1	31.8	31.4	31.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

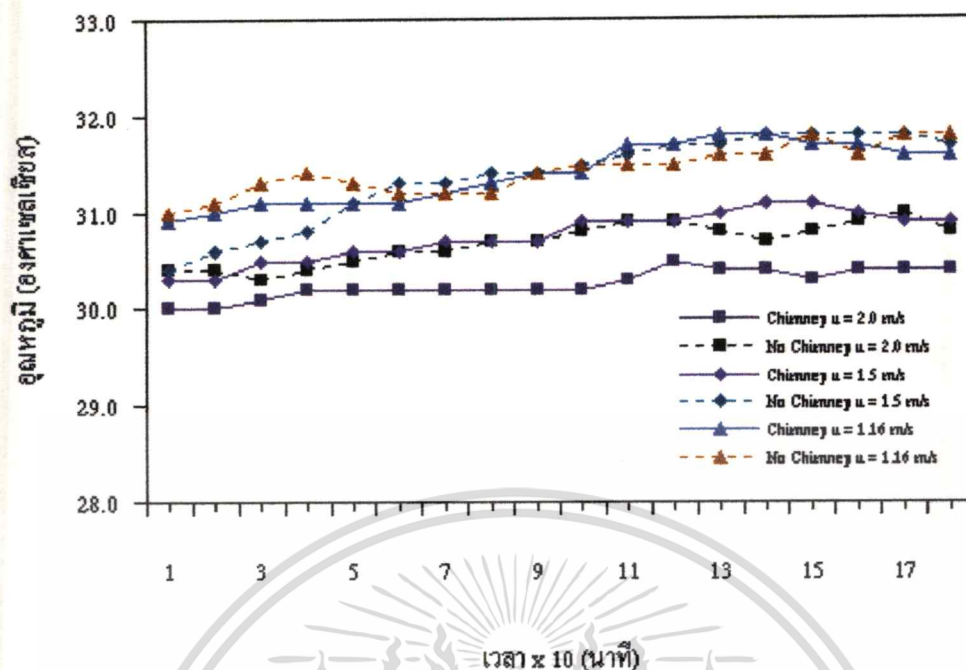


รูปที่ 4.13 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 1 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

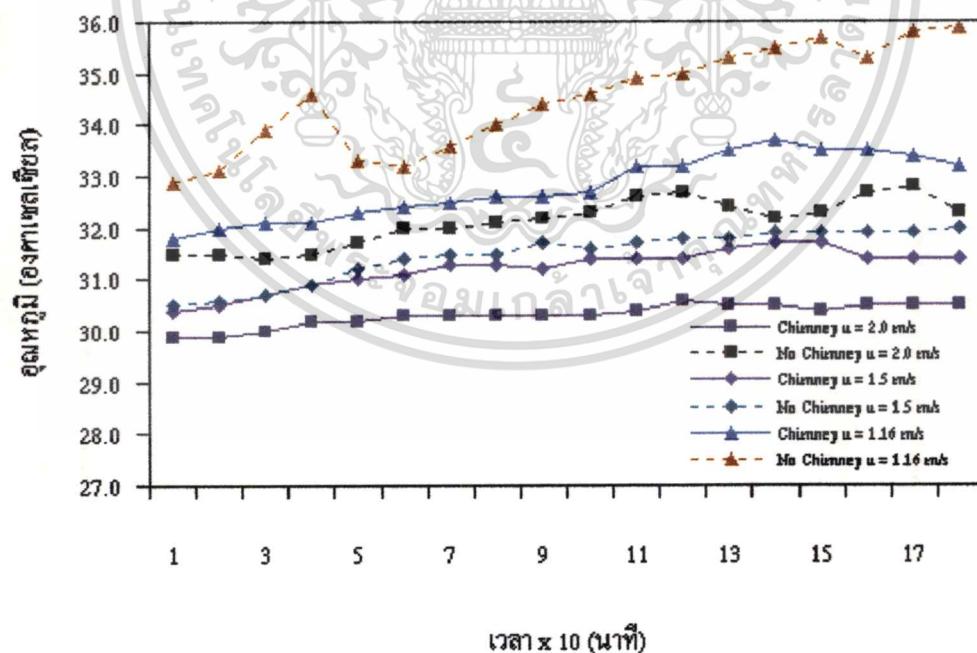


รูปที่ 4.14 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 2 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

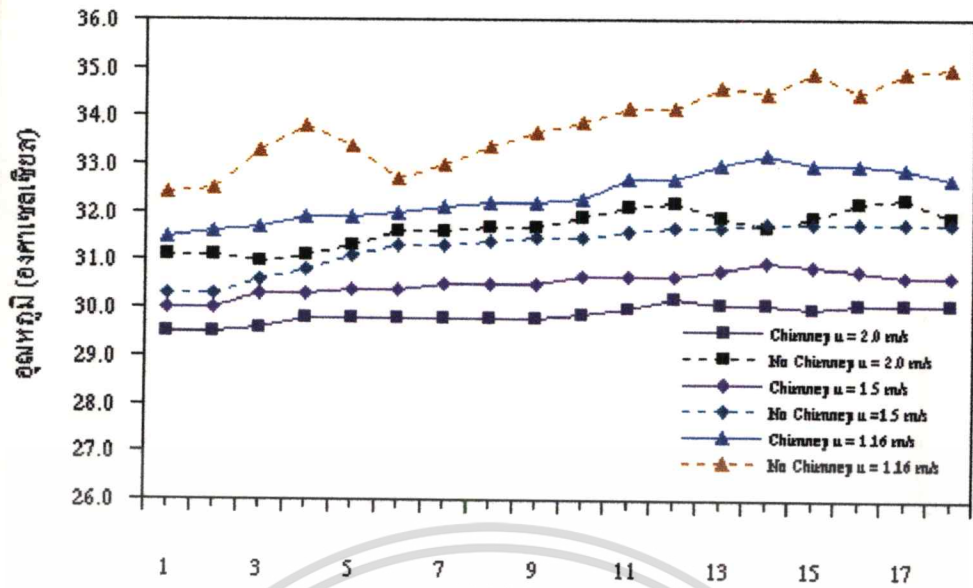


รูปที่ 4.15 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิจาก Node 3 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

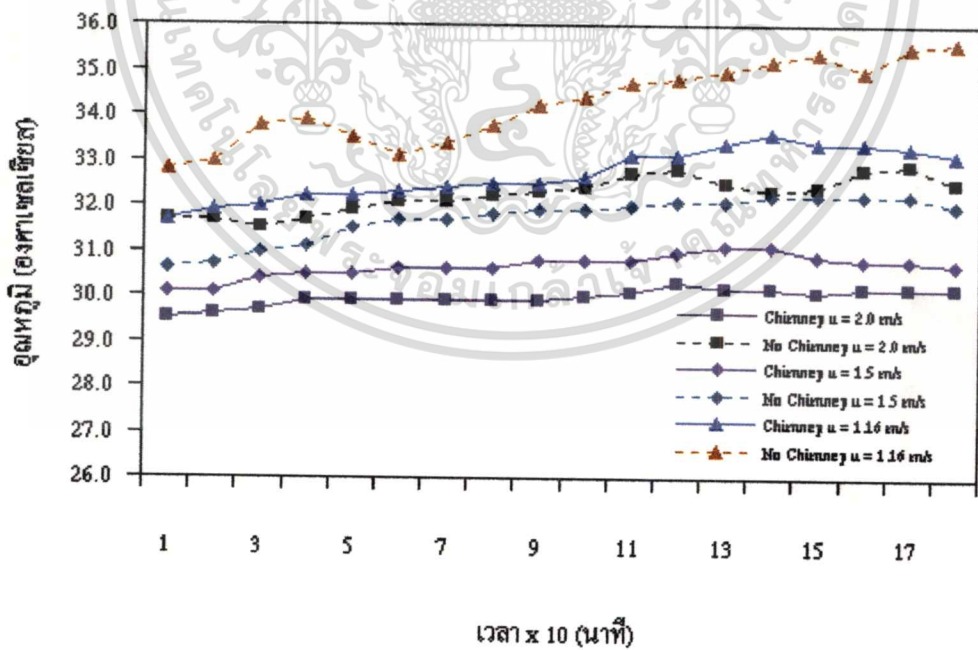


รูปที่ 4.16 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิจาก Node 4 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

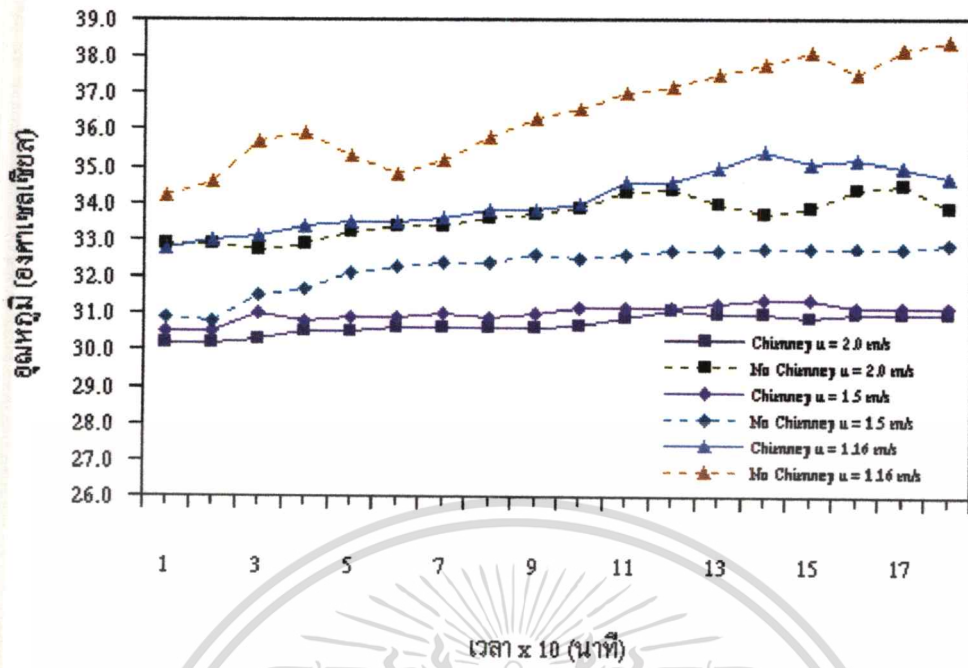


รูปที่ 4.17 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

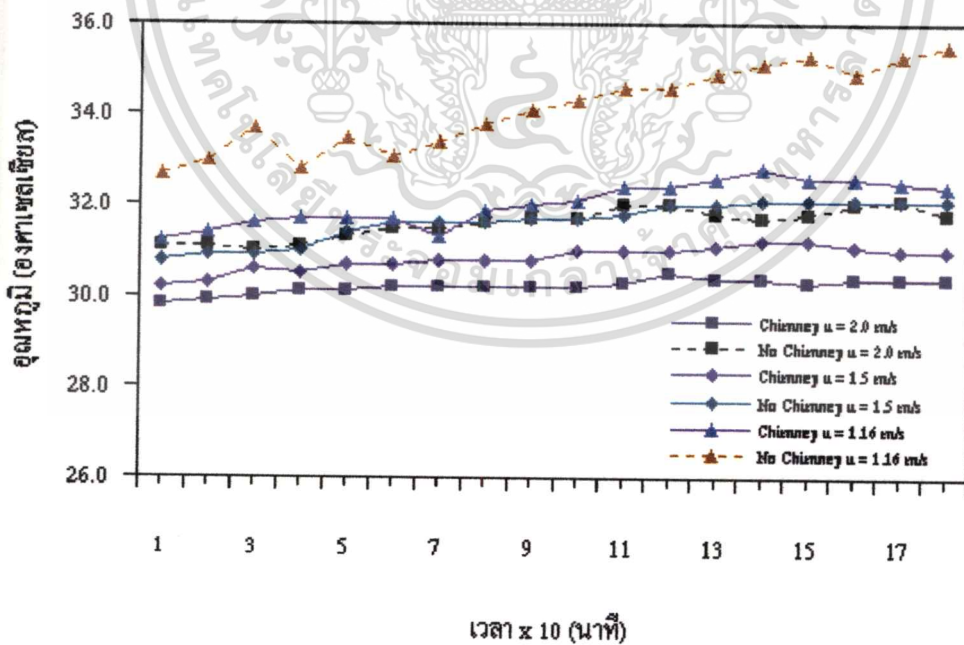


รูปที่ 4.18 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 6 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

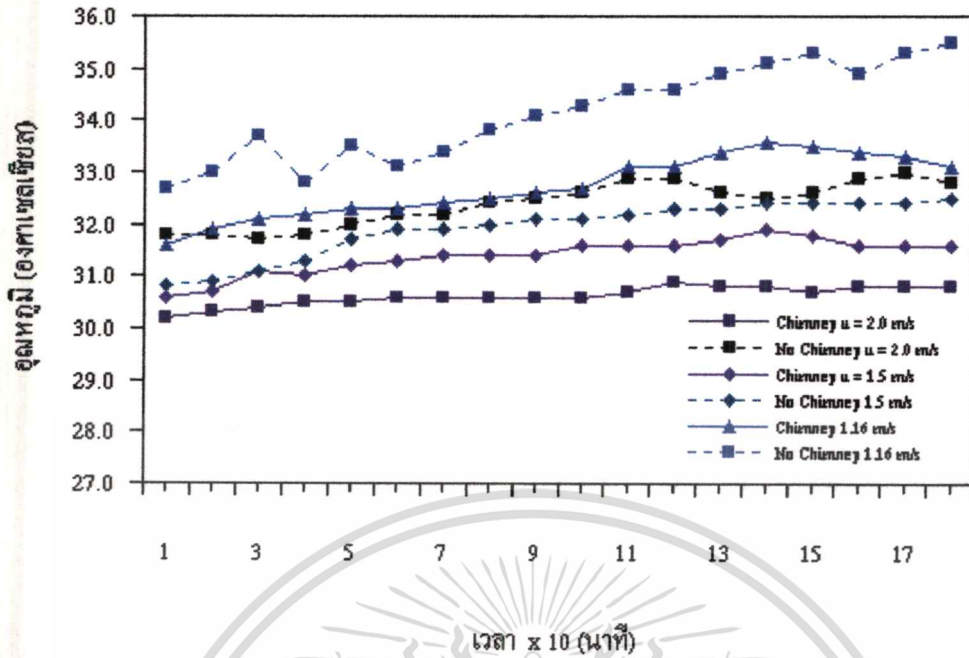


รูปที่ 4.19 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิตั้งที่ Node 7 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป



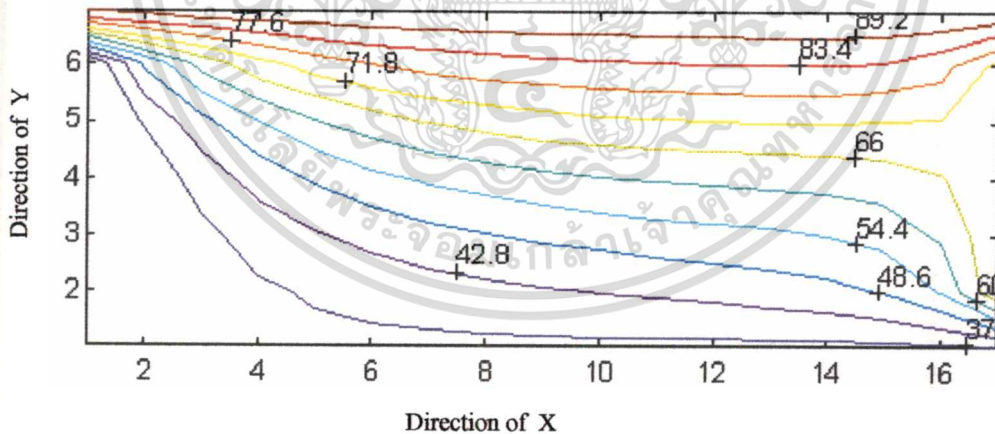
รูปที่ 4.20 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิตั้งที่ Node 8 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

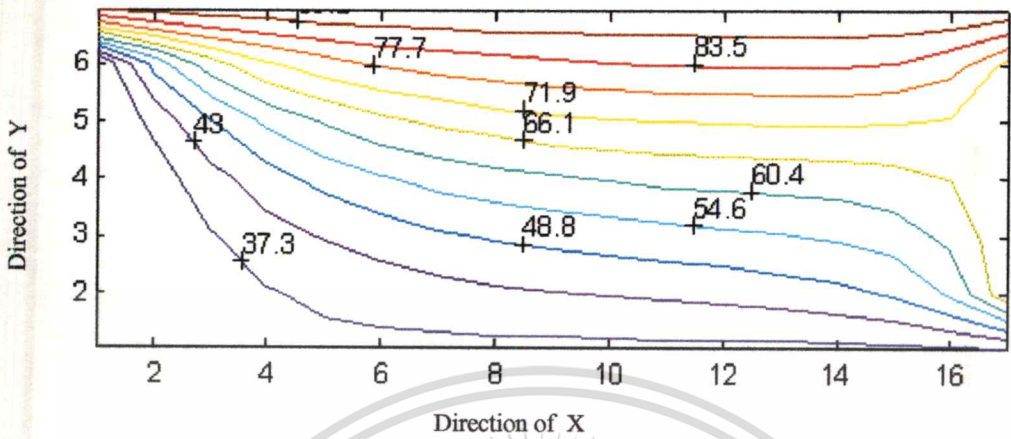
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



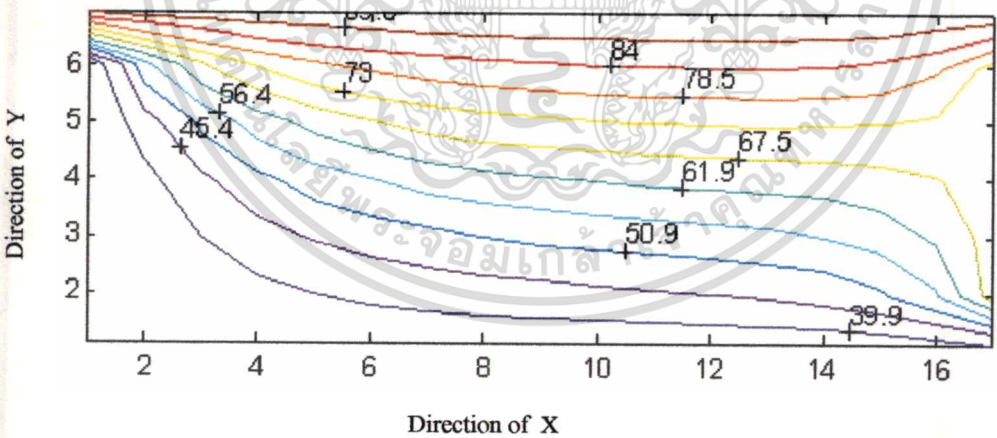
รูปที่ 4.21 แสดงผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่ Node 9 โดยวิธี Finite Volume ที่เวลาเปลี่ยนไป

4.2 ผลคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายใน Chimney โดยวิธี Finite Volume





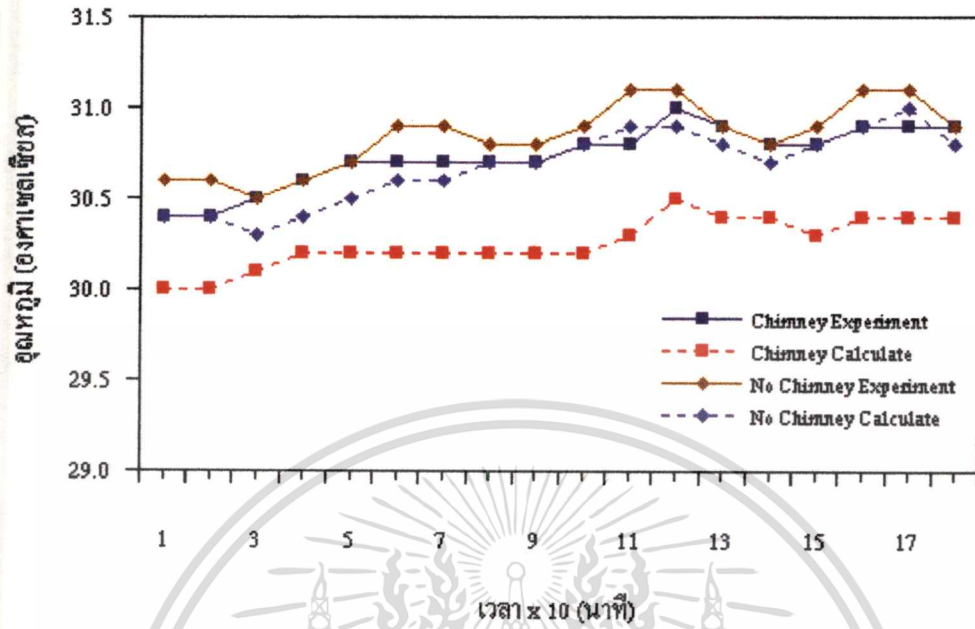
รูปที่ 4.23 แสดง Temperature Contour ใน Chimney โดยวิธี Finite Volume (ความเร็วลม 0.4 เมตรต่อวินาที, สภาวะ Steady)



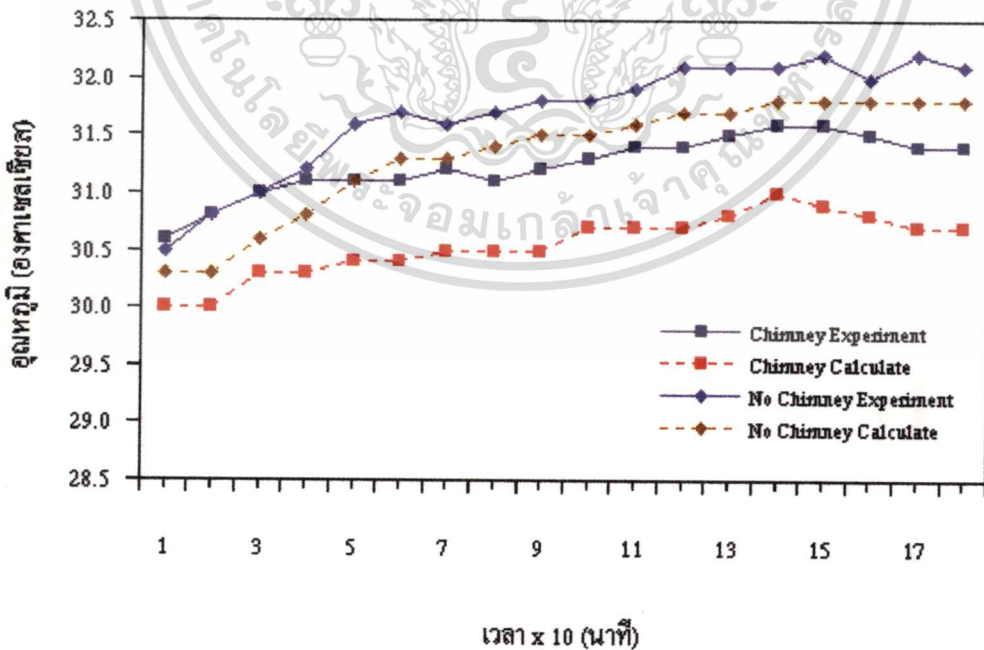
รูปที่ 4.24 แสดง Temperature Contour ใน Chimney โดยวิธี Finite Volume (ความเร็วลม 0.26 เมตรต่อวินาที, สภาวะ Steady)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่จำกัดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เปรียบเทียบผลคำนวณกับการทดลองกระจายอุณหภูมิภายในบ้าน

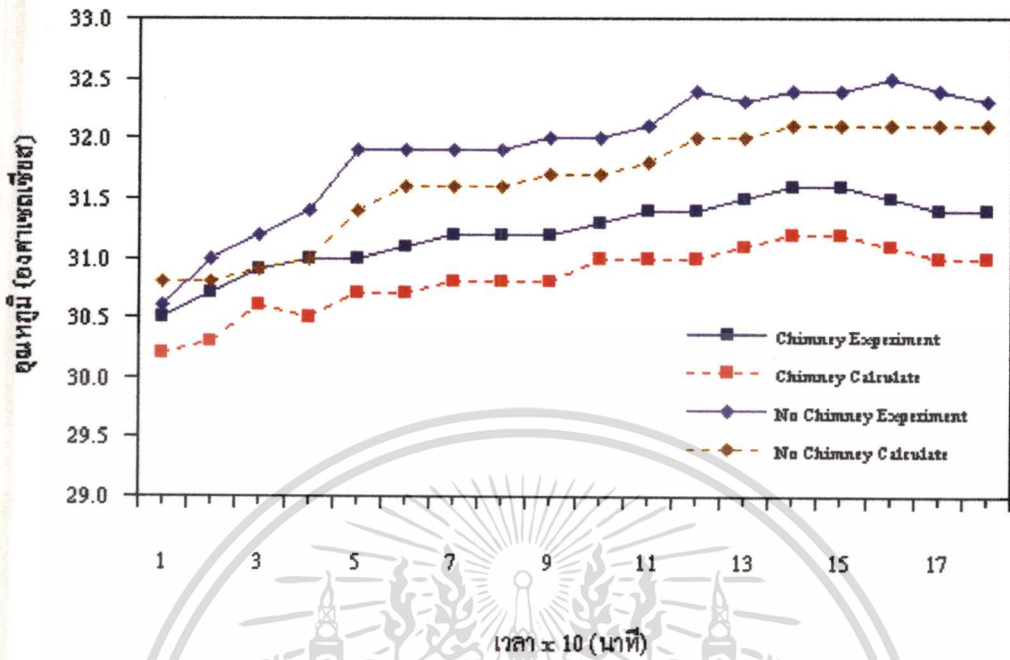


รูปที่ 4.25 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิที่ Node 3 (ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที)

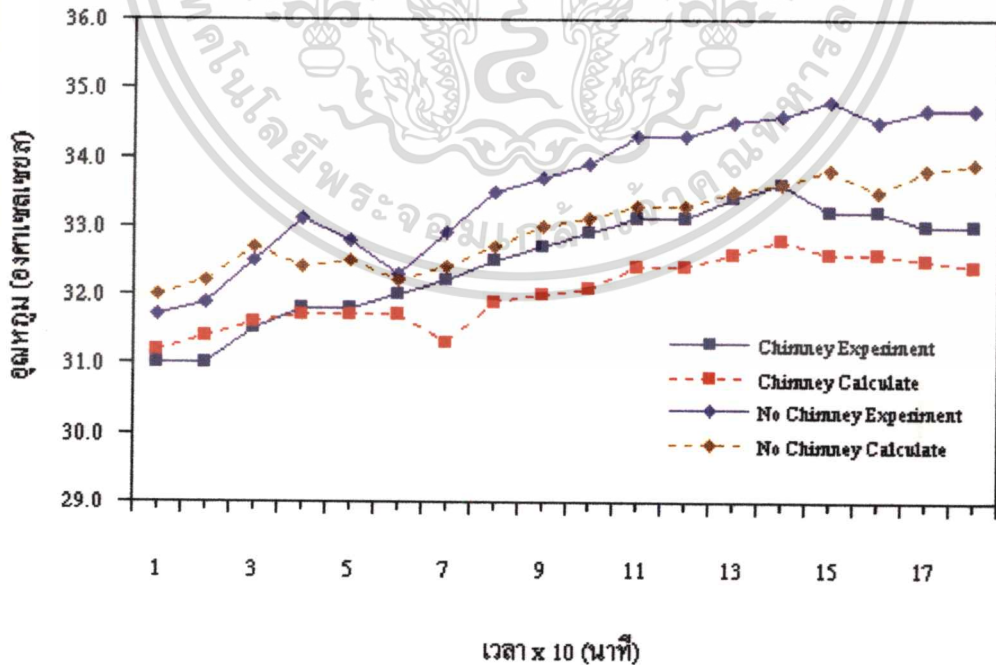


รูปที่ 4.26 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิที่ Node 5 (ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิตที่ Node 8
(ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที)



รูปที่ 4.28 แสดงผลการคำนวณกับผลการทดลองกระจายอุณหภูมิตที่ Node 8
(ความเร็วลม 1.16 เมตรต่อวินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การคำนวณค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแต่ละทิศทาง

จากที่ทราบค่าการกระจายอุณหภูมิตลอดทั้งปีในหัวข้อที่ผ่านมา ลองมาพิจารณาค่าความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่ผนังในแต่ละทิศทาง ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นแนวทางความสำคัญต่อการออกแบบบ้านเรือนที่อยู่อาศัยเพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะอากาศในแต่ละภูมิภาค ใน การคำนวณนี้จะพิจารณาตามแบบจำลองที่ตั้งของแบบจำลองบ้านที่เวลา 10.00 - 14.00 นาฬิกา โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณดังนี้

1. จำนวนวันของปีนั้น (n) เท่ากับ 108 วัน
2. มุมชั้น (β) เท่ากับ 90 องศา
3. ละติจูด (ϕ) เท่ากับ 13.44 องศาเหนือ
4. Hour angle เท่ากับ -30, -15, 0, 15, และ 30 องศา (10.00, 11.00, 12.00, 13.00 และ 14.00 นาฬิกาตามลำดับ)
5. ค่าของการเบี่ยงเบนของการกระทบบนระนาบแนวนอน (γ) โดยแบ่งตามทิศทางของผนังในแต่ละทิศทางคือ S, W, E และ N เท่ากับ 0, 90, -90 และ 180 องศาตามลำดับ

จากเงื่อนไขต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้ (ที่เวลา 10.00 น.)

พิจารณาที่ γ เท่ากับ 0 องศา คือคำนวณค่าพลังงานในทิศใต้ก่อน
มุมลาดเอียงมีค่าเท่ากับ

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

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + 108}{365}\right)$$

$$\delta = 10.51$$

สำหรับพิจารณาการประมาณค่าการแผ่รังสีในวันท้องฟ้าแจ่มใสโดยพิจารณาระยะทางของผู้สังเกต A เท่ากับ 0

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

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

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

ดังนั้นค่าสภาวะอากาศมาตรฐานจะเท่ากับ

$$a_0^* = 0.128 \quad a_1^* = 0.757 \quad k^* = 0.387$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.2 จะได้ค่าตัวประกอบของสภาวะอากาศต่าง ๆ

$$r_0 = a_0 / a_0^* = 0.95$$

$$r_1 = a_1 / a_1^* = 0.98$$

$$r_k = k / k^* = 1.02$$

ดังนั้น

$$a_0 = 0.122 \quad a_1 = 0.742 \quad k = 0.395$$

จากที่ทราบค่าตัวประกอบต่างสามารถหาค่ามุมอะซิมุทได้ดังนี้

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$$

$$\cos \theta_z = 0.966$$

จากค่าตัวประกอบที่คำนวณได้ทั้งหมดนั้นแทนค่าลงในสมการ (2.80) เพื่อหาค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาชั้นบรรยากาศ จะได้

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

$$\tau_b = 0.615$$

ดังนั้นค่าการแผ่รังสีของลำแสงพิจารณาเป็นชั่วโมงจะได้ดังนี้

$$I_b = I_{on} \tau_b \cos \theta_z$$

โดยที่

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

ดังนั้น

$$I_b = 1340 \quad \text{W/m}^2$$

พิจารณาค่าการผ่านทะลุของรังสีที่กระจัดกระจายจากสมการดังนี้

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939 \tau_b$$

ดังนั้น

$$\tau_d = 0.0903$$

เช่นเดียวกับการค่ากำลังงานของลำแสงก็สามารถหาค่ากำลังงานของแสงอาทิตย์ที่กระจัดกระจายดังนี้

$$I_d = I_{on} \tau_d \cos \theta_z$$

$$I_b = 121.9 \text{ W/m}^2$$

มุมของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นสามารถหาได้จากสมการ (2.71) ดังนั้นจะได้เท่ากับ

$$\cos \theta = 0.02$$

สุดท้ายจะต้องพิจารณาส่วนประกอบที่มีผลกระทบต่อการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

$$R_b = \frac{G_{b,T}}{G_b} = \frac{G \cos \theta}{G \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = 0.021$$

$$R_s = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} = 0.50$$

$$R_g = \frac{(1 - \cos \theta)}{2} = 1 - R_s = 0.50$$

ดังนั้นค่ากำลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิศได้ทั้งหมดคำนวณได้จาก

$$I_{TS} = R_b I_b + R_s I_d + \rho' R_g (I_b + I_d)$$

$$I_{TS} = 820 \text{ W/m}^2$$

$$I_{TW} = 110 \text{ W/m}^2$$

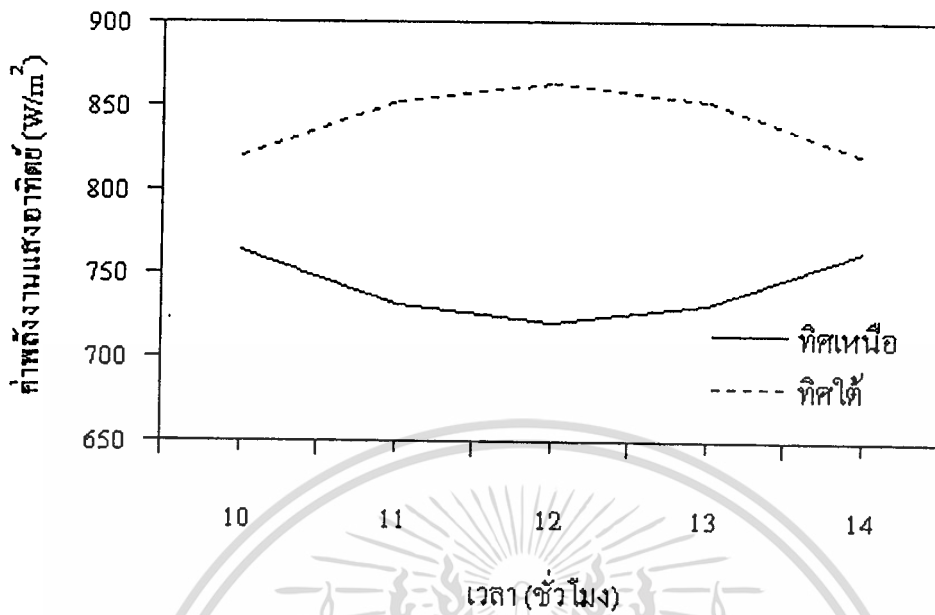
$$I_{TE} = 1447 \text{ W/m}^2$$

$$I_{TN} = 763.6 \text{ W/m}^2$$

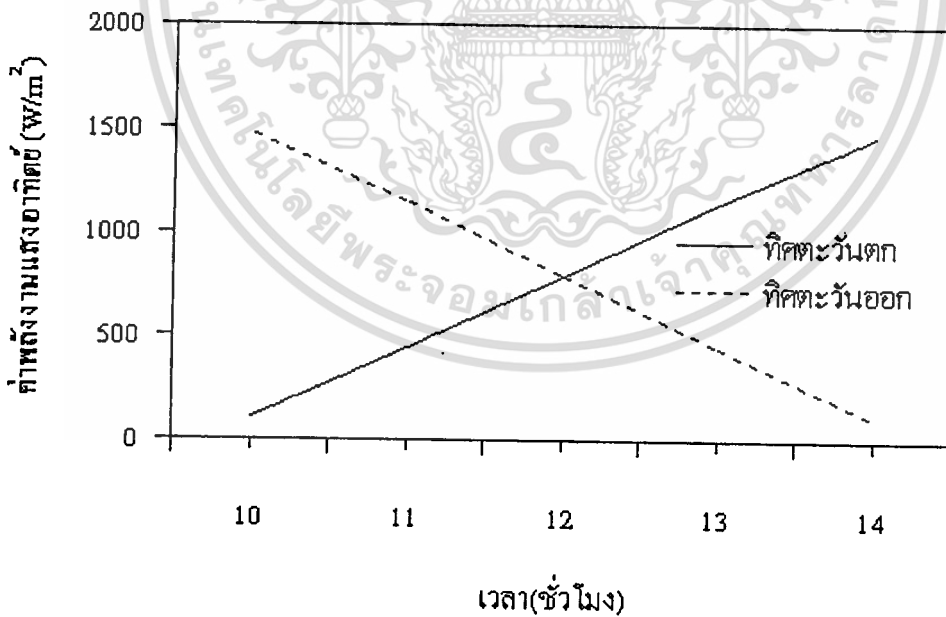
ตารางที่ 4.7 แสดงค่ากำลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิศทางต่าง ๆ ในวันที่ 18 เมษายน 2542

ทิศและเวลา	10.00 น.	11.00 น.	12.00 น.	13.00 น.	14.00 น.
เหนือ	763.6	731.9	721.1	731.9	763.6
ใต้	820.4	852.1	862.9	852.1	820.4
ตะวันออก	1474.0	1145.0	792.0	439.0	110.0
ตะวันตก	110.0	439.0	792.0	1145.0	1474.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิวศเหนือ-ใต้ ในวันที่ 18 เมษายน 2542



รูปที่ 4.30 แสดงค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในทิวศตะวันตก-ตะวันออก ในวันที่ 18 เมษายน 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.5.1 วิเคราะห์ผลการวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการทดลองวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงเทียบกับแสงอาทิตย์เทียม นั้น จากกราฟรูปที่ 3.8 พบว่าค่าของพลังงานแสงอาทิตย์จริงมีค่าใกล้เคียงกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์เทียม ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดเท่ากับ 2.22 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกเช่น ปริมาณของเมฆ ณ ช่วงเวลาทำการทดลองจะมีผลกระทบต่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงที่ได้ทำการวัด

4.5.2 วิเคราะห์ผลการวัดค่าอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้าน

1. ผลการวัดค่าอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ความเร็วลมที่สภาวะต่างกันนั้น ที่ Node 1 - Node 9 จากกราฟรูปที่ 3.9 - 3.17 พบว่าที่ความเร็วลมที่ทางเข้าที่ 2.0 m/s นั้นจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส และยังพบว่าที่ความเร็วลมที่ 1.16 m/s นั้นการลดลงของอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อยมากซึ่งก็เป็นผลมาจากการพัดพาความร้อนภายในห้องได้น้อยและเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ที่ความเร็วลมที่สภาวะนี้จะไม่ได้อผล

2. ผลการวัดค่าอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้านที่ความเร็วลมที่สภาวะต่างกันนั้นที่ Node 1 และ Node 2 จากกราฟรูปที่ 3.9 - 3.10 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยมากเนื่องจากที่ Node ทางเข้านั้นลมมีการพัดพาเอาความร้อนไปได้ดีจึงทำให้การสะสมความร้อนที่ Node ดังกล่าวมีน้อยมาก ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

3. จากการทดลองจะพบว่าที่ Node 4 - Node 7 ที่ความเร็วลม 2.0 m/s จะสามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส เนื่องมาจากลมส่วนหนึ่งจะพัดพาเอาความร้อนภายในบ้านออกที่บริเวณปล่องร้อนอีกทางหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการสะสมของความร้อนภายในบ้านนั้นมีปริมาณน้อยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับบ้านที่ไม่มีปล่องร้อน

4. จากการทดลองอีกแนวหนึ่งโดยทำการหุ้มฉนวนที่ผนังของบ้านนั้น จะพบว่าการลดลงของอุณหภูมิจะสามารถลดลงได้อีกประมาณ 2 องศาเซลเซียส ซึ่งก็เป็นผลมาจากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในบ้านน้อยมาก

4.5.3 วิเคราะห์ผลการคำนวณค่าการกระจายอุณหภูมิภายในแบบจำลองบ้าน

1. จากกราฟรูปที่ 4.1, 4.3 และ 4.5 เป็นการแสดงการไหลของอากาศภายในบ้านที่มีปล่องร้อน พบว่าการไหลของอากาศที่การติดปล่องร้อนนั้นจะไหลได้ดี ซึ่งการไหลของอากาศส่วนหนึ่งจะมีการไหลออกที่ปล่องร้อนและมีการกระจายของอากาศภายในได้ดี

2. จากกราฟรูปที่ 4.2, 4.4 และ 4.6 จะเป็นการแสดงการไหลของอากาศภายในบ้านที่ไม่มีปล่องร้อน จะพบว่าการไหลของอากาศจะไหลออกอีกด้านโดยตรง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านที่มีปล่องร้อนจะพบว่าการติดปล่องนั้นจะทำให้การไหลมีทิศทางที่ดีกว่า

3. จากกราฟรูปที่ 4.7 , 4.9 และ 4.11 จะเป็นการแสดง Temperature Contour ของบ้านที่มีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney จะพบว่าการสะสมของความร้อนที่เพดานนั้นมีน้อยมาก ซึ่งก็เป็นผลมาจากลมส่วนหนึ่งที่ไหลเข้าและไหลออกที่ปล่องด้านบนโดยพัดพาเอาความร้อนที่สะสมที่บริเวณด้านบนออกไปที่ปล่องและจะทำให้อากาศภายในบ้านเกิดการไหลเวียนซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟรูปที่ 4.8 , 4.10 และ 4.12 ที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว พบว่าความร้อนที่สะสมภายในบ้านสูงกว่าบ้านติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวประมาณ 3 องศาเซลเซียส

4. กราฟรูปที่ 4.13 - 4.21 เป็นแสดงการคำนวณการลดอุณหภูมิโดยวิธี Finite Volume ภายในบ้านที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney และไม่มีติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวที่ความเร็วลมต่างกัน ที่ Node ที่ 1 ถึง Node ที่ 9 พบว่าการลดลงของอุณหภูมิจะสามารถลดลงได้ประมาณ 3 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงของอุณหภูมิในลักษณะเช่นนี้เป็นผลมาจากลมที่เกิดการไหลเวียนภายในบ้านเกิดการไหลได้ดีกว่าบ้านที่ไม่มีติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว โดยที่ปริมาณของลมจะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิกภายในบ้านเช่นเดียวกัน

4.5.4 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบการคำนวณและการทดลองโดยวิธี Finite Volume

1. จากกราฟรูปที่ 4.25 – 4.28 เป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับการทดลอง พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าผลการคำนวณ เนื่องมาจากการคำนวณนั้นไม่คิดการแปรเปลี่ยนของตัวแปรที่ขึ้นอยู่กัเวลา ซึ่งจะทำให้การคำนวณเกิดการผิดพลาดขึ้น ส่วนผลที่ได้จากการทดลองนั้นทำการวัดตามสภาวะอากาศจริงและพบว่าอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงทำให้การคำนวณมีค่าสูงกว่าการทดลอง

2. จากผลการทดลองเทียบกับผลการคำนวณ จะพบว่าการลดลงของอุณหภูมิจะแตกต่างกันประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากการทดลองนั้นได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การรั่วไหลของอากาศที่บริเวณรอยต่อต่าง ๆ ส่วนการคำนวณนั้นจะเกิดการผิดพลาดมาจากการกำหนดค่าตัวแปรให้อยู่ในสภาวะคงที่ เช่น ความหนาแน่นของอากาศ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ผลการคำนวณนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้นในแบบจำลอง

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney สามารถสรุปออกเป็นหัวข้อย่อยได้ดังนี้

1. การทดลองการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney จะพบว่าอุณหภูมิจะลดลงสูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งเป็นผลมาจากการไหลเวียนของอากาศจากภายนอกบ้านเข้ามาหมุนเวียนภายในบ้าน พบว่าถ้ามีการนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบบ้านเรือนนั้นจะสามารถลดอุณหภูมิภายในบ้านลงได้

2. จากผลการคำนวณการกระจายอุณหภูมินั้น เป็นการคำนวณที่สภาวะ Steady พบว่าเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ปริมาณความร้อนที่สะสมภายในบ้านจะถูกระบายออกที่บริเวณ Chimney ก็เป็นผลมาจากการไหลเวียนของอากาศภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศภายในบ้าน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับบ้านที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว จะพบว่าปริมาณของความร้อนที่สะสมอยู่ภายในบ้านจะมีค่าสูงกว่า ซึ่งปริมาณของความร้อนที่สะสมอยู่ในลักษณะเช่นนี้จะมีผลทำให้อากาศภายในบ้านร้อนและมีอุณหภูมิสูง

3. ผลการคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามเวลานั้น พบว่าเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney แล้วจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลงประมาณ 3 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว และยังพบว่าที่บริเวณ Node ทางเข้านั้น การลดลงของอุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องมาจากการพัดพาของความร้อนที่ทางเข้าเกิดการพัดพาความร้อนอย่างรวดเร็ว

4. จากผลการทดลองและผลการคำนวณจะพบว่าการลดลงของอุณหภูมิจะเกิดความแตกต่างกัน 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลมาจากการทดลองนั้นได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การรั่วไหลของอากาศที่บริเวณรอยต่อต่าง ๆ ส่วนการคำนวณนั้นจะเกิดการผิดพลาดมาจากการกำหนดค่าตัวแปรให้อยู่ในสภาวะคงที่ เช่น ความหนาแน่นของอากาศ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ผลการคำนวณนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้นในแบบจำลอง

5. การทดลองนี้จะไม่ประสบผลสำเร็จถ้าปราศจากลมธรรมชาติที่จะเข้ามาหมุนเวียนภายในบ้านและจะทำให้เกิดการพาความร้อนของอากาศออกสู่บริเวณภายนอกและถ้าความเร็วลมของธรรมชาติน้อยตามที่ได้ทำการทดลองที่ความเร็วลมที่ 1.5 และ 1.16 เมตรต่อวินาที นั้นจะทำให้การลดลงของอุณหภูมิภายในบ้านไม่สามารถลดลงได้ถึง 2 องศาเซลเซียส และเมื่อได้ทำการเพิ่ม

ความเร็วลมธรรมชาติให้ได้เท่ากับ 2.0 เมตรต่อวินาที พบว่าการลดลงของอุณหภูมิสามารถลดลงได้สูงสุดประมาณ 2 องศาเซลเซียส อีกนัยหนึ่งคือที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ความร้อนภายในปล่องยังเป็นตัวที่ช่วยเหนี่ยวนำความร้อนบางส่วนให้มีการเคลื่อนไหวยอกมาทางปล่องด้วยซึ่งในส่วนนี้ก็จะส่งผลทำให้เกิดการการลดลงของอุณหภูมิได้เช่นเดียวกัน

5.2 ข้อเสนอแนะในการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney

1. ในการเลือกแผ่นรับพลังงานแสงอาทิตย์นั้นควรพิจารณาราคาของวัสดุเป็นเกณฑ์ควบคู่ไปกับค่าการดูดกลืนพลังงานงานของวัสดุแต่ละประเภทก่อนที่จะมานำมาติดตั้ง
2. การเลือกแผ่น Cover นั้นกระจกเหมาะที่จะนำมาใช้งานมากที่สุดเพราะมีค่าการผ่านทะลุสูงและมีอายุการใช้งานยาวนาน นอกจากนี้แล้วยังสามารถทำความสะอาดได้ง่ายและควรซีลตามขอบกระจกกับหลังคาบ้านให้ดีเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในฤดูฝน
3. การติดตั้งปล่องนั้นควรระวังการรั่วซึมของท่อซึ่งถ้ามีการรั่วซึมนั้นจะมีผลต่อการสูญเสียความร้อนที่บริเวณปล่องซึ่งจะมีผลต่อการการดูดและการพาความร้อนออกที่บริเวณปล่อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. K. Versteeg and W. Malalasekera. **An Introduction to Computation Fluid Dynamics The Finite Volume Method.** Longman Scientific & Technical, Inc. 1995.
- [2] D.Poulikakos. **Conduction Heat Transfer.** New Jersey : Prentice Hall. 1994. pp.1-12.
- [3] Steven C. Chapra Raymond P. Canale. **Numerical Methods for Engineering.** Second Edition, McGraw-Hill, Inc. 1988.
- [4] Frank M. White. **Fluid Mechanics.** Second Edition. McGraw-Hill, Inc. 1986.
- [5] Joho A. Duffie and William A. Beckman. **Solar Engineering of Thermal Processes.** New York : Jnhn Wiley & Sons. 1980. pp.1-143.
- [6] Edward E. and Erson. **Fundamental of Solar Energy Conversion.** Massachusetts : Addison-Wesley. 1983. pp.1-71.
- [7] Frank Kreith and Jan F. Kreider. **Principle of Solar Engineering.** Wsahington : Hemisphere Publishing McGraw-Hall, Inc. 1987. pp.37-91.
- [8] Frank P. Incropera and David P.Dewitt. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer.** New York : John Wiley & Sons. 1996.
- [9] Brian Norton. **Solar Energy Thermal Technology.** Springer-Verlag. 1992. pp.198-209
- [10] M.S. Sodhar. et. al. **Solar Passive Build.** Progamon Press. 1983.
- [11] T. Agami Reddy. **The Design And Sizing of Action Solar Thermal System.** The Design and Sizing. Claredon Press Oxford. 1985.
- [12] Hotel, H.C., and A.F. Sorofim. **Radiative Heat Transfer.** New York : McGraw-Hill, Inc. 1967.
- [13] ปราโมทย์ เดชะอำไพ. **ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2538.**
- [14] มานิจ ทองประเสริฐ, สมศรี จรุงเรือง, **พลังงานแสงอาทิตย์ทฤษฎีและการใช้ประโยชน์ทาง-ความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2524**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ทม 1502.05/31.42

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กทม. 10520

4 ตุลาคม 2542

เรื่อง การตอบรับบทความงานสัมมนาวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 13
เรียน ท่านผู้ส่งบทความเข้าร่วมงานสัมมนาวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 13

ทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอขอบคุณที่ท่านได้ส่งบทความตามหัวข้อด้านล่างเข้าร่วมสัมมนา ทางเข้าภาพต้องขอยกอย่างสูงที่แจ้งผลการพิจารณาบทความล่าช้ากว่ากำหนดไปมาก สำหรับบทความที่ไม่ต้องแก้ไขทางเข้าภาพจะใช้บทความที่ส่งมาครั้งแรกในการตีพิมพ์โดยไม่ต้องส่งเอกสารใดๆมาทางเข้าภาพอีก สำหรับบทความที่ได้รับการพิจารณาให้แก้ไข ขอความกรุณาให้ท่านดำเนินการแก้ไขส่งบทความฉบับสมบูรณ์พร้อมที่จะตีพิมพ์ ภายในวันที่ 20 ตุลาคม 2542 อย่างไรก็ตามถ้าท่านยืนยันว่าไม่จำเป็นต้องแก้ไขบทความของท่าน กรุณาส่งคำชี้แจงกลับมาทางเข้าภาพ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการ จักขอบพระคุณยิ่ง

หัวข้อบทความ

โซล่าคูลดิงชิมนี

Solar Cooling Chimney

อัครเดช สินธุภาค

รังสรรค์ พันธุ์เพชร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กทม. 10520

ผลการพิจารณา ตีพิมพ์โดยไม่ต้องแก้ไข รับตีพิมพ์หลังจากทำการแก้ไขแล้ว ยังไม่ควรได้รับการตีพิมพ์

ขอแสดงความนับถือ

(รศ.อัครเดช สินธุภาค)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

โทร.326-9987 โทรสาร. 326-9053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
*ท่านสามารถตรวจสอบรายชื่อบทความและได้ใน homepage www.kmitl.ac.th/mechanic/
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซลาร์คูลลิงchimney SOLAR COOLING CHIMNEY

อัครเดช ลินธุ์ภัก, รั้งสรรค์ พันธุ์เพ็ช

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 326-9987, โทรสาร 326-9053, E-Mail: WM_Tong@hotmail.com

บทคัดย่อ

Solar Cooling Chimney เป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการการทำงานของ Passive Solar Cooling เพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้าน โดยอากาศเย็นจากภายนอกบ้านจะไหลเข้ามาแทนที่อากาศร้อนภายในบ้านและทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในบ้าน ในงานวิจัยนี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองบ้านในสัดส่วน 1:20 ของสัดส่วนจริง พร้อมกับนำแสงอาทิตย์เทียมมาใช้ในการทดลอง ซึ่งผลจากการนำอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney มาติดตั้งภายในบ้านซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลงประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส สำหรับการศึกษาดูอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney จะเป็นการศึกษาภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทย เท่านั้น

ABSTRACT

Solar cooling chimney is a device operating under Passive Solar Cooling principle which results in Natural – air Circulation in the house. Cool air is induced into the house replacing hot air which moving upwards due to buoyancy effect, thus recirculation occurs. This project aimed at creating an appropriate model house. At the same time Pseudo-Solar is made using electric lamp. From experimental results, this recirculation leads to a decrease in room temperature by approximately 1.5 degrees. This study has been carried out under a climate in Thailand.

1. บทนำ

การศึกษาเกี่ยวกับ Solar Cooling ได้มีการศึกษากันมาตลอดจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากพลังงานที่ใช้อยู่ปัจจุบันเริ่มลดน้อยลง สิ่งหนึ่งที่นักวิจัยมองหากันมากคือพลังงานที่หาได้ตามธรรมชาติ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น ซึ่งเป็นพลังงานที่หาได้ง่ายดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับ Solar Cooling ซึ่งเป็นการนำเอาความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์เข้ากับระบบการทำความเย็น ทั้งระบบการปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น นอกจากนี้ยังมีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับระบบ Solar Cooling แบบอื่น ๆ อีกมากมาย ส่วนการ

ศึกษาวิจัยครั้งนี้จะเป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วยในการลดอุณหภูมิภายในที่อยู่อาศัยลงซึ่งเรียกว่า Solar Cooling Chimney โดยส่วนใหญ่แล้วในประเทศแถบเมืองร้อนจะให้ความสนใจอย่างกว้างขวางเป็นพิเศษโดยเฉพาะประเทศในแถบเมืองร้อนจะมีอุณหภูมิในตอนกลางวันค่อนข้างสูงมากและประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ตั้งอยู่บนเส้นศูนย์สูตรและก็เป็นประเทศในแถบร้อน จะเห็นว่าอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney จึงเหมาะสมและเป็นไปได้มากที่จะนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ในประเทศไทย เพราะปัจจุบันประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีสูงมาก, จากสถิติ เดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ. 2539 มีอุณหภูมิเฉลี่ยถึง 34.37 C°, และจากสถิติเดือน มีนาคม – มิถุนายน พ.ศ. 2540 มีอุณหภูมิเฉลี่ยถึง 35.13 C°, และเห็นว่าช่วงเดือนดังกล่าวจะเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงมากที่สุดในประเทศไทย การติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney จึงเหมาะสมกับสภาวะอากาศในแถบเมืองร้อนเป็นอย่างมาก

ดังนั้นจึงสามารถนำรูปแบบของการวิจัยนี้ไปใช้ในการสร้างบ้านเรือน ซึ่งเหมาะสำหรับบ้านเรือนแถบชนบทในเมืองไทยซึ่งจะไม่นิยมติดเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นอากาศภายในบ้านจะร้อนและอบอ้าว การนำรูปแบบของการวิจัยนี้ไปใช้ในการลดอุณหภูมิภายในบ้านเรือนจึงเหมาะสมและมีประโยชน์ต่อคนไทยมากที่สุด ซึ่งผลพลอยได้ที่ตามมา ก็จะเป็นการช่วยประเทศประหยัดพลังงานอีกส่วนหนึ่ง

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการนำความร้อน (Conduction heat transfer)

การนำความร้อนจะเป็นการพิจารณาในตัวกลางเนื้อเดียวกัน ซึ่งการกระจายของอุณหภูมิ $T(x, y, z)$ จะถูกกำหนดในพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) ดังสมการ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

2.2 ทฤษฎีการพาความร้อน (Convection heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นก่อนโดยอาศัยความแตกต่างของ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

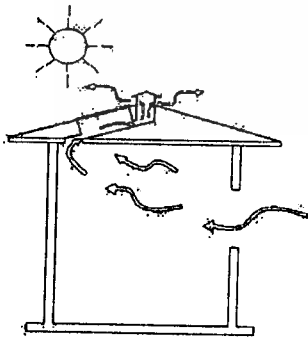
อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในของไหล การแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิภายในของไหลนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในสนามความโน้มถ่วงผลคืออุณหภูมิที่สูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันการไหลที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ ซึ่งแรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนได้นี้เรียกว่า แรงลอยตัว (Buoyancy force) สถานการณ์การเคลื่อนที่ของของไหลโดยการพาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในของไหล โดยไม่มีการบังคับให้มีการเคลื่อนที่ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลแบบนี้เรียกว่า เป็นการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or natural convection)

2.3 ทัศนวิทยาการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจะถูกส่งออกไปโดยวัตถุ โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ การแผ่รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการแผ่รังสีจากวัตถุใด ๆ ที่อุณหภูมิ T_s ซึ่งจะเป็นการพิจารณาการปล่อยออกทุกความยาวคลื่นจาก $\lambda = 0$ ถึง $\lambda = \infty$ ซึ่งจะพบมากที่สุดทางวิศวกรรม โดยพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจะอยู่ในช่วง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ ที่แถบช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมระหว่าง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ จึงถูกอ้างว่าเป็นช่วง "การแผ่รังสีความร้อน"

2.4 หลักการทำงานของ Solar Cooling Chimney

Solar Cooling Chimney จะเป็นการอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกบ้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายใน เข้ามาหมุนเวียนภายในบ้าน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง โดยการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกบ้านเข้ามาภายในบ้านนั้นจะไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือ เช่น เครื่องดูดอากาศ หรือ พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น แต่จะเป็นเพียงการประยุกต์หลักการของ Passive Solar Cooling ซึ่งเป็นการดึงดูดอากาศให้มีการเคลื่อนที่ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ โดยอาศัยแรงลอยตัว



รูปที่ 1 Solar Cooling Chimney

ของของไหล (Buoyancy force) ในกรณีของ Solar Cooling Chimney

นี่จะเป็นการทำให้อากาศร้อนโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ ในสถาน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การณ์การเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดขึ้นจะไม่มี การบังคับให้อากาศเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการอาศัยหลักการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

2.5 วิธีการปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method)

วิธีการปริมาตรสืบเนื่องนั้นได้ถูกพัฒนามาจากวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method) โดยจะใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical) ศึกษาถึงการไหลของของไหลภายในปริมาตรควบคุม จะหาได้จากสมการการเคลื่อนย้าย (General transport equation)

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S_\phi \tag{2}$$

2.5.1 การจัดการของผลต่างตรงกลาง (Central differencing scheme)

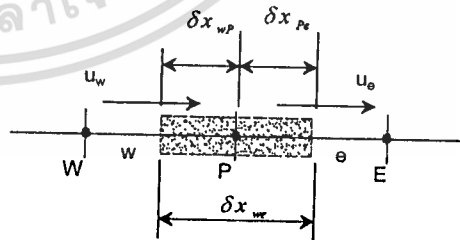
การประมาณของผลต่างตรงกลาง (Central differencing approximation) จะเป็นการแสดงถึงเทอมของการแพร่หรือกระจายที่เกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการพาและการกระจายในสภาวะไม่ขึ้นกับเวลาแบบหนึ่งและสองมิติ (Steady one and two-dimensional convection and diffusion) ดังนั้นคุณสมบัติของ ϕ (เทอมของการกระจาย) ในลักษณะการไหลแบบหนึ่งมิติในสมการ 2 โดยตัดเทอมที่ขึ้นอยู่กับเวลาและ source เทอมออกจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u \phi) = \frac{d}{dx}(\Gamma \frac{d\phi}{dx}) \tag{3}$$

การไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่องดังนั้นจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u) = 0 \tag{4}$$

พิจารณาในปริมาตรควบคุมหนึ่งมิติแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาตรควบคุมรอบจุด P

อินทิเกรตสมการ Transport (3) ภายในปริมาตรควบคุมตามรูปที่ 2 จะได้

$$(\rho u A \phi)_e - (\rho u A \phi)_w = \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \tag{5}$$

อินทิเกรตสมการ (4) จะได้

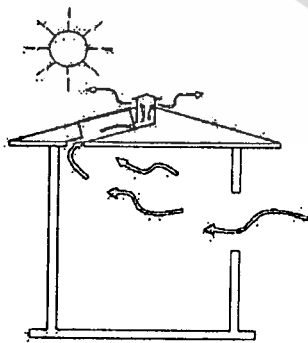
อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในของไหล การแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิภายในของไหลนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในสนามความโน้มถ่วงผลคืออุณหภูมิที่สูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันการไหลที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ ซึ่งแรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนได้นี้เรียกว่า แรงลอยตัว (Buoyancy force) สถานการณ์การเคลื่อนที่ของของไหลโดยการพาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในของไหล โดยไม่มีการบังคับให้มีการเคลื่อนที่ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลแบบนี้เรียกว่า เป็นการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or natural convection)

2.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจะถูกส่งออกไปโดยวัตถุ โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ การแผ่รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการแผ่รังสีจากวัตถุใด ๆ ที่อุณหภูมิ T_s ซึ่งจะเป็นการพิจารณาการปล่อยออกทุกความยาวคลื่นจาก $\lambda = 0$ ถึง $\lambda = \infty$ ซึ่งจะพบมากที่สุดทางวิศวกรรม โดยพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจะอยู่ในช่วง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ ที่แถบช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมระหว่าง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ จึงถูกอ้างว่าเป็นช่วง "การแผ่รังสีความร้อน"

2.4 หลักการทำงานของ Solar Cooling Chimney

Solar Cooling Chimney จะเป็นการอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกบ้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายใน เข้ามาหมุนเวียนภายในบ้าน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิกภายในบ้านลดลง โดยการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกบ้านเข้ามาภายในบ้านนั้นจะไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือ เช่น เครื่องดูดอากาศ หรือ พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น แต่จะเป็นเพียงการประยุกต์หลักการของ Passive Solar Cooling ซึ่งเป็นการดึงดูดอากาศให้มีการเคลื่อนที่ อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันของไหลที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ โดยอาศัยแรงลอยตัว



รูปที่ 1 Solar Cooling Chimney

ของของไหล (Buoyancy force) ในกรณีของ Solar Cooling Chimney นี้จะเป็นการทำให้อากาศร้อนโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ ในสถาน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การณ์การเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดขึ้นจะไม่มี การบังคับให้อากาศเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการอาศัยหลักการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

2.5 วิธีการปริมาตรสืบเนื่อง (Finite volume method)

วิธีการปริมาตรสืบเนื่องนั้นได้ถูกพัฒนามาจากวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite difference method) โดยจะใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical) ศึกษาถึงการไหลของของไหลภายในปริมาตรควบคุม จะหาได้จากสมการการเคลื่อนย้าย (General transport equation)

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S_\phi \tag{2}$$

2.5.1 การจัดการของผลต่างตรงกลาง (Central differencing scheme)

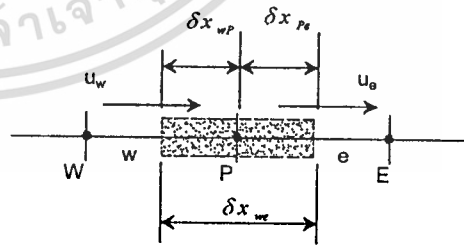
การประมาณของผลต่างตรงกลาง (Central differencing approximation) จะเป็นการแสดงถึงเทอมของการแพร่หรือกระจายที่เกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการพาและการกระจายในสภาวะไม่ขึ้นกับเวลาแบบหนึ่งและสองมิติ (Steady one and two-dimensional convection and diffusion) ดังนั้นคุณสมบัติของ ϕ (เทอมของการกระจาย) ในลักษณะการไหลแบบหนึ่งมิติในสมการ 2 โดยตัดเทอมที่ขึ้นอยู่กับเวลาและ source เทอมออกจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u \phi) = \frac{d}{dx}(\Gamma \frac{d\phi}{dx}) \tag{3}$$

การไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่องดังนั้นจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u) = 0 \tag{4}$$

พิจารณาในปริมาตรควบคุมหนึ่งมิติแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาตรควบคุมรอบจุด P

อินทิเกรตสมการ Transport (3) ภายในปริมาตรควบคุมตามรูปที่ 2 จะได้

$$(\rho u \phi)_e - (\rho u \phi)_w = \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \tag{5}$$

อินทิเกรตสมการ (4) จะได้

$$(\rho u A)_e - (\rho u A)_w = 0 \quad (6)$$

Discretised สมการสำหรับปัญหาการพาและการกระจายซึ่งจำเป็นต้องประมาณในเทอมของสมการ (5) เพื่อความเหมาะสมจึงกำหนดตัวแปร F และ D ซึ่งแสดงถึง mass flux ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และการกระจายที่หน้าตัดเซลล์ตามลำดับ ดังนั้นจะได้

$$F = \rho u \quad \text{และ} \quad D = \frac{\Gamma}{\delta x} \quad (7)$$

ดังนั้นค่า F และ D ที่หน้าตัดเซลล์จะเท่ากับ

$$F_e = (\rho u)_w \quad \text{และ} \quad D_w = \frac{\Gamma_w}{\delta x_{wp}} \quad (8.1)$$

$$F_e = (\rho u)_e \quad \text{และ} \quad D_e = \frac{\Gamma_e}{\delta x_{pe}} \quad (8.2)$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการการพาและการกระจายใหม่ดังนี้

$$F_e \phi_e - F_w \phi_w = D_e (\phi_e - \phi_p) - D_w (\phi_p - \phi_w) \quad (9)$$

อินทิเกรตสมการ Continuity สมการ (6) จะได้

$$F_e - F_w = 0 \quad (10)$$

สำหรับ Uniform grid จะสามารถเขียนค่าของ cell face ได้จากคุณสมบัติของ ϕ ดังนั้นจะได้

$$\phi_e = (\phi_p + \phi_e) / 2 \quad (11)$$

$$\phi_w = (\phi_w + \phi_p) / 2 \quad (12)$$

ดังนั้นแทนค่าลงในสมการ (9) จะได้

$$\frac{F_e}{2} (\phi_p + \phi_e) - \frac{F_w}{2} (\phi_w + \phi_p) = D_e (\phi_e - \phi_p) - D_w (\phi_p - \phi_w) \quad (13)$$

แทนค่าสมการ (8.1) และ (8.2) และ discretised สมการสุดท้ายแล้วจะได้

$$a_p \phi_p = a_w \phi_w + a_e \phi_e \quad (14)$$

$$a_p = a_w + a_e + (F_e - F_w) \quad (15)$$

โดยที่

$$a_w = D_w + \frac{F_w}{2} \quad a_e = D_e + \frac{F_e}{2} \quad (16)$$

ถ้ากรณีที่มี Source term เข้ามาเกี่ยวข้องในสมการที่ (14) จะต้องบวก S_w และในสมการที่ (15) จะต้องลบออกด้วย S_p สำหรับการพาและการกระจายแบบสองมิติสามารถพิจารณาได้จากหนึ่งมิติแล้วทำการ discretised สมการจะได้

$$a_p \phi_p = a_w \phi_w + a_e \phi_e + a_n \phi_n + a_s \phi_s \quad (17)$$

$$a_p = a_w + a_e + a_n + a_s + (F_e - F_w) + (F_n - F_s) \quad (18)$$

โดยที่

$$a_w = D_w + \frac{F_w}{2} \quad a_e = D_e + \frac{F_e}{2} \quad (19)$$

$$a_s = D_s + \frac{F_s}{2} \quad a_n = D_n + \frac{F_n}{2} \quad (20)$$

3. การวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธี Finite Volume

ใช้วิธีการ TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm) [1] สามารถแก้ปัญหาในระบบสมการในสองมิติ โดยใช้แบบ Point By Point Solve [2] สำหรับปัญหาการพาและการกระจายนั้นจะใช้วิธีการ Simple algorithm [1] เพื่อต้องการหา ความดัน, ความเร็วและอุณหภูมิที่กระจายภายในบ้านในสภาวะคงที่ (Steady) โดยโครงสร้างของ algorithm, โปรแกรมการคำนวณแสดงดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: Initial guess ρ^*, u^*, v^*, ϕ^*

ขั้นตอนที่ 2: Solve discretised momentum equations

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

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

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

$$p_{i,j} = p^*_{i,j} + p'_{i,j}$$

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

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

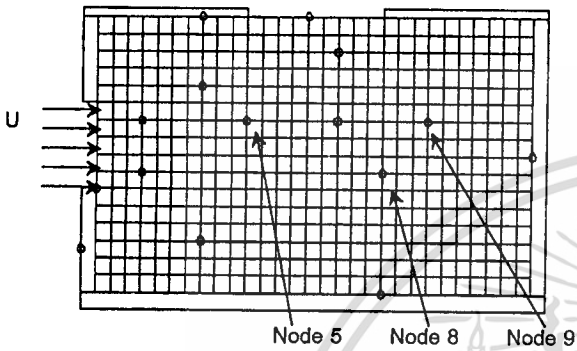
ขั้นตอนที่ 5: Solve all other discretised transport equation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_{i,j}\phi_{i,j} = a_{i-1,j}\phi_{i-1,j} + a_{i+1,j}\phi_{i+1,j} + a_{i,j-1}\phi_{i,j-1} + a_{i,j+1}\phi_{i,j+1} + b\phi_{i,j}$$

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

ส่วนเงื่อนไขที่บริเวณขอบ (Boundary condition) ของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3

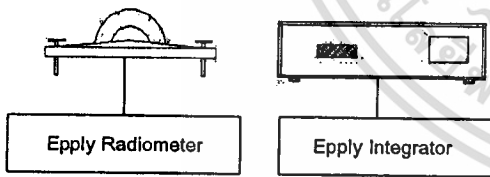


รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายในบ้านเมื่อติด Chimney

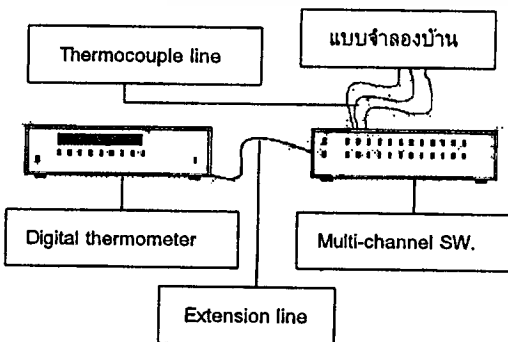
4. การวิเคราะห์ปัญหาโดยวิธีทดลอง

สำหรับการทดลองนี้จะเป็นการนำเอาแสงอาทิตย์เทียมมาใช้ในการทดลองเพื่อต้องการศึกษาการลดลงของอุณหภูมิภายในบ้าน โดยอาศัยอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney ซึ่งจะนำมาใช้ในการทดลองสำหรับการทดลองเป็นการจำลอง Model ของบ้านเป็นอัตราส่วน 1:20

4.1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 4 อุปกรณ์วัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 5 อุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิในบ้าน

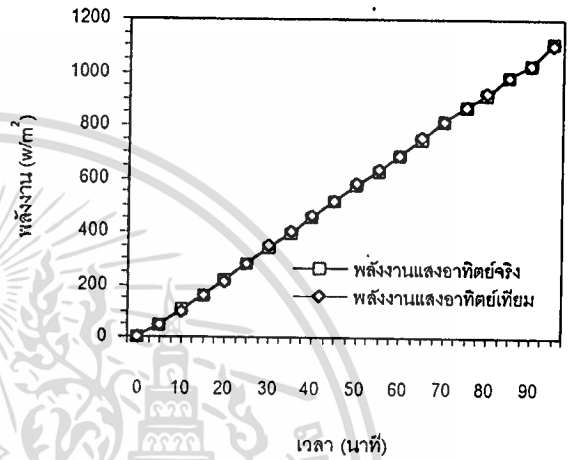
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 การสอบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 6 แสดงผลการทดลองของพลังงานแสงอาทิตย์เทียมเปรียบเทียบกับพลังงานแสงอาทิตย์จริงที่ใช้ระยะห่างระหว่างแผ่นทดสอบกับพลังงานแสงอาทิตย์เทียมเท่ากับ 90 mm. สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์จริงนั้นได้ทำการเก็บข้อมูลในวันที่ 18 เมษายน 2542

จากผลการวัดค่าจะพบว่าค่าของของพลังงานแสงอาทิตย์เทียมมีค่าใกล้เคียงกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์จริงซึ่งจากการทดลองพบว่ามีค่าแตกต่างกันอยู่ 2.22 เปอร์เซ็นต์

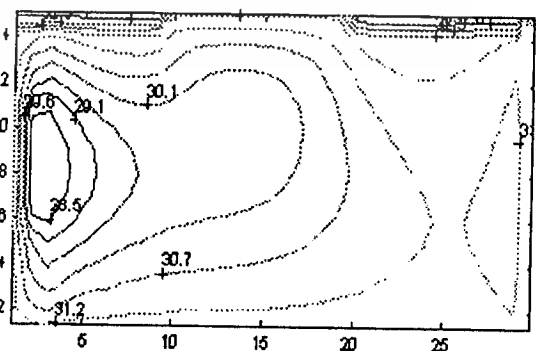


รูปที่ 6 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์เทียมกับพลังงานแสงอาทิตย์จริง

4.2.2 Temperature Contour

รูปที่ 7 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยวิธี Finite Volume ในสภาวะ steady เมื่อถูกแสงอาทิตย์เทียมส่องแสงเป็นเวลานานถึง 150 นาทีและทำการติด Solar Cooling Chimney ในอัตราส่วน 1:20

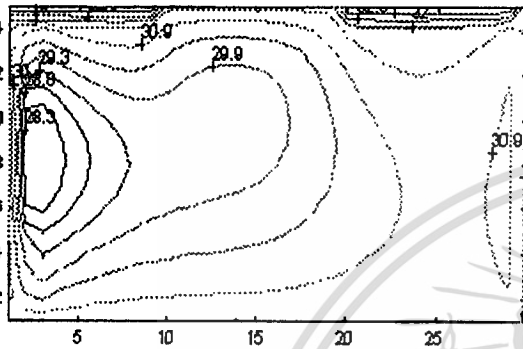
จากผลการคำนวณจะพบว่าการกระจายของอุณหภูมิภายในบ้านจะมีกระจายตัวได้ดีและพบว่ามีสภาพอุณหภูมิส่วนหนึ่งซึ่งที่อยู่บริเวณปล่องด้านบนออก นอกจากนี้แล้วยังทำให้การสะสมของความร้อนที่บริเวณด้านบนน้อย



รูปที่ 7 แสดงผลคำนวณ Temperature contour

รูปที่ 8 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยวิธี Finite Volume ในสภาวะ steady เมื่อถูกแสงอาทิตย์เทียมส่องแสงเป็นเวลานานถึง 200 นาทีและทำการติดตั้ง Solar Cooling Chimney ในอัตราส่วน 1 : 20

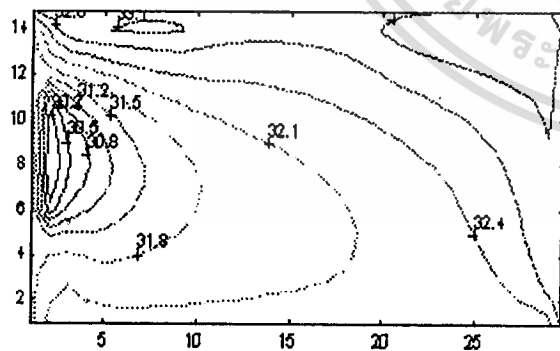
จากการคำนวณพบว่ามีลักษณะคล้ายกับในรูปที่ 7 แต่จะแตกต่างกันตรงเงื่อนไขที่ขอบต่างกัน ซึ่งจะมีผลทำให้การกระจายของอุณหภูมิมีค่าต่างกัน และจะพบว่าค่าอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่าในรูปที่ 7 เนื่องจากเงื่อนไขที่ขอบมีค่าน้อยกว่านั่นเอง



รูปที่ 8 แสดงผลคำนวณ Temperature contour

รูปที่ 9 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยวิธี Finite Volume ในสภาวะ steady เมื่อถูกแสงอาทิตย์เทียมส่องแสงเป็นเวลานานถึง 150 นาทีและไม่มีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney ในอัตราส่วน 1 : 20

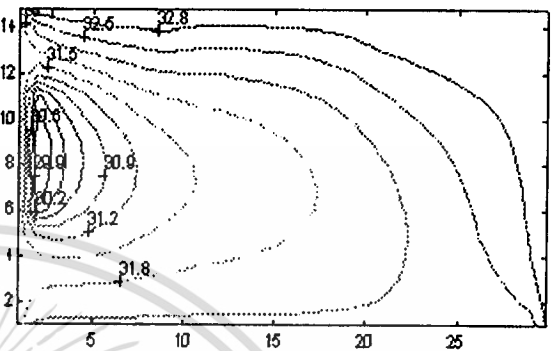
จากผลการคำนวณในลักษณะนี้ พบว่าอุณหภูมิภายในบ้านจะสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งแล้ว โดยมีการสะสมของความร้อนที่บริเวณด้านบน ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิสูงกว่าบ้านที่ติดตั้งแล้ว



รูปที่ 9 แสดงผลคำนวณ Temperature contour

รูปที่ 10 แสดงการคำนวณการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยวิธี Finite Volume ในสภาวะ steady เมื่อถูกแสงอาทิตย์เทียมส่องแสงเป็นเวลานานถึง 200 นาทีและไม่มีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney ในอัตราส่วน 1 : 20

จากผลคำนวณมีลักษณะคล้ายกับกับรูปที่ 9 จะแตกต่างกันที่เงื่อนไขที่ขอบซึ่งจะมีค่าสูงกว่า และจะพบว่าการกระจายอุณหภูมิจะมีลักษณะใกล้เคียงกันแต่อุณหภูมิจะมีค่าสูงกว่า เนื่องจากเมื่อเวลาเปลี่ยนไปความร้อนก็จะมีการสะสมอยู่แต่จะมีส่วนหนึ่งที่ถูกลมพัดออกทางหน้าต่าง แต่อย่างไรก็ตามความร้อนสะสมที่บริเวณด้านบนก็ยังมีค่าสูงซึ่งจะส่งผลให้อากาศภายในบ้านร้อน

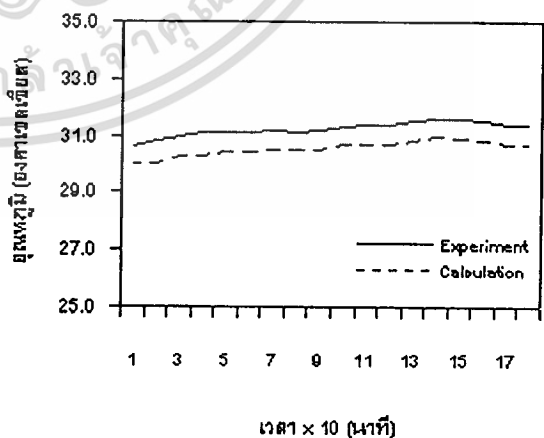


รูปที่ 10 แสดงผลคำนวณ Temperature contour

4.2.3 เปรียบเทียบผลการทดลองและการคำนวณ

รูปที่ 11 แสดงผลการคำนวณของการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5 เปรียบเทียบกับการทดลองวัดอุณหภูมิภายในบ้านขณะที่มีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ในอัตราส่วน 1 : 20

จากผลการคำนวณเทียบกับผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าการทดลอง ซึ่งเนื่องมาจากในการคำนวณไม่คิดการแปรเปลี่ยนของตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับเวลา ซึ่งจะพบว่าในการคำนวณจะเกิดความผิดพลาดขึ้น ส่วนการทดลองนั้นจะทำการวัดตามสภาวะอากาศจริงซึ่งจะพบว่าอากาศจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและจะทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าสูงกว่า

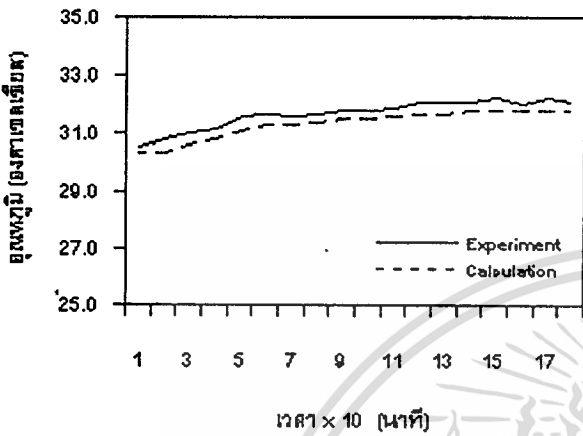


รูปที่ 11 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5

รูปที่ 12 แสดงผลการคำนวณของการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5 เปรียบเทียบกับการทดลองวัดอุณหภูมิภายในบ้านขณะที่ไม่มีการติดตั้ง

Solar Cooling Chimney เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ในอัตราส่วน 1 : 20

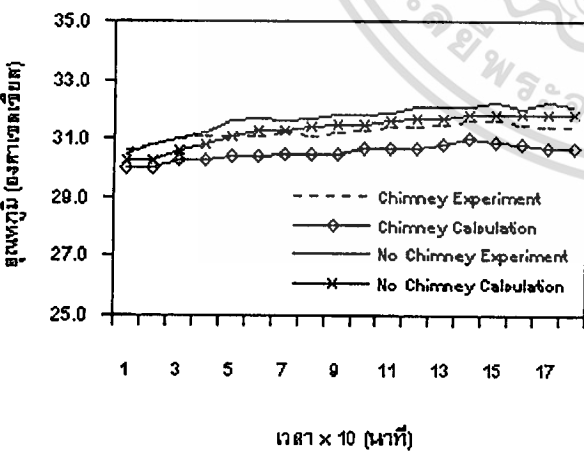
จากผลการคำนวณเทียบกับผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าการทดลอง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเหมือนกันกับรูปที่ 11 ซึ่งจะได้รับผลกระทบเช่นเดียวกันและจะมีผลต่อความผิดพลาดของการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ทำการวัด



รูปที่ 12 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5

รูปที่ 13 แสดงผลการคำนวณและผลการทดลองการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5 เมื่อมีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney และไม่มี การติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ที่เวลาเปลี่ยนไป ในอัตราส่วน 1 : 20

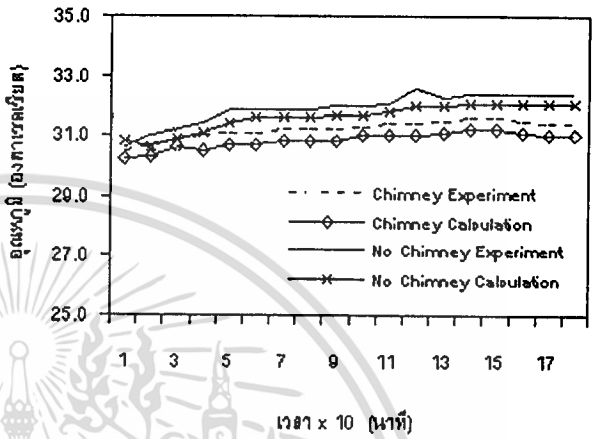
จากการทดลองและผลการคำนวณพบว่าความแตกต่างของ อุณหภูมิระหว่างการติดตั้ง Solar Cooling Chimney กับไม่ติดตั้งนั้นจะแตกต่างกันประมาณ 1.3 องศาเซลเซียส ส่วนผลการคำนวณนั้นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองจะแตกต่างกันประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 13 แสดงผลการคำนวณและการทดลองการกระจายอุณหภูมิที่ Node 5

รูปที่ 14 แสดงผลการคำนวณและผลการทดลองการกระจาย อุณหภูมิที่ Node 8 เมื่อมีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney และไม่มี การติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ที่เวลาเปลี่ยนไป ในอัตราส่วน 1 : 20

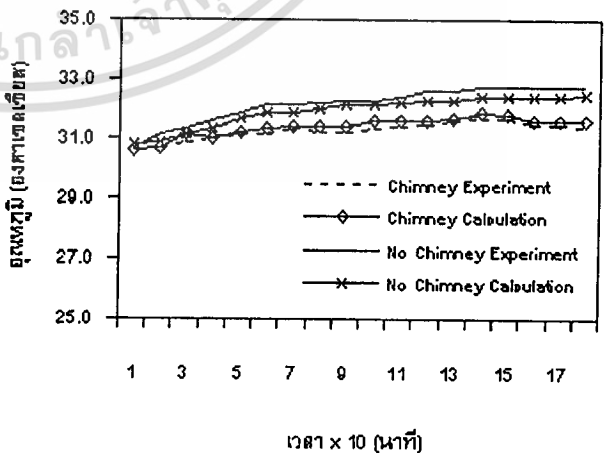
จากการทดลองและผลการคำนวณพบว่าความแตกต่างของ อุณหภูมิระหว่างการติดตั้ง Solar Cooling Chimney กับไม่ติดตั้งนั้นจะแตกต่างกันประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส ส่วนผลการคำนวณนั้นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองจะแตกต่างกันประมาณ 1.8 องศาเซลเซียส



รูปที่ 14 แสดงผลการคำนวณและการทดลองการกระจายอุณหภูมิที่ Node 8

รูปที่ 15 แสดงผลการคำนวณและผลการทดลองการกระจาย อุณหภูมิที่ Node 9 เมื่อมีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney และไม่มี การติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ที่เวลาเปลี่ยนไป ในอัตราส่วน 1 : 20

จากการทดลองและผลการคำนวณพบว่าความแตกต่างของ อุณหภูมิระหว่างการติดตั้ง Solar Cooling Chimney กับไม่ติดตั้งนั้นจะแตกต่างกันประมาณ 1.2 องศาเซลเซียส ส่วนผลการคำนวณนั้นความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองจะแตกต่างกันประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส



รูปที่ 15 แสดงผลการคำนวณและการทดลองการกระจายอุณหภูมิที่ Node 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

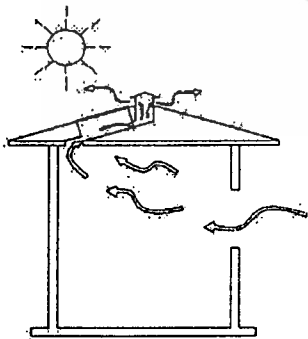
อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในของไหล การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในของไหลนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในสนามความโน้มถ่วงผลคืออุณหภูมิที่สูงซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันการไหลที่อุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าก็จะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ ซึ่งแรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนได้นี้เรียกว่า แรงลอยตัว (Buoyancy force) สถานการณ์การเคลื่อนที่ของของไหลโดยการพาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในของไหล โดยไม่มีการบังคับให้มีการเคลื่อนที่ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลแบบนี้เรียกว่า เป็นการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or natural convection)

2.3 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยจะถูกส่งออกไปโดยวัตถุ โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ การแผ่รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการแผ่รังสีจากวัตถุใด ๆ ที่อุณหภูมิ T_s ซึ่งจะเป็นการพิจารณาการปล่อยออกทุกความยาวคลื่นจาก $\lambda = 0$ ถึง $\lambda = \infty$ ซึ่งจะพบมากที่สุดในทางวิศวกรรม โดยพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกจะอยู่ในช่วง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ ที่แถบช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมระหว่าง $\lambda = 0.1$ ถึง $\lambda = 100 \mu m$ จึงถูกอ้างว่าเป็นช่วง "การแผ่รังสีความร้อน"

2.4 หลักการทำงานของ Solar Cooling Chimney

Solar Cooling Chimney จะเป็นการอาศัยหลักการการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกบ้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายใน เข้ามาหมุนเวียนภายในบ้าน ซึ่งจะทำให้ให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง โดยการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกบ้านเข้ามาภายในบ้านนั้นจะไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือ เช่น เครื่องดูดอากาศ หรือ พัดลมดูดอากาศ เป็นต้น แต่จะเป็นเพียงการประยุกต์หลักการของ Passive Solar Cooling ซึ่งเป็นการดึงดูดอากาศให้มีการเคลื่อนที่ อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ โดยอาศัยแรงลอยตัว



รูปที่ 1 Solar Cooling Chimney

ของไหล (Buoyancy force) ในกรณีของ Solar Cooling Chimney นี้จะเป็นการทำให้อากาศร้อนเพียงอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ ในสถาน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การณ์การเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดขึ้นจะไม่มีมีการบังคับให้อากาศเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการอาศัยหลักการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ

2.5 วิธีการปริมาตรสี่เหลี่ยม (Finite volume method)

วิธีการปริมาตรสี่เหลี่ยมนี้ได้ออกพัฒนามาจากวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method) โดยจะใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical) ศึกษาถึงการไหลของของไหลภายในปริมาตรควบคุม จะหาได้จากสมการการเคลื่อนย้าย (General transport equation)

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi u) = \text{div}(\Gamma \text{grad}\phi) + S_p \quad (2)$$

2.5.1 การจัดการของผลต่างตรงกลาง (Central differencing scheme)

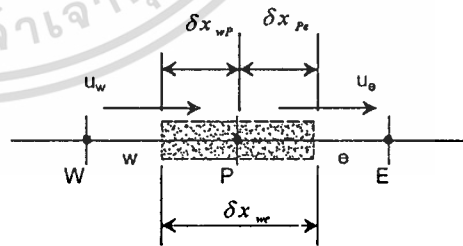
การประมาณของผลต่างตรงกลาง (Central differencing approximation) จะเป็นการแสดงถึงเทอมของการแพร่หรือกระจายที่เกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการพาและการกระจายในสภาวะไม่ขึ้นกับเวลาแบบหนึ่งและสองมิติ (Steady one and two-dimensional convection and diffusion) ดังนั้นคุณสมบัติของ ϕ (เทอมของการกระจาย) ในลักษณะการไหลแบบหนึ่งมิติในสมการ 2 โดยตัดเทอมที่ขึ้นอยู่กัเวลาและ source เทอมออกจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u \phi) = \frac{d}{dx}(\Gamma \frac{d\phi}{dx}) \quad (3)$$

การไหลเป็นการไหลแบบต่อเนื่องดังนั้นจะได้

$$\frac{d}{dx}(\rho u) = 0 \quad (4)$$

พิจารณาในปริมาตรควบคุมหนึ่งมิติแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาตรควบคุมรอบจุด P

อินทิเกรตสมการ Transport (3) ภายในปริมาตรควบคุมตามรูปที่ 2 จะได้

$$(\rho u A \phi)_e - (\rho u A \phi)_w = \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_e - \left(\Gamma A \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)_w \quad (5)$$

อินทิเกรตสมการ (4) จะได้

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองของการใช้ Solar Cooling Chimney สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การคำนวณการกระจายอุณหภูมินั้น เป็นการคำนวณที่สภาวะ Steady ซึ่งจะพบว่าเมื่อมีการติดตั้ง Solar Cooling Chimney ปริมาณของความร้อนที่สะสมอยู่ภายในบ้านจะถูกระบายออกที่บริเวณ Chimney ตลอดเวลาทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลง ซึ่งก็เป็นผลมาจากการหมุนเวียนของอากาศจากภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศภายในบ้าน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะพบว่าปริมาณของความร้อนจะถูกระบายออกภายในบ้านซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงขึ้น โดยสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 10 แต่ลักษณะของการกระจายอุณหภูมิจะแตกต่างกัน ส่วนการกระจายอุณหภูมิของบ้านที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะพบว่าความร้อนที่เกิดการสะสมที่บริเวณด้านบน จะเกิดการกระจายลงสู่ภายในบ้านและก็จะเกิดเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดอากาศร้อนภายในบ้าน โดยในรูปได้แสดงตัวอย่างการคำนวณเฉพาะในช่วงเวลา 150 และ 200 นาที เท่านั้น

2. การคำนวณการกระจายอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามเวลานั้น จะพบว่าเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney แล้วจะทำให้อุณหภูมิภายในบ้านลดลงประมาณ 2 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับการไม่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวสังเกตได้จากรูปที่ 13 ถึงรูปที่ 15 จากรูปที่ 15 จะพบว่าความแตกต่างระหว่างผลการทดลองและการคำนวณการกระจายอุณหภูมิของการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวกับการไม่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวแล้วมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก เนื่องมาจากที่ Node ดังกล่าวอยู่ใกล้กับทางออกของอากาศ ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีทั้งอากาศร้อนและอากาศเย็นเกิดการผสมกันและไหลผ่านนั้นก็แสดงว่าการกำหนดขอบเขตช่วง Node ดังกล่าวนั้นจะให้ค่าเข้าใกล้จริงมากที่สุด

3. การทดลองการวัดการกระจายอุณหภูมิภายในบ้านโดยติดตั้ง Solar Cooling Chimney จะพบว่าอุณหภูมิจะลดลง 1.5 องศาเซลเซียส ซึ่งก็เป็นผลมาจากการหมุนเวียนของอากาศจากภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศภายในบ้านสังเกตได้จากรูปที่ 13 ถึงรูปที่ 15

4. จากผลการทดลองและผลการคำนวณพบว่าอุณหภูมิจะแตกต่างกัน 0.5 องศาเซลเซียสก็เป็นผลมาจากการทดลองจะได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น การรบกวนของอากาศที่บริเวณรอยต่อต่าง ๆ เป็นต้น ส่วนการคำนวณนั้นจะเกิดความผิดพลาด เนื่องมาจากการกำหนดค่าเงื่อนไขบางตัวแปรให้อยู่ในสภาวะคงที่ เช่น ค่าความหนาแน่นของอากาศและการคำนวณนั้นถือว่าอากาศไม่เกิดการรั่วไหลออกจากแบบจำลอง ซึ่งผลกระทบที่กล่าวมาก็จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในแบบจำลอง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ รศ. อัครเดช สินธุภักดิ์ ที่ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีและท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำปรึกษาการเขียนโปรแกรมและอนุเคราะห์ในส่วนของอุปกรณ์การทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. K. Versteeg and W. Malalasekera, "An Introduction to Computation Fluid Dynamics The Finite Volume Method", Longman Scientific & Technical, Inc., 1995.
- [2] D. Poulikakos, "Conduction Heat Transfer", Prentice Hall, Inc., 1994.
- [3] Steven C. Chapra Raymond P. Canale, "Numerical Methods for Engineering", Second Edition, McGraw-Hill, Inc., 1988.
- [4] Frank P. Incropera and David P DeWitt, "Fundamental of Heat Transfer and Mass Transfer", Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [5] Frank M. White, "Fluid Mechanics", Second Edition, McGraw-Hill, Inc., 1986
- [6] Steven C. Chapra and Raymond P. Canale, "Numerical Methods for Engineering", Second Edition, McGraw-Hill, Inc., 1990

ประวัติผู้เขียน

นายรังสรรค์ พันธุ์เพชร เกิดเมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2517 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับสอง) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2540

ปี พ.ศ. 2539 ได้เข้าทำงานที่ บริษัทชันโยยูนิเวอร์แซล อีเล็กทริก จำกัด (มหาชน) ใน ตำแหน่งวิศวกรประจำโรงงานจนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้