

การศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์

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



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **61392**  
วัน,เดือน,ปี **17 ก.ค. 2549**

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

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2547

การศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์

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



โดย

นายสรรพลักษณ์ ชำนาญนิตย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วิระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ

ดร.วิภา เกียรติระโนวชิระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์

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

ผู้จัดทำ

นายสรรพลักษณ์ ชำนาญนิตย์ รหัสประจำตัว 44015587



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์

นายสรรพลักษณ์ ชำนาญนิตย์ 44015587

อาจารย์วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วิภา เจียรระโนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ใช่ปล่องแสงอาทิตย์ จากการใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม Air Pak ผลที่ได้ออกมาคือ ค่าอุณหภูมิของห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์จะมีค่าอุณหภูมิลดลงกว่าห้องที่ไม่ใช่ปล่องรังสีอาทิตย์ และค่าที่ตำแหน่งเดียวกันจะมีค่าอุณหภูมิไม่เท่ากัน เนื่องจากห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์มีการระบายความร้อนของอากาศออกทางปล่องรังสีอาทิตย์ ทำให้ห้องอุณหภูมิลดลงและเย็นกว่าห้องที่ไม่ใช่ปล่องรังสีอาทิตย์ และเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองพบว่า ห้องที่ใช้ปล่องรังสีอาทิตย์ที่ได้ผลคือ ในกรณีเปิดทางเข้าและเปิดทางออก (ขนาดเล็กและขนาดใหญ่) ผลดังกล่าวทำให้ค่าอุณหภูมิลดลงใกล้เคียงกัน โดยมีการคาดเคลื่อนไปประมาณ  $2^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วและอุณหภูมิตลอดเวลา ส่วนผนังห้องที่ใช้ก็ไม่เป็นฉนวน 100% ทำให้ผลการทดลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์แตกต่างกันไปบ้าง

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

Mr.Sanparak chamnannit

Mr.Veerachai Limpornchaicharean Advisor

Dr.Vipa Jayranaiwachira Advisor

### ABSTRACT

A project present this study is a study of air temperature in room installed with and without solar chimney. Result from program Air pak show that temperature of room with solar chimney less than without solar chimney. At the same position of room (with and without chimney) not equal temperature, the room with solar chimney is cooler because air can float up and go out. When compare with the testing data show that the best is solar chimney room that open entrance and exit (small and big size), the result close by program Air pak but error about 2 degree Celsius. This error because variance of air speed and temperature that result of wall in testing room suppose not same 100%. So that the result of testing and program computer is different.

## กิตติกรรมประกาศ

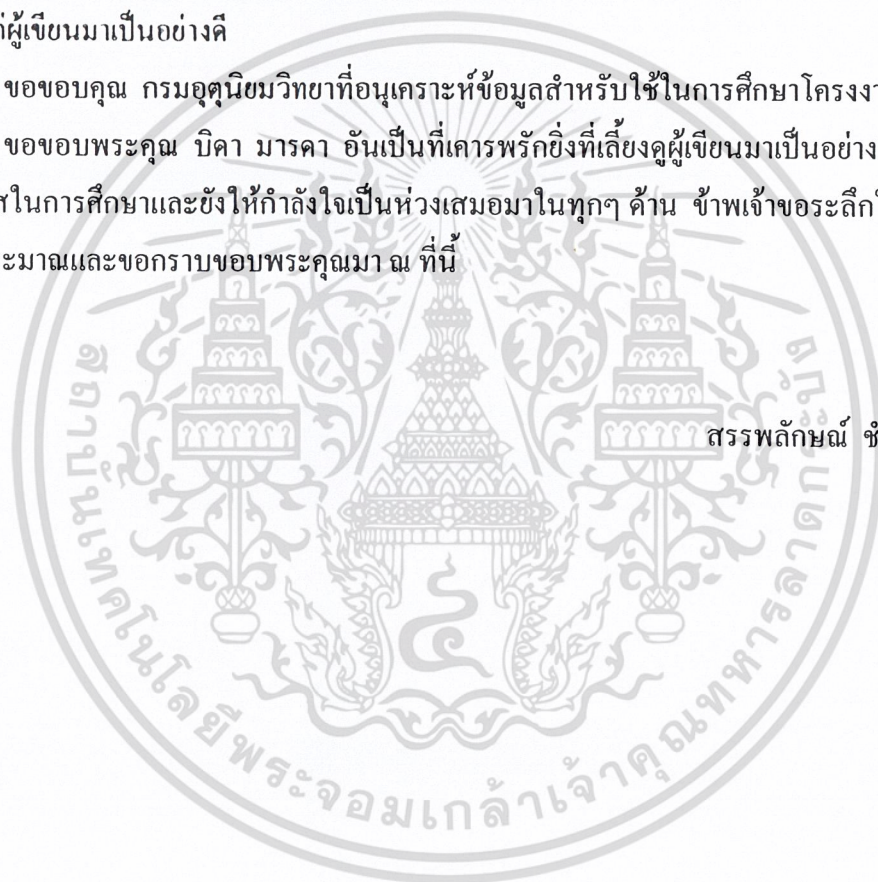
ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ถูกลงได้เป็นอย่างดีเพราะได้รับการช่วยเหลือ คำแนะนำและคำปรึกษาจากอาจารย์วัชรชัย ลิ้มพรชัยเจริญ และ คร.วิภา เจียรระโนวชิระ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรทุกท่านที่อบรมสั่งสอนและให้วิชาความรู้แก่ผู้เขียนมาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ กรมอุตุนิยมวิทยาที่อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่งที่เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดีพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาและยังให้กำลังใจเป็นห่วงเสมอมาในทุกๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สรรพลักษณ์ ชำนาญนิศย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในอาคาร	2
บทที่ 2 สมการพื้นฐานของการไหลและทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	4
2.1 ลักษณะของการไหล	4
2.1.1 แบบอย่างของการไหล	4
2.1.2 เส้นสายธาร เส้นทางการไหล และเส้นใยการไหล	6
2.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณควบคุม	7
2.2.1 สมการพื้นฐานสำหรับปริมาตรควบคุม	7
2.2.2 สมการคอนตินิวิตี้	8
2.2.3 สมการโมเมนตัม	9
2.2.4 สมการพลังงาน	11
2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน	20
2.3.1 สมการพื้นฐานของการนำความร้อน	20
2.3.2 สมการการกระจายความร้อน	21
2.3.3 การนำความร้อนในสถานะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ	23
2.4 ทฤษฎีการพาความร้อน	27
2.4.1 การพาแบบบังคับสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.4.2 การพาความร้อนแบบอิสระ	29
2.5 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน	33
2.5.1 กำลังในการปล่อยรังสีออก	33
2.5.2 เรดิโอซิตี	34
2.5.3 เอเรดิเอชัน	35
2.5.4 วัตถุดำ	36
2.5.5 การดูดกลืน การสะท้อนและการผ่านทะลุของผิว	37
2.6 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และการดูดกลืนรังสีของดวงอาทิตย์	42
2.7 การประยุกต์ใช้ Finite Volume Method	45
2.7.1 การแก้ Matrix ได้วิธี TDMA (Tri-diagonal Matrix Algorithm)	47
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	50
3.1 รายละเอียดโครงสร้างแบบห้องจำลอง	50
3.1.1 ส่วนประกอบของห้องจำลองที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบ	50
3.2 รายละเอียดการทดลอง	52
3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AIR PAX	52
3.3.1 แนวความคิดพื้นฐานของโปรแกรม	52
3.3.2 โครงสร้างของโปรแกรม	52
3.3.3 กรณีศึกษา	54
บทที่ 4 ผลการทดลอง	55
4.1 พิจารณากรณีที่ 1 ปิดทางเข้าและทางออกทั้งหมด	55
4.2 พิจารณากรณีที่ 2 เปิดทางเข้าช่องกลางและปิดทางออกทั้งหมด	64
4.3 พิจารณากรณีที่ 3 เปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออกช่องกลาง	74
4.4 พิจารณากรณีที่ 4 เปิดทางเข้าทั้งหมดและปิดทางออกทั้งหมด	84
4.5 พิจารณากรณีที่ 5 เปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออกทั้งหมด	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปจากการทดลองและเปรียบเทียบผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 104

5.2 ข้อเสนอแนะ 104

ภาคผนวก

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการไหลในแบบต่างๆ

หน้าที่

5



## สารบัญภาพ

	หน้าที่	
รูปที่ 2.1	แสดงความสัมพันธ์สมมูลพลังงานของของไหลใน Control Volume	13
รูปที่ 2.2	แสดงปริมาตรควบคุม $dx, dy, dz$ ในการวิเคราะห์ในพิกัดคาร์ทีเซียน	21
รูปที่ 2.3	แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ	25
รูปที่ 2.4	แสดงการเกิดบาวร์คาร์เลเยอร์บนแผ่นเรียบ	28
รูปที่ 2.5	แสดงค่า $Nu$ สำหรับการพาความร้อนอิสระจากแผ่นเรียบแนวตั้ง	32
รูปที่ 2.6	แสดงเรดิโอซิตีของผิว	34
รูปที่ 2.7	แสดงลักษณะของรังสีที่ตกกระทบ	35
รูปที่ 2.8	แสดงกระบวนการดูดกลืน การสะท้อนและการผ่านทะลุของตัวกลาง	38
รูปที่ 2.9	แสดงค่าสะท้อนรังสีตั้งฉากและการดูดกลืนรังสีตั้งฉากของผิวเลือก	40
รูปที่ 2.10	แสดงค่าการผ่านทะลุรังสีของผิวที่ความยาวคลื่นใดๆ ของผิวเลือก	41
รูปที่ 2.11	การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และการดูดกลืนรังสีของดวงอาทิตย์	42
รูปที่ 2.12	การกระจายของคลื่นรังสีดวงอาทิตย์	44
รูปที่ 3-1	แสดงห้องจำลองที่สร้างขึ้นใช้ในการทดลอง	51
รูปที่ 3-2	ภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรม Air Pak V.2.06	53
รูปที่ 4-1	แสดงลักษณะแบบห้องจำลองใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ 1	55
รูปที่ 4-2	แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านบน)	56
รูปที่ 4-3	แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านข้าง)	57
รูปที่ 4-4	แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์	58
รูปที่ 4-5	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)	59

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่	
รูปที่ 4-6	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)(ภาพ3มิติ)	60
รูปที่ 4-7	แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่1	61
รูปที่ 4-8	แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่อง ในกรณีที่1	62
รูปที่ 4-9	แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่อง ในกรณีที่1	62
รูปที่ 4-10	แสดงลักษณะแบบห้องจำลองใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่2	64
รูปที่ 4-11	แสดงवेคเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านบน)	65
รูปที่ 4-12	แสดงवेคเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านข้าง)	66
รูปที่ 4-13	แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์	68
รูปที่ 4-14	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)	69
รูปที่ 4-15	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)(ภาพ3มิติ)	70
รูปที่ 4-16	แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่2	71
รูปที่ 4-17	แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่อง ในกรณีที่2	72
รูปที่ 4-18	แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่อง ในกรณีที่2	72

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่	
รูปที่ 4-19	แสดงลักษณะแบบห้องจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่3	74
รูปที่ 4-20	แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านบน)	75
รูปที่ 4-21	แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านข้าง)	76
รูปที่ 4-22	แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์	78
รูปที่ 4-23	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)	79
รูปที่ 4-24	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)(ภาพ3มิติ)	80
รูปที่ 4-25	แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่3	81
รูปที่ 4-26	แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องในกรณีที่3	82
รูปที่ 4-27	แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องในกรณีที่3	82
รูปที่ 4-28	แสดงลักษณะแบบห้องจำลองใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่4	84
รูปที่ 4-29	แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านบน)	85
รูปที่ 4-30	แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านข้าง)	86
รูปที่ 4-31	แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์	88
รูปที่ 4-32	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)	89
รูปที่ 4-33	แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)(ภาพ3มิติ)	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4-34 แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่4	91
รูปที่ 4-35 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องในกรณีที่4	91
รูปที่ 4-36 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องในกรณีที่4	91
รูปที่ 4-37 แสดงลักษณะแบบห้องจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกรณีที่5	94
รูปที่ 4-38 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านบน)	95
รูปที่ 4-39 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่อง(ล่าง)และ ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์(ภาพด้านข้าง)	96
รูปที่ 4-40 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์	98
รูปที่ 4-41 แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)	99
รูปที่ 4-42 แสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(บน)(ภาพ3มิติ)	100
รูปที่ 4-43 แสดงค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่5	101
รูปที่ 4-44 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องในกรณีที่5	102
รูปที่ 4-45 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องในกรณีที่5	102

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ประวัติความเป็นมา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อนและมีความชื้นของการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้เกิดความร้อนภายในบ้านพัก เมื่อแสงแดดส่องมาทางหลังคาหรือตัวบ้านพัก ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านพักมีความร้อนสูงไม่เหมาะที่จะพักอาศัย ภายในบ้านพักและบ้านเรือนทั่วไปส่วนใหญ่ใช้เครื่องปรับอากาศในการลดอุณหภูมิภายในบ้านพัก เพื่อให้เกิดความรู้สึกเย็นสบายแก่ผู้พักอาศัย จึงเกิดแนวความคิดในการศึกษาอุณหภูมิของอากาศลงโดยใช้ประโยชน์จากแสงแดด ซึ่งแนวทางหนึ่ง คือการใช้หลักการพาความร้อนแบบธรรมชาติโดยอาศัยแรงลอยตัวซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นที่เกิดและความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศร้อน และมีความหนาแน่นต่ำและลอยตัวขึ้นทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของอากาศที่เย็นกว่าเข้ามาแทนที่ ทรายาคิดที่ยังมีความแตกต่างของอุณหภูมิ

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศ ภายในห้องจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องจำลองที่ไม่ได้ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองห้องจำลองกับผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องจำลองติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากการวัดอุณหภูมิภายในห้องจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องจำลองที่ไม่ได้ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์โดยมีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร (กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 2 เมตร)และในการศึกษาอากาศภายในห้องให้เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอและคงที่ จากนั้นนำค่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาคือ ห้องจำลองที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิลดลงทำให้ผู้พักอาศัยรู้สึกสบายและช่วยประหยัดพลังงาน และยังสามารถนำข้อมูลมาประยุกต์งานเก็บรักษาเมล็ดธัญพืชในอุณหภูมิที่ไม่ร้อนมาจากแสงแดดจากผลที่ได้จากการทดลองวัดอุณหภูมิของแบบจำลองห้องจำลองน่าจะมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ถ้าค่าทั้งสองมีความใกล้เคียงกันแสดงว่า การคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์กับบ้านและอาคารในรูปแบบต่าง ๆ ได้

#### 1.5 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในอนาคต

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

งานวิจัยและงานพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ให้ใช้ทดแทนน้ำมัน ได้แบ่งเป็นสองประเภทด้วยกันตามระดับความสูงต่ำของเทคโนโลยีที่ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ ประเภทแรกใช้ระดับเทคโนโลยีต่ำ เช่น เครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เครื่องทำความเย็น เครื่องมือประเภทนี้ออกแบบและสร้างทำได้โดยงานประเภทที่สองใช้เทคโนโลยีสูง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ สำหรับเครื่องมือเครื่องใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในประเภทแรกนั้นขณะนี้ได้มีการวิจัยและการพัฒนาถึงขั้นผลิตรออกมาจำหน่ายเชิงการค้าแล้วแต่ราคาจำหน่ายของอุปกรณ์ดังกล่าวยังราคาสูงและประกอบกับราคาน้ำมันยังสูงไม่พอ จึงยังมีผู้สนใจอุปกรณ์ดังกล่าวน้อย ส่วนอุปกรณ์เทคโนโลยีประเภทที่สอง ขณะนี้ยังอยู่ในขั้นวิจัยและนำออกมาจำหน่ายในเชิงการค้าในน้อย ซึ่งคาดว่าในอนาคตจะนำเทคโนโลยีประเภทดังกล่าวมาใช้ทดแทนน้ำมันอย่างแน่นอน

สำหรับประเทศไทยไม่ใช่ประเทศผู้ผลิตน้ำมัน แม้จะมีแก๊สธรรมชาติ แต่ก็มีปริมาณไม่มากพอที่จะใช้ทดแทนพลังงานจากที่มีอยู่เดิม พลังงานแสงอาทิตย์ที่ประเทศไทยได้รับมีอัตราสูงตลอดปี โดยเฉลี่ยแล้วอัตราแสงอาทิตย์ที่ได้รับประมาณ 16,500 กิโลจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือเทียบเท่ากับพลังงานที่ได้จากน้ำมันเป็นปริมาณ 400,000 ลิตร ซึ่งถ้านำพลังงานดังกล่าวมาใช้จะ

ทดแทนพลังงานจากน้ำมันได้เป็นบางส่วนเป็นอย่างดี ประเภทของงานที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้ในปัจจุบันคือการนำไปใช้ในการผลิตน้ำร้อนที่ใช้กับ บ้านเรือนที่อยู่อาศัย โรงแรม และ โรงงาน อุตสาหกรรม การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เป็นต้น และในอนาคตอันใกล้นี้ก็อาจจะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าและผลิตไอน้ำสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

ดังได้กล่าวมาแล้ว อุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปที่นำไปใช้ประโยชน์ยังมีราคาสูง ระยะเวลาในการคุ้มทุนยังนาน ในบางประเทศมีนโยบายส่งเสริมให้นำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ โดยลดภาษีบางส่วนให้กับบริษัทที่ติดตั้งอุปกรณ์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และยังมีกองทุนให้กู้ไปซื้ออุปกรณ์ดังกล่าวในอัตราดอกเบี้ยต่ำ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยยังไม่มีนโยบายช่วยเหลือผู้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทน ฉะนั้นความนิยมในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนจึงไม่มี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### สมการพื้นฐานของการไหลและทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

#### 2.1 ลักษณะของการไหล

##### 2.1.1 แบบอย่างของการไหล

การไหลจัดแบ่งออกเป็นหลายแบบอย่างและมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป ตามแฟกเตอร์ที่ใช้พิจารณา

##### 1. เมื่อใช้เวลาพิจารณาแบบอย่างของการไหล

การไหลแบบคงตัว (steady flow) คือการไหลซึ่งสมบัติของของไหลที่จุดใด ๆ ในของไหลนั้นไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา

การไหลแบบไม่คงตัว (unsteady flow) คือการไหลซึ่งสมบัติของของไหลที่จุดใด ๆ ในของไหลนั้นเปลี่ยนแปลงกับเวลา

##### 2. เมื่อใช้ความเร็วพิจารณาแบบอย่างของการไหล

การไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) คือ การไหลซึ่งความเร็วของของไหลที่ทุก ๆ จุดในของไหลนั้นเท่ากัน (ทั้งขนาดและทิศทาง) ในขณะหนึ่งที่กำหนด

การไหลแบบไม่คงตัว (nonuniform flow) คือ การไหลซึ่งความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในของไหลนั้นในขณะหนึ่งๆ

##### 3. เมื่อใช้เส้นสารธารพิจารณาแบบอย่างของการไหล

การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) คือ การไหลซึ่งมีเส้นสายธารจัดตัวอย่างเป็นระเบียบ

การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) คือ การไหลซึ่งมีเส้นสายธารจัดตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

##### 4. การใช้ความหนืดพิจารณาแบบอย่างการไหล

การไหลโดยของไหลอุดมคติ (ideal fluid flow) คือ การไหลที่ไม่คำนึงถึงผลความหนืดของของไหลนั้น

การไหลโดยของไหลจริง (real fluid flow) คือ การไหลที่คำนึงถึงผลความหนืดของของไหลนั้น

##### 5. เมื่อใช้ความหนาแน่นพิจารณาแบบอย่างของการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลแบบยุบตัวไม่ได้ (incompressible flow) คือ การไหลที่ไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของของไหลนั้น

การไหลแบบยุบตัวได้ (compressible flow) คือ การไหลที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของของไหลนั้น

โดยส่วนมากแล้วการไหลของของเหลวจัดว่าเป็นการไหลแบบยุบตัวไม่ได้ และการไหลของก๊าซจัดว่าเป็นการไหลแบบยุบตัวได้ การไหลของก๊าซจัดว่าเป็นการไหลแบบยุบตัวไม่ได้เมื่อการไหลของก๊าซนั้นมีตัวเลขมัค (Mach number)  $M < 0.3$  ซึ่ง  $M = V/c$  โดยที่  $V$  คือความเร็วของการไหล และ  $c$  คือความเร็วของเสียงที่สภาวะเดียวกันกับการไหลนั้น

#### 6. เมื่อใช้ผลการหมุนพิจารณาแบบอย่างของการไหล

การไหลแบบหมุนตัว (rotational flow) คือ การไหลที่อนุภาคการไหลหมุนรอบแกนหนึ่งๆ ไปพร้อมๆ กับการเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้น

การไหลแบบไม่ยุบตัว (irrotational flow) คือ การไหลที่อนุภาคของไหลเคลื่อนที่ไปโดยไม่มีการหมุนของอนุภาคนั้น

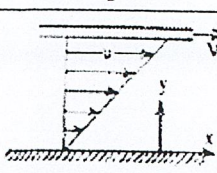
#### 7. เมื่อใช้จำนวนพิกัดพิจารณาแบบอย่างของการไหล

การไหลในหนึ่งมิติ (one dimensional flow) คือ การไหลที่ความเร็วของของเหลวขึ้นอยู่กับหนึ่งพิกัด (coordinate) เช่น  $v^{\omega} = v^{\omega}(x)$

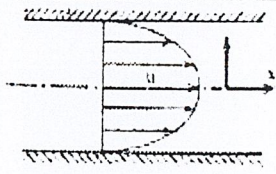
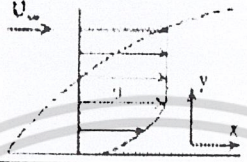

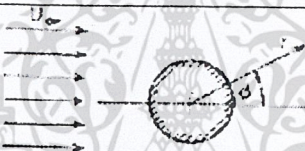


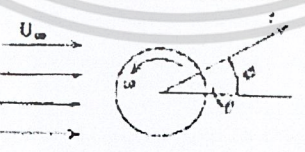
การไหลในสองมิติ (two dimensional flow) คือ การไหลที่ความเร็วของการไหลขึ้นอยู่กับสองพิกัด เช่น  $v^{\omega} = v^{\omega}(x, y)$

การไหลในสามมิติ (three dimensional flow) คือ การไหลที่ความเร็วของของไหลขึ้นอยู่กับสามพิกัด เช่น  $v^{\omega} = v^{\omega}(x, y, z)$

#### ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการไหลในแบบต่างๆ

ปัญหา	รูป	ชนิด	สนามความเร็ว
- การไหลอยู่ระหว่างแผ่นราบคู่ขนาน		การไหลในหนึ่งมิติ	$u = u(y)$

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ปัญหา	รูป	ชนิด	สนามความเร็ว
- การไหลตามท่อกลมยาว		การไหลในหนึ่งมิติ	$u = u(r)$
- การไหลทั่วผิวนราบ (ชั้นซิกผิว)			$u = u(x,y)$
- แพนอากาศ (airfoil) (พื้นที่ตัดขวางของปีกเครื่องบิน)		การไหลในสองมิติ	$\vec{v} = \vec{v}(x, y)$
- การไหลทั่วทรงกลม		การไหลในสองมิติ	$\vec{v} = \vec{v}(r, \phi)$
- ควันทันปล่องไฟ		การไหลในสามมิติ	$\vec{v} = \vec{v}(x, y, z)$
- คลื่นน้ำขณะเรือผ่าน		การไหลในสามมิติ	$\vec{v} = \vec{v}(x, y, z)$
- การไหลทั่วทรงกลมที่กำลังหมุน		การไหลในสามมิติ	$\vec{v} = \vec{v}(r, \phi, \theta)$

### 2.1.2 เส้นสายธาร (Streamline) เส้นทางไหล (Pathline) และเส้นใยการไหล (Streakline)

เส้นสายธาร คือ เส้นที่ลากสัมผัสกับทิศทางการไหลที่ทุกๆ จุดในสนามการไหลในขณะใดขณะหนึ่งและเนื่องจากเส้นสายธารสัมผัสกับความเร็วของการไหลที่ทุกๆ จุดในสนามการไหลหนึ่ง ดังนั้นจึงไม่มีการไหลข้ามเส้นสายธารนี้ ที่จุดๆ หนึ่งของเส้นสายธารพบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$$

โดยที่  $dx$ ,  $dy$  และ  $dz$  คือส่วนที่เปลี่ยนแปลง (increment) ของระยะตามเส้นสาย  
 ธารในทิศทาง  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ตามลำดับ  $u$ ,  $v$  และ  $w$  คือความเร็วย่อยในทิศทาง  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ตามลำดับ

เส้นทางไหล คือ เส้นที่ใช้แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหลในขณะใด  
 ขณะหนึ่งและเมื่ออยู่ในสถานะคงตัวพบว่าเส้นทางไหลและเส้นสายธารเป็นเส้นเดียวกัน

เส้นใยการไหล คือ เส้นที่ใช้แสดงตำแหน่งของอนุภาคของไหลทั้งหมดที่  
 ผ่านจุดกำหนดหนึ่งๆ อันเดียวกันในขณะหนึ่ง

สำหรับในสนามการไหลที่มีการไหลแบบคงตัวนั้น เส้นสายธาร เส้นทาง  
 ไหล และเส้นใยการไหล จะเป็นเส้นเดียวกันทั้งหมด และสำหรับในสนามการไหลที่มีการไหล  
 แบบไม่คงตัวนั้น เส้นสายธาร เส้นทางไหล และเส้นใยการไหล จะเป็นคนละเส้น

## 2.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณควบคุม (Basic Equation)

การวิเคราะห์เชิงปริมาณควบคุมเป็นการศึกษา การเคลื่อนที่ของไหลหนึ่งๆ โดย  
 พัฒนาสมการพื้นฐานอยู่ในรูปของอินทิกรัล เนื่องจากของไหลนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่าง  
 ต่อเนื่องตลอดเวลา จึงยากต่อการกำหนด และติดตามมวลของไหลอันเดียวกันนั้นได้ตลอดเวลา ใน  
 การวิเคราะห์จึงคำนึงถึงผลของการเคลื่อนไหวของของไหลทั้งหมดที่มีต่ออุปกรณ์ หรือ โครงสร้าง

### 2.2.1 สมการพื้นฐานสำหรับปริมาตรควบคุม (Basic Equation for Control Volume)

สมการพื้นฐานสำหรับใช้วิเคราะห์ปริมาตรควบคุม กล่าวว่า “อัตราการ  
 เปลี่ยนแปลงทั้งหมดของคุณสมบัติในระบบหนึ่งๆ ( $N$ ) เท่ากับผลรวมของอัตราการเปลี่ยนแปลง  
 ของคุณสมบัติ  $N$  ภายในปริมาตรควบคุม และอัตราการไหลออกโดยสุทธิของคุณสมบัติ  $N$  ที่ข้าม  
 ผ่านผิวของปริมาตรควบคุม” นั่นคือ

$$\left. \frac{dN}{dt} \right|_{\text{system}} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\text{Control-Volume}} \eta \rho dv + \int_{\text{Control-Surface}} \eta \rho \vec{V} d\vec{A} \quad \dots(2.1)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left. \frac{dN}{dt} \right|_{\text{system}} = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของคุณสมบัติในระบบ}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \eta \rho dv = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของ } N \text{ ภายในปริมาตรควบคุม}$$

$$N = \text{คุณสมบัติของของไหลที่ขึ้นกับมวล (Extensive Property)}$$

$$\eta = \text{คุณสมบัติของของไหลที่ไม่ขึ้นกับมวล (Intensive Property)}$$

$$\int_S \eta \rho \vec{V} d\vec{A} = \text{อัตราการไหลทั้งหมดของ } N \text{ ที่ข้ามผ่านพื้นผิวควบคุม}$$

จุดที่สำคัญในสมการที่ (2.1) คือ ความเร็ว  $\vec{V}$  เป็นปริมาตรที่วัดเทียบกับปริมาตรควบคุม โดยในสมการที่ (2.1) นั้น พิจารณาปริมาตรควบคุมคงที่เทียบกับพิกัด x,y,z โดยสนามความเร็วถูกกำหนดให้วัดเทียบกับพิกัดอ้างอิงอันเดียวกัน และเนื่องจากระบบหนึ่งๆ นั้นเคลื่อนที่ในสนามความเร็วที่กำหนดนี้ ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติ N ภายในปริมาตรควบคุมจึงวัดเทียบกับปริมาตรควบคุม

### 2.2.2 สมการคอนติวนิตี (Continuity Equation)

จาก Reynolds's Transport

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \eta \rho dv + \int_A \eta (\rho \vec{V} d\vec{A})$$

ให้  $N = m$  โดย  $m =$  มวลของของไหลที่ผ่าน Control Volume  
 $n = m/m = 1$  จะทำให้ได้สมการ

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dv + \int_A \rho \vec{V} d\vec{A}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลคงที่ จะทำให้ได้

$$\frac{\partial m}{\partial t} = 0 \quad \text{และทำให้ได้}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dv + \int_A \rho \vec{V} d\vec{A} = 0 \quad \dots(2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้ทฤษฎีของ Gauss เพื่อเปลี่ยน Area Integral เป็น Volume Integral จะได้

$$\int_A \rho \vec{V} dA = \int_V \frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial x} dv$$

แทนค่าในสมการที่ (2.2) ได้

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dv + \int_V \frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial x} = 0$$

$$v \frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial x} = 0$$

### 2.2.3 สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

จากสมการ Reynolds's Transport

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_V \eta \rho dv + \int_A \eta(\rho \vec{V} dA) \right]$$

ให้  $N = \bar{p} = m\vec{V}$  และ  $\eta = \frac{\bar{p}}{m} = \vec{V}$

ดังนั้นจะได้ Momentum Equation

$$\frac{\partial \bar{P}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \int_V \vec{V} \rho dv + \int_V (\rho \vec{V} \cdot d\vec{A}) \right] \quad \dots(2.3)$$

จากกฎข้อที่สองของ Newton

$$\vec{F} = \frac{d\bar{P}}{dt} = \frac{d(m\vec{V})}{dt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแรงที่กระทำกับ Control Volume จะมีแรงภายนอกที่กระทำกับ Control Volume (Surface Force,  $\vec{F}_S$ ) และแรงจากน้ำหนักของของไหลใน Control Volume (Body Force,  $\vec{F}_B$ )

$$\begin{aligned}\therefore \vec{F}_S &= \int_A \sigma dA \\ \vec{F}_B &= \int_V B dv \\ \vec{F} &= \vec{F}_S + \vec{F}_B = \int_A B dv\end{aligned}$$

แทนค่าลงในสมการที่ (2.3) และเขียนในรูป Tensor Form จะได้

$$\int_A \sigma_{ij} dA_j + \int_V B_i dv = \frac{\partial}{\partial t} \int_A u_i \rho dv + \int_A \rho u_i u_j dA_j \quad \dots(2.4)$$

ประยุกต์ทฤษฎีของ Gauss กับเทอมที่ 1 และ 4 เพื่อเปลี่ยน Area Integral เป็น Volume Integral

เทอมที่ 1

$$\int_A \sigma_{ij} dA_j = \int_V \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} dv$$

เทอมที่ 4

$$\int_A \rho u_i u_j dA_j = \int_V \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} dv$$

แทนเทอมที่ 1 และ 4 ลงในสมการที่ (2.4) จะได้

$$\int_V \left[ \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + B_i \right] dv = \int_V \left[ \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} \right] dv$$

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + B_i = \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + B_i = \frac{\rho \partial u_i}{\partial t} + \frac{u_j \partial \rho}{\partial t} + \frac{\rho u_j \partial u_j}{\partial x_j} + \frac{u_j \partial \rho u_j}{\partial x_j}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + B_i = \rho \left[ \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{u_j \partial u_i}{\partial x_j} \right] + u_i \left[ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} \right]$$

จากสมการ Continuity

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0$$

ดังนั้น เทอมที่ 4 จึงมีค่าเป็น 0 จะจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + B_i = \rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \nu \sum_{k=1}^N Y_k f_k = \rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

#### 2.2.4 สมการพลังงาน (Conservation of Energy)

ก่อนการสร้างสมการ Conservation of Energy เราจะต้องคำนึงถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิด Heat Flux (q) ซึ่งมี 2 ปรากฏการณ์นอกจาก การนำความร้อน คือ

1. เมื่อความเร็วเฉลี่ยของทิศทางใด ๆ ( $v_i$ ) ต่างกับ ความเร็วเฉลี่ยของมวล ( $V_i$ ) ทำให้เกิด Mass Flux ข้ามพื้นผิวของ Control Volume ซึ่งจะนำเอนทัลปีเฉลี่ย (ต่อหน่วยมวล) ( $h_i$ ) ข้ามพื้นผิวของ Control Volume มาด้วย ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $h_i \rho_i V_i Y_i$  ดังนั้นผลรวมของเอนทัลปีทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับผลรวมของทุกทิศทาง  $\rho \sum_{i=1}^N h_i Y_i V_i$  ซึ่งพลังงานส่วนนี้เป็นส่วนหนึ่งของ Heat Flux (q)

2. Dufour Effect จาก Onsager's Reciprocal Relation สำหรับระบบ Irreversible กล่าวไว้ว่าถ้าอุณหภูมิทำให้ความเร็วในการแพร่เพิ่มขึ้น (Thermal diffusion effect หรือ Soret effect) ความเข้มข้นของการเพิ่มความเร็ว จะทำให้เกิด Heat Flux ขึ้นลง Dufour effect มีค่าเท่ากับ

$$R_u T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left( \frac{X_j \alpha_i}{W_i D_{ij}} \right) (V_i - V_j)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่โดยทั่วไปแล้ว Dufour Heat Flux จะเกิดขึ้นน้อยมาก จึงสามารถตัดทิ้งได้  
 ดังนั้น Heat Flux ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะรวมจากการนำความร้อน และปรากฏการณ์ทั้งสอง  
 สามารถเขียนได้เป็น

$$q = -k\nabla T + \rho \sum_{i=1}^N h_i Y_i V_i + R_u T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left( \frac{X_i \alpha_i}{W_i D_{ij}} \right) (V_i / V_j)$$

เมื่อ เทอมที่ 1 คือ Heat Flux ที่เกิดจากการนำความร้อน  
 เทอมที่ 2 คือ Heat Flux ที่เกิดมาจากรังสีไหลผ่านพื้นผิวของ Control Volume แล้วนำเอนทาลปีเข้ามาใน Control Volume (น้อยมากเมื่อเทียบกับการพาความร้อน)  
 เทอมที่ 3 คือ Heat Flux ที่เกิดจาก Dufour effect (น้อยมากซึ่งในที่นี้จะไม่คำนึงถึง)

ดังนั้น

$$q = -k\nabla T$$

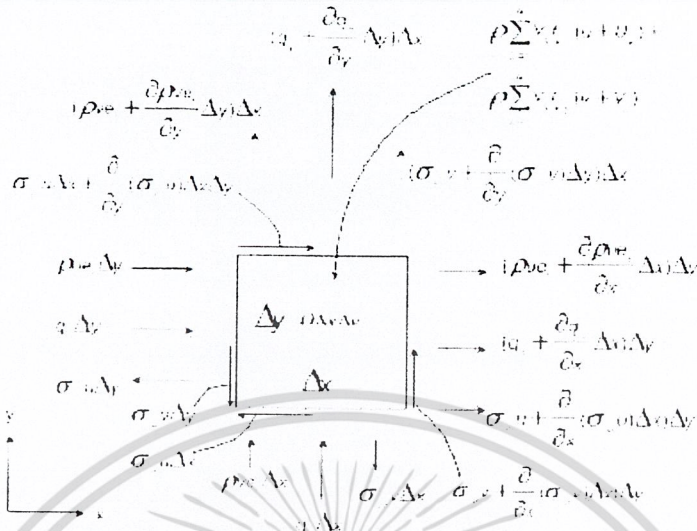
กำหนดพลังงานที่สะสมต่อหน่วยมวล

พลังงานภายในจำเพาะ

พลังงานจลน์จำเพาะ

ดังนั้น

ในการสร้างสมการ Conservation of Energy จะเริ่มต้นจากการสร้าง Differential Control Volume ที่อยู่นิ่ง โดยมีของไหลไหลผ่าน ซึ่งมีขนาด  $(\Delta x) \cdot (\Delta y) \cdot 1$  เราสามารถเขียนสมดุลพลังงานของของไหลใน Control Volume ได้ในภาพความสัมพันธ์แสดงในหน้าถัดไป



ภาพที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์สมดุลพลังงานของของไหลใน Control Volume

(1)	=	(2)	+	(3)	+	(4)	+	(5)
อัตราการสะสมพลังงานภายในและพลังงานจลน์		อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในและพลังงานจลน์จากการพาความร้อน		อัตราการเพิ่มความร้อนจาก Heat Flux		อัตราการเพิ่มความร้อนจากแหล่งความร้อน		งานสุทธิที่กระทำบน Control Volume จากสิ่งแวดล้อม

$$\text{เทอมที่ 1} = \frac{\partial \rho e_1}{\partial t} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot 1$$

$$\begin{aligned} \text{เทอมที่ 2} = & \rho u e_t \Delta y - \left( \rho u e_t + \frac{\partial \rho u e_t}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y + \rho v e_t \Delta x - \left( \rho v e_t + \frac{\partial \rho v e_t}{\partial y} \Delta y \right) \Delta x \\ & - \frac{\partial \rho u e_t}{\partial x} \Delta x \Delta y - \frac{\partial \rho v e_t}{\partial y} \Delta y \Delta x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เทอมที่ 3} = & q_x \Delta y - \left( q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y + q_y \Delta x - \left( q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} \Delta y \right) \Delta x \\ & - \frac{\partial q_x}{\partial x} \Delta x \Delta y - \frac{\partial q_y}{\partial y} \Delta x \Delta y \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เทอมที่ 4} = Q\Delta x\Delta y$$

เทอมที่ 5 = งานจาก Body Force + งานจาก Surface Force

$$\text{งานจาก Body Force} = \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x} (u + U_k) + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x} (v + V_k)$$

$$\begin{aligned} \text{งานจาก Surface Force} &= -\sigma_{xx} u \Delta y + \left( \sigma_{xx} u + \frac{\partial(\sigma_{xx} u)}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y \\ &\quad -\sigma_{yy} v \Delta x + \left( \sigma_{yy} v + \frac{\partial(\sigma_{yy} v)}{\partial y} \Delta y \right) \Delta x \\ &\quad -\sigma_{yx} u \Delta x + \left( \sigma_{xx} u + \frac{\partial(\sigma_{yx} u)}{\partial y} \Delta y \right) \Delta x \\ &\quad -\sigma_{xy} v \Delta y + \left( \sigma_{xy} v + \frac{\partial(\sigma_{xy} v)}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y \\ &= -\frac{\partial(\sigma_{xx} u)}{\partial x} \Delta x \Delta y + \frac{\partial(\sigma_{yy} v)}{\partial y} \Delta y \Delta x \\ &\quad + \frac{\partial(\sigma_{yx} u)}{\partial y} \Delta y \Delta x + \frac{\partial(\sigma_{xy} v)}{\partial x} \Delta x \Delta y \end{aligned}$$

รวมสมการทั้งหมดจะได้รูป

$$\frac{\partial(\rho e_t)}{\partial t} = -\frac{\partial(\rho u e_t)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v e_t)}{\partial y} - \frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} + Q + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x} (u + U_k)$$

$$\rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x} (v + V_k) + \frac{\partial(\sigma_{xx} u)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma_{yx} u)}{\partial y} + \frac{\partial(\sigma_{yy} v)}{\partial y} + \frac{\partial(\sigma_{xy} v)}{\partial x} \quad \dots(2.6)$$

จากสมการที่ (2.6) สามารถเขียนในรูปสมการ 3 มิติ ได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho e_t)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u e_t)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v e_t)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w e_t)}{\partial z} \\ = \frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{\partial q_z}{\partial z} + \dot{Q} + \frac{\partial(\sigma_{xx} u)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma_{yx} u)}{\partial y} + \frac{\partial(\sigma_{zx} u)}{\partial z} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial(q_{xy}v)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma_{yy}v)}{\partial y} + \frac{\partial(\sigma_{zy}v)}{\partial z} + \frac{\partial(q_{xz}w)}{\partial x} + \frac{\partial(\sigma_{yz}w)}{\partial y} + \frac{\partial(\sigma_{zz}w)}{\partial z} \\
& + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x}(u + U_k) + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x}(v + V_k) + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x}(w + W_k) \dots(2.7)
\end{aligned}$$

หรือเขียนในรูป Vector – Tensor Form จะได้

$$\frac{\partial(\rho e_t)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho e_t u_i)}{\partial x_i} = -\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + \dot{Q} + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,x}(u + V_{k,i}) + \frac{\partial \sigma_{ji} u_j}{\partial x_i} \dots(2.8)$$

เมื่อ  $i = x, y, z$

$j = x, y, z$

พิจารณาฝั่งซ้ายของสมการที่ (2.8) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\rho \frac{\partial e_t}{\partial t} + e_t \frac{\partial \rho}{\partial t} + e_t \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} + \rho u_i \frac{\partial e_t}{\partial x_i}$$

จากสมการ Continuity

$$\left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} \right) = 0$$

ทำการคูณ  $e_t$  เข้าไปทั้ง 2 ข้างของสมการได้

$$e_t \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} \right) = 0$$

ดังนั้นสมการที่ (2.8) จึงลดรูปเป็น

$$\rho \frac{\partial e_t}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial e_t}{\partial x_i} = -\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + \dot{Q} + \frac{\partial(\sigma_{ji} u_j)}{\partial x_i} + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,i}(u_i + V_{k,i}) \dots(2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ Momentum

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial u_t}{\partial \chi_j} = \frac{\partial \sigma_{ji}}{\partial \chi_i} + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,i}$$

คูณด้วย  $u_i$  จะได้สมการที่ 2.10 ซึ่งเป็นพลังงานทางกลของของไหล

$$\rho \frac{\partial (\frac{1}{2} u_i u_i)}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial u_i}{\partial \chi_j} = \frac{\partial \sigma_{ji}}{\partial \chi_i} + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,i} \quad \dots(2.10)$$

นำสมการที่ 2.9 ลบด้วยสมการที่ 2.10 จะได้

$$\rho \frac{\partial e}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial e_i}{\partial \chi_j} = \frac{\partial q_i}{\partial \chi_i} + \dot{Q} + \sigma_{ji} \frac{\partial u_i}{\partial \chi_j} - \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,i} v_{k,i} \quad \dots(2.11)$$

จาก Deformation Tensor

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial \chi_j} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial \chi_j} + \frac{\partial u_j}{\partial \chi_i} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial \chi_j} - \frac{\partial u_j}{\partial \chi_i} \right) \\ &= e_{ij} + \omega_{ij} \end{aligned}$$

$e_{ij}$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดในรูป Tensor Form ซึ่งเป็นส่วนที่สมมาตรของสมการ

$\omega_{ij}$  คือความเร็วเชิงมุมในรูป Tensor Form ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สมมาตรของสมการ

$$\sigma_{ij} + \omega_{ij} = (\text{ส่วนสมมาตร}) \times (\text{ส่วนที่ไม่สมมาตร})$$

$$\text{ดังนั้น } \sigma_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial \chi_j} = \sigma_{ij} (e_{ij} + \omega_{ij}) = \sigma_{ij} e_{ij}$$

$$\text{จาก } \sigma_{ij} = -\rho \delta_{ij} + \left( \mu' - \frac{2}{3} \mu \right) \frac{\partial u_k}{\partial \chi_k} \delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial \chi_j} + \frac{\partial u_j}{\partial \chi_i} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

$$\sigma_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{1}{2} \left( -p - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + 2\mu e_{ij} e_{ij}$$

แทนค่า  $\sigma_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$  ลงในสมการ 2.11 จะได้

$$\rho \frac{De}{Dt} = \underbrace{-\frac{\partial q_i}{\partial x_j}}_{(1)} - \underbrace{p \frac{\partial u_j}{\partial x_j}}_{(2)} - \underbrace{\frac{2}{3} \mu \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right)^2}_{(3)} + \underbrace{2\mu e_{ij} l_{ij}}_{(4)} + \underbrace{\dot{Q}}_{(5)} + \underbrace{\rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,i} V_{k,i}}_{(6)} \dots (2.12)$$

โดย

- (1) คืออัตราการเพิ่มพลังงานภายใน
- (2) คือ heat flux จากการนำความร้อน, การแพร่ และ Dufour effect
- (3) คือ flow work
- (4) คือ  $\Phi$ , งานจากความเค้น
- (5) คือความร้อนจาก Heat source
- (6) คืองานจาก Body Force

จากสมการ 2.12 พิจารณาเทอมแรกทางซ้ายมือ  $\frac{De}{Dt}$  เมื่อ  $l = h - \frac{p}{\rho}$

$$\begin{aligned} \frac{De}{Dt} &= \frac{Dh}{Dt} - \frac{1}{\rho} \frac{Dp}{Dt} + \frac{\rho_2}{\rho} \frac{Dp}{Dt} \\ \rho \frac{De}{Dt} &= \rho \frac{Dh}{Dt} - \frac{Dp}{Dt} + \frac{\rho}{\rho} \frac{Dp}{Dt} \end{aligned} \dots (2.13)$$

พิจารณา

$$\frac{1}{\rho} \frac{Dp}{Dt} = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial p}{\partial t} + \mu \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} + w \frac{\partial p}{\partial z} \right] \dots (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดงงปลอมนี้ด้วย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{แต่ } u \frac{\partial \rho}{\partial x} &= \frac{\partial u \rho}{\partial x} - \rho \frac{\partial u}{\partial x} \\
 v \frac{\partial \rho}{\partial y} &= \frac{\partial v \rho}{\partial y} - \rho \frac{\partial v}{\partial y} \\
 w \frac{\partial \rho}{\partial z} &= \frac{\partial w \rho}{\partial z} - \rho \frac{\partial w}{\partial z}
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots(2.15)$$

แทนค่าสมการ 2.15 ลงในสมการ 2.14 ได้

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \mu \frac{\partial u \rho}{\partial x} - \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v \rho}{\partial y} - \rho \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w \rho}{\partial z} - \rho \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad \dots\dots(2.16)$$

จากสมการ Continuity

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$

ดังนั้นสมการ 2.16 จะเหลือ

$$\frac{1}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial u_1}{\partial x_1} \quad \dots\dots(2.17)$$

แทนค่าลงในสมการที่ 2.13

$$\begin{aligned}
 \rho \frac{De}{Dt} &= \rho \frac{Dh}{Dt} - \frac{D\rho}{Dt} + \frac{\rho}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} \\
 &= \rho \frac{Dh}{Dt} - \frac{D\rho}{Dt} - \rho \frac{\partial u_1}{\partial x_1}
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots(2.18)$$

แทนค่าสมการ 2.18 ลงในเทอมแรกของสมการที่ 2.12 ข้างต้น เพื่อจัดรูปสมการพลังงานให้อยู่ในรูปเอนทาลปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho \frac{Dh}{Dt} - \frac{Dp}{Dt} = -\nabla \cdot q + \Phi + \dot{Q} + \rho \sum_{k=1}^{Nn} Y_k f_k V_k \quad \dots\dots(2.19)$$

นำสมการ 2.19 บวกกับสมการพลังงานกลของของไหล (สมการที่ 2.10) จะได้

$$\rho \frac{D(h + \frac{u_i u_i}{2})}{Dt} - \frac{Dp}{Dt} = u_i \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \dot{Q} - \nabla \cdot q + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_k (u + V_k) + \Phi \quad \dots\dots(2.20)$$

จาก

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \tau_{ij}$$

$$h_{ij} = j + \frac{u_i u_i}{2}$$

สมการ (2.20) จะเหลือ

$$\rho \frac{Dh_t}{Dt} - \frac{\partial p}{\partial t} - \mu_i \frac{\partial \rho}{\partial x_i} = -u_i \frac{\partial \rho}{\partial x_j} \delta_{ij} + u_i \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \Phi + \dot{Q} - \nabla \cdot q + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_k (u + V_k) \quad \dots\dots(2.21)$$

ซึ่ง

$$\tau_{ij} = \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} + \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) = \sigma_{ij} + p\delta_{ij}$$

$$u_i = \frac{\partial p}{\partial x_j} \delta_{ij} = u_i \frac{\partial p}{\partial x_i}$$

แทนลงในสมการ (2.21) และจัดรูปใหม่ได้

$$\begin{aligned} \rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \left( \frac{\partial p}{\partial t} + u_x \frac{\partial p}{\partial x} + u_y \frac{\partial p}{\partial y} + u_z \frac{\partial p}{\partial z} \right) \\ = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 z} \right) - \sum_{i=1}^N \omega_i \Delta h_{f,i} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
& - \left[ \frac{\partial \left( \rho T \sum_{i=1}^N C_{pi} Y_i V_{ix} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left( \rho T \sum_{i=1}^N C_{pi} Y_i V_{iy} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left( \rho T \sum_{i=1}^N C_{pi} Y_i V_{iz} \right)}{\partial z} + \right] \\
& + \mu \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_y}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u_z}{\partial z} \right)^2 \right] + \left[ \frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right]^2 + \left[ \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right]^2 \right. \\
& \left. + \left[ \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right]^2 - \frac{2}{3} \left[ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right]^2 \right\} \\
& + \rho \sum_{k=1}^N Y_k (f_{kx} V_{kx} + f_{ky} V_{ky} + f_{kz} V_{kz})
\end{aligned}$$

## 2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

### 2.3.1 สมการพื้นฐานของการนำความร้อน (Conduction Equation)

การนำความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงผ่านตัวกลางไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานกันในแต่ละอนุภาค โดยอนุภาคที่อยู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงจะมีระดับพลังงานสูง ซึ่งอนุภาคจะเกิดการสั่นอย่างรวดเร็วและเกิดการชนกันของอนุภาคแล้วจะเกิดการเคลื่อนที่โดยมีการแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์กับอนุภาคที่ระดับพลังงานต่ำในกรณีของโลหะจะเป็นการไหลของกระแสอิเล็กตรอน สำหรับของแข็งที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระมากมายที่เคลื่อนไหวอยู่ภายในโครงสร้างซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าวัตถุที่นำความร้อนได้ดีจะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย

ในการวัดการถ่ายเทความร้อนในตัวกลางไม่สามารถวัดได้โดยตรง ดังนั้นจึงใช้วิธีการวัดการกระจายอุณหภูมิของวัตถุแทน ซึ่งจะใช้อุปกรณ์เทอร์โมคอปเปิล เทอร์มิสเตอร์ และเทอร์โมมิเตอร์ในการวัด โดยการไหลของความร้อนในตัวกลางจะเป็นการคำนวณได้จากการวัดสนามของอุณหภูมิของผนังซึ่งจะเป็นรากฐานของการนำความร้อนจากกฎของฟูริเยร์ (Fourier Law) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า อัตราการนำความร้อนในทิศทางที่กำหนดจะเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อนและการเคียนของอุณหภูมิในทิศทางนั้น สำหรับการไหลของความร้อนในทิศทาง x กฎของฟูริเยร์กำหนดได้เป็น

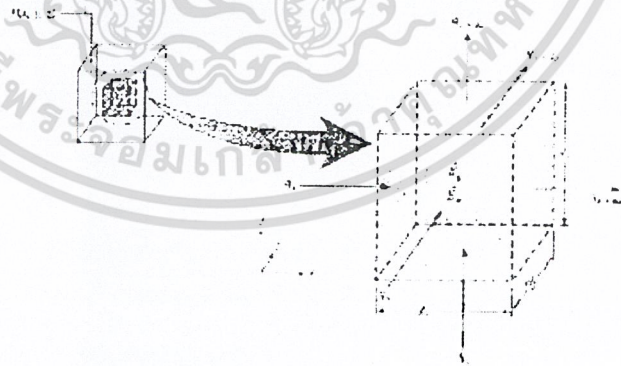
$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{W} \quad \dots\dots\dots(2.21a)$$

หรือ  $q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{W/m}^2 \quad \dots\dots\dots(2.21a)$

โดยที่  $q_x$  คือ อัตราการนำความร้อนผ่านพื้นที่หน้าตัด A ในทิศทางบวก  
 $q_x''$  คือ ฟลักซ์ความร้อนในทิศทางบวก x  
 k คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity of material) และเป็นค่าบวก

**2.3.2 สมการการกระจายความร้อน (The Heat Diffusion Equation)**

พิจารณาในตัวกลางเนื้อเดียวกันการกระจายของอุณหภูมิ T (x,y,z) จึงกำหนดในพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) เรากำหนดปริมาณควบคุมเล็กๆมากๆ dx, dy, dz ตามรูปที่ 2.1 ถ้ามีเกรเดียนต์อุณหภูมิแล้วการนำความร้อนจะเกิดขึ้นบริเวณตรงข้ามของแต่ละอันของผิวควบคุม อัตราการนำความร้อนนี้จะตั้งฉากกับผิวควบคุมแต่ละอันที่ตำแหน่งโคออร์ดิเนต x,y,z ซึ่งแสดงในเทอมของ  $q_x, q_y, q_z$  ตามลำดับ อัตราการนำความร้อนที่ผิวตรงข้ามสามารถกระจายโดยอนุกรมเทลเลอร์ (Taylor series expansion) โดยไม่คิดเทอมลำดับสูงๆ (Higher order terms)



ภาพที่ 2.2 แสดงปริมาตรควบคุม dx, dy, dz ในการวิเคราะห์ในพิกัดคาร์ทีเซียน

$$q_{x+\Delta x} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \quad \dots\dots\dots(2.22a)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_{y+\Delta y} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \quad \dots\dots\dots(2.22b)$$

$$q_{z+\Delta z} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz \quad \dots\dots\dots(2.22c)$$

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

$$E_q = q dx dy dz \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

โดยที่  $q$  คืออัตราพลังงานที่ผลิตขึ้นในตัวกลางต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ( $W/m^3$ ) ในการเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความร้อนที่ถูกเก็บไว้ในวัสดุในปริมาตรควบคุม ถ้าวัสดุไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะโดยที่ผลกระทบของพลังงานที่แฝง (Latent Energy) จะไม่มีผลกระทบ พลังงานที่เก็บไว้จะแสดงดังนี้

$$E_{st} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

โดยที่  $\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของตัวกลางต่อเวลาที่เปลี่ยนไปต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ในขั้นตอนสุดท้ายจะแสดงในรูปทั่วไปของกฎทรงพลังงานจะแสดงดังสมการ

$$E_m + E_g - E_{out} = E_{st} \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าอัตราการนำความร้อนประกอบด้วย ( $E_x$ ) และไหลออก ( $E_{out}$ ) ของพลังงานแล้วแทน (2.23) และ (2.24) จะได้

$$q_x + q_y + q_z + q dx dy dz - q_{x+\Delta x} - q_{y+\Delta y} - q_{z+\Delta z} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

แทนด้วยสมการ (2.2) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} dx - \frac{\partial q_y}{\partial y} dy - \frac{\partial q_z}{\partial z} dz + q dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

จากกฎของฟูริเยร์อัตราการนำความร้อนสามารถประมาณได้เท่ากับ

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad \dots\dots\dots(2.28a)$$

$$q_y = -k \frac{\partial T}{\partial y} \quad \dots\dots\dots(2.28b)$$

$$q_z = -k \frac{\partial T}{\partial z} \quad \dots\dots\dots(2.28c)$$

แทนสมการ (2.28) ลงในสมการ (2.27) และหารตลอดด้วยมิติของปริมาตรควบคุม (dx dy dz) จะได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

จากสมการ 2.29 เป็นรูปทั่วไปในพิกัดคาร์ทีเซียนของสมการการฟุ้งกระจายของความร้อน โดยทั่วไปจะเรียกสมการนี้ว่า สมการความร้อน ซึ่งจะเป็นเครื่องมือ ในการวิเคราะห์การนำความร้อนสำหรับกรณีค่า k คงที่สมการความร้อนแสดงดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{\rho}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

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

### 2.3.3 การนำความร้อนในสถานะสม่ำเสมอหนึ่งมิติ (One Dimensional Steady-State)

ในที่นี้จะเป็นการพิจารณาเกี่ยวกับปัญหาการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอในหนึ่งมิติเพื่อหาการกระจายของอุณหภูมิและความร้อนที่ไหลภายในวัตถุที่รูปร่างแบบผนังเรียบ ลักษณะการนำความร้อนแบบสม่ำเสมอที่จะกล่าวถึงนี้จะมีเกรเดียนต์ของอุณหภูมิและการไหลของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางเพียงทิศทางเดียว โดยที่อุณหภูมิแต่ละจุดของวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

### 2.3.3.1 การกระจายของอุณหภูมิในผนังเรียบ

การกระจายอุณหภูมิในผนัง หาได้จากสมการการฟุ้งกระจายของความร้อนและเงื่อนไขที่ขอบแบบต่างๆ ตามเงื่อนไขดังกล่าว และไม่มีการผลิตความร้อนภายในผนัง ดังนั้นจะสามารถลดรูปสมการเป็น

$$\frac{d}{dx} \left( k \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

ถ้าสมมติว่าค่า  $k$  คงที่ และทำการอินทิเกรต 2 ครั้ง จะได้คำตอบทั่วไปเป็น

$$T(x) = C_1 x + C_2 \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

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

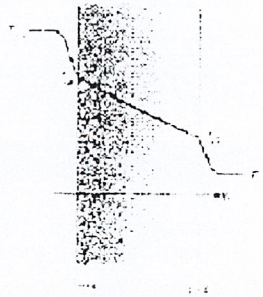
$$T(0) = T_{s,1} \quad \text{และ} \quad T(L) = T_{s,2}$$

ประยุกต์เงื่อนไขที่  $x = 0$  ลงในสมการทั่วไปในสมการ (2.32) จะได้  $T_{s,1} = C_2$  ประยุกต์เงื่อนไขที่ขอบเป็นที่  $x = L$  จะได้

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

ดังนั้นจะสามารถหาค่า  $C_1$  ได้

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



ภาพที่ 2.3 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเรียบ

แทนค่าคงที่จากการอินทิเกรตลงในสมการทั่วไปจะได้สมการการกระจายของอุณหภูมิดังนี้

$$T(x) = (T_{s,2} - T_{s,1}) \frac{x}{L} + T_{s,1} \dots\dots\dots(2.33)$$

จากสมการการกระจายอุณหภูมิ (2.33) สามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = kA (T_{s,1} - T_{s,2}) \dots\dots\dots(2.34)$$

**2.3.3.2 ความต้านทานความร้อน Thermal Resistance)**

ในที่นี้เรานำสมการ (2.34) ซึ่งให้แนวทางสำคัญมากมาใช้นั้นคือ ความคล้ายคลึงระหว่างการฟุ้งกระจายของความร้อนและประจุไฟฟ้า โดยความต้านทานทางไฟฟ้านั้นจะเกี่ยวกับการนำทางไฟฟ้า ดังนั้นความต้านทานทางไฟฟ้าจึงเกี่ยวข้องกับการนำความร้อน จากสมการ (2.34) ความต้านทานการนำความร้อนคือ

$$R_{1,cond} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \dots\dots\dots(2.35)$$

ในการทำงานเดียวกันสำหรับการนำความร้อนในระบบที่เหมือนกัน กฎของโอห์มได้ให้รูปแบบความต้านทานทางไฟฟ้าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_c \equiv \frac{E_{r,1} - E_{r,2}}{I} = \frac{L}{\sigma A} \quad \dots\dots\dots(2.36)$$

จากสมการ (2.35) และ (2.36) ยังสามารถพิจารณาในส่วนของความต้านทานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อนที่ผิว จากกฎของการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law Of Cooling)

$$q = hA (T_s - T_\infty) \quad \dots\dots\dots(2.37)$$

ความต้านทานการพาความร้อนสำหรับการพาความร้อนเป็น

$$R_{t,conv} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{L}{hA} \quad \dots\dots\dots(2.38)$$

วงจรความร้อนสมมูลสำหรับผนังเรียบที่มีการพาความร้อนที่ผิวแสดงในรูปที่ 2.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนหาได้จากการแยกพิจารณาในแต่ละช่วงของวงจร ซึ่งจะได้

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{l/h_1A} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{L/kA} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,2}}{l/h_2A} \quad \dots\dots\dots(2.39)$$

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

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} \quad \dots\dots\dots(2.40)$$

เนื่องจากความต้านทานการนำและการพาต่ออนุกรมกัน จึงนำมารวมกันในแต่ละช่วงจึงสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$R_{tot} = \frac{l}{h_1A} + \frac{L}{kA} + \frac{l}{h_2A} \quad \dots\dots\dots(2.41)$$

นอกจากนี้แล้วยังสามารถพิจารณาในส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีที่ผิว  $T_s$  กับสิ่งแวดล้อม  $T_{sur}$  ในลักษณะความต้านทานความร้อน โดยการแผ่รังสีเขียนสมการเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{i,rad} = \frac{T_s - T_{surr}}{q_{rad}} = \frac{1}{h, A} \quad \dots\dots\dots(2.42)$$

โดย  $h$ , สามารถคำนวณได้จาก  $h, \equiv \varepsilon\sigma(T_s + T_{surr})(T_s^2 + T_{surr}^2)$

## 2.4 ทฤษฎีการพาความร้อน (Convection Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่จะกล่าวในที่นี้จะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็งที่เกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับของแข็ง กลไกการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อนในที่นี้จะได้อธิบายลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เรียกว่า การพาความร้อนอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or Natural Convection) และการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ซึ่งจะได้จำลองหลักการมาประยุกต์ใช้ในส่วนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาอุปกรณ์ Solar Cooling Chimney เพื่อให้ลักษณะการคำนวณการถ่ายเทความร้อนง่ายขึ้นและสะดวกระหว่างผิวที่ร้อน  $T_w$  และอุณหภูมิของของไหลเย็นที่ไหลผ่านบนผิวที่อุณหภูมิ  $T_f$  โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  $h$  จึงกำหนดสมการความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะดังสมการดังนี้

$$q = h [T_w - T_f] \quad \dots\dots\dots(2.43)$$

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

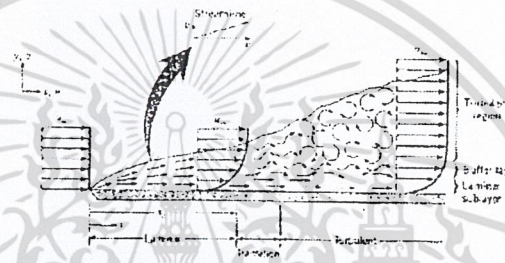
### 2.4.1 การพาแบบบังคับสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ (Force Convection for Flow over Bodies)

การพาความร้อนของของไหลที่เกิดขึ้นและทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในของของไหล 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

**2.4.1.1 การไหลบนแผ่นราบเรียบ (The Flat Plate in Parallel Flow)**

การไหลของของไหลผ่านแผ่นเรียบถ้าแผ่นเรียบนั้นยาวมากจะเกิด บาวด์ารีเลเยอร์ขึ้นทั้งแบบลามินาร์และแบบเทอร์บูลเลนต์ โดยลามินาร์บาวด์ารีเลเยอร์จะ เกิดขึ้นก่อนและเมื่อ  $x$  เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งจากนั้นจะเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition) แล้วจึงจะ เข้าสู่ช่วงเทอร์บูลเลนต์ เมื่อ  $x$  เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดบาวด์ารีเลเยอร์บนแผ่นเรียบ

ในการคำนวณหาพฤติกรรมของบาวด์ารีเลเยอร์นั้นจะสมมุติว่าอยู่ในช่วง Transition เกิดขึ้นที่ ตำแหน่ง  $x_c$  ตำแหน่งที่ได้จากกลุ่มตัวแปรไร้มิติจึงเรียกว่า (Reynolds Number,  $Re$ )

$$Re_x = \frac{\rho u_\infty x}{\mu} \dots\dots\dots(2.44)$$

โดยที่ค่า  $x$  เป็นระยะทางจากขอบด้านหน้า สำหรับการไหลภายนอกวัตถุค่า  $Re$  ที่เกิดขึ้นในช่วง Transition จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่  $10^5$  ถึง  $3 \times 10^6$  สำหรับการปั่นป่วนของกระแสน้ำโดยปกติแล้วจะมีค่า  $Re$  อยู่ที่  $5 \times 10^5$

**2.4.1.2 การไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow)**

พารามิเตอร์ของการพาที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบลามินาร์ ซึ่งการแก้ปัญหา ซึ่งการแก้ปัญหามิใช่การแก้ปัญหาลามินาร์ที่เหมาะสมของการบาวด์ารีเลเยอร์ โดยใช้ Similarity Variable ซึ่งจะใช้ Similarity Solution สำหรับการพาความร้อนที่พื้นผิว โดยมีอุณหภูมิสมมติค่าของ Local Nusselt จะถูกกำหนดอยู่รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0.332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(2.45)$$

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของการไหลแบบลามินาร์จะแสดงดังนี้

$$\bar{h}_x = \frac{I}{x} \int_0^x h_x dx = 0.322 \left(\frac{k}{x}\right) Pr^{1/3} \left(\frac{u_\infty}{U}\right)^{1/2} \int_0^x \frac{dx}{x^{1/2}} \dots\dots\dots(2.46)$$

อินทิเกรตแล้วแทนค่าสมการ (2.45) จะได้ว่า  $\bar{h}_x = 2 h_x$  แทนค่าสมการ (2.44) จะได้สมการดังนี้

$$\bar{Nu}_x = \frac{\bar{h}_x x}{k} = 0.664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \geq 0.6 \dots\dots\dots(2.47)$$

**2.4.1.3 การไหลแบบเทอร์บูเลนต์ (Turbulent Flow)**

สำหรับการไหลแบบเทอร์บูเลนต์ ค่า Re ใดๆ จะมีค่าอยู่ระหว่าง  $5 \times 10^5$  ถึง  $10^7$  ดังนั้นค่า Nusselt Number จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0.0296 Re_x^{1/5} Pr^{1/3} \quad 0.6 < Pr < 60 \dots\dots\dots(2.48)$$

ส่วนการหาค่าเฉลี่ยของ Nusselt Number สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.46)

$$\bar{h}_x = \frac{I}{(L - L_c)_c} \int_0^x h_x dx \dots\dots\dots(2.49)$$

**2.4.2 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)**

การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นก่อน โดยความแตกต่างของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นในของไหล การแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิกายในของไหลนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในสนามความโน้มถ่วงผลก็คืออุณหภูมิต่ำที่มีความหนาแน่นต่ำจะพยายามลอยตัวขึ้นในขณะที่ขีวกับการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่มีความหนาแน่นมากจะเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ แรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนได้นี้ เรียกว่า แรงลอยตัว (Buoyancy Force) สถานการณ์การเคลื่อนที่ซึ่งการเคลื่อนที่ของของไหลแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free or Natural Convection)

**2.4.2.1 สมการเอมไพริคัลสำหรับการไหลภายนอกวัตถุ (External Free Convection Flows)**

ในที่นี้จะสรุปสหพันธ์เอมพิริคัลที่เหมาะสมซึ่งได้พัฒนาขึ้นสำหรับวัตถุรูปทรงเลขาคณิตที่วางอยู่ในของไหล ซึ่งจะเป็นสิ่งเหมาะสมในการคำนวณทางวิศวกรรมมากที่สุด สมการทั่วไปจะอยู่ในรูป

$$\overline{Nu}_L = \frac{h L}{k} = C Ra_L^n \dots\dots\dots(2.50)$$

เมื่อ Ra (Rayleigh number) มีค่าเท่ากับ

$$Ra = Gr_L Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu \alpha} \dots\dots\dots(2.51)$$

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

ซึ่งค่าของแกรสฮอฟฟ์นัมเบอร์ (Grashof Number,  $Gr_L$ ) เป็นการแทนอัตราส่วนของแรงลอยตัวต่อแรงจากความหนืดซึ่งกระทำต่อการไหล โดยที่ L เป็นความยาวตามลักษณะของรูปทรงค่า  $n = 1/4$  สำหรับการไหลแบบลามินาร์ ส่วนการไหลแบบเทอร์บูเลนต์นั้นค่า  $n = 1/3$  นอกจากนี้ค่าคุณสมบัติต่างๆ จะต้องอยู่ภายใต้อุณหภูมิฟิล์ม  $T_f$  ซึ่งก็คืออุณหภูมิที่บาร์คาร์เรเลเยอร์เฉลี่ยนั่นเอง หาได้จากสมการดังนี้

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \dots\dots\dots(2.52)$$

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

**1) แผ่นเรียบวางอยู่ในแนวเอียง (Inclined Plate)**

Churchill และ Chu ได้แนะนำสมการในการคำนวณค่าการไหลแบบลามินาร์ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{\left[ 1 + (0.492 / Pr)^{9/16} \right]^{1/4}} \right\}^2 \quad 0 < Ra_L < 10^9 \dots\dots\dots(2.53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการแทนค่า  $g$  เท่ากับ  $g \cos \theta$  ในค่า  $Ra$  ในสมการ (2.51) สำหรับกรไหลแบบเทอร์บูลენტจะสามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \dots\dots\dots(2.54)$$

2) แผ่นเรียบในแนวนอน (Horizontal Plate)

สำหรับกรณีนี้รูปแบบของสมการจะขึ้นอยู่กับแผ่นเรียบเป็นแผ่นร้อนหรือแผ่นเย็น เมื่อเทียบกับของไหลที่ล้อมรอบ โดยถือว่าแผ่นเรียบมีหน้าเดียว McAdams [1952] ได้แสดงสมการสหพันธ์ที่มาใช้โดยการปัดปรุค่า  $L$  ใหม่ให้ขึ้นอยู่กับความยาวเฉพาะ กำหนดเป็น

$$L = \frac{A_s}{P} \dots\dots\dots(2.55)$$

โดยที่  $A_s$  และ  $P$  เป็นพื้นที่ผิวและเส้นรอบรูปของแผ่นลำดับ ดังนั้นสหพันธ์ที่ใช้คือ

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

$$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (Ra_L < 2 \times 10^8) \dots\dots\dots(2.56)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \dots\dots\dots(2.57)$$

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

$$\overline{Nu}_L = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \dots\dots\dots(2.58)$$

สมการที่กล่าวมาสำหรับกรณีอุณหภูมิต่ำที่ผิวคงที่ กรณีฟลักซ์ของความร้อนคงที่ ต้องใช้สมการดังต่อไปนี้

ก. สำหรับแผ่นเรียบแนวนอนที่แผ่นร้อนหงายขึ้น

$$\overline{Nu}_L = 0.13 Ra_L^{1/4} \quad (Ra_L < 2 \times 10^8) \dots\dots\dots(2.59)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\overline{Nu}_L = 0.16 Ra_L^{1/3} \quad (5 \times 10^8 < Ra_L < 10^{11}) \dots\dots\dots(2.60)$$

ข. สำหรับแผ่นร้อนคว่ำลง

$$\overline{Nu}_L = 0.58 Ra_L^{1/5} \quad (10^6 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \dots\dots\dots(2.61)$$

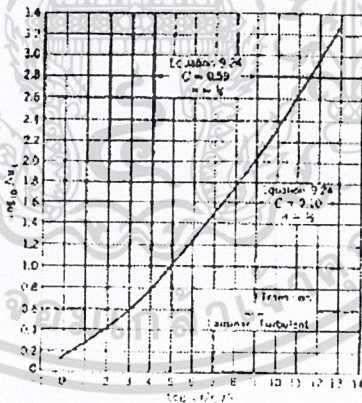
สำหรับกรณีของฟลักซ์ของความร้อนคงที่ คุณสมบัติต่างๆ ที่ใช้หาที่อุณหภูมิเฉลี่ยจึงกำหนดเป็น

$$T_f = T_s - 0.25 (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(2.62)$$

โดย  $\beta$  ยังหาค่าที่  $T_f = (T_s - T_\infty)/2$

### 3) แผ่นเรียบแนวตั้ง (Vertical plate)

จากสมการสหพันธ์ ได้ถูกพัฒนาสำหรับแผ่นเรียบแนวตั้งและค่าสัมประสิทธิ์ของ C และค่ากำลังสอง n จะขึ้นอยู่กับช่วงของค่า Ra สำหรับ  $Ra \leq 10^4$  ค่าของ Nu สามารถหาได้โดยตรงจากรูปได้ทันที



ภาพที่ 2.5 แสดงค่า Nu สำหรับการพาความร้อนอิสระจากแผ่นเรียบแนวตั้ง

Churchill และ Chu [1975] ได้แสดงสมการสหพันธ์ตลอดช่วงค่า  $Ra_L$  ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + (0.492 / Pr) \right]^{1/4} \left[ 1 + (Ra_L / 10^9) \right]^{1/27}} \right\}^2 \quad 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \dots\dots\dots(2.63)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการแทนสมการ (2.66) สามารถใช้ได้ตลอดช่วงเวลามินาร์และเทอร์บูเลนซ์ ส่วนสมการที่ให้ ความแม่นยำมากในช่วงลามินาร์แสดงได้ดังนี้

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \right\} \quad 0 < Ra_L < 10^9 \quad \dots\dots\dots(2.64)$$

สำหรับสมการทั้งสองสามารถใช้ได้กับกรณีอุณหภูมิของแผ่นเรียบคงที่ แต่ถ้าเงื่อนไขมีการ เปลี่ยนไปเป็นฟังก์ชันของความร้อนคงที่สมการดังกล่าวก็ยังคงสามารถใช้ได้และให้ความถูกต้อง พอประมาณ

จากที่กล่าวมาทั้งสามรูปแบบนั้นการหาค่าคุณสมบัติต่างๆ สามารถหาได้จากการประมาณ ค่าอุณหภูมิ  $T_f \equiv (T_s + T_\infty)/2$

## 2.5 ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation Method)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะถูกส่งออกโดย วัตถุ โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์สัมบูรณ์จะสามารถแผ่รังสีความร้อนได้ การแผ่รังสี ความร้อนในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีการแผ่รังสีจากวัตถุใดๆ ที่อุณหภูมิ  $T_s$  จะพิจารณาว่าการ ปล่อยออกทุกความยาวคลื่นจาก  $\lambda = 0$  ถึง  $\lambda = \infty$  ที่พบมากที่สุดทางวิศวกรรม พลังงานความ ร้อนที่ปล่อยออกจะอยู่ในช่วง  $\lambda = 0.1$  ถึง  $\lambda = 100 \mu m$  โดยที่แถบช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัม ระหว่าง  $\lambda = 0.1$  ถึง  $\lambda = 100 \mu m$  จึงถูกอ้างว่าเป็นช่วง “การแผ่รังสีความร้อน” โดยปกติดวง อาทิตย์จะส่งรังสีความร้อนที่อุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 5800 K กลุ่มของพลังงานจะอยู่ในช่วงความ ยาวระหว่าง  $\lambda = 0.1$  ถึง  $\lambda = 0.3 \mu m$  โดยทั่วไปสเปกตรัมทั่วไปของ “การแผ่รังสีของดวง อาทิตย์” จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง  $\lambda = 0.4$  ถึง  $\lambda = 0.7 \mu m$  ซึ่งสามารถมองเห็นด้วยตา และเรียกสเปกตรัมนี้ว่าเป็น “การแผ่รังสีที่มองเห็นได้”

### 2.5.1 กำลังในการปล่อยรังสีออก (Emissive Power)

กำลังในการปล่อยออก (E) หมายถึงปริมาณการแผ่รังสีที่มีการปล่อยออกต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. กำลังปล่อยออกที่ความยาวคลื่นหนึ่งโดยใช้  $E_\lambda$  นิยามเป็นอัตราการแผ่ รังสีของความยาวคลื่น  $\lambda$  ที่ปล่อยออกในทุกทิศทางจากพื้นผิวหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยความยาว  $d\lambda$  รอบ  $\lambda$  และต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว ดังนั้นจะสามารถหาค่า E ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{\lambda}(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda, r}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad (\text{W m}^{-2} \cdot \mu\text{m}) \quad \dots\dots\dots(2.65)$$

2. กำลังปล่อยออกทั้งหมด โดยใช้ (E) หมายถึงอัตราการแผ่รังสีทั้งหมดที่ปล่อยออกต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งก็คือเป็นการรวมกันของ  $E_{\lambda}$  ทุกความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

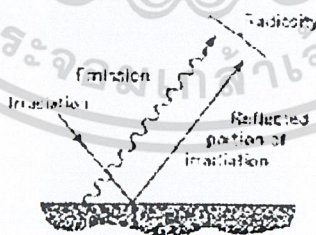
$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (\text{W m}^{-2}) \quad \dots\dots\dots(2.66)$$

### 2.5.2 เรดิโอซิตี (Radiosity)

เรดิโอซิตีหมายถึงรังสีทั้งหมดที่ออกไปจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ เนื่องจากการแผ่รังสีจะรวมรังสีที่แผ่ออกจากพื้นผิวนั้นและรังสีที่มาจากที่อื่นซึ่งตกกระทบบนพื้นผิวนั้นแล้วสะท้อนออกจากผิวโดยทั่วไปแล้วจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ

1. Spectral Radiosity ( $J_{\lambda}$ ) คืออัตรารังสีที่ความยาวคลื่น  $\lambda$  ออกจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อช่วงความยาวคลื่นหนึ่งหน่วย  $d\lambda$  รอบ  $\lambda$  เนื่องจากเป็นรังสีที่ออกไปทุกทิศทางจึงเกี่ยวข้องกับความเข้มของรังสีที่ปล่อยออกรวมทั้งที่สะท้อนออกจากพื้นผิว  $I_{\lambda, r}(\lambda, \theta, \phi)$

$$J_{\lambda}(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda, r}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad (\text{W m}^{-2} \cdot \mu\text{m}) \quad \dots\dots\dots(2.67)$$



ภาพที่ 2.6 แสดงเรดิโอซิตีของผิว

2. Total Radiosity เรียกสั้นๆ ว่า Radiosity (J) คืออัตราการแผ่รังสีทั้งหมดที่ทุกความยาวคลื่นออกจากหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว

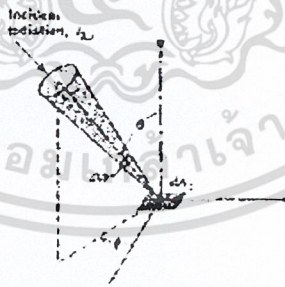
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$J = \int_0^{\infty} J_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (\text{W / m}^2) \quad \dots\dots\dots(2.68)$$

**2.5.3 เออริเดชัน (Irradiation)**

รังสีที่มากกระทบนั้นอาจเกิดการปล่อยออกและการสะท้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวอื่น และรังสีนี้มี spectral และ direction distributions ซึ่งหาได้โดย spectral intensity,  $I_{\lambda, \theta, \phi}$  ซึ่งปริมาณนี้เป็นพลังงานจากการแผ่รังสีของความยาวคลื่นที่ตกลงมากระทบจากทิศทาง  $(\theta, \phi)$  ต่อหน่วยพื้นที่ของผิวหน้าตัดตั้งฉากกับทิศทางนี้ต่อหน่วยมุมรองรับรูปกรวยรอบทิศทางนี้และต่อช่วงหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น  $d\lambda$  รอบ  $\lambda$  โดยความเข้มของรังสีที่ตกลงมากระทบเกี่ยวข้องกับเทอมของฟลักซ์รังสีเรียกว่าเออริเดชัน (Irradiation) โดยที่ค่าเออริเดชันของความยาวคลื่นหนึ่งหรือ Spectral Irradiation,  $G_{\lambda}$  กำหนดเป็นอัตราของรังสีที่ความยาวคลื่น  $\lambda$  ตกกระทบบนผิวหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยของพื้นที่ผิวและต่อช่วงความยาวคลื่นหนึ่งหน่วย  $d\lambda$  รอบ  $\lambda$

$$G_{\lambda}(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda, \theta, \phi}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad (\text{W / m}^2 \cdot \mu\text{m}) \quad \dots\dots\dots(2.69)$$



ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะของรังสีที่ตกกระทบ

ค่าเออริเดชันรวม (Total Irradiation)  $G$  คืออัตราที่รังสีตกกระทบหนึ่งหน่วยพื้นที่จากทุกทิศทางและทุกความยาวคลื่น

$$G = \int_0^{\infty} G_{\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (\text{W / m}^2) \quad \dots\dots\dots(2.70)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.4 วัตถุดำ (Backbody Radiation)**

วัตถุดำคือตัวดูดรังสีความร้อนที่สมบูรณ์โดยไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นหรือทิศทางที่รังสีตกลงบนวัตถุดำ รังสีที่ตกกระทบทั้งหมดจะถูกดูดไว้ วัตถุดำเป็นเพียงวัตถุที่สมมติขึ้นมาเนื่องจากวัตถุที่แท้จริงทั้งหลายจะสะท้อนรังสีบางส่วนและยอมให้รังสีบางส่วนผ่านทะลุได้

โดยธรรมชาติถึงแม้ว่าจะไม่มีวัตถุดำที่แท้จริงเกิดขึ้นก็ตาม วัตถุบางชนิดก็มีสมบัติใกล้เคียงกับวัตถุดำ เช่น แผ่นคาร์บอนดำหาคูดังรังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมดได้ประมาณ 99% อาจถือเป็นวัตถุดำได้ซึ่ง โดยทั่วไปแล้ววัตถุดำมีคุณสมบัติดังนี้

1. วัตถุดำจะดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบทั้งหมดไว้ไม่มีการสะท้อนกลับ โดยจะไม่คำนึงถึงความยาวคลื่นและทิศทาง
2. วัตถุดำสามารถแผ่รังสีได้มากกว่าวัตถุอื่นๆ ทุกชนิดที่อุณหภูมิและความยาวคลื่นเดียวกัน
3. วัตถุดำจะแผ่รังสีออกโดยไม่ขึ้นกับทิศทางนั้นคือวัตถุดำเป็น Diffuse Emitter โดยทั่วไปจึงใช้วัตถุดำเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติการแผ่รังสีของผิวจริงต่างๆ

**2.5.4.1 การกระจายของแพลงค์ (Planck Distribution)**

การแผ่รังสีของวัตถุดำนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่น (Spectral Distribution) ซึ่งความเข้มของรังสีที่ความยาวคลื่นใด เป็นดังนี้

$$I_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{2 h_p c_0^2}{\lambda^5 \left[ \exp \left( \frac{h_p c_0}{\lambda k_b T} \right) - 1 \right]} \dots\dots\dots(2.71)$$

- โดยที่  $h_p$  คือค่าคงที่สากลของ Planck =  $6.625 \times 10^{-34}$  J-s
- $k_b$  คือค่าคงที่สากลของ Boltzmanm =  $1.3805 \times 10^{-23}$  J/K
- $c_0$  คือค่าความเร็วของแสงในสุญญากาศ =  $2.998 \times 10^8$  m/s
- $T$  คือค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ของวัตถุดำ K

เนื่องมาวัตถุดำเป็น Diffuse Emitter ดังนั้น Spectral Emissive Power แสดงดังนี้

$$E_{\lambda,b}(\lambda,T) = \pi I_{\lambda,b}(\lambda,T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[ \exp \left( \frac{h_p c_0}{\lambda k_b T} \right) - 1 \right]} \dots\dots\dots(2.72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สมการ (2.72) นี้เรียกว่า Planck Distribution

### 2.5.4.2 กฎของ Stefan-Boltzmann

โดยการแทนค่า Planck Distribution สมการ (2.64) ลงในสมการ (2.72) ดังนั้นค่า Total Emissive Power ของวัตถุดำเขียนได้ดังนี้

$$E_b = \int_0^\infty \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]} d\lambda \quad \dots\dots\dots(2.73)$$

ผลลัพธ์จะได้เป็น

$$E_b = \sigma T^4 \quad \dots\dots\dots(2.74)$$

โดยที่ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า  $C_1$  และ  $C_2$  มีค่าเป็น

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

สำหรับวัตถุดำความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุดำหาได้จาก

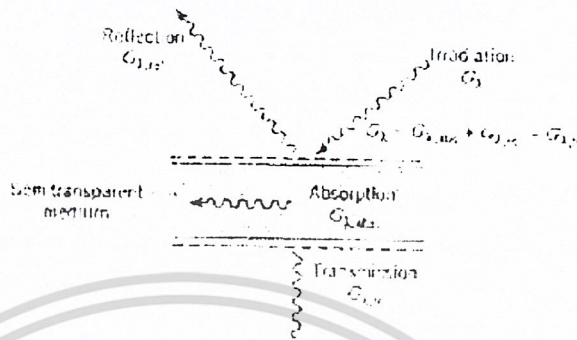
$$I_b = \frac{E_p}{\pi} \quad \dots\dots\dots(2.75)$$

### 2.5.5 การดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของผิว

ในหัวข้อที่จะกล่าวถึงนี่จะเป็นการพิจารณากระบวนการอันเป็นผลมาจากการตกกระทบของรังสีโดยตัวกลางที่เป็นของแข็งหรือของเหลว สำหรับค่าเอเรคเิชันของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง ( $G_\lambda$ ) เมื่อตกกระทบลงบนตัวกลาง ส่วนของรังสีนี้จะเกิดการสะท้อน ถูกดูดกลืน และการผ่านทะลุตัวกลาง



ภาพที่ 2.8 แสดงกระบวนการดูดกลืน การสะท้อน และการผ่านทะลุของตัวกลาง

ซึ่งในแต่ละกระบวนการจะได้อธิบายถึงคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุและการตกแ่งผิว อุณหภูมิผิวและความยาวคลื่น และทิศทางของรังสีที่ตกกระทบ

**2.5.5.1 ค่าการดูดกลืนของผิว (Absorptivity)**

เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการดูดความร้อนไว้ และยังแสดงลักษณะที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง (Directional) และการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น (Spectral) โดยที่ค่า Spectral Directional Absorptivity) นิยามว่าเป็นเศษส่วนของความเข้มข้นที่ความยาวคลื่นหนึ่งที่เกิดการตกกระทบผิว ( $I_{\lambda,i}$ ) ในทิศทาง  $(\theta, \phi)$  ซึ่งดูดกลืนโดยผิว ดังนั้น

$$\alpha_{\lambda,\theta}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{I_{\lambda,i,abs}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda,i}(\lambda, \theta, \phi)} \dots\dots\dots(2.76)$$

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

$$\alpha_\lambda(\lambda) = \frac{G_{\lambda,abs}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \dots\dots\dots(2.77)$$

ส่วน Total Hemispherical Absorptivity,  $\alpha$  (หรือ Total Absorptivity) แทนการรวมค่าเฉลี่ยทั่วทั้งทุกทิศทางและทุกความยาวคลื่น โดยได้กำหนดเป็นเศษส่วนของ Total Irradiation ที่ดูดกลืนโดยผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha \equiv \frac{G_{\lambda, obs}}{G} \text{ หรือ } \alpha \approx \frac{\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda}(\lambda) G_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} G_{\lambda}(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots(2.78)$$

เนื่องจาก  $\alpha$  ขึ้นอยู่กับการกระจายคลื่นของเอเรดิเอชันและค่านี้ขณะที่พื้นผิวได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์จะแตกต่างจากค่าที่ผิวนี้ได้รับจากรังสีคลื่นยาวซึ่งเกิดจากแหล่งอุณหภูมิต่ำ เพราะการกระจายคลื่นของรังสีของดวงอาทิตย์แทบจะไม่ใช่สัดส่วนกับค่าที่ได้จากการปล่อยออกของวัตถุค่าที่ 5800 K จากสมการ (2.78) ซึ่งแทน  $\alpha$ , เนื่องจากแสงอาทิตย์ประมาณว่า

$$\alpha \approx \frac{\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda}(\lambda) E_{\lambda, \lambda}(\lambda, 5800 \text{ K}) d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{\lambda, \lambda}(\lambda, 5800 \text{ K}) d\lambda} \dots\dots\dots(2.79)$$

**2.5.5.2 ค่าการสะท้อนของผิว (Reflectivity)**

Reflectivity ( $\rho$ ) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิวในการสะท้อนรังสีที่ตกมากระทบหาได้จากเศษส่วนของรังสีที่ตกกระทบที่สะท้อนโดยพื้นผิว อย่างไรก็ตามนิยามเฉพาะนี้ให้รูปแบบที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัตินี้เป็น Bidirectional ตามธรรมชาติ นั่นคือ ขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีตกกระทบและขณะเดียวกันก็ขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีที่สะท้อนซึ่งอาจสะท้อนเป็นแบบกระจัดกระจาย (Diffuse) หรือเป็นแบบลำรังสีเหมือนก่อนการตกกระทบ (Specular) ตามลักษณะการสะท้อนของรังสี การสะท้อนแบบ Diffuse เกิดขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีที่สะท้อนไม่ขึ้นกับมุมสะท้อนและไม่คำนึงทิศทางของรังสีที่ตกกระทบแล้วเรียกว่าการสะท้อนแบบ Specular ตามปกติแล้วไม่มีพื้นผิวใดให้การสะท้อนเป็นแบบ Diffuse หรือ Specular สมบูรณ์แบบ ส่วนมากเป็นการประมาณค่า Specular, Directional Reflectivity,  $\rho_{\lambda, \theta}(\lambda, \theta, \phi)$  ของผิวกำหนดเป็นเศษส่วนของความเข้มของรังสีตกกระทบที่คลื่นในทิศทาง  $(\theta, \phi)$  ซึ่งถูกสะท้อนโดยผิว ดังนั้น

$$\rho_{\lambda, \theta}(\lambda, \theta, \phi) \equiv \frac{I_{\lambda, i \rightarrow r}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda, i}(\lambda, \theta, \phi)} \dots\dots\dots(2.80)$$

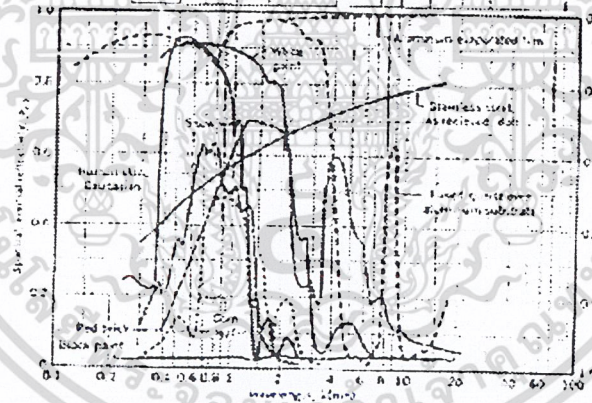
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ยทั่วทั้งครึ่งทรงกลม นั่นคือจะไม่ขึ้นกับทิศทาง เพราะฉะนั้นค่า Specular, Hemispherical Reflectivity,  $\rho_\lambda(\lambda)$  นิยามว่าเป็นเศษส่วนของเอริเอชันของคลื่นหนึ่งทีสะท้อนโดยพื้นผิว

$$\rho_\lambda(\lambda) \equiv \frac{G_{\lambda,rf}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \dots\dots\dots(2.81)$$

ส่วนค่า Total Reflectivity, ( $\rho$ ) กำหนดเป็น

$$\rho \equiv \frac{G_{rf}}{G} \quad \text{หรือ} \quad \rho = \frac{\int_0^\infty \rho_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots(2.82)$$



ภาพที่ 2.9 แสดงค่าการสะท้อนรังสีตั้งฉากและการดูคลื่นรังสีตั้งฉากของผิวเลือก

**2.5.5.3 ค่าการผ่านทะลุของผิว (Transmissivity)**

เป็นคุณสมบัติของผิวที่เกิดขึ้นในตัวกลางโปร่งแสง (Semitransparent) เท่านั้น หมายถึงคุณลักษณะอย่างหนึ่งของผิวที่ยอมให้รังสีผ่านทะลุ เรียกว่า Transmissivity ( $\tau$ ) โดยใช้ Hemispherical Transmissivity จะได้ค่า Spectral Transmissivity ว่าเป็นส่วนหนึ่งของเอริเอชัน ( $G$ ) ที่ผ่านทะลุพื้นผิว ดังนั้น

$$\tau_\lambda(\lambda) \equiv \frac{G_{\lambda,t}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)} \dots\dots\dots(2.83)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า Transmissivity ( $\tau$ ) เป็นการรวม  $\tau_\lambda$  ทุกความยาวคลื่นเข้าด้วยกัน

$$\tau_\lambda = \frac{G_r}{G} \dots\dots\dots(2.84)$$

หรือ

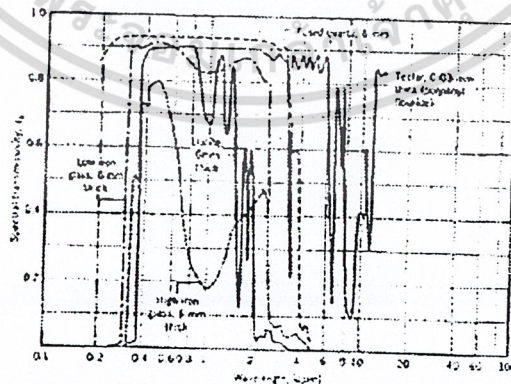
$$\tau = \frac{\int_0^\infty G_{\lambda,r}(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_0^\infty \tau_\lambda G_\lambda(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots(2.85)$$

เนื่องจาก  $\alpha, \rho$  และ  $\tau$  ได้กำหนดไว้ว่าเป็นเศษส่วนของรังสีตกกระทบหรือเอเรดิเอชัน (G) ดังนั้นสำหรับพื้นผิวใดๆ จะได้ว่า

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda + \tau_\lambda = 1 \quad \text{หรือ} \quad \rho + \alpha + \tau = 1 \dots\dots\dots(2.86)$$

ถ้าเป็นผิวทึบ (Opaque) แล้วซึ่งจะให้ค่า  $\tau_\lambda = 1$  หรือ  $\tau = 0$  จะได้

$$\rho_\lambda + \alpha_\lambda = 1 \quad \text{หรือ} \quad \rho + \alpha = 1 \dots\dots\dots(2.87)$$



ภาพที่ 2.10 แสดงค่าการผ่านทะลุรังสีของผิวที่ความยาวคลื่นใดๆ ของผิวเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวัสดุแล้ว  $\rho = 0$  เสมอ นั่นคือถ้าเป็นวัสดุค่าและทึบแสงด้วยจะได้  $\alpha = \varepsilon = 1.0$  ค่าการกระจายตามคลื่นการสะท้อนตั้งฉากและค่าการดูดกลืนตั้งฉากได้แสดงดังรูป สำหรับผิวทึบที่ถูกเลือกวัสดุเช่นแก้วหรือน้ำที่โปร่งแสงที่ความยาวคลื่นสั้นๆ จะกลายเป็นวัสดุทึบที่ความยาวคลื่นยาวๆ หมายความว่ายอมให้รังสีผ่านทะลุได้เมื่อความยาวคลื่นของรังสีนั้นสั้น และไม่ยอมให้รังสีผ่านทะลุผิวถ้าความยาวคลื่นของรังสีนั้นยาวหรือมีค่าสูง สังเกตว่าค่า  $\tau$  ของแก้วจะขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กที่ผสมอยู่กับแก้ว ส่วนค่า  $\tau$  ของพลาสติกจะมีค่ามากกว่าค่า  $\tau$  ของแก้วในช่วงอินฟราเรด ซึ่งเฟคเตอร์เหล่านี้มีความสำคัญต่อการเลือกวัสดุที่เป็นฝาปิดแผงรับแสงอาทิตย์

## 2.6 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และการดูดกลืนรังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation and Solar Absorptivity)

สิ่งหนึ่งที่น่าสนใจก็คือ การแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุค่าที่แผ่รังสีมายังโลก ตามรูปที่ 2.11 ดวงอาทิตย์ตั้งอยู่ห่างจากผิวโลกเท่ากับวงโคจรของโลกรัศมี  $r_s$  โดยแผ่รังสีออกไปทุกทิศทาง รังสีที่ได้รับบนผิวเล็กๆ บนผิวโลกเป็นทิศทางเดียวที่มุม  $\theta$  กับเส้นตั้งฉากของผิว เมื่อมองจากผิวสู่ดวงอาทิตย์จะได้มุมรองรับเป็นรูปกรวย ( $dw$ ) เป็น

$$dw = (\pi r_s^2) / r_s^2 \dots\dots\dots(2.88)$$



ภาพที่ 2.11 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และการดูดกลืนรังสีของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $r_s$  เป็นรัศมีของดวงอาทิตย์และถ้าให้  $I_s$  เป็นความเข้มตกกระทบบที่มาจากดวงอาทิตย์ตามทิศทาง  $\theta_s$  แล้ว จากนิยามของเอเริคชัน ได้

$$G_s = \int I_s(\theta_s, \phi) \cos \theta_s d\omega \tag{2.89}$$

โดยที่การอินทิเกรตกระทำตลอดครึ่งทางกลมเหนือผิว ค่า  $I_s$  แปรตาม  $\theta_s$  แต่เพราะว่าระยะทางที่เกี่ยวข้องไกลมากๆ ทำให้ถือได้ว่า  $d\omega$  เป็นค่าคงที่ ดังนั้น ค่า  $G_s$  ที่ตกบนพื้นผิวเป็น

$$\begin{aligned} G_s &= I_s \cos \theta_s d\omega \\ &= I_s \cos \theta_s (\pi r_s^2 / r_c^2) \end{aligned} \tag{2.90}$$

ค่า  $I_s (\pi r_s^2 / r_c^2)$  เป็นค่า  $G_m$  ของผิวที่วางตั้งฉากกับรังสีของดวงอาทิตย์ ดังนั้น

$$\begin{aligned} G_s &= G_m \cos \theta_s \\ G_m &= I_s (\pi r_s^2 / r_c^2) \end{aligned} \tag{2.91}$$

โดยที่

เนื่องจากดวงอาทิตย์ถือว่าเป็นวัตถุดำ (blackbody) ดังนั้น  $I_s$  แทนได้ด้วย  $I_b(T_s)$  ซึ่งสามารถแทนได้ในเทอมของกำลังสองของวัตถุดำที่อุณหภูมิผิวของดวงอาทิตย์

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} I_s &= I_b(T_s) = E_b(T_s) / \pi \\ G_m &= E_b(T_s) r_s^2 = \sigma T_s^4 (r_s^2 / r_c^2) \end{aligned} \tag{2.92}$$

ค่าความเข้มรังสีตั้งฉากซึ่งรับได้ที่ โบกนอภรรยากาศแปรตามเวลาตลอดเวลาตลอดปี เนื่องจากวงโคจรของโลกไม่เป็นวงกลม ด้วยเหตุนี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยตลอดปีก็พอเพียง สำหรับ  $G_m$  ซึ่งมีค่า

$$G_m = 1396 .9W / m^2$$

ค่าเฉลี่ยของรัศมีวงโคจรของโลกเป็น  $149 \times 10^6$  km. และรัศมีของดวงอาทิตย์เป็น  $0.70 \times 10^6$  km. ดังนั้นหาค่าอุณหภูมิดวงอาทิตย์เสมือนเป็น

$$T_s = \left[ \frac{139639 \times (149 \times 10^6)^2}{5.67 \times 10^{-8} \times (0.70 \times 10^6)^2} \right]^{1/4} \dots\dots\dots(2.93)$$

$$= 5780 \quad K \approx 5800 \quad K$$

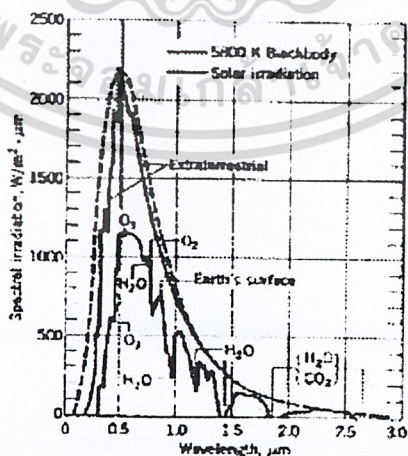
ดังนั้นในการประยุกต์ทางวิศวกรรมต่างๆ เราสามารถแทนรังสีแสงอาทิตย์ที่รับได้บนผิวโลกนอกชั้นบรรยากาศเป็น

การแผ่รังสีของวัตถุดำที่  $T_s = 5800 \quad K$

$$G_m = 1396.9 \text{ W / m}^2$$

$$G_s = G_m \cos \theta_s \text{ ซึ่ง } \theta_s = \text{มุมของการตกกระทบ} \dots\dots\dots(2.94)$$

ในขณะที่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ขนาดของการแผ่รังสีและการกระจายตามทิศทางและความยาวคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด การเปลี่ยนแปลงนี้เนื่องจากการดูดกลืนและการสะท้อนกลับของการแผ่รังสีโดยองค์ประกอบต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ผลการดูดกลืนโดยก๊าซในบรรยากาศ เช่น  $O_3$  (โอโซน),  $H_2O$ ,  $O_2$  และ  $CO_2$  ได้แสดงในรูปที่ 10.19 การดูดกลืนโดยโอโซนมีผลอย่างมากต่อความยาวคลื่นช่วงอุลตราไวโอเล็ต (UV) (ช่วงต่ำกว่า  $0.4 \mu m$ ) ในช่วงคลื่นที่มองเห็นนั้นมีการดูดกลืนบางส่วนโดย  $O_3$  และ  $O_2$  และในช่วงแถบความยาวคลื่นของอินฟราเรดการดูดกลืนขึ้นได้โดยไอน้ำ ตลอดช่วงสเปกตรัมของดวงอาทิตย์จะมีการดูดกลืนรังสีอย่างต่อเนื่องโดยฝุ่นละออง และแอโรโซล (Aerosol) ในบรรยากาศ



ภาพที่ 2.12 การกระจายของคลื่นรังสีดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสะท้อนรังสีกลับของบรรยากาศ (scattering) มาตกกระทบบนพื้นโลกเราจะประมาณว่าเป็นกระจกระบายเท่ากันทุกทิศทาง (diffuse) ดังนั้นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่มากระทบบนพื้นโลกจะประกอบไปด้วยการแผ่รังสีทางตรงและทางอ้อม โดยการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เป็นการรังสีทางตรง ในขณะที่บรรยากาศจะแผ่รังสีทางอ้อม การแผ่รังสีทางอ้อมโดยชั้นบรรยากาศจะมีค่าแปรเปลี่ยนอยู่ช่วงประมาณ 10% ของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสและเกือบถึง 100% ของค่ารังสีทั้งหมดในวันที่ท้องฟ้าเต็มไปด้วยเมฆหรือท้องฟ้าครึ้ม

การแผ่รังสีของสิ่งแวดล้อมหรือบรรยากาศรวมทั้งการปล่อยออกจากผิวโลกจะแผ่ออกมาในรูปของความยาวคลื่นที่ยาว ค่ากำลังส่งออกของผิวโลกหาได้โดยวิธีเดียวกัน คือ

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad \dots\dots\dots(2.95)$$

โดยที่  $\varepsilon$  และ  $T$  เป็นค่า emissivity และอุณหภูมิของผิวตามลำดับ โดยทั่วไป ค่า  $\varepsilon$  มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง (เช่นน้ำมีค่า  $\varepsilon = 0.97$ ) เนื่องจากอุณหภูมิอยู่ในช่วง 250 – 320 K ดังนั้นการปล่อยออกจะหนาแน่นในช่วงประมาณ 4 - 40  $\mu m$  โดยค่าสูงสุดเกิดที่ประมาณ 10  $\mu m$  การปล่อยออกของบรรยากาศจะมีค่าสูงกว่าค่าการปล่อยออกจากโมเลกุลของ  $CO_2$  และ  $H_2O$  และหนาแน่นในช่วง spectral จาก 5 ถึง 8  $\mu m$  และเนื่องจากอุณหภูมิของผิวบรรยากาศต่ำกว่าผิวของดวงอาทิตย์มากจึงไม่ถูกต้องนักที่ถือว่าเป็นวัตถุดำ แต่เราก็จะประมาณว่าเป็นผิวของวัตถุดำ ทำให้ได้ว่าเอเรดิเอชันสู่ผิวโลกของชั้นบรรยากาศอยู่ในรูป

$$G_{atm} = \sigma T_{sky}^4 \quad \dots\dots\dots(2.96)$$

โดยที่  $T_{sky}$  เรียกว่า “อุณหภูมิประสิทธิผลของท้องฟ้า” (effective sky temperature) ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ ของบรรยากาศ โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 230 – 285 K

## 2.7 การประยุกต์ใช้ Finite Volume Method

สมการที่พิสูจน์มาแล้ว เป็นการพิจารณาถึงการถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นใน Control Volume จะเป็นการนำ Finite Volume Method ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยการพิจารณาปัญหาของเรานั้น เราจะพิจารณาเป็นการไหลที่มีการถ่ายเทความร้อนใน 2 มิติ และเป็นการไหลคงตัว (Steady State Steady Flow) จะได้สมการพลังงานที่ไม่คิดพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ ดังนั้นเราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho \frac{De}{Dr} = -\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + Q + \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,i} Y_{k,i} \dots\dots\dots(2.97)$$

**Assumption**

1. ไม่มี Heat generation ดังนั้น  $\dot{Q} = 0$
2. ไม่คิด Body Force  $\therefore \rho \sum_{k=1}^N Y_k f_{k,i} Y_{k,i} = 0$
3. งานจาก Stress มีค่าน้อยมาก ( $\approx 0$ ) เมื่อเทียบกับความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

$$\rho \frac{\partial q_i}{\partial x_i} = 0$$

สมการ (2.97) จะเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$\rho \frac{D \lambda}{Dt} = -\frac{\partial q_i}{\partial x_i}$$

และ  $e = h - \frac{p}{\rho} = u$  (พลังงานภายใน ;  $\frac{kJ}{kg}$ )

$= c_p T$  ( $c_p$ ; ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่)

จากสมการ (2.97) เราจะได้

$$\rho \frac{D \lambda}{Dt} = -\frac{\partial q_i}{\partial x_i}$$

และ  $e = h - \frac{p}{\rho} = u$  (พลังงานภายใน ;  $\frac{kJ}{kg}$ )

$= c_p T$  ( $c_p$ ; ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่)

จากสมการ (2.97) เราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho \left[ u \frac{\partial e}{\partial x} + v \frac{\partial e}{\partial y} + w \frac{\partial e}{\partial z} \right] = - \left[ \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] \dots\dots\dots(2.98)$$

โดยสมการที่ได้นี้เราจะนำไปใช้ในการพิจารณาปัญหาการถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ node ต่างๆ ในท่อซึ่งสมการที่ใช้นั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูป matrix ได้ซึ่งเราจะใช้วิธี TDMA (Tri – Diagonal Matrix Algorithm) ในการหาคำตอบของสมการที่จัดอยู่ในรูป matrix ดังกล่าว

**2.7.1 การแก้ Matrix ได้วิธี TDMA (Tri – diagonal Matrix Algorithm)**

ในการพิจารณาปัญหาซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนของของไหลในท่อนทรงกระบอกที่แบ่งเป็น grid จะได้สมการซึ่งสามารถจัดรูปให้อยู่ในรูป matrix ได้ ซึ่งจะใช้ TDMA (Tri – Diagonal Matrix Algorithm) ในการแก้ matrix เพื่อให้ได้คำตอบที่เราต้องการโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อเราได้สมการของแต่ละ node ซึ่งเขียนอยู่ในรูป

$$\begin{aligned} \phi_1 &= c_1 \\ -\beta_1\phi_1 + D_2\phi_2 - \alpha_2\phi_3 &= c_2 \\ -\beta_1\phi_2 + D_3\phi_3 - \alpha_3\phi_4 &= c_2 \\ -\beta_4\phi_3 + D_4\phi_4 - \alpha_4\phi_5 &= c_2 \\ \dots\dots\dots \\ -\beta_n\phi_{n-1} + D_n\phi_n - \alpha_n\phi_{n+1} &= c_2 \\ \phi_{n+1} &= c_2 \end{aligned}$$

โดยที่  $\phi =$  คุณสมบัติใดๆ ที่พิจารณาในการไหลของของไหล (เช่น u, v, p เป็นต้น) เราสามารถเขียนรูปทั่วไปของสมการในแต่ละแถวได้ดังนี้

$$-\beta_j\phi_{j-1} + D_j\phi_j - \alpha_j\phi_{j+1} = c$$

สำหรับ  $\phi_2$  ถึง  $\phi_n$  สามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ต่อไปนี้

$$\phi_2 = \frac{\alpha_2}{D_2}\phi_3 + \frac{\beta_2}{D_2}\phi_1 + \frac{C_2}{D_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi_3 = \frac{\alpha_3}{D_3} \phi_3 + \frac{\beta_3}{D_3} \phi_2 + \frac{C_3}{D_3}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\phi_n = \frac{\alpha_n}{D_n} \phi_{n+1} + \frac{\beta_n}{D_n} \phi_{n+1} + \frac{C_n}{D_n}$$

ในขั้นตอนการหาคำตอบ เราจะใช้วิธี back – substitution ยกตัวอย่างเช่นในการหาค่าของ  $\phi_3$  เราจะใช้ค่าของ  $\phi_2$  มาแทนในสมการของ  $\phi_3$  จึงจะได้คำตอบตามต้องการ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\phi_3 = A_3 \phi_2 + C'_3$$

โดย

$$A_3 = \frac{\alpha_3}{D_3 - \beta_3 A_2} \quad \text{และ} \quad C'_3 = \frac{\beta_3 C_2 + C_3}{D_3 - \beta_3 A_2}$$

เราสามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ดังนี้

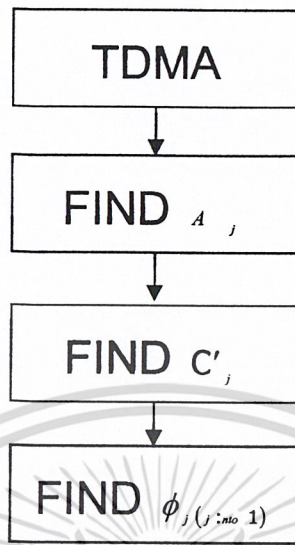
$$\phi_j = A_j \phi_{j+1} + C'_j$$

$$A_j = \frac{\alpha_j}{D_j - \beta_j A_{j-1}}$$

$$C'_j = \frac{\beta_j C'_{j+1} + C_j}{D_j - \beta_j A_{j-1}}$$

สำหรับในการแก้สมการหาค่า  $\phi$  จะเริ่มการหาค่า  $A_j$  และ  $C'_j$  สำหรับทุกค่า  $j(j=1$  ถึง  $j = n)$  แล้วจึงหาค่า  $\phi$  ย้อนกลับจาก  $\phi_n$  ไปหา  $\phi_1$  หรือเขียนเป็นขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สำหรับปัญหาใน 2 มิติ สมการเริ่มต้นที่ใช้ในการสร้าง matrix จะอยู่ในรูป

$$\alpha_p \phi_p = \alpha_w \phi_w + \alpha_e \phi_e + \alpha_s \phi_s + \alpha_n \phi_n + s_w$$

ในการแก้สมการเราจะเริ่มทำในแนว N-S ก่อน (ทิศ r) ดังนั้นสมการจึงเป็น

$$-\alpha_s \phi_s + \alpha_p \phi_p - \alpha_n \phi_n = \alpha_w \phi_w + \alpha_e \phi_e + s_w$$

กำหนดให้

$$\alpha_j = \alpha_n$$

$$\beta_j = \alpha_s$$

$$D_j = \alpha_p$$

$$C_j = \alpha_w \phi_w + \alpha_e \phi_e + s_w$$

จากนั้นจึงใช้ขั้นตอนในข้างต้น solve หาค่า  $\phi$  ในแนว N-S ก่อนโดยกำหนดค่าเริ่มต้น (initial) สำหรับ  $\phi$  ที่เราไม่ทราบค่า (ยกตัวอย่าง  $\phi_w$  สำหรับแนวกวาดแถวแรก ( $i=1$ ) ในการหาค่าในรอบที่ 1 (Iteration ครั้งที่ 1)

หลังจากหาค่า  $\phi$  ในแนว N-S ทุกๆ แนวแล้ว (จบ Iteration ครั้งที่ 1) จึงเริ่มทำซ้ำจนกว่าค่าความแตกต่างระหว่าง  $\phi$  และ  $\phi$  จะน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้  $\phi$

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินการ

#### 3.1 รายละเอียดโครงสร้างแบบห้องจำลอง

แบบห้องจำลองถูกออกแบบสำหรับการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3-1 ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับ 8 ลูกบาศก์เมตร (ความกว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 2 เมตร) โดยอยู่ชั้นคาเฟ่ ซึ่งมีความสูง 20 เมตร ณ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

##### 3.1.1 ส่วนประกอบของห้องจำลองที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบ

แบบห้องจำลองที่ใช้ทดลองมีหลังคาบ้านรูปทรงปั้นหยามุมเอียง 30 องศาทั้งสองหลัง ส่วนประกอบของแบบห้องจำลองมีดังนี้

1. กระจกซีแพค โมเนียตีแรงค่า มีขนาดต่อแผ่นคือ ความกว้าง ยาว และหนาเท่ากับ 33, 42 และ 1.5 เซนติเมตรตามลำดับ และมีน้ำหนัก 4.4 กิโลกรัมต่อแผ่น
2. ค้ำล่างของหลังคาของหลังที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์มีแผ่นยิปซัมหนา 0.9 เซนติเมตร วางขนานกันกระเบื้อง มีช่องกว้าง 14.5 เซนติเมตร
3. เพดานห้องจำลองใช้แผ่นยิปซัมติดอลูมิเนียมฟลอยด์หนา 0.9 เซนติเมตร ในหลังที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์จะเจาะช่องตรงกลางเพดานขนาดกว้างและยาว 30 และ 30 เซนติเมตรตามลำดับ
4. ความกว้าง ยาว และสูงของตัวปล่องรังสีอาทิตย์มีขนาด 30, 30 และ 32 เซนติเมตรตามลำดับ ทำจากแผ่นสแตนเลส (Stainless steel) หนา 0.2 มิลลิเมตร ช่องระบายกว้าง 20 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร สี่ด้าน มีครอบกันสาดด้านบนซึ่งสามารถคลุมป้องกันฝนสาดได้
5. ผนังห้องสี่ด้านประกอบด้วยวัสดุจากด้านนอก คือ กระจกแผ่นเรียบ ทรายข้าง หนา 4 มิลลิเมตร โฟมหนา 25 มิลลิเมตร และไม้อัดหนา 4 มิลลิเมตร
6. ผนังด้านทิศเหนือ – ใต้ เจาะช่องหน้าต่างกว้าง 60 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร สูงจากพื้นห้อง 60 เซนติเมตร
7. พื้นห้องเป็นไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) มุมมองด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้



(b) มุมมองด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

### รูปที่ 3-1 แสดงห้องจำลองที่สร้างขึ้นใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 รายละเอียดการทดลอง

- (1) สร้างห้องจำลองตัวอย่างจำนวน 2 ห้อง ห้องหนึ่งติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ส่วนอีกห้องไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์
- (2) ติดตั้งสายสายเทอร์โมคัปเปิลจำนวนหลังละ 15 จุด และตำแหน่งวัดของฮอทวาร์รี่ แอนนีโมมิเตอร์จำนวน 5 จุดตามที่กำหนด
- (3) ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองตั้งแต่เวลา 09:00 - 16:00 น. โดยทำการ วัดค่าทุกๆ 30 นาที กับกรณีศึกษาต่างๆ
- (4) บันทึกค่าอุณหภูมิและความเร็วลมภายในบ้าน
- (5) บันทึกค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ และทิศทางของมุมตกกระทบ
- (6) บันทึกค่าอุณหภูมิ ความเร็ว และทิศทางของลมภายนอก
- (7) เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- (8) สรุปผลการทดลอง

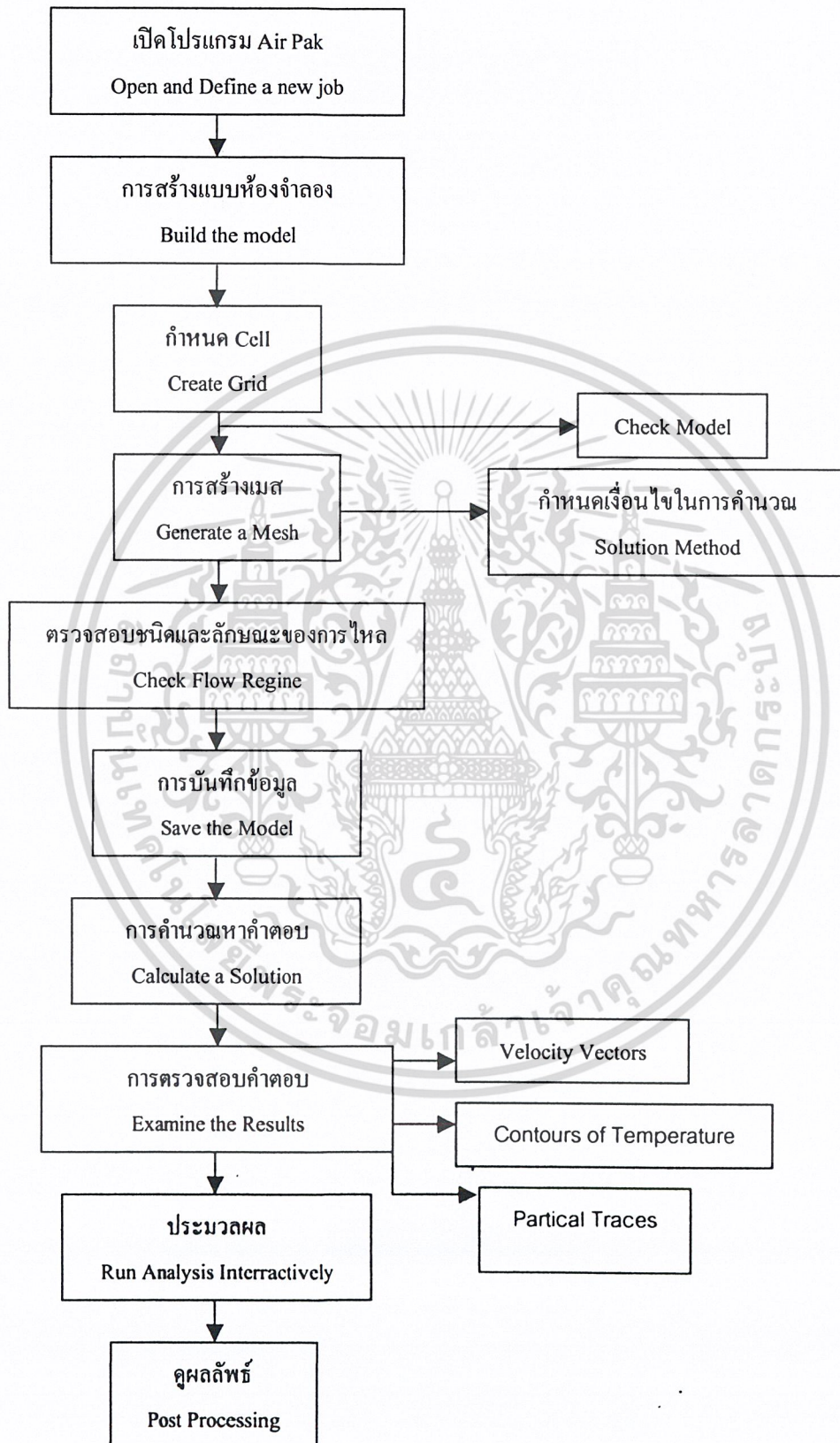
### 3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AIR PAK

#### 3.3.1 แนวความคิดพื้นฐานของโปรแกรม

ในการศึกษาอุณหภูมิแบบห้องจำลองนั้นจะต้องอาศัยหลักการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศภายในห้องจำลอง โดยอากาศภายในจะมีความหนาแน่นน้อยลงและอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้น ทำให้อากาศเคลื่อนที่ออกไปบริเวณปล่องซึ่งอยู่ด้านบน จากการอาศัยแรงลอยตัวดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่จะศึกษาอุณหภูมิภายในห้องจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AIR PAK เพื่อวิเคราะห์แก้ปัญหาภายในห้องจำลอง เปรียบเทียบผลการไหลของอากาศและอุณหภูมิภายในห้อง กับผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

#### 3.3.2 โครงสร้างของโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้คือ Air Pak V. 2.06 ซึ่งมีโครงสร้างของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณดังนี้



รูปที่ 3 – 2 ภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Air Pak V.2.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 กรณีศึกษา

- 1) กรณีปิดทางเข้าและทางออกทั้งหมด
- 2) กรณีเปิดทางเข้าช่องกลางและปิดทางออกทั้งหมด
- 3) กรณีเปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออกทั้งหมด
- 4) กรณีเปิดทางเข้าทั้งหมดและปิดทางออกทั้งหมด
- 5) กรณีเปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออกทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

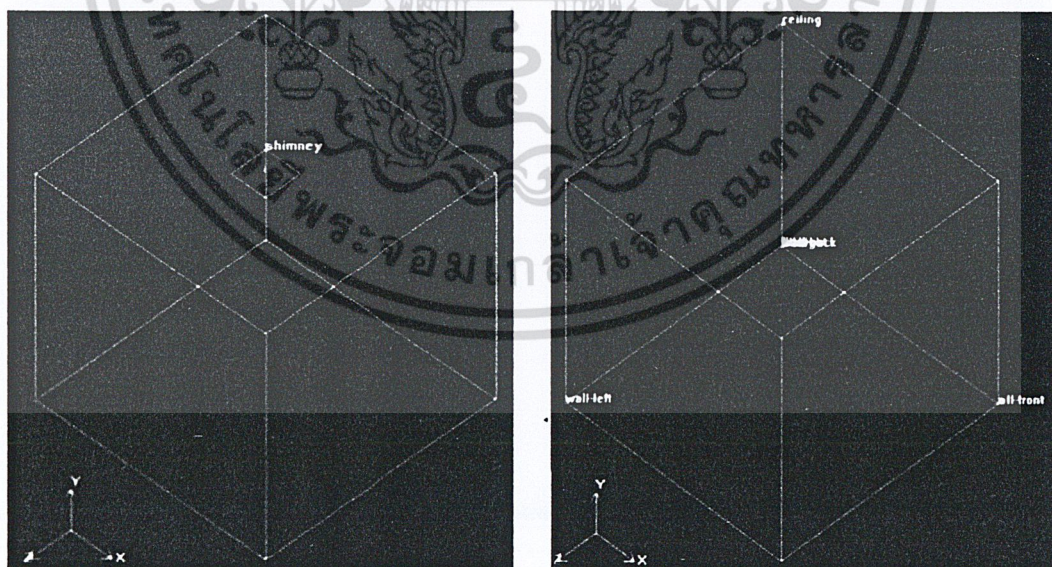
การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 พิจารณากรณีที่ 1 ปิดทางเข้าและทางออกทั้งหมด ที่เวลา 12.00 น. วันที่ 14

พฤษภาคม 2547

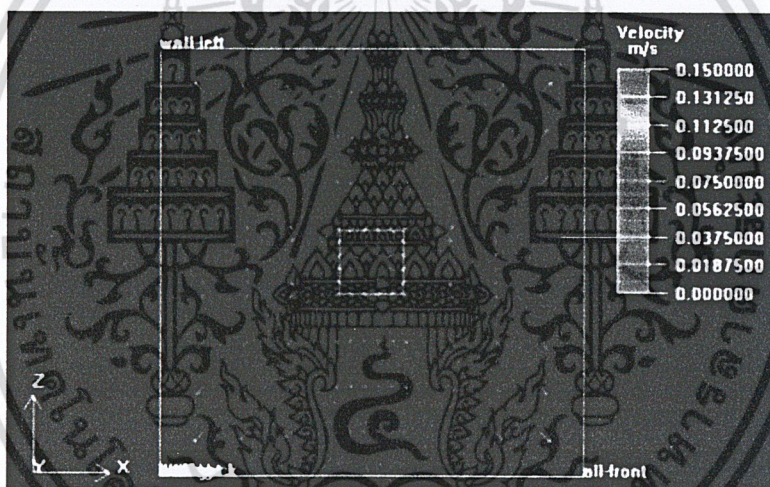
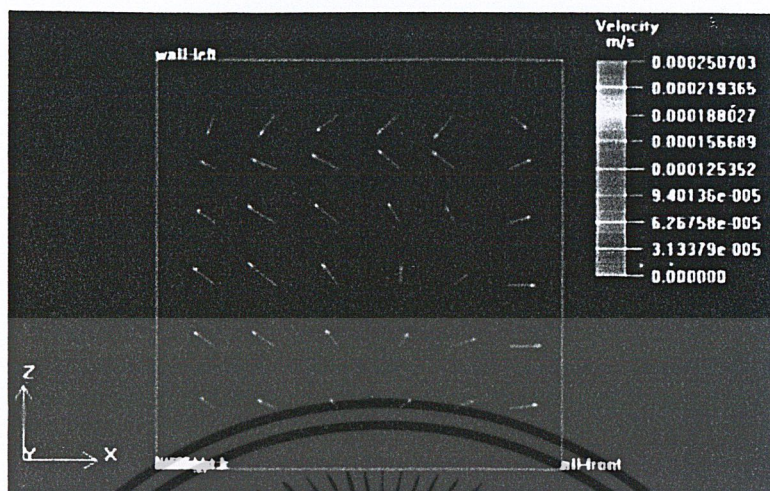
กำหนดให้

อุณหภูมิภายนอก	=	31.60 °C	
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	=	- m/s	(ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	=	- m/s	(ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ปล่อง	=	0.15 m/s	
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	=	- m/s	(ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	=	- m/s	(ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)



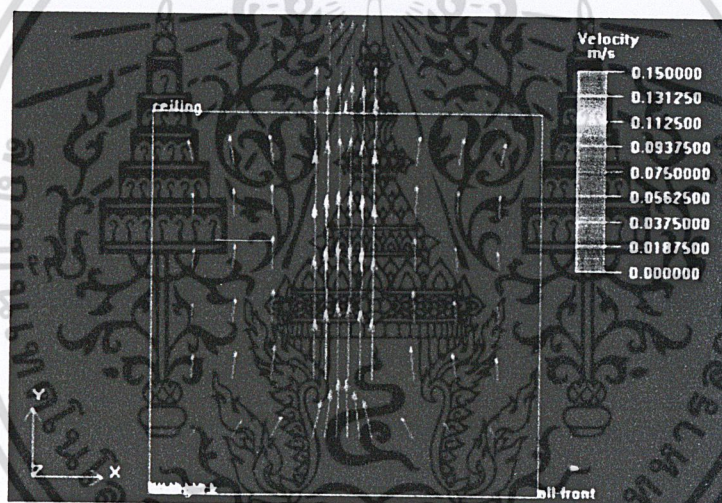
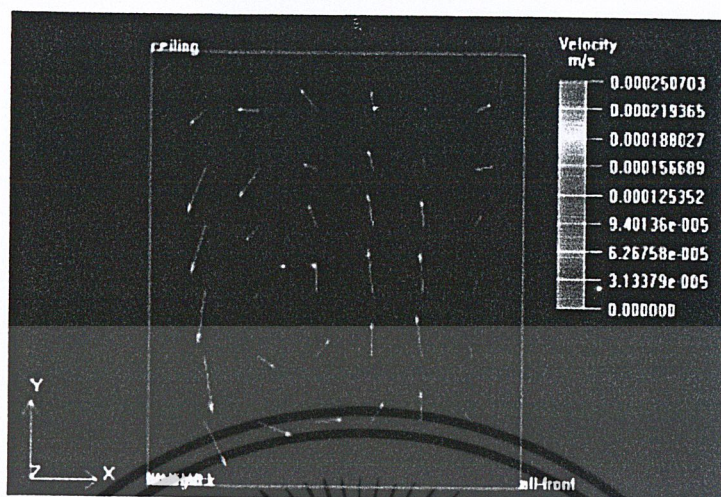
รูปที่ 4-1 แสดงลักษณะแบบจำลองห้องในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ภาพด้านบน) ในกรณีที่ 1

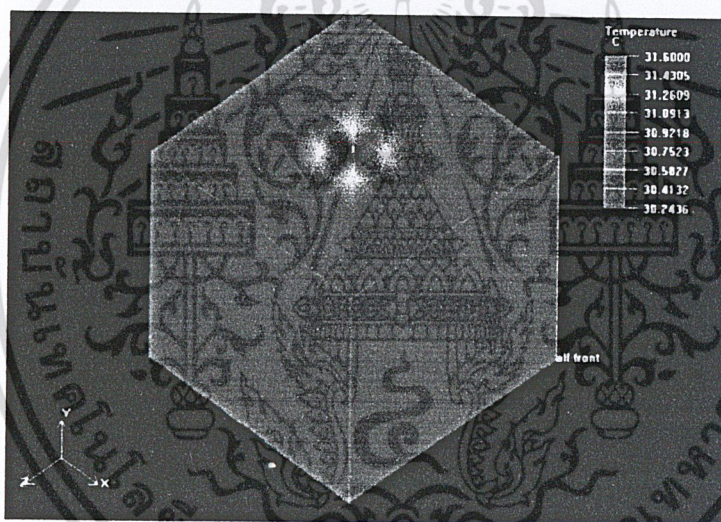
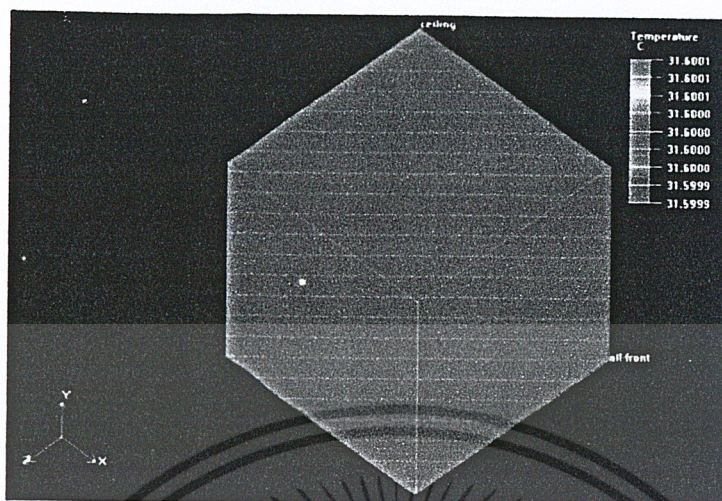
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพด้านข้าง) ในกรณีที่ 1

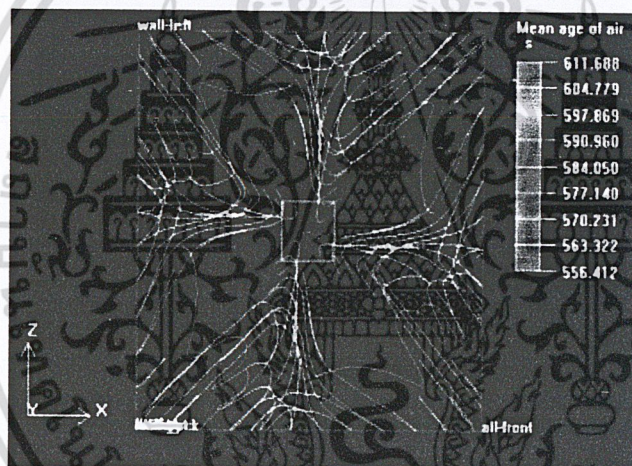
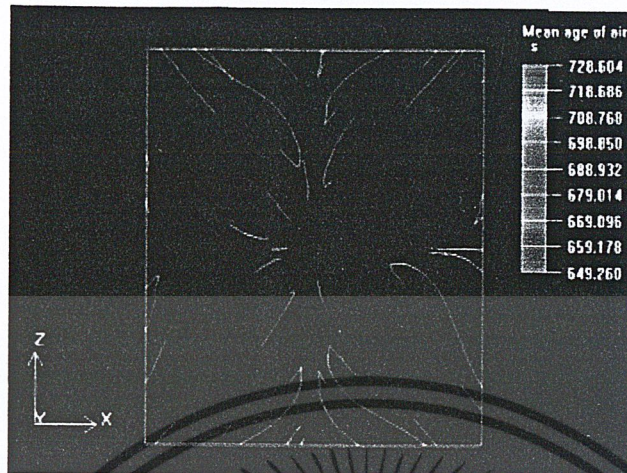
จากรูป 4-2 และ 4-3 แสดงความเร็วของอากาศในห้องที่ปิดทางเข้าทั้งหมดและทางออกทั้งหมดเปรียบเทียบกันจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระหว่างห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์จะเห็นว่าอากาศไหลกระทบกับผนังห้องเกิดการหมุนวนของอากาศโดยห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์จะมีการไหลวนของอากาศจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน โดยอากาศจะไหลออกจากปล่องรังสีอาทิตย์ในลักษณะสม่ำเสมอขณะที่หลังไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์นั้นการไหลวนของอากาศจะเกิดในบริเวณด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของห้องทำให้ด้านบนร้อนกว่าด้านล่างดังแสดงในรูป 4-4 และแสดงเส้นทางการเคลื่อนของอนุภาคอากาศในรูปที่ 4-5 กับ รูป 4-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



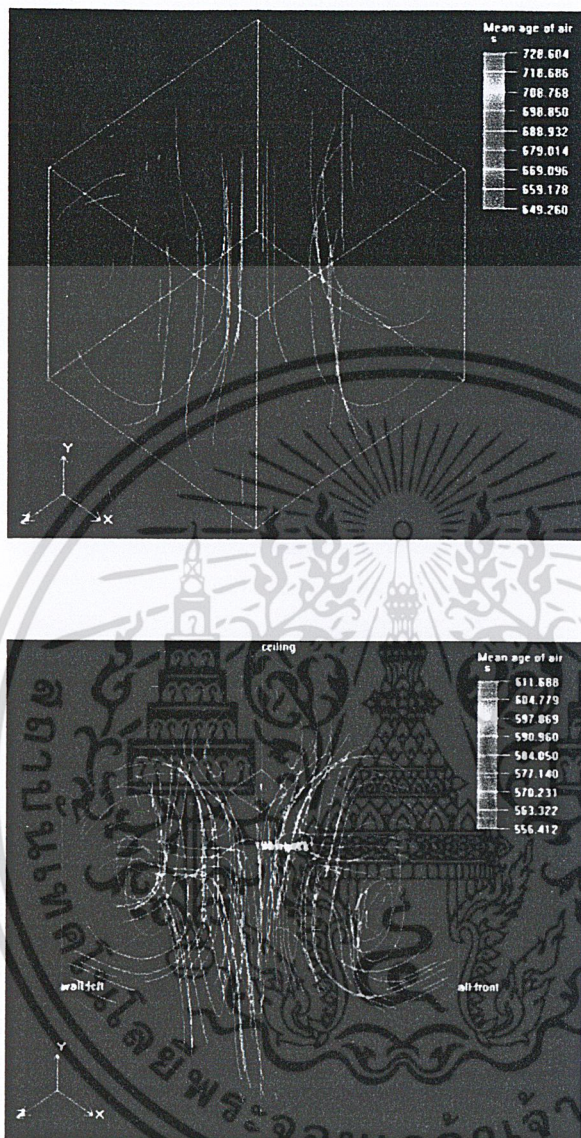
รูปที่ 4-4 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) ในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 ภาพแสดงทางเดินของอนุกรมอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และไม่ติดตั้งรังสีอาทิตย์(บน) ในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

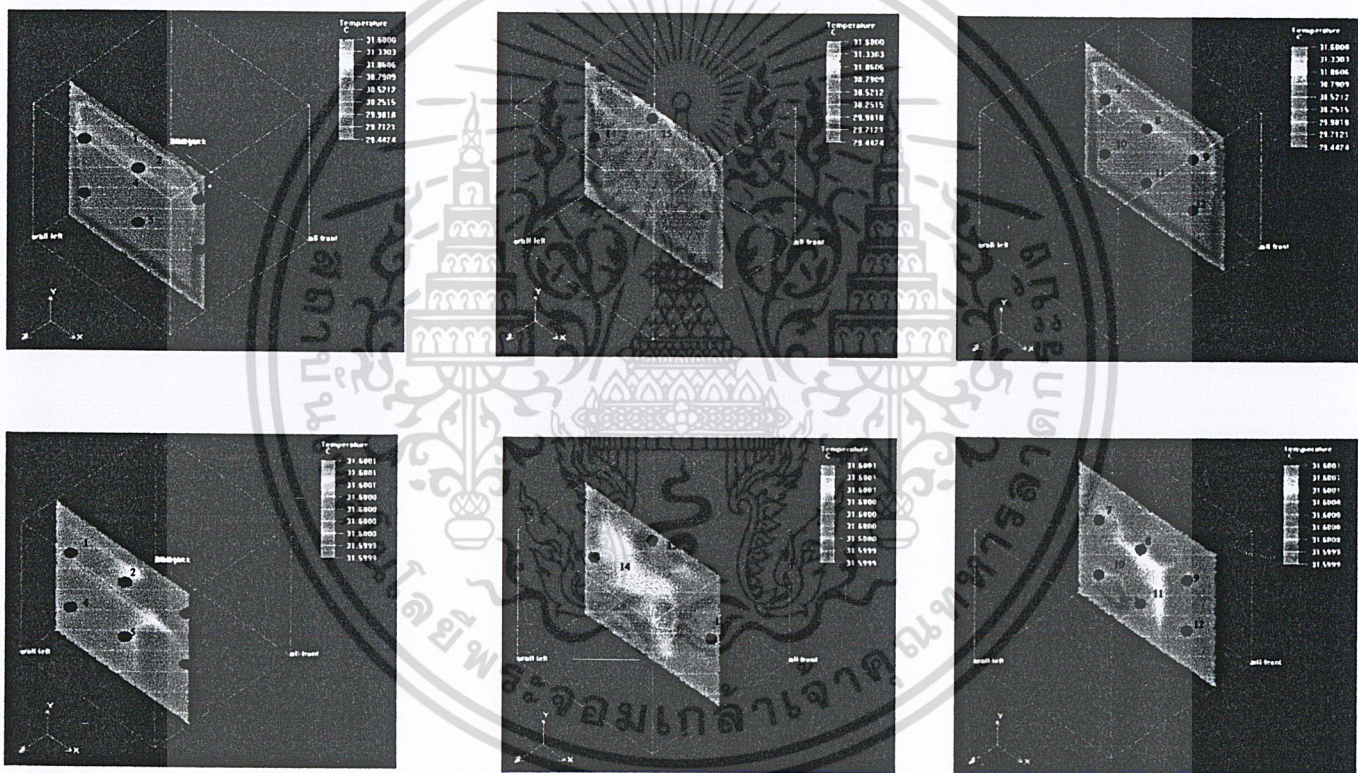


รูปที่ 4-6 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพ 3 มิติ) ในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

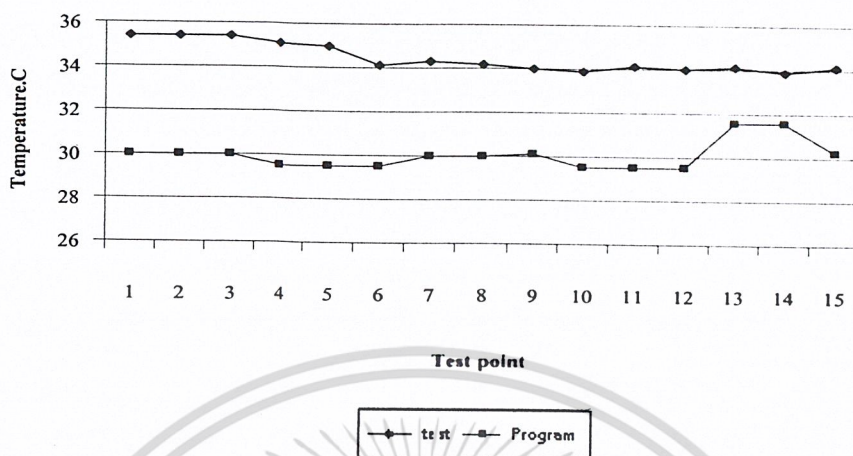
แสดงผลค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
กรณีที่ 1 ปิดทางเข้าและทางออกทั้งหมด

Test pt.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Chimney	Exp	35.4	35.4	35.4	35.1	35	34.1	34.3	34.2	34	33.9	34.1	34	34.1	33.9	34.1
	Program	29.98	29.98	29.98	29.5	29.5	29.5	29.98	29.98	30.11	29.5	29.5	29.5	31.6	31.6	30.25
Non	Exp	36.2	36.2	36.2	36	35.9	35.9	36.3	36.1	36	36	35.9	35.9	35.9	36.2	37
	Program	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6

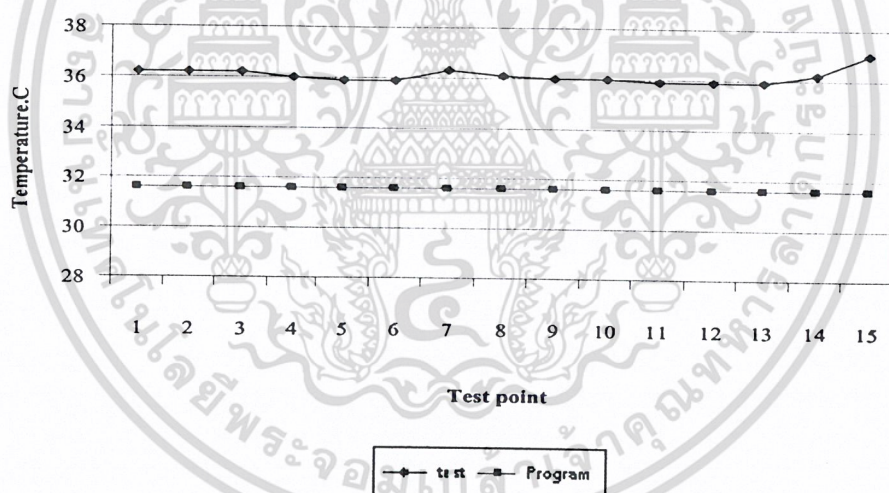


รูปที่ 4-7 แสดงการกระจายค่าตำแหน่งอุณหภูมิภายในห้องจำลองที่ติดปล่องและไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 1



รูปที่ 4-9 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 1

จากรูปที่ 4 – 8 ห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ลักษณะกราฟจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ค่าที่ตำแหน่งเดียวกันจะมีค่าไม่เท่ากันโดยค่าอุณหภูมิผลการทดลองสูงกว่า โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยจุดที่ 13 และจุดที่ 14 ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากัน เนื่องจากจุดที่ 13 และ 14 จะติดกับผนังจึงทำให้เกิดอุณหภูมิสูงกว่า ส่วนจุดที่ 15 เป็นช่องปล่องค่าจะลดลง เนื่องจากเป็นช่องอากาศไหลผ่านออกจากทางปล่องเพื่อระบายความร้อนออกไปส่วนจุดที่ 1 – จุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 แต่ละจุดจะอยู่ห่างจากผนังห้องเมื่ออากาศที่อยู่ภายในห้องจะเกิดแรงลอยตัวของอากาศจากด้านล่างไหลขึ้นสู่ด้านบน เพื่อระบบอากาศออกจากทางปล่องรังสีอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิไม่ร้อนเหมือนกับจุดที่ 13 และจุดที่ 14

จากรูปที่ 4 – 9 ห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ลักษณะกราฟจากผลการทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะคล้ายกันแต่ต่างกันที่ค่าอุณหภูมิไม่เท่ากัน เนื่องจากค่าของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไม่มีการระบายอากาศออกทำให้อากาศภายในห้องร้อนและอบตัวอยู่ภายในห้องและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องจะร้อนบริเวณกลางห้องขึ้นไปถึงด้านบนของห้อง

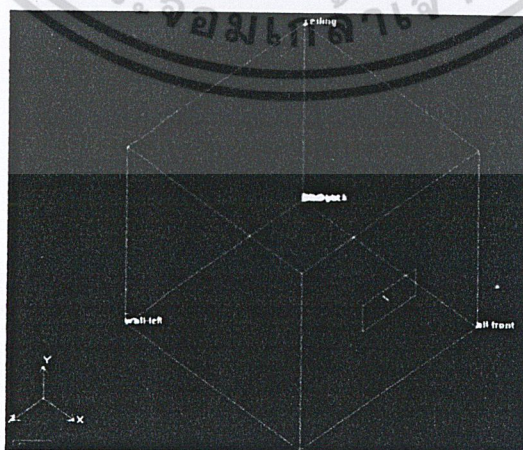


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 พิจารณากรณีที่ 2 เปิดทางเข้าช่องกลางและปิดทางออกหมด ที่เวลา 12.00 น. วันที่ 15 พฤษภาคม 2547

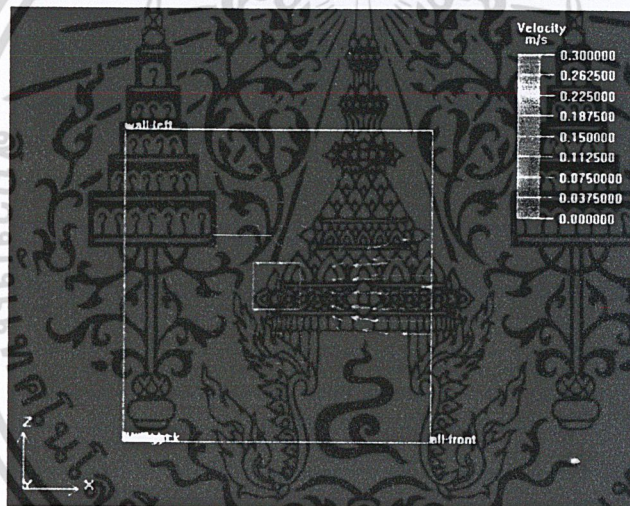
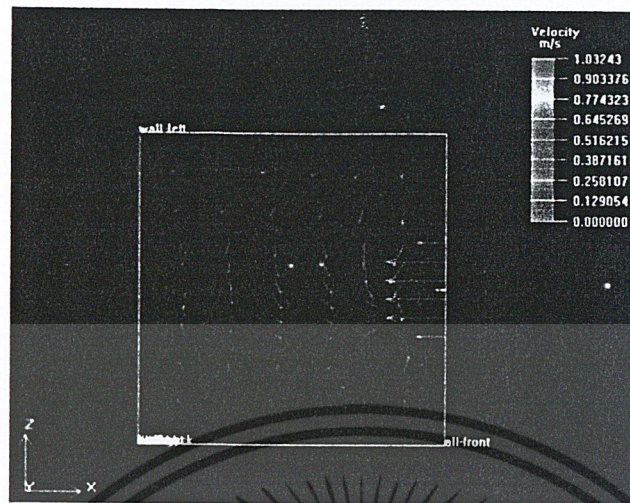
กำหนดให้

อุณหภูมิภายนอก	= 33.5 °c
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 0.3 m/s (คิดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= - m/s (คิดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ปล่อง	= 1.4 m/s
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 0.5 m/s (ไม่คิดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= - m/s (ไม่คิดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)



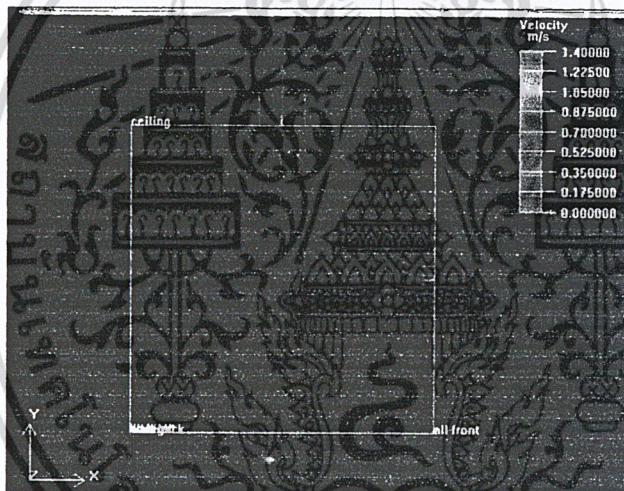
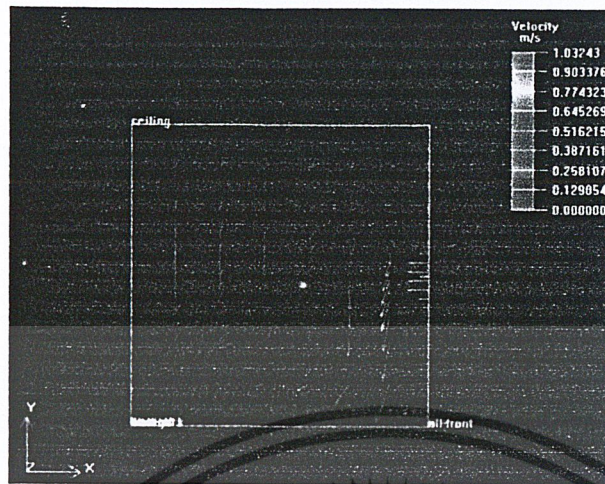
รูปที่ 4-10 แสดงลักษณะแบบจำลองห้องใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-11 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ภาพด้านบน) ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

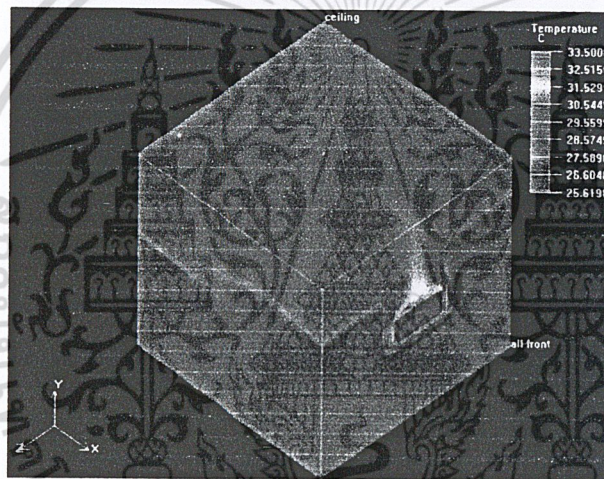
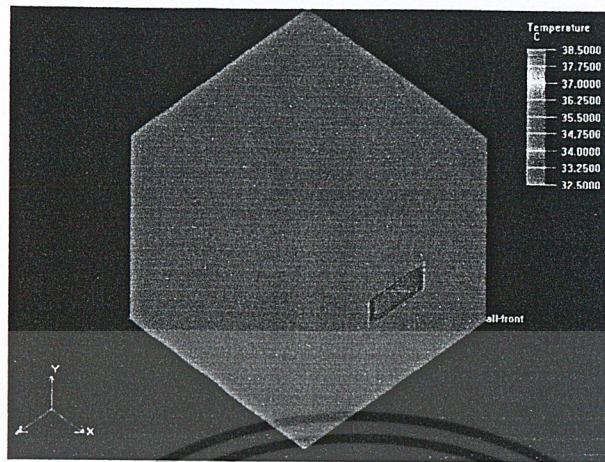


รูปที่ 4-12 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพคล้ายข้าง) ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

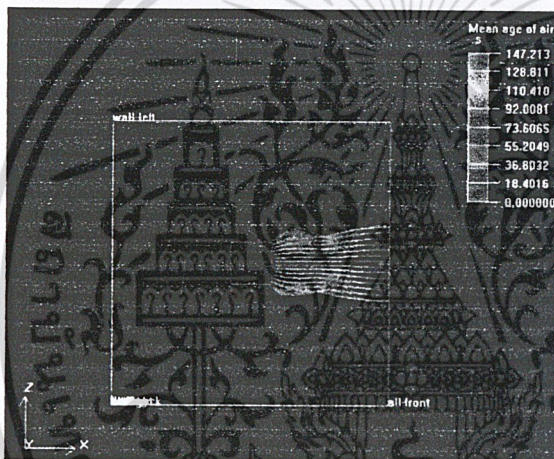
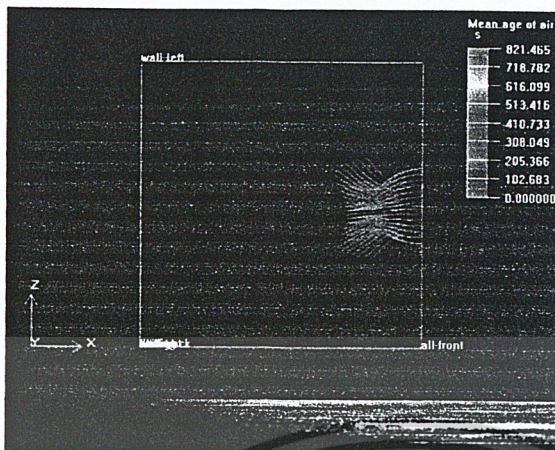
จากรูปที่ 4-11 และ 4-12 แสดงความเร็วของอากาศในห้องที่เปิดทางเข้าช่องกลางและปิดทางออกหมด เปรียบเทียบกันจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระหว่างห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์จะเห็นว่าอากาศจะไหลผ่านเข้ามาในช่องทางเข้าอากาศภายในห้อง จากข้างล่างจะลอยตัวอย่างสม่ำเสมอและมีความหนาแน่นของอากาศทำให้อากาศไหลขึ้นสู่ทางปล่องด้วยความเร็วเพื่อระบายความร้อนออกในขณะที่ห้องไม่ติดปล่องเมื่ออากาศไหลผ่านเข้ามาอากาศจะไหลผ่านด้วยความเร็วสูงด้านล่างกระทบกับผนังห้องเกิดการหมุนวนของอากาศภายในห้องอากาศจะไหลหมุนวนขึ้นสู่ด้านบนทำให้อากาศด้านบนของห้องที่ไม่ติดปล่องจะมีความหนาแน่นของอากาศทำให้อากาศร้อนกว่าด้านล่าง ดังแสดงอุณหภูมิจากรูป 4-13 และแสดงเส้นทางเดินของอนุภาคอากาศจากรูป 4-14 กับ รูป 4-15





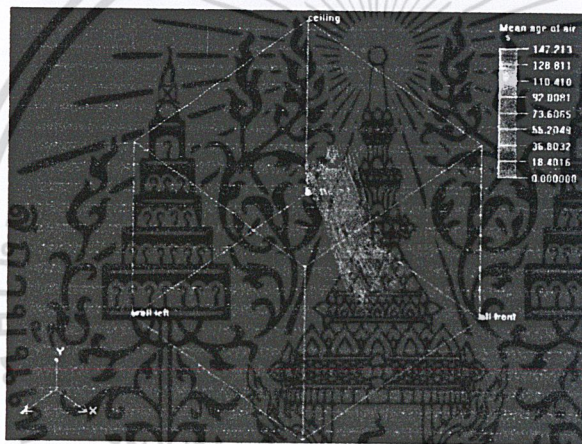
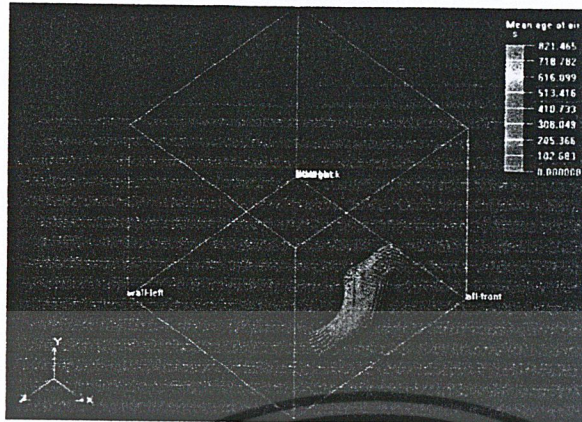
รูปที่ 4-13 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-14 ภาพแสดงทางเดินของอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และไม่ติดตั้งรังสีอาทิตย์(บน) ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

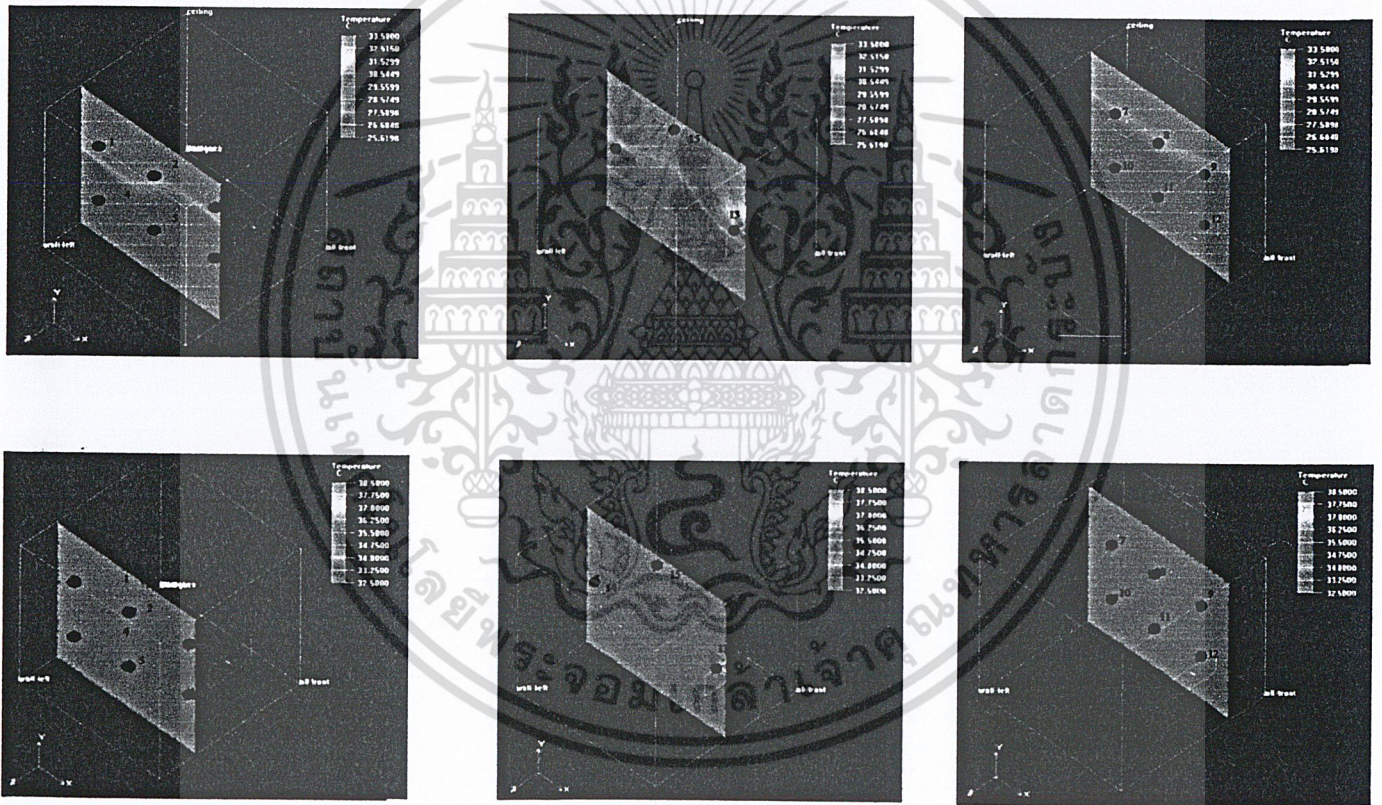


รูปที่ 4-15 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพ 3 มิติ) ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

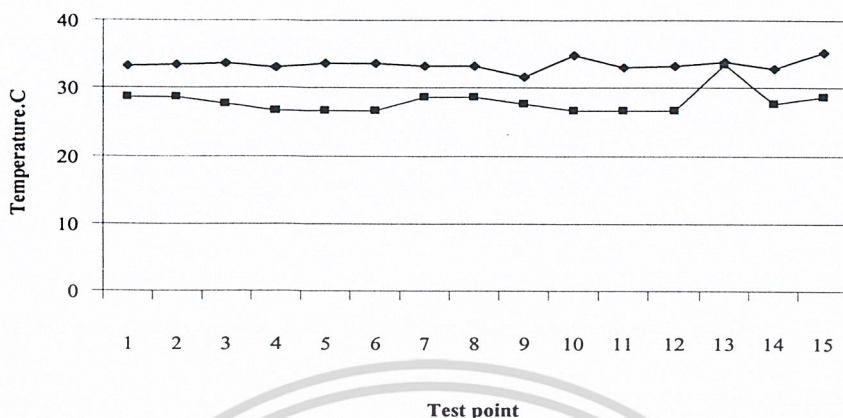
แสดงผลค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
กรณีที่ 2 เปิดทางเข้าช่องกลางและปิดทางออกทั้งหมด

Test pt.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Chimney	Exp	33.3	33.5	33.6	33.1	33.6	33.7	33.3	33.2	31.7	34.8	33.1	33.3	33.9	32.9	35.3
	Program	28.57	28.57	27.58	26.6	26.6	26.6	28.57	28.57	27.58	26.6	26.6	26.6	33.5	27.58	28.57
Non	Exp	35.5	35.5	35.7	34.7	34.7	34.7	35.7	35.8	35.8	34.7	34.6	34.7	34.8	35.1	37.6
	Program	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	38.12	33.69	38.12	38.12

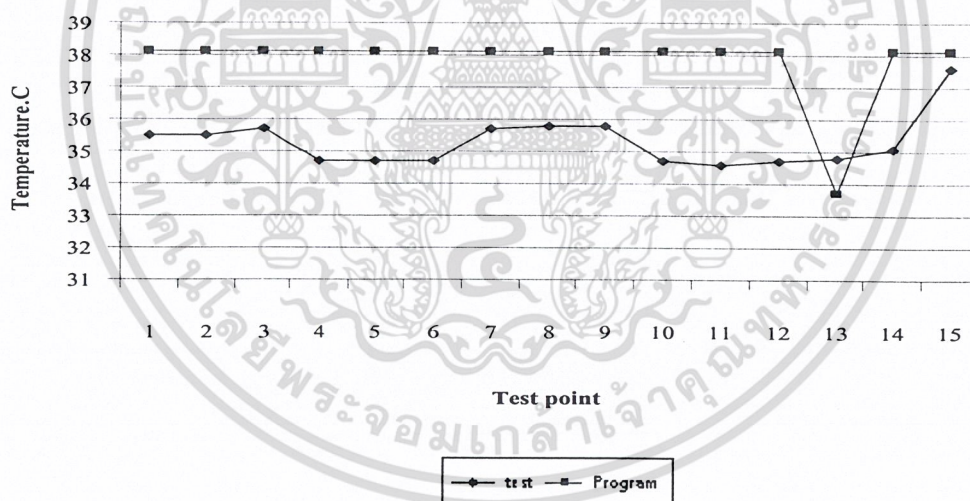


รูปที่ 4-16 แสดงการกระจายค่าตำแหน่งอุณหภูมิภายในห้องจำลองที่ติดปล่องและไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ในกรณีที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-17 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 2



รูปที่ 4-18 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 2

จากรูปที่ 4 -17 ห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ลักษณะกราฟจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ค่าที่ตำแหน่งเดียวกันจะไม่เท่ากัน โดยค่าอุณหภูมิจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในจุดที่ 13 มีค่าอุณหภูมิสูงกว่า เนื่องจากค่าอุณหภูมิภายในห้องมีการระบาย อากาศออกจากทางปล่องรังสีอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิในห้องไม่สูงเหมือนจุดที่ 13 และพบว่าจุดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4,5,6 กับจุดที่ 10,11,12 มีค่าอุณหภูมิเท่ากับ เพราะอากาศจากด้านล่างจะลอยตัวขึ้นข้างบนทำให้  
อุณหภูมิด้านล่างมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิด้านบน

จากรูปที่ 4 – 18 ห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ลักษณะกราฟจากผลการทดลองกับ  
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะมีลักษณะแตกต่างกัน โดยค่าอุณหภูมิจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในจุดที่  
13 มีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับห้องที่ติดตั้งปล่องในจุดที่ 13 เนื่องจากอากาศไหลผ่านเข้ามาที่ช่องทาง  
เปิดทำให้อากาศภายในห้องมีอุณหภูมิสูงและมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าจุดที่ 13 และภายในห้องก็ไม่มีก  
ระบายอากาศจึงทำให้ห้องมีอุณหภูมิสูง

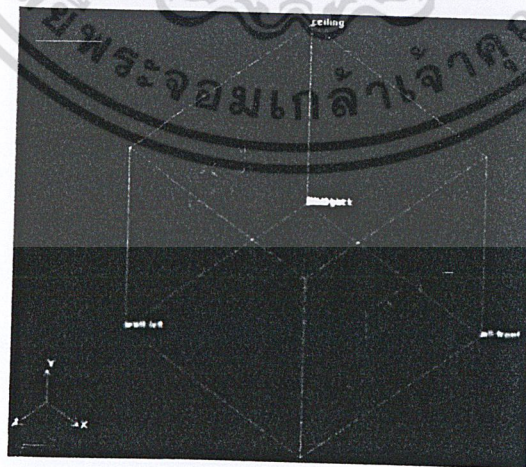


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 พิจารณากรณีที่ 3 เปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออกช่องกลางที่เวลา 12.00 น.  
วันที่ 16 พฤษภาคม 2547

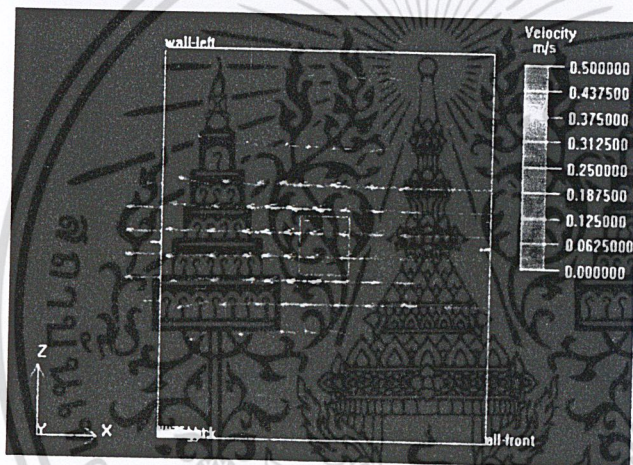
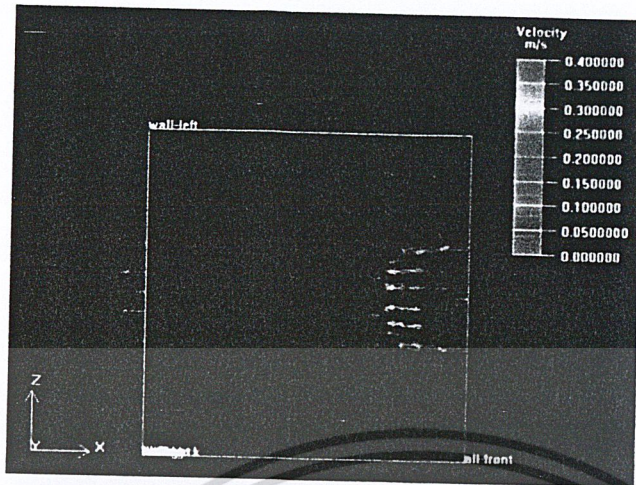
กำหนดให้

อุณหภูมิภายนอก	= 32.1 °C
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 0.5 m/s (ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= 0.2 m/s (ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ปล่อง	= 0.4 m/s
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 0.4 m/s (ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= 0.2 m/s (ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)

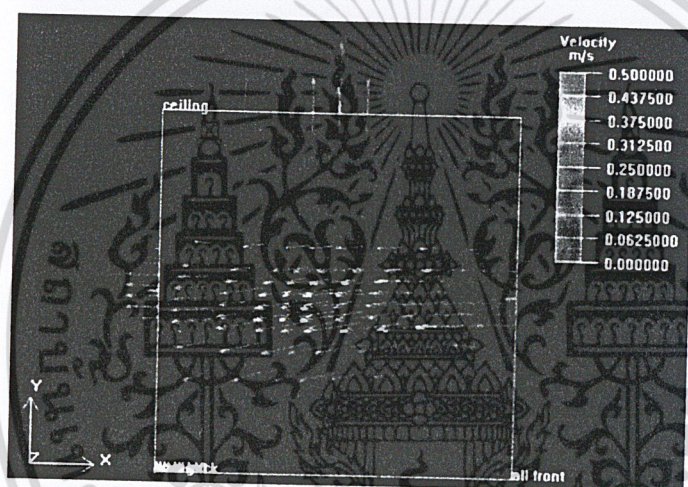
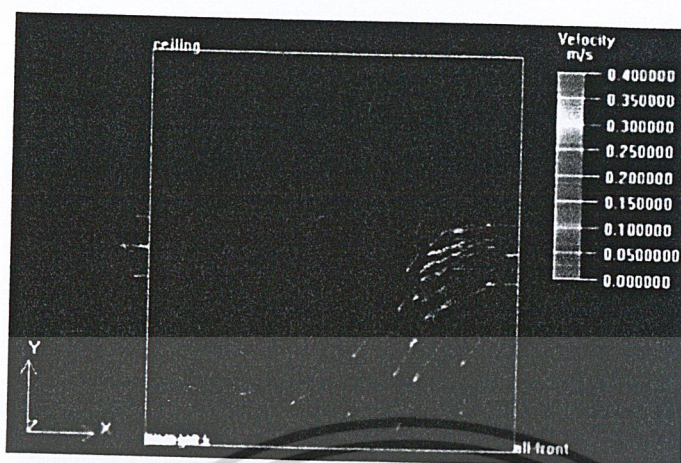


รูปที่ 4-19 แสดงลักษณะแบบจำลองห้องในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-20 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพด้านข้าง) ในกรณีที่ 3



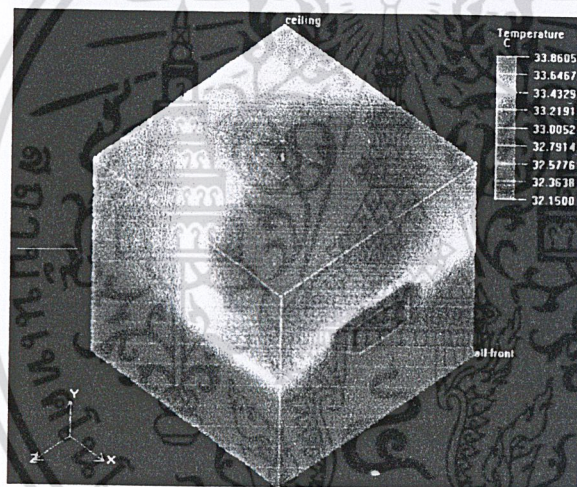
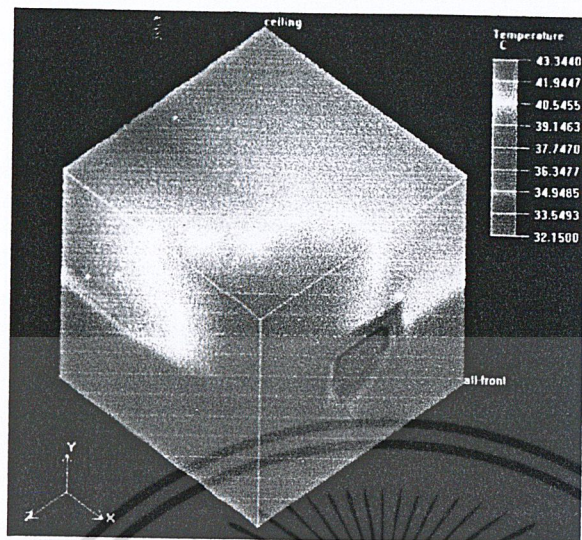
รูปที่ 4-21 แสดงค่าอนุกรมของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-20 และ 4-21 แสดงความเร็วของอากาศในห้องที่เปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออกช่องกลางเปรียบเทียบกับจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระหว่างห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ติดปล่องจะเห็นว่าอากาศจะไหลผ่านเข้ามาในช่องทางเข้าแล้วส่วนหนึ่งจะผ่านทางช่องทางออกในความเร็วที่ค่อนข้างสูงอีกส่วนหนึ่งจะกระทบทับผนังห้องเกิดการหมุนวนของอากาศโดยห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์จะมีการไหลวนของอากาศในลักษณะสม่ำเสมอทั้งด้านบนและด้านล่างทำให้อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกันในขณะที่หลังที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์นั้นการไหลวนจะเกิดในบริเวณด้านล่างของห้องทำให้ด้านบนมีความร้อนมากกว่าด้านล่าง ดังแสดงในรูปอุณหภูมิรูปที่ 4-22 และแสดงเส้นทางเดินของอนุภาคอากาศในรูป 4-23 กับ รูป 4-24

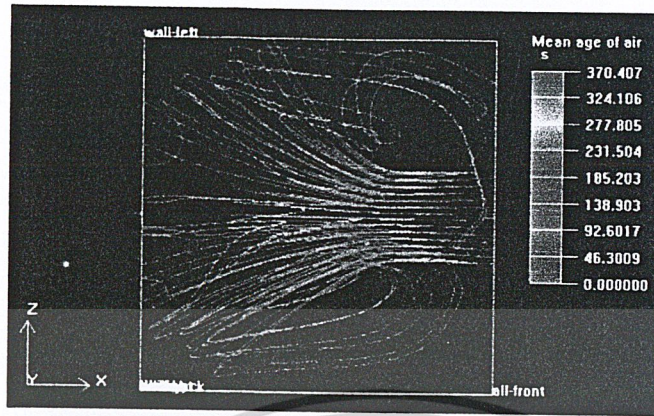


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

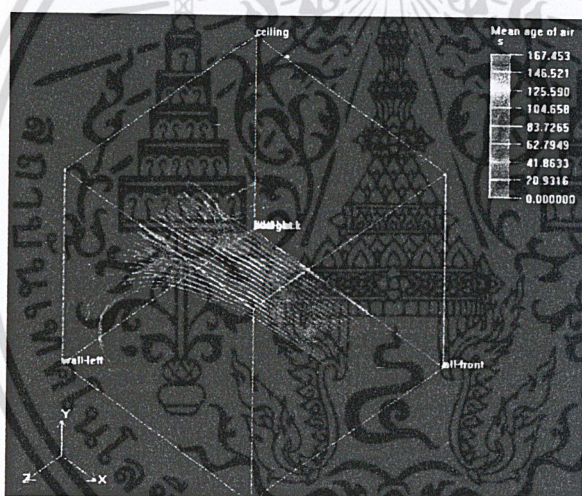
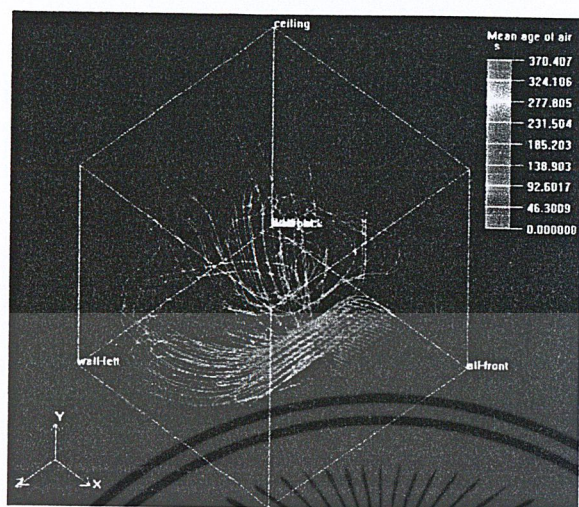


รูปที่ 4-22 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-23 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และไม่ติดตั้งรังสีอาทิตย์(บน) ในกรณีที่ 3

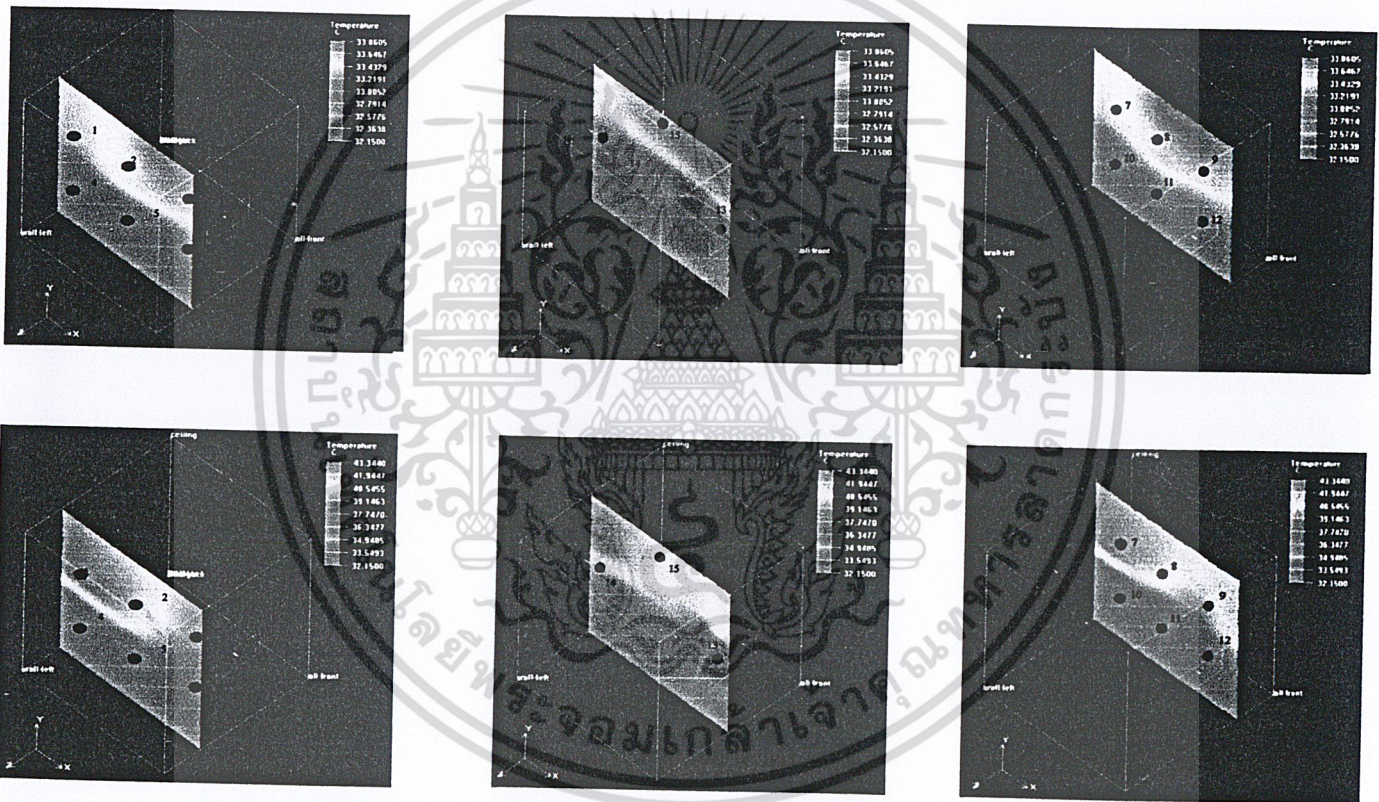


รูปที่ 4-24 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพ 3 มิติ) ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

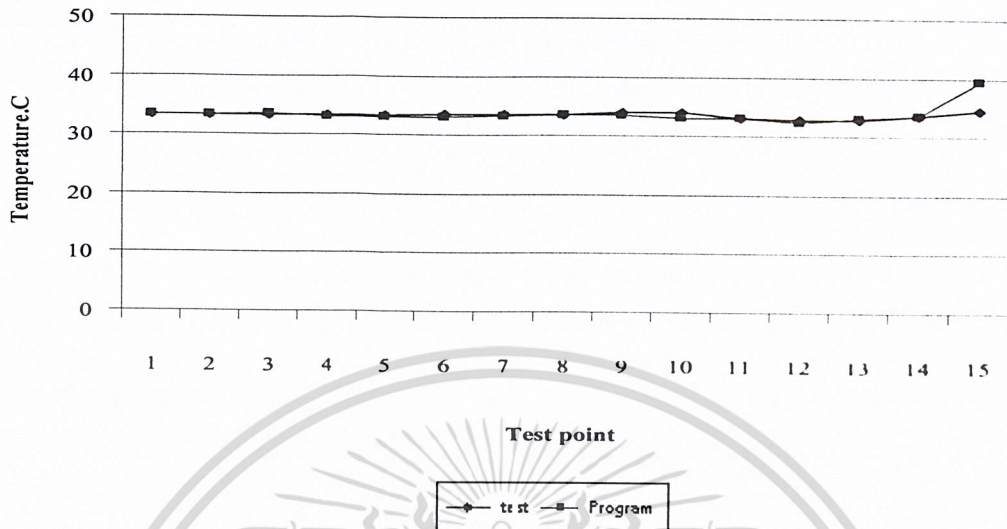
แสดงผลค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
กรณีที่ 3 เปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออกช่องกลาง

Test pt.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Chimney	Exp	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.6	33.5	33.6	34.1	34.1	33.2	32.9	32.9	33.6	34.5
	Program	33.43	33.43	33.64	33.21	33.21	33.21	33.43	33.5	33.64	33.21	33.21	32.36	32.36	33	33.64
Non	Exp	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3	33.6	33.5	33.6	34.1	34.1	33.2	32.9	32.9	33.6	34.5
	Program	42	41.94	40.54	37.74	37.74	37.74	41.94	41.25	40.54	37.74	37.74	37.74	32.85	37.74	40.54

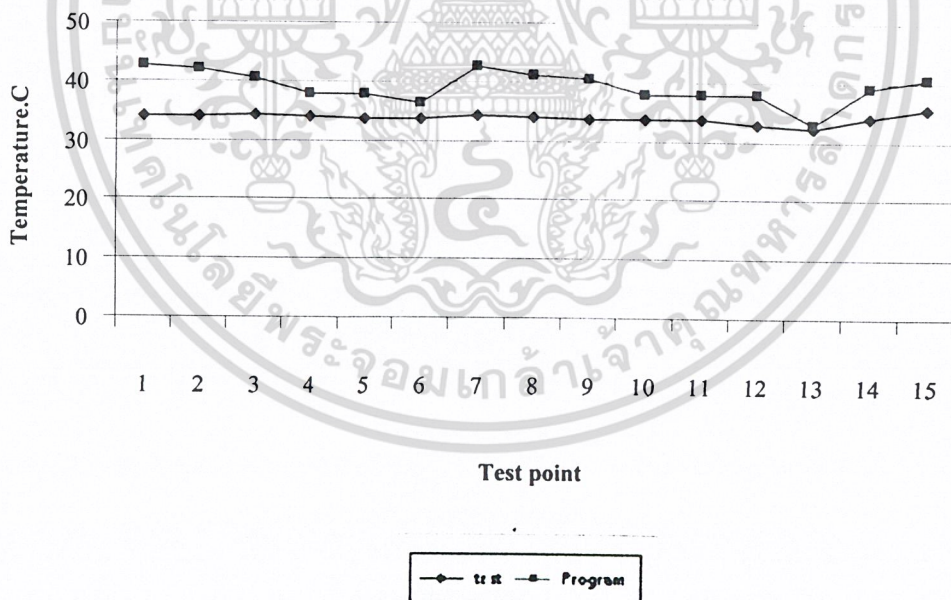


รูปที่ 4-25 แสดงการกระจายค่าตำแหน่งอุณหภูมิภายในห้องจำลองที่ติดปล่องและไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-26 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 3

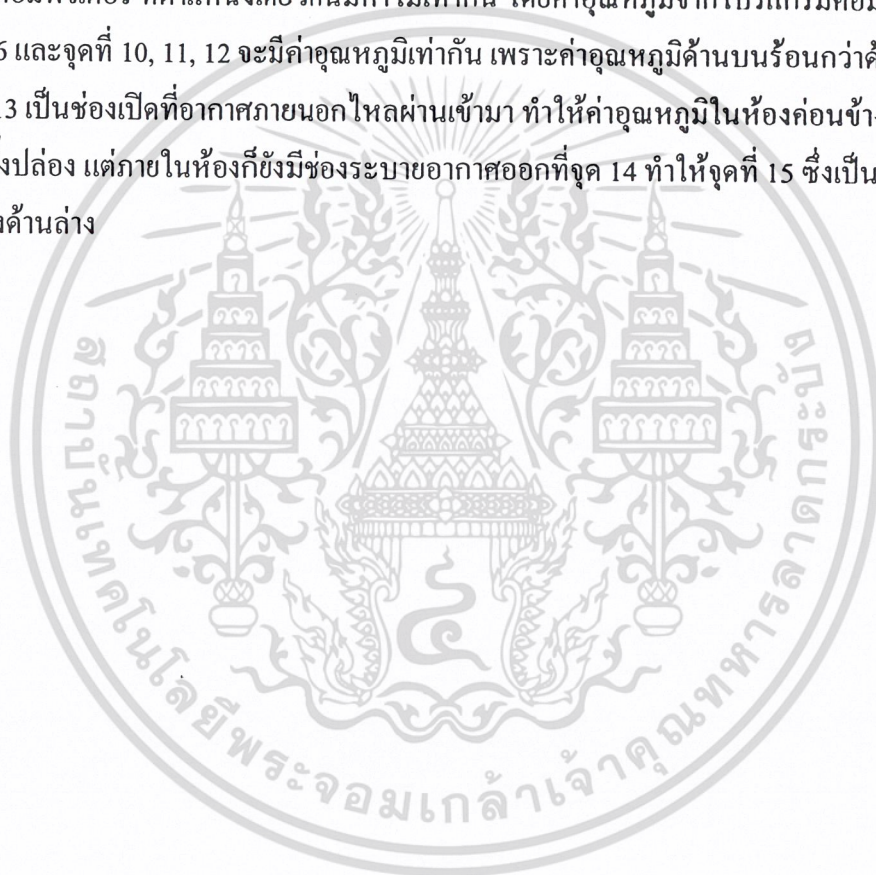


รูปที่ 4-27 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4 -26 ห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ลักษณะกราฟทั้งผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยค่าอุณหภูมิจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละจุดไม่แตกต่างกัน โดยจุดที่ 13 มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าทุกจุด แค่  $1^{\circ}\text{C}$  เพราะอากาศภายในห้องมีการระบายความร้อนออกทางช่องเปิดที่ทาง ออกและปล่องรังสีอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในห้องไม่ค่อยร้อน

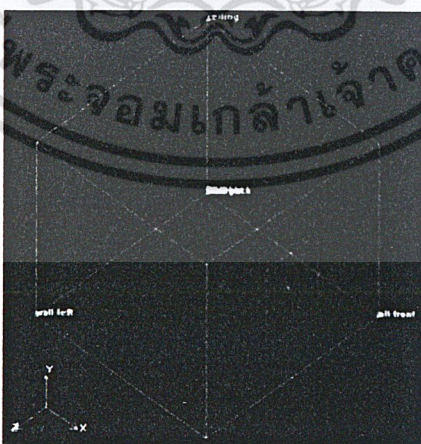
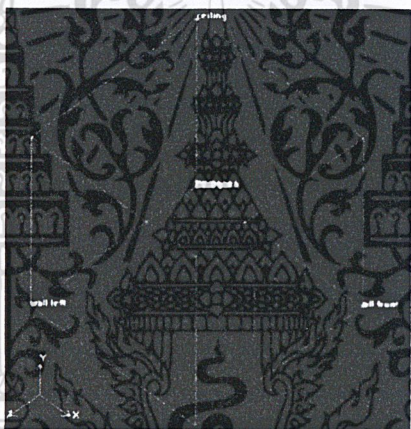
จากรูปที่ 4 -27 ห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ลักษณะกราฟทั้งผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ตำแหน่งเดียวกันมีค่าไม่เท่ากัน โดยค่าอุณหภูมิจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จุดที่ 4, 5, 6 และจุดที่ 10, 11, 12 จะมีค่าอุณหภูมิเท่ากัน เพราะค่าอุณหภูมิด้านบนร้อนกว่าด้านล่าง ส่วนจุดที่ 13 เป็นช่องเปิดที่อากาศภายนอกไหลผ่านเข้ามา ทำให้อุณหภูมิในห้องค่อนข้างสูงกว่าห้องที่ติดตั้งปล่อง แต่ภายในห้องก็ยังมีช่องระบายอากาศออกที่จุด 14 ทำให้จุดที่ 15 ซึ่งเป็นด้านบนค่อนข้างสูงด้านล่าง



4.4 พิจารณากรณีที่ 4 เปิดทางเข้าทั้งหมดและปิดทางออกทั้งหมดที่เวลา 12.00 น. วันที่ 18 พฤษภาคม 2547

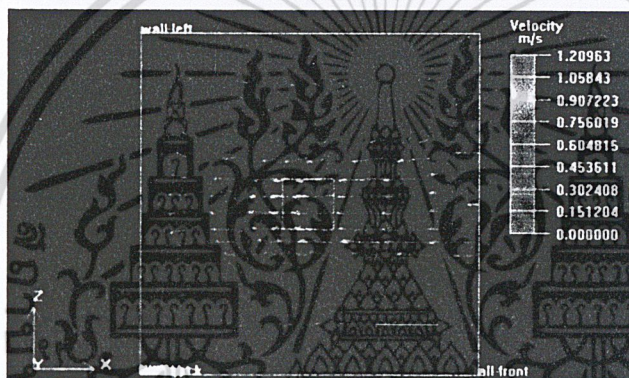
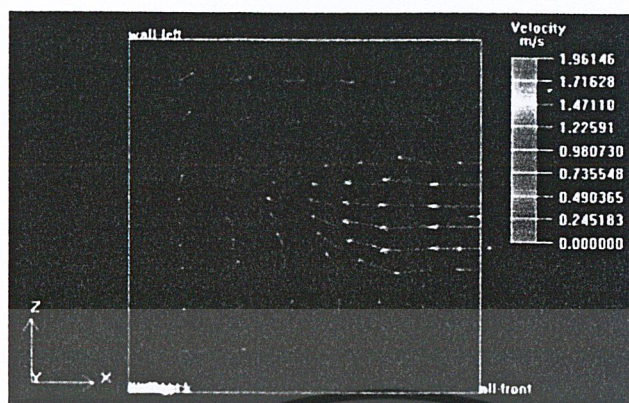
กำหนดให้

อุณหภูมิภายนอก	= 31.15 °c
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 1.2 m/s (ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= - m/s (ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ปล่อง	= 0.9 m/s
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 1.4 m/s (ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= - m/s (ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)

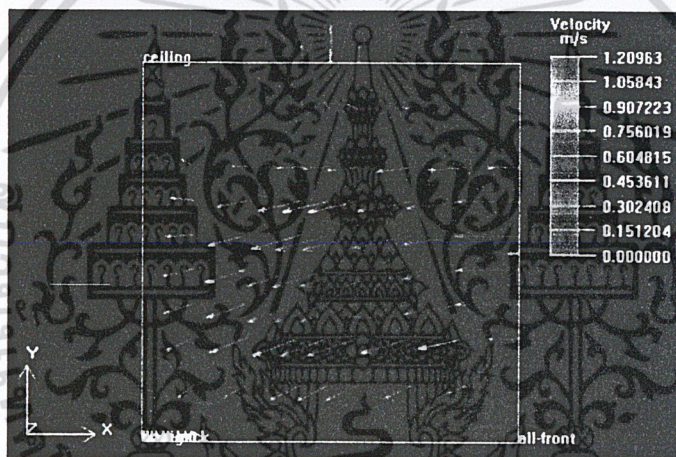
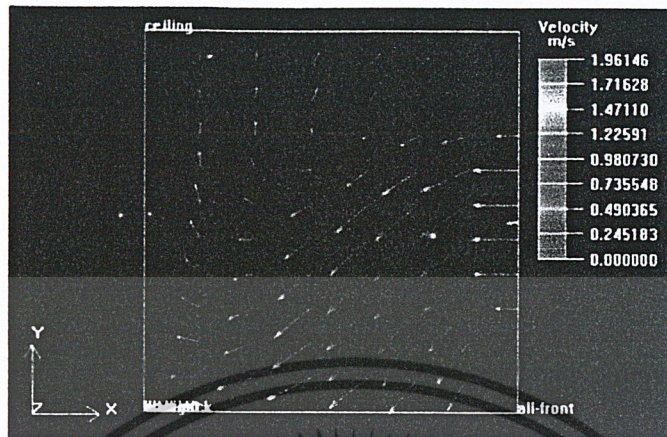


รูปที่ 4-28 แสดงลักษณะแบบจำลองห้องในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-29 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ภาพด้านบน) ในกรณีที่ 4



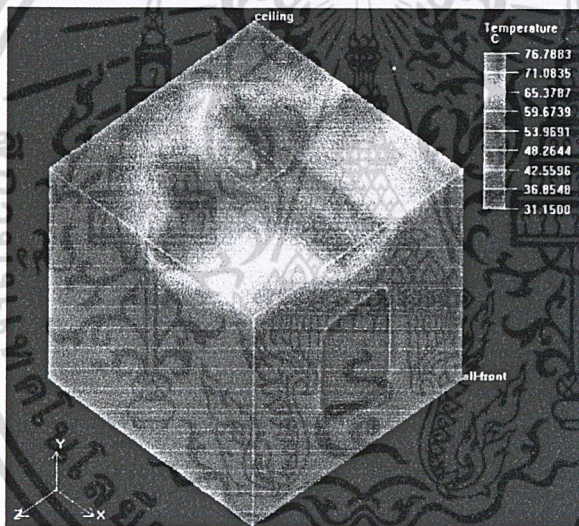
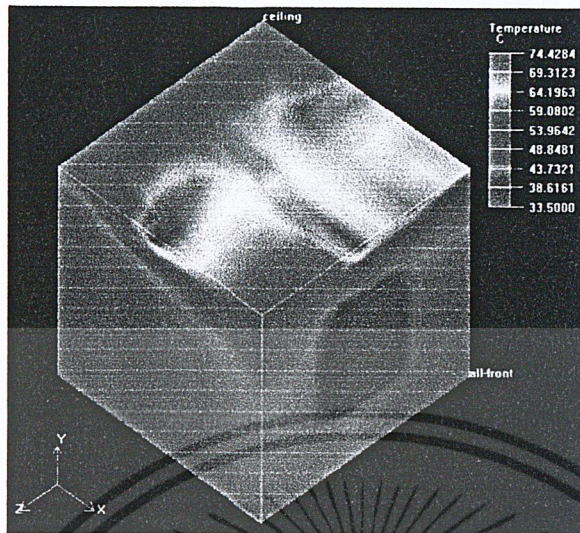
รูปที่ 4-30 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพด้านข้าง) ในกรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-29 และ 4-30 แสดงความเร็วของอากาศในห้องที่เปิดทางเข้าทั้งหมดและปิดทางออกทั้งหมดเปรียบเทียบกับจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระหว่างห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ติดตั้งจะเห็นว่าอากาศไหลผ่านช่องทางเปิดเข้ามาในห้องแล้วอากาศจะไหลผ่านไปกระทบกับผนังห้องด้วยความเร็วสูงและอีกส่วนหนึ่งกระทบกับผนังห้องเกิดการหมุนวนของอากาศโดยห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์จะมีการไหลวนของอากาศจากด้านล่างขึ้นสู่ทางด้านบนออกทางปล่องด้วยความเร็วสูงในขณะที่หลังที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์นั้นอากาศจะไหลเข้าช่องเปิดเข้ามากระทบกับผนังเกิดการหมุนวนของอากาศในลักษณะสมำเสมอทั้งด้านบนและด้านล่างทำให้ด้านบนที่ไม่ติดตั้งร้อนกว่าด้านล่างดังแสดงในรูปอุณหภูมิรูปที่ 4-30 และแสดงเส้นทางเดินของอนุภาคอากาศในรูปที่ 4-31 กับรูปที่ 4-32

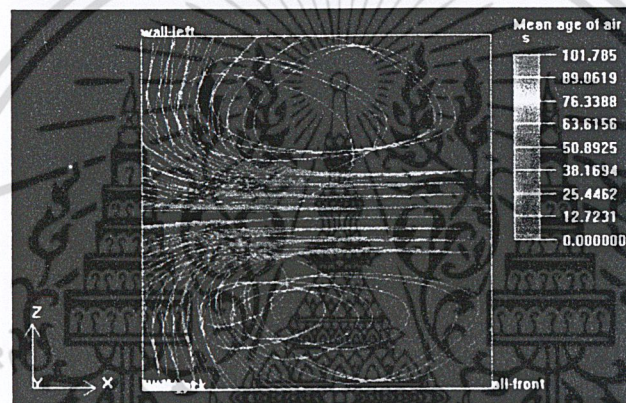
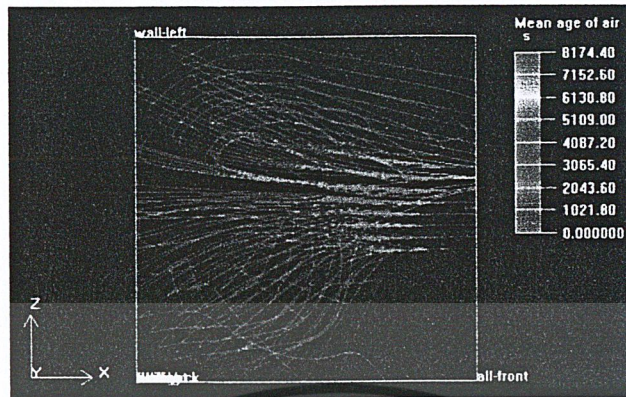


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

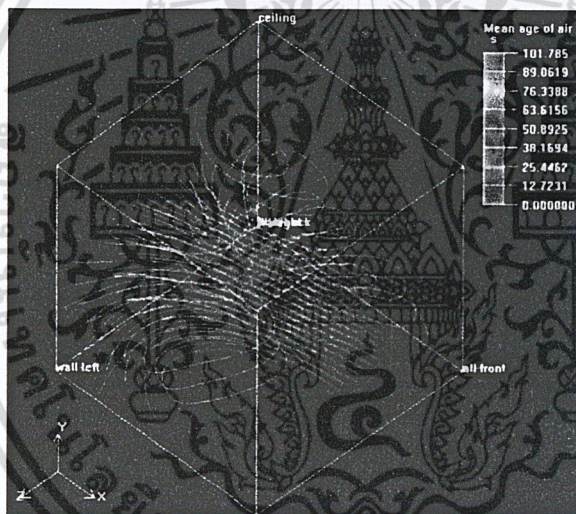
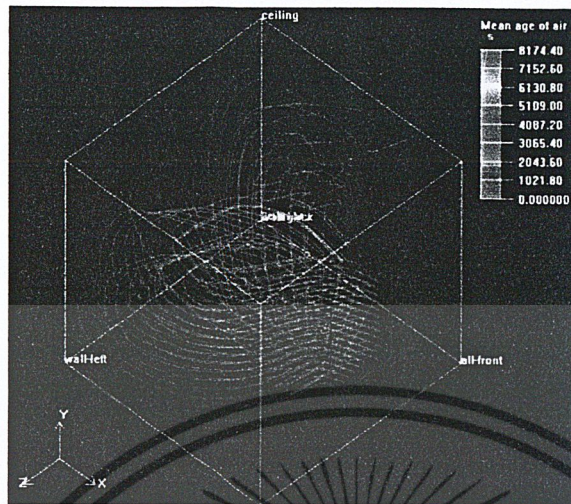


รูปที่ 4-31 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) ในกรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-32 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และไม่ติดตั้งรังสีอาทิตย์(บน) ในกรณีที่ 4

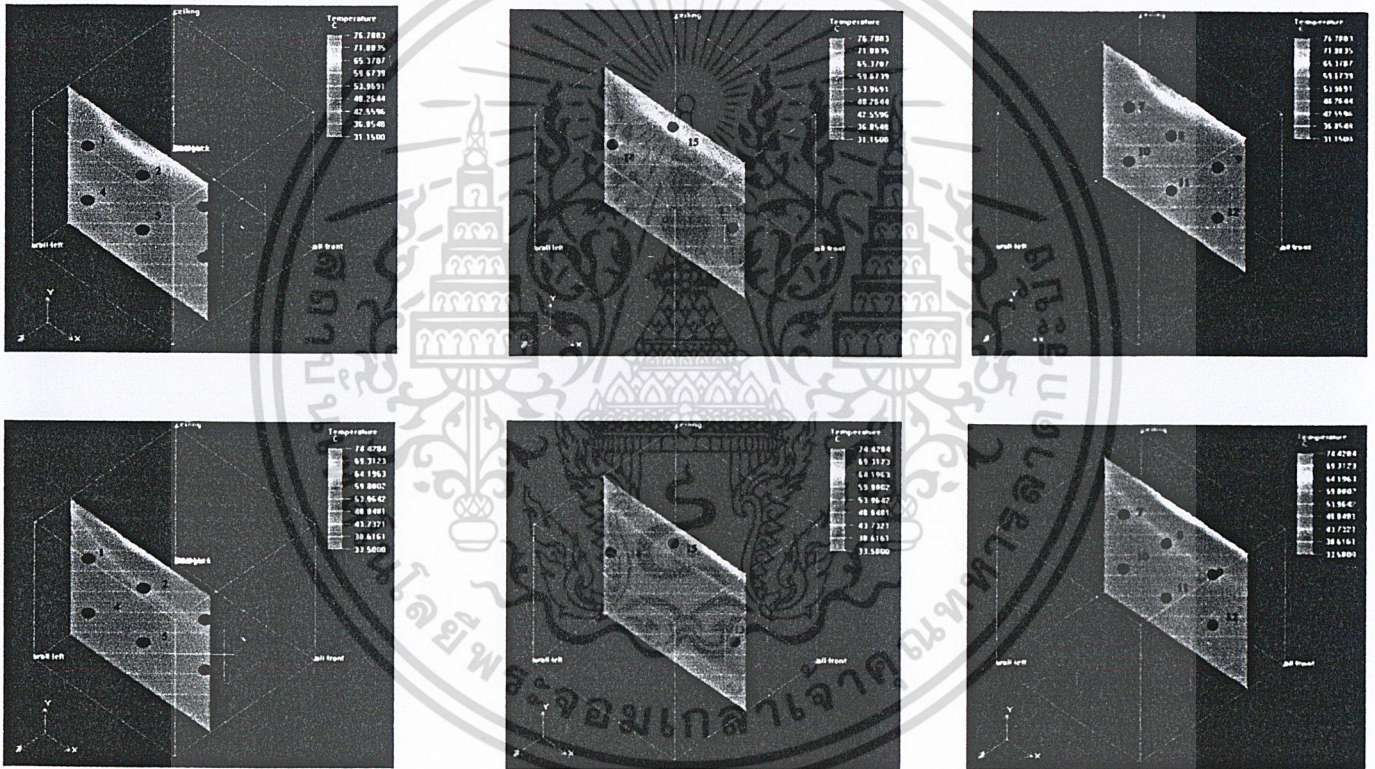


รูปที่ 4-33 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพ 3 มิติ) ในกรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

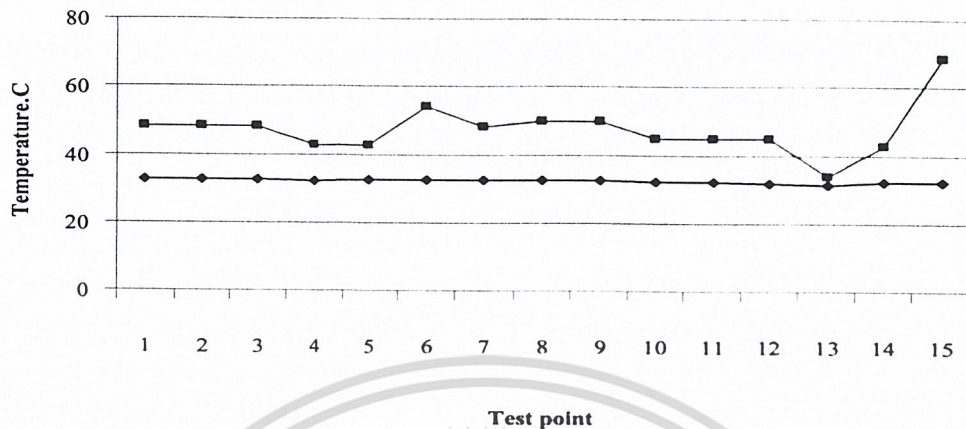
แสดงผลค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
กรณีที่ 4 เปิดทางเข้าทั้งหมดและปิดทางออกทั้งหมด

Test pt.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Chimney	Exp	32.5	32.6	32.6	32.3	32.4	32.6	32.5	32.4	32.4	32.2	32.1	31.8	31.4	32.3	32.2
	Program	45.42	45.87	45.87	42.56	42.56	42.56	45.52	45.87	45.87	42.56	42.56	42.56	35.86	37.5	54.57
Non	Exp	32.9	33	33	32.8	32.9	32.9	33.3	33.1	32.9	33.1	33.2	33.1	32.2	33	34.9
	Program	46.42	46.5	46.5	43.73	43.73	43.73	46.42	46.42	46.5	43.73	43.73	43.73	32.76	38.55	59.04

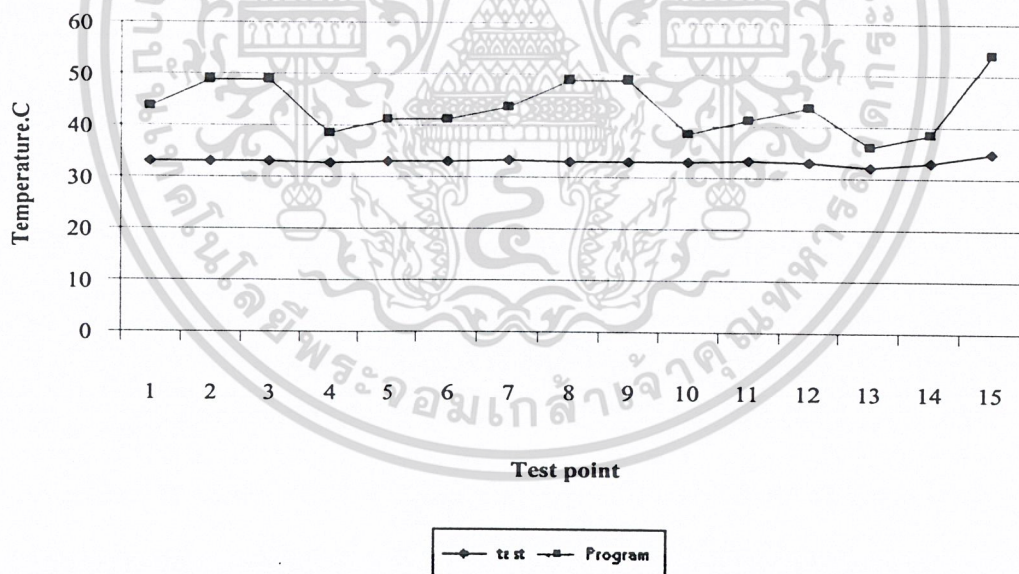


รูปที่ 4-34 แสดงการกระจายค่าตำแหน่งอุณหภูมิภายในห้องจำลองที่ติดปล่องและไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ในกรณีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-35 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 4



รูปที่ 4-36 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่

รูปที่ 4-35 ห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ลักษณะกราฟทั้งผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าแตกต่างกัน โดยค่าอุณหภูมิเท่ากัน เพราะจุดที่ 13 ช่องทางเปิดเข้าที่อากาศจาก 4, 5, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 และจุดที่ 10, 11, 12 มีค่าอุณหภูมิเท่ากัน เพราะจุดที่ 13 ช่องทางเปิดเข้าที่อากาศจากภายนอกไหลผ่านเข้ามา มีขนาดใหญ่กว่าทำให้ค่าอุณหภูมิภายในห้องด้านล่างมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าอุณหภูมิด้านบน ถึงแม้ว่าจุดที่ 15 ที่ปล่องจะมีการระบายอากาศออกทางด้านบนแก่ช่องเปิดที่ทางเข้าจุดที่ 13 มีอิทธิพลมากกว่าปล่องรังสีอาทิตย์ ทำให้ค่าอุณหภูมิสูงกว่าจุดอื่น ๆ เพราะอากาศไหลผ่านออกทางช่องเปิดมากกว่า นั่นเอง

รูปที่ 4 -36 ห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ลักษณะกราฟที่ผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าอุณหภูมิแตกต่างกันที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยค่าอุณหภูมิแตกต่างกันที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยค่าอุณหภูมิจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเหมือนกับห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ เพียงแต่มีค่าอุณหภูมิสูงกว่า โดยเฉพาะบริเวณด้านบนในจุดที่ 15 มีค่าอุณหภูมิก่อนข้างสูงและร้อน

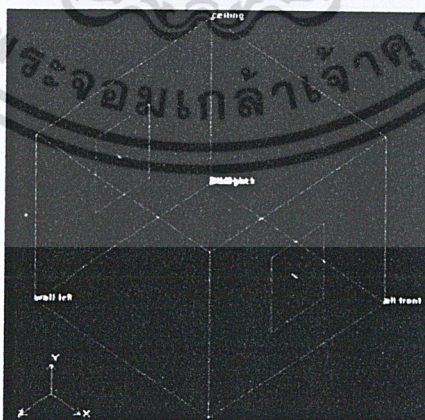
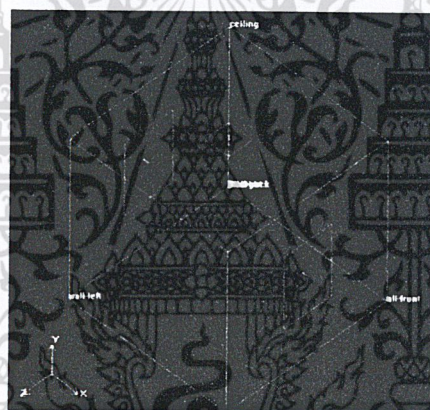


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 พิจารณากรณีที่ 5 เปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออกทั้งหมดที่เวลา 12.00 น. วันที่ 19 พฤษภาคม 2547

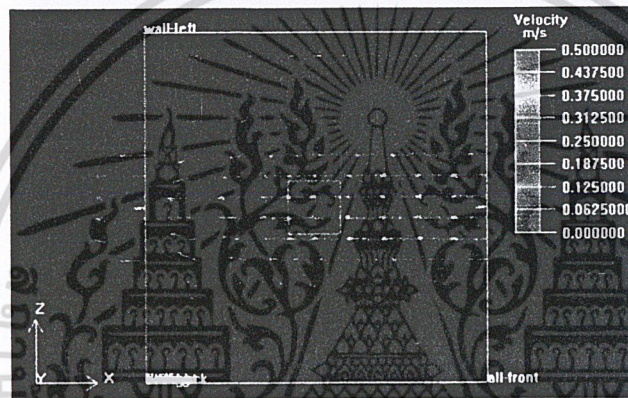
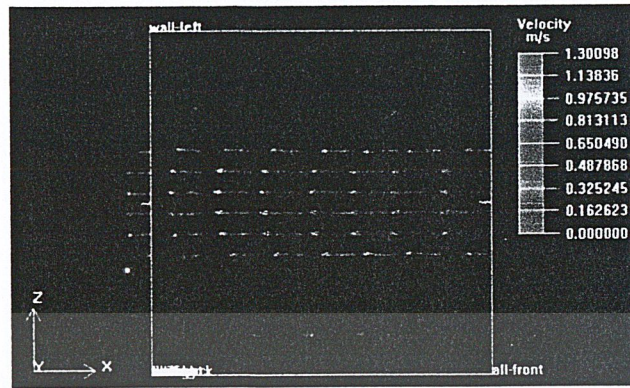
กำหนดให้

อุณหภูมิภายนอก	= 31.9 °c
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 0.3 m/s (ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= 0.5 m/s (ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ปล่อง	= 0.4 m/s
ความเร็วของอากาศที่ทางเข้า	= 1.3 m/s (ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)
ความเร็วของอากาศที่ทางออก	= 0.4 m/s (ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์)

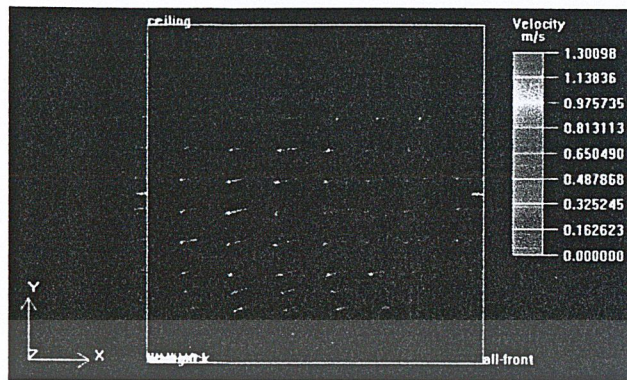


รูปที่ 4-37 แสดงลักษณะแบบจำลองห้องในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



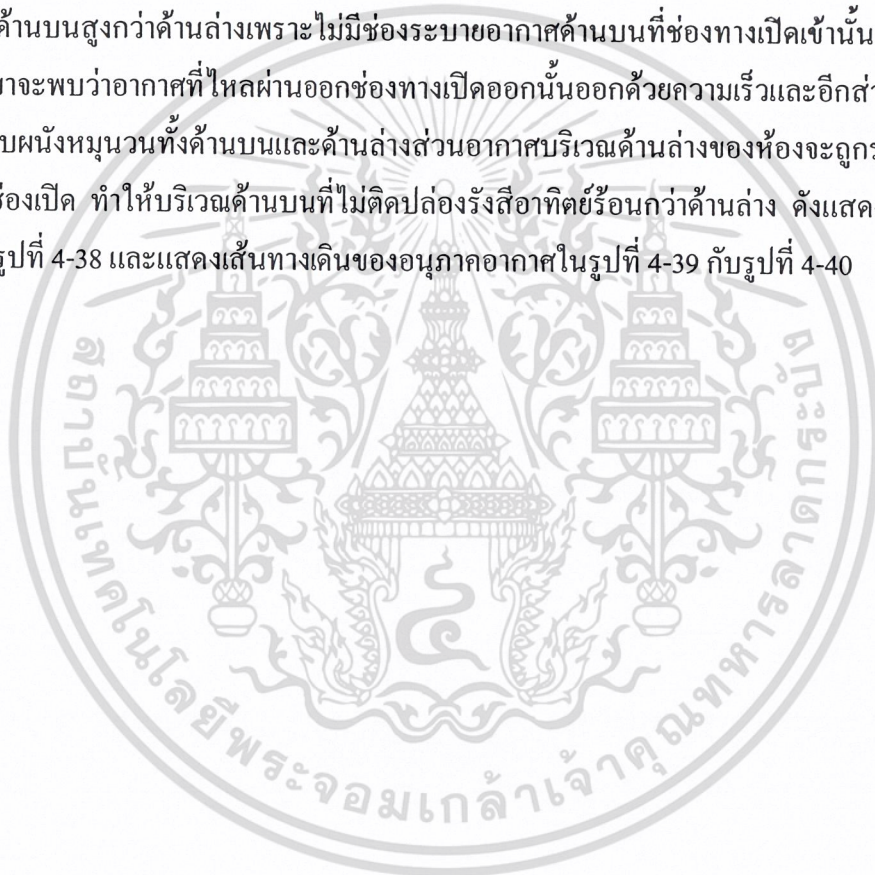
รูปที่ 4-38 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ภาพด้านบน) ในกรณีที่ 5

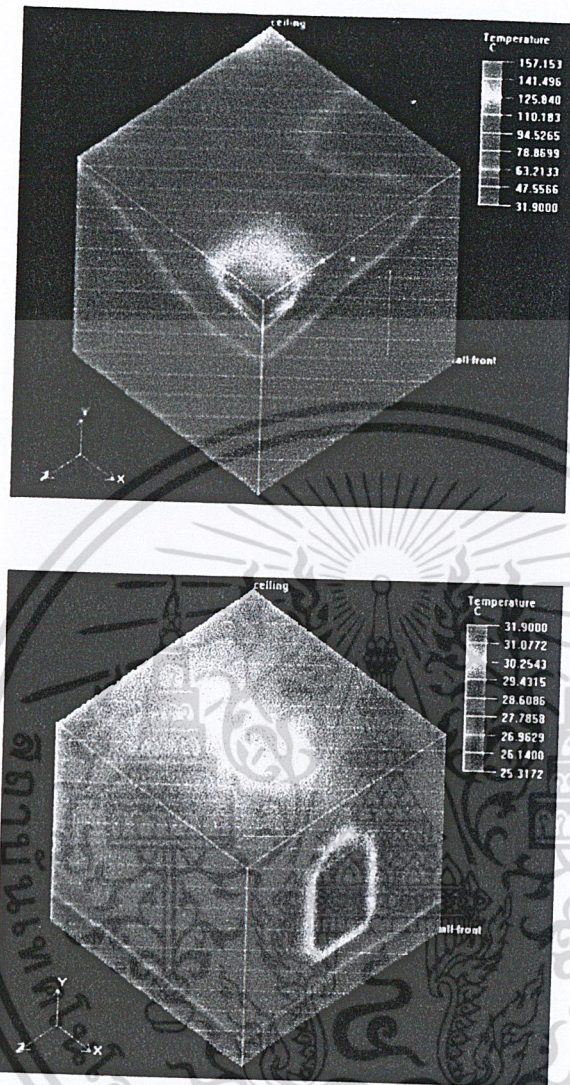


รูปที่ 4-39 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพด้านข้าง) ในกรณีที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

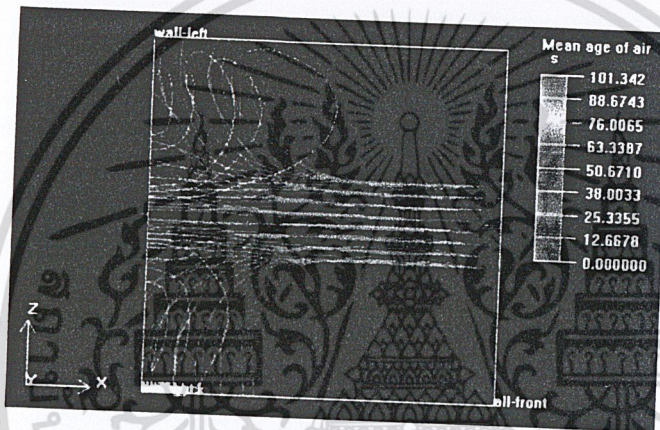
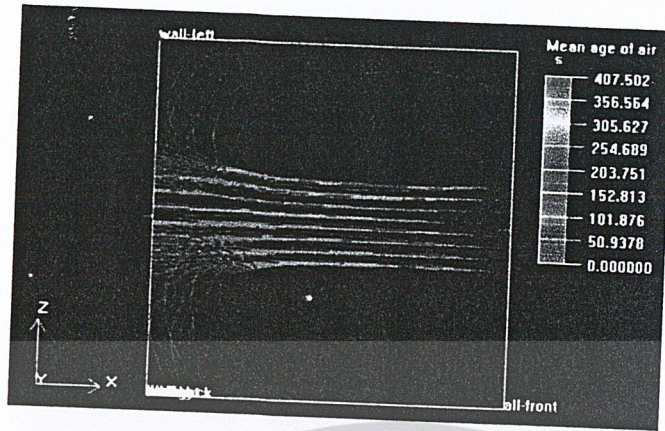
จากรูปที่ 4-38 และ 4-39 แสดงความเร็วของอากาศภายในห้องที่เปิดทางเข้าทั้งหมด และเปิดทางออกทั้งหมดเปรียบเทียบกันจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ระหว่างห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์จะเห็นว่าอากาศไหลผ่านเข้าช่องทางเปิดด้วยความเร็วสม่ำเสมอเข้ามาในบริเวณภายในห้องจากช่องทางเปิดขนาดใหญ่อากาศมีการไหลผ่านในปริมาณที่มากกว่าทำให้อากาศร้อนถูกระบายออกจากทางข้างเปิดมากกว่าปล่องรังสีอาทิตย์ ซึ่งมีขนาดช่องทางเปิดเข้าและออกเท่ากันตามรูปและจากรูปที่มองด้านบนทำให้ความร้อนที่สะสมในด้านบนและด้านล่างในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ไม่ต่างกันในขณะที่ห้องไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์พบว่า อุณหภูมิด้านบนสูงกว่าด้านล่างเพราะไม่มีช่องระบายอากาศด้านบนที่ช่องทางเปิดเข้านั้นเมื่ออากาศไหลเข้ามาจะพบว่าอากาศที่ไหลผ่านออกช่องทางเปิดออกนั้นออกด้วยความเร็วและอีกส่วนหนึ่งจะไปกระทบผนังหมุนวนทั้งด้านบนและด้านล่างส่วนอากาศบริเวณด้านล่างของห้องจะถูกระบายออกจากทางช่องเปิด ทำให้บริเวณด้านบนที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ร้อนกว่าด้านล่าง ดังแสดงในรูป อุณหภูมิรูปที่ 4-38 และแสดงเส้นทางเดินของอนุภาคอากาศในรูปที่ 4-39 กับรูปที่ 4-40





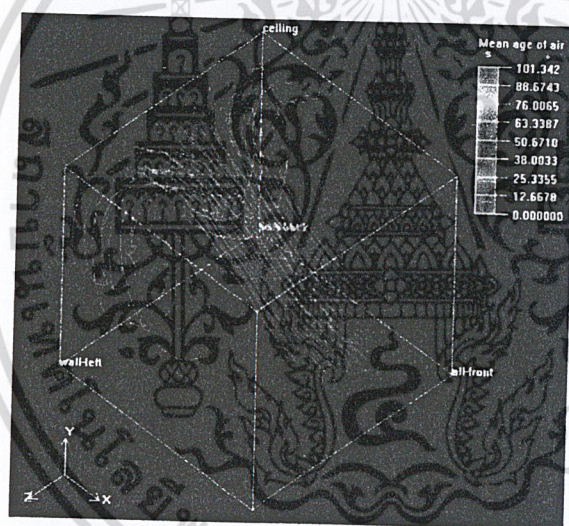
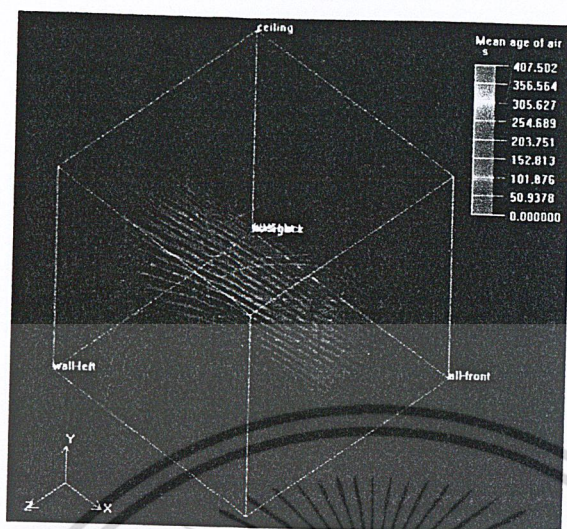
รูปที่ 4-40 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง)และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) ในกรณีที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-41 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์(ล่าง) และไม่ติดตั้งรังสีอาทิตย์(บน) ในกรณีที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

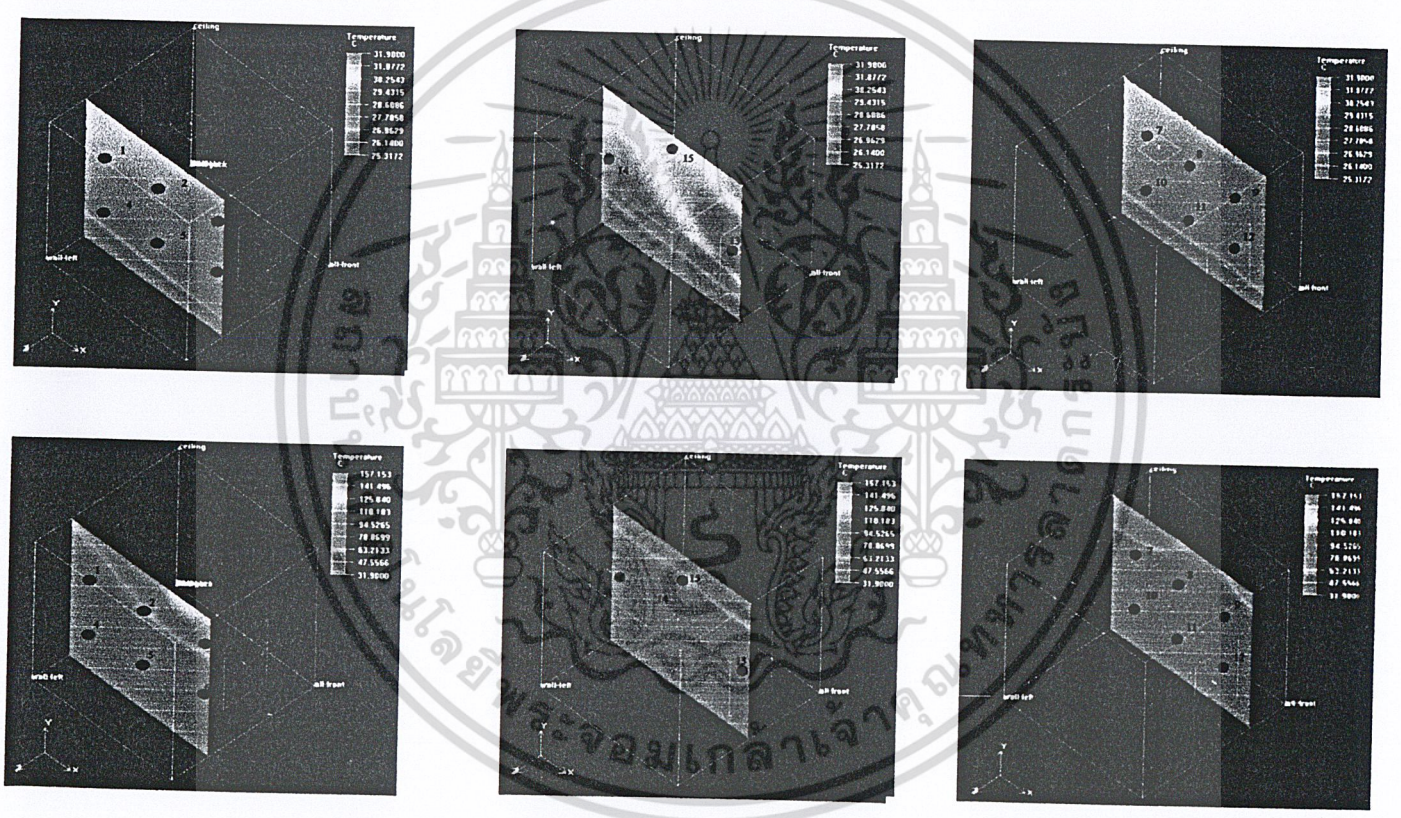


รูปที่ 4-42 ภาพแสดงทางเดินของอนุภาคอากาศที่อยู่ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (ล่าง) และไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ (บน) (ภาพ 3 มิติ) ในกรณีที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

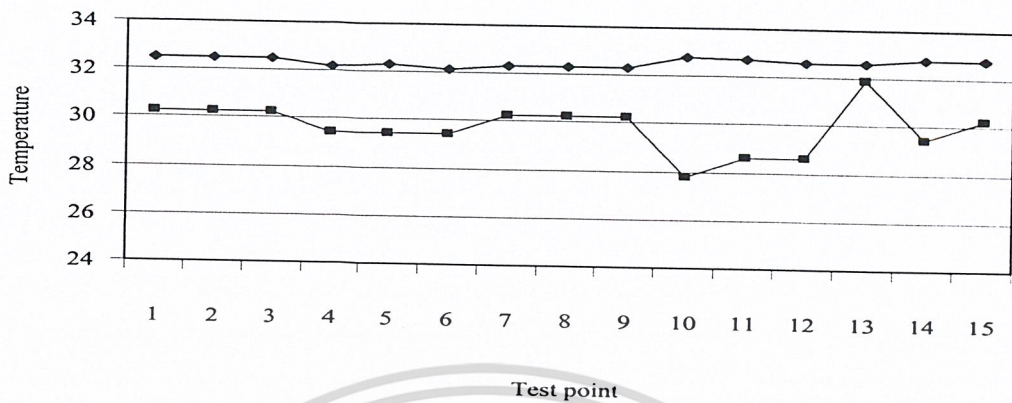
แสดงผลค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
กรณีที่ 5 เปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออกทั้งหมด

Test pt.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Chimney	Exp	32.5	32.5	32.5	32.2	32.3	32.1	32.3	32.3	32.3	32.8	32.7	32.6	32.6	32.8	32.8
	Program	30.25	30.25	30.25	29.43	29.43	29.43	30.25	30.25	30.25	29.43	29.43	29.43	31.9	29.43	30.88
Non	Exp	32.9	33	33.1	32.9	33	33	33.3	33.2	33.2	32.8	32.8	32.7	32.1	32.6	33.8
	Program	55.38	63.21	78.86	39.72	39.72	39.72	55.38	39.72	39.72	39.72	39.72	39.72	39.72	39.72	78.86

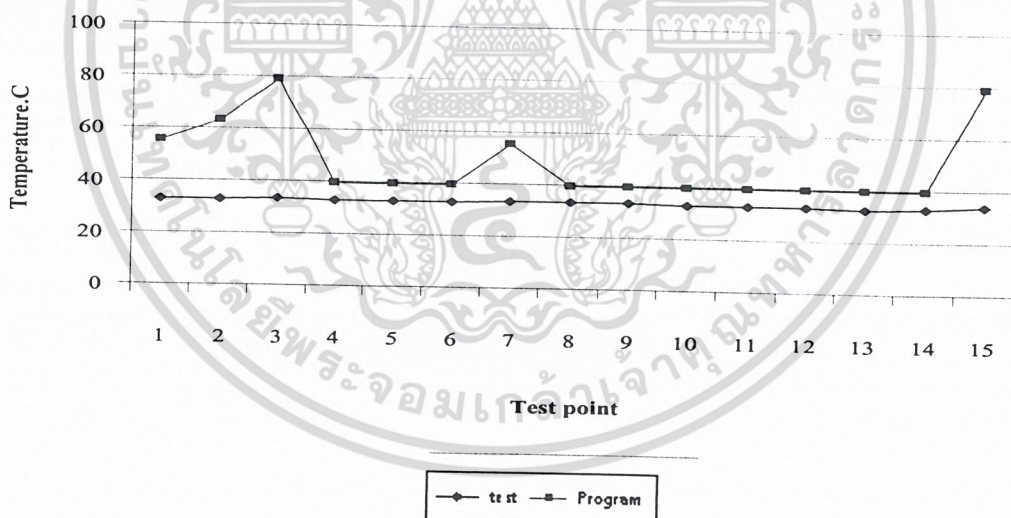


รูปที่ 4-43 แสดงการกระจายค่าตำแหน่งอุณหภูมิภายในห้องจำลองที่ติดปล่องและไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์ในกรณีที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-44 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 5



รูปที่ 4-45 แสดงกราฟการเปรียบเทียบอุณหภูมิในห้องจำลองจากผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในห้องที่ไม่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ในกรณีที่ 5

รูปที่ 4-44 ห้องที่ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ลักษณะกราฟทั้งผลการทดลองกับ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยค่าอุณหภูมิจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในจุดที่ 13 ซึ่งเป็นช่องเปิดทางเข้า ที่อากาศภายนอกไหลผ่านเข้ามาทำให้ค่าอุณหภูมิภายในห้องแต่ละจุดมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดย ช่องเปิดที่ทางออกจุดที่ 14 มีค่าอุณหภูมิ และอิทธิพลเหนือกว่าปล่องรังสีอาทิตย์ ด้านบนในจุดที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะช่องเปิดมีขนาดใหญ่และมีอากาศไหลผ่านในปริมาณที่มากกว่าปล่องรังสีอาทิตย์ ส่วนค่าอุณหภูมิจะมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากนัก

รูปที่ 4-45 ห้องที่ไม่ได้ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ ลักษณะกราฟทั้งผลการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าค่าที่ตำแหน่งเดียวกันมีค่าอุณหภูมิไม่เท่ากัน โดยค่าอุณหภูมิจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในจุดที่ 4, 5, 6 และจุดที่ 10, 11, 12 มีค่าอุณหภูมิเหมือนกัน เพราะจุดที่ 13 ช่องทางเปิดเข้าและจุดที่ 14 ช่องทางเปิดออกมีขนาดใหญ่เท่ากันทำให้ค่าอุณหภูมิบริเวณด้านล่างมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าด้านบนที่จุด 15 ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าเพราะไม่มีช่องระบายอากาศทางด้านบนทำให้ค่าอุณหภูมิด้านบนร้อนกว่าด้านล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปจากการทดลองและเปรียบเทียบผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาอุณหภูมิเฉลี่ยเปรียบเทียบกันจากการทดลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระหว่างห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องที่ไม่ได้ติดปล่องรังสีอาทิตย์เราจะพบว่ ุณภูมิของปล่องรังสีอาทิตย์ที่ได้ผลคือ ุณภูมิปิดหมดและุณภูมิเปิดทางเข้าและเปิดทางออกซึ่งปล่องมีอิทธิพลที่ช่วยในการระบายความร้อนให้ภายในห้องเย็นลง ส่วนในุณภูมิเปิดทั้งทางเข้าและเปิดทางออกทั้งหมดนั้นพบว่า ช่องทางเปิดมีอิทธิพลมากกว่าปล่องรังสีอาทิตย์ เนื่องจากช่องเปิดขนาดใหญ่่อากาศมีการไหลผ่านในปริมาณที่มากกว่าการไหลผ่านปล่องรังสีอาทิตย์ทำให้อากาศร้อนถูกระบายออกทางช่องเปิดมากกว่าปล่องรังสีอาทิตย์

2. จากการศึกษาขนาดของช่องเปิดในุณภูมิเปิดทั้งทางเข้าและทางออกทั้งสองุณภูมิ (ช่องเปิดขนาดเล็กและขนาดใหญ่) จะพบว่าในห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิในช่วงจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายใกล้เคียงกัน ส่วนในช่วงจุดกลางๆ จะมีความต่างกันของช่องขนาดใหญ่กว่าจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเพราะมีการระบายความร้อนได้ดีกว่า (อากาศถ่ายเทตามช่วงยาวได้มากกว่า) ในช่องเปิดอากาศเข้าขนาดเล็กและขนาดใหญ่ผลของช่องขนาดใหญ่จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องมาจากการระบายอากาศได้มากกว่าเพราะช่องมีขนาดใหญ่นั่นเอง

3. ผลจากการทดลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภายในห้องที่มีการติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์ในุณภูมิเปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออกช่องกลางกับุณภูมิเปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออกทั้งหมดจะพบว่าอุณหภูมิจะลดลงสูงสุดโดยประมาณ 2 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับห้องที่ไม่ได้ติดตั้งปล่องรังสีอาทิตย์

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เกี่ยวกับการใช้ปล่องรังสีอาทิตย์กับห้องจำลอง(บ้านพักอาศัย)

1. ในปัจจุบันมีการสร้างบ้านพักอาศัยเกือบจะชิดติดกันเป็นจำนวนมาก จึงทำให้ไม่สามารถนำอิทธิพลของลมมาใช้ในการลดภาวะความร้อนและการระบายอากาศได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการประยุกต์ใช้หลักการของปล่องรังสีอาทิตย์ในการลดความร้อนและการระบายอากาศแบบธรรมชาติจึงเหมาะสมกับแถบชานเมืองหรือแถบชนบทจะเหมาะสมมากกว่า

2. ตัวปล่องรังสีอาทิตย์นั้นควรมีการติดตั้งกันสาดหรือตะแกรงที่ช่องทางออกของปล่องเพื่อแก้ปัญหาเรื่องฝนและแมลงต่างๆ ได้
3. มลพิษและฝุ่นผงของอากาศบริเวณรอบๆ ปล่องหากอากาศไม่สะอาดจะเกิดปัญหาภายในบ้านพักอาศัยได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก  
ก. ข้อมูลการทดลอง  
ข. ข้อมูลอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 คุณหมูนกภายในห้องที่วัดกิจกรรมชีวิตทางเข้าและทางออก วันที่ทดลอง 14 พฤษภาคม 2547

เวลา	จุดวัดห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์														
	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	
1	32.2	32.1	32.9	33	33.1	33.8	35.4	34.8	35.8	35.5	35	36.8	34.2	35.6	
2	32.1	31.9	32.8	32.8	32.9	34	35.4	34.1	35.6	35.8	35.7	36.6	33.6	34.4	
3	32.1	31.9	32.8	32.8	32.9	33.6	35.4	33.8	34.5	34.1	36	36.7	33.9	36.8	
4	32.1	32.1	32.8	32.9	33	33.8	35.1	34.1	35.2	34.6	35.8	36.5	34.1	37.3	
5	32.1	31.9	32.8	32.8	32.9	33.6	35	33.9	34.1	33.8	35.6	36.5	33.6	36.8	
6	32	31.9	32.8	32.8	32.9	33.6	34.1	33.9	34.1	33.9	35.7	36.5	33.6	36.2	
7	32.1	32	32.8	32.9	33	33.9	34.3	34.1	35.5	34.5	36	36.8	33.9	37.4	
8	32.1	32	32.8	32.9	33	33.8	34.2	34	35.3	34.3	36	36.7	33.7	37.5	
9	32.1	31.9	32.8	32.8	32.9	33.6	34	33.8	34	33.8	35.8	33.9	33.6	37.3	
10	32	31.9	32.8	32.8	32.9	33.6	33.9	33.8	34	33.8	33.7	33.9	33.6	33.4	
11	32	32	33	32.8	33	34.1	34.1	34.5	35.2	35.4	35.6	34.1	33.8	37	
12	32.1	32	33.1	32.8	32.9	34.1	34	34.1	35	35.2	35.6	34	33.9	37	
13	32	31.9	33	32.8	32.9	34.3	34.1	34.1	34.3	35.7	34	34	33.8	36.8	
14	32	31.9	32.8	32.8	32.9	33.6	33.9	33.8	34	33.9	33.7	33.9	33.8	33.4	
15	32.1	32	33.1	32.8	33	33.7	34.1	35.1	34.5	36.2	34.2	34.1	34.8	37.4	
1	32	32.9	34.5	34.6	34.7	35.4	36.2	36.4	35.6	36.7	36.4	36.3	36.3	36.3	
2	33	32.7	34.5	34.6	34.7	35.4	36.3	36.5	35.6	36.7	36.5	36.6	36.3	36.4	
3	32.4	32.6	34.5	34.5	34.7	35.4	36.2	36.5	35.6	36.7	36.5	36.6	36.3	36.4	
4	32.9	32.6	34.3	34.4	34.6	35.2	36	36.2	35.3	36.3	36.2	36.3	36	35.9	
5	32.9	33.2	34.3	34.4	34.5	35.2	35.9	36.2	35.2	36.3	36.1	36.3	36	35.8	
6	33	32.8	34.3	34.4	34.6	35.1	35.9	36.1	35.2	36.3	36.1	36.2	36	35.8	
7	33.2	33.2	34.5	34.6	34.8	35.5	36.3	36.6	35.6	36.7	36.5	36.6	36.4	36.3	
8	32.4	32.7	34.4	34.5	34.6	35.3	36.1	36.3	35.5	36.5	36.4	36.4	36.3	36.2	
9	32.2	33.2	34.4	34.4	34.6	35.2	36	36.1	35.4	36.4	36.2	36.3	36.2	36.2	
10	32.2	33.2	34.3	34.4	34.5	35.2	36	36.2	35.3	36.4	36.1	36.3	36	35.9	
11	32.3	33.2	34.3	34.4	34.5	35.1	35.9	36.1	35.2	36.3	36.2	36.2	36	35.9	
12	32.5	32.9	34.2	34.3	34.5	35.1	35.9	36.1	35.2	36.3	36.1	36.2	36	35.9	
13	32.8	33.2	34.2	34.4	34.6	35.1	35.9	36.2	35.3	36.4	36.2	36.3	36.1	36	
14	32.6	33.3	34.4	34.5	34.7	35.3	36.2	36.5	35.5	36.6	36.5	36.6	36.4	36.2	
15	33	33.4	34.4	34.7	34.9	35.5	37	37.6	36.6	37.8	37.7	37.7	37.8	37.7	

ตารางที่ ก-2 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้กรณีเปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออก วันที่ทดลอง

15 พฤษภาคม 2547

เวลา	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30
1	30.4	30.9	31.5	31.8	33	32.9	33.3	33.3	33	33.2	34.1	33.5	34	33.1
2	30.4	30.9	31.3	32.1	32.7	33	33.5	33.5	33.1	33.2	34.2	33.7	34.1	33.2
3	30.3	30.8	31.8	32.5	32.7	33.6	33.4	33.1	33.4	34.2	34.2	33.7	33.9	33.3
4	30.5	30.9	31.1	31.8	32.5	32.7	33.1	33.2	32.8	33.1	33.9	33.6	33.7	33
5	30.1	30.5	31.2	32	32.5	32.7	33.6	34	32.9	33.1	33.8	33.6	33.8	33.1
6	30.3	30.7	31.2	32.9	32.5	32.7	33.7	34	32.9	33.2	33.7	33.7	33.8	34.3
7	30.4	30.9	31.3	32.2	32.7	33	33.3	33.6	33.3	33.2	34	33.8	34.2	33.1
8	30.2	30.7	31.5	32.2	32.7	32.9	33.2	33.5	33	33.2	33.9	34.2	34.3	33.2
9	31.5	32	31.3	32.9	33.5	32.7	31.7	35	34.4	31	35	35	35.6	33
10	31.5	32	32	32.9	33.4	32.6	34.8	35	34.4	33	33.4	33.6	33.3	32.9
11	30.4	30.7	31.1	32.2	33.1	32.7	33.1	34.6	33	33	33.5	33.7	33	33.1
12	30.6	30.9	31.1	32.4	33.2	32.4	33.3	34.7	33.1	33	33.4	33.6	33.2	33
13	30.8	31.1	31.4	32.8	33.3	33	33.9	34.8	33.2	32.5	32.6	33.6	32.5	32.5
14	31.6	32	31.2	32.9	33.5	34	32.9	35	34.6	33.1	34.8	33.7	33.3	33.3
15	30.5	31.1	31.3	32.6	33.2	33.3	35.3	34.8	33.1	33.1	33.8	34.2	33.6	33.2
1	32.6	33.1	33.1	34.3	34.2	35	35.5	35	34.5	34.7	35.1	34.5	35	33.9
2	33.1	33.5	33.3	34.2	34.7	35	35.5	35	34.5	34.8	35.4	34.9	34.9	34.1
3	33.3	33.6	33.6	34.4	34.7	35	35.7	35	34.4	34.7	35.6	35.1	34.8	34.1
4	32.1	32.6	32.9	33.4	33.7	34.3	34.7	34.6	34.2	34.3	34.9	34.5	34.5	33.7
5	32.3	32.7	32.9	33.4	33.9	34.3	34.7	34.6	34.2	34.4	34.9	34.6	34.5	33.9
6	32.2	32.8	32.9	33.5	33.9	34.4	34.7	34.7	34.2	34.5	35	34.7	34.4	33.9
7	33.5	33.9	33.6	34.5	34.4	35.2	35.7	35.3	34.6	35	35.9	35	35.2	34.1
8	33.5	33.8	33.7	34.5	34.6	35.2	35.8	35.3	34.5	34.9	36.1	35	35.1	34.3
9	33.3	33.7	33.8	34.5	35	35.2	35.8	35	34.4	34.7	36	35	34.9	34.3
10	32.3	32.8	33	33.6	33.9	34.4	34.7	35.7	34.6	34.4	35	34.4	34.8	33.8
11	32.4	32.7	33.2	33.3	33.8	34.4	34.6	34.9	34.3	35.1	34.5	34.5	34.5	33.8
12	32.2	32.8	33.1	33.5	33.8	34.3	34.9	34.3	34.3	34.3	35	34.5	34.4	33.9
13	32.1	32.5	32.6	33.5	33.9	34	34.8	34.3	34.4	34.1	34.9	34.2	34	34
14	32.8	33.2	33.4	33.9	34.7	35.1	35.1	34.7	34.7	35.2	34.6	34.8	34.4	34.4
15	34.5	34.7	34.9	35.8	36.3	37.2	37.2	36.3	36.4	37.8	37.4	37.5	36.8	

จุดวัดห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์

จุดวัดห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์



ตารางที่ ก-4 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้กรณีเปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออก วันที่ทดลอง

18 พฤษภาคม 2547

เวลา	จุดวัดห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์														
	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	
1	31.7	31.9	32	32.3	32.5	32.8	32.5	32.3	32	33	34	33.2	33.3	33.8	
2	31.7	31.9	32.1	32.4	32.6	32.8	32.6	32.4	32.3	33.1	33.8	33.2	33.5	33.8	
3	31.7	32	32.1	32.5	32.7	32.9	32.6	32.5	32.4	33.2	33.7	33.3	33.6	33.9	
4	31.7	31.7	31.8	32.2	32.6	32.7	32.3	32.3	32.2	32.9	33.4	33.1	33.1	33.3	
5	31.3	31.8	32	32.4	32.7	32.6	32.4	32.3	32.3	33.1	33.3	33.2	33.3	33.3	
6	31.4	31.8	31.9	32.6	32.8	32.7	32.6	32.6	32.4	33.1	33.3	33.3	33.4	33.5	
7	31.5	32	31.9	32.4	33	32.7	32.5	32.7	32.2	33.2	33.5	33.3	33.3	33.4	
8	31.2	32	31.9	32.4	32.9	32.5	32.4	32.8	32.2	33	33.5	33.3	33.3	33.5	
9	30.5	32	32.1	32.5	32.8	32.4	32.4	32.3	32.3	33	33.4	33.2	33	33.6	
10	31	31.6	31.7	32.3	32.6	32.2	32.2	32.5	32.3	32.9	33.2	32.8	33.1	33.3	
11	31.1	31.5	31.7	32.3	32.5	32.2	32.1	32.4	32.2	32.9	33.2	32.9	33.2	33.3	
12	31.1	31.6	31.8	32.4	32.5	32.2	31.8	32.4	32.6	32.8	33.1	32.8	32.8	33.4	
13	31.1	31.9	32	31.8	32.8	31.6	31.4	32.5	32.7	33	32.2	33.3	33.3	33.3	
14	31.4	31.7	32.1	32.2	32.8	32.3	32.3	32.5	33.2	33	33.3	33	33.4	33.8	
15	31.5	31.8	32.2	32.3	32.8	32.4	32.2	33	33.1	33.6	32.9	33.6	33.6	34.7	
1	32.9	32.5	33	33.3	33.6	33.1	32.9	33.2	32.9	33.2	33.9	33.3	33.7	33.8	
2	32.8	32.8	33	33.3	33.7	33.2	33	33.3	32.9	33.2	34	33.4	33.8	33.9	
3	33	32.9	33.1	33.4	34	33.3	33	33.1	33	33.3	34.1	33.4	33.5	30.1	
4	32.4	32.5	32.7	33	33.5	33.2	32.8	33.1	32.9	33.7	33.7	33.3	33.6	33.8	
5	32.4	32.5	32.6	33.2	33.6	33.2	32.9	33.2	33	33	33.8	33.3	33.6	33.8	
6	32.2	32.5	32.6	33.2	33.5	33.3	32.9	33	33.1	33.7	33.3	33.7	33.9	33.9	
7	32.6	32.8	32.9	33.2	33.7	33.3	33.3	33.7	33	33.3	33.9	33.7	33.6	33.9	
8	32.6	32.8	32.8	33.1	33.5	33.3	33.1	33.7	32.9	33.2	33.8	33.5	33.6	33.8	
9	32.6	32.8	32.9	33.2	33.9	33.4	32.9	33.5	33	33.3	33.9	33.6	33.5	34	
10	32.2	32.6	32.5	33	33.3	33.1	33.1	33.1	32.8	32.9	33.6	33.4	33.7	33.7	
11	32.1	32.7	32.6	33.1	33.5	33.2	33.2	32.9	33	33.7	33.5	33.6	33.7	33.7	
12	31.9	32.7	32.6	33	33.6	33	33.1	33.2	32.9	33	33.6	33.4	33.4	33.9	
13	32	32.8	31.7	32.8	32.5	32.3	32.2	32.7	31.6	32.5	33.1	32.7	33.8	33.3	
14	32.5	32.9	32.8	33.1	33.4	33	33.4	33	33	33.8	33.7	33.8	34.1	34.1	
15	34.1	34.4	34.6	35.1	36.1	35.4	34.9	35.7	35.4	34.7	36.5	35.9	35.9	36.5	

จุดวัดห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์

จุดวัดห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์

## ตารางที่ ก-5 อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้กรณีเปิดทางเข้าทางหมดและเปิดทางออก วันที่ทดลอง

19 พฤษภาคม 2547

เวลา	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	
จุดวัดห้องที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์	1	31.1	31.3	32.3	31.5	31.8	32.9	32.5	32.7	32.4	32.4	32.8	33.1	33.2	
	2	31.2	31.2	32.4	31.5	32.2	33	32.5	32.9	32.6	32.5	32.7	33.1	33	
	3	31.3	31.6	32.4	31.5	32.3	33	32.5	32.3	32.5	32.7	33	33	33.1	
	4	31	31.5	32	31.5	31.9	32.8	32.2	32.2	32.4	32.2	32.7	32.8	32.7	32.8
	5	31.1	31.7	32.2	31.6	32.4	32.8	32.3	32.9	32.4	32.4	32.9	33.1	33.1	33.3
	6	31.1	31.9	32.4	32.5	32.6	32.9	32.1	32.9	32.9	32.7	33	33.2	33.2	33.3
	7	31	31.6	32.2	31.5	32	33	32.3	32.5	32.6	32.3	33	32.9	33.2	33.2
	8	30.9	31.7	32.2	31.9	32.1	32.9	32.3	32.8	32.7	32.4	33	33	33.3	33.2
	9	31.9	32	32.4	32.6	32.7	32.8	32.3	32.9	32.9	32.9	33	33.2	33.3	33.3
	10	31.4	31.5	32.4	32.4	32.2	32.6	32.8	32.7	32.9	32.9	33	33.2	33.3	33.3
	11	31.4	31.4	32.3	31.9	31.7	32.6	32.7	32.8	32.4	32.3	32.9	32.9	33.2	33.1
	12	31.5	31.3	32.4	32.2	31.7	32.6	32.6	32.8	32.1	32.2	32.9	32.9	33	32.7
	13	31.4	31.6	32.4	32	32.4	32.8	32.6	32.8	32.2	32.3	32.6	33	32.6	32.5
	14	31.8	31.9	32.4	32.8	32.6	33	32.8	32.9	32.3	32.6	32.9	33.3	33.3	33
	15	31	31.6	32.5	31.9	31.9	32.8	32.8	32.7	32.4	32.6	32.6	33.1	33.1	32.1
จุดวัดห้องที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์	1	31.4	31.5	32.6	32.3	32.3	32.9	32.6	32.9	32.6	32.6	32.3	33	32.2	32.6
	2	31.3	31.5	32.7	32.3	32	32.7	33	32.5	32.9	32.6	32.4	33	32.4	32.3
	3	31.3	31.5	32.5	32.3	32.3	32.7	33.1	32.6	32.8	32.6	32.5	32.9	32.5	32.2
	4	31.4	31.4	32.4	32.2	32.1	32.5	32.9	32.5	32.6	32.4	32.3	32.9	32.2	32.1
	5	31.4	31.5	32.5	32.1	32.1	32.7	33	32.6	32.6	32.5	32.4	33	32.3	31.9
	6	31.3	31.5	32.2	31.8	32.1	32.7	33	32.6	32.6	32.4	32.3	32.8	32.4	32.1
	7	31.5	31.7	32.4	31.9	32.2	32.9	33.3	32.8	32.9	32.7	32.5	33	32.6	32.2
	8	31.4	31.5	32.3	31.9	32.1	32.8	33.2	32.7	32.8	32.6	32.5	33	32.6	32.2
	9	31.4	31.5	32.3	32	32.2	32.8	33.2	32.8	32.6	32.6	32.5	33	32.9	32.2
	10	31.5	31.5	32.1	31.9	32	32.5	32.8	32.6	32.6	32.5	32.4	32.9	32.8	32.2
	11	31.3	31.5	32.1	31.9	31.9	32.4	32.8	32.6	32.7	32.6	32.4	32.9	32.5	32.2
	12	31.3	31.2	31.9	31.8	31.9	32.2	32.7	32.4	32.5	32.2	32.4	32.8	32.5	32.2
	13	31.2	31.1	32	31.7	31.1	32	32.1	31.9	32	32.1	32.7	31.7	32.3	32.1
	14	31.7	31.7	32.6	32.8	32	32.6	32.6	32.7	33.1	32.7	33	32.5	33	32.3
	15	32.1	32.2	33.2	33.2	33	33.4	33.8	34	34	34.2	34.4	34.1	34	33.6

ตารางที่ ก-6 ความเร็วลมที่ช่องเปิด อุณหภูมิบรรยากาศ ความเร็วลมและทิศทางที่ลมพัดเข้าหาห้องจำลอง

เวลา	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	
เปิดทางเข้าและทางออกทั้งหมด	1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3*	0.4	0.2	0.5	0.2	0.5	0.1	0.1	0.5	0.1	0.5	0.4	0.6	0.1	0.5
	4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	30.6	30.7	30.9	31	31.4	31.3	31.6	31.8	32	32.2	32.3	31.8	31.7	31.5
	V	2.16	1.5	2	3	2.5	5	0.5	3	3	2.7	3.8	2	4.8	5
	D	S	S	S	S	SW	S	S	S	SW	S	S	SW	SW	SW
เปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออก	1*	0.1	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	0.2	0.2	0.2	1.5	0.2	1.2	1.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2
	4*	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	30.1	30.9	31.2	32.4	33.3	32.7	33.5	34.2	32.9	32.4	32.3	33.5	32.3	32.3
	V	1	1.5	3	1.4	4	4.5	2.6	4.7	2.7	4.3	4.5	4.2	3.3	3.1
	D	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S	S
เปิดทางเข้าช่องกลางและเปิดทางออก	1*	0.7	1.7	1.2	0.4	0.2	0.8	0.5	0.6	0.5	0.5	1.1	1.1	1.8	0.6
	2*	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.5	0.1	0.1	0.4
	3*	0.4	0.5	0.5	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2	0.3	0.2	0.6	0.4	0.5	0.2
	4*	0.4	1.2	0.9	0.6	0.2	0.6	0.4	0.3	0.5	2.3	1	1.1	2.1	0.6
	5*	0.2	1	0.2	0.1	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.1	0.2	0.2
	T	31	31.2	32.3	32.9	32.4	32.6	32.1	32.3	32	33.1	32.1	33.6	33.2	33.3
	V	1	1.5	2.5	2.5	1.5	2	2.5	1.5	2.5	2.5	3	2	3	3
	D	S	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	S	S	S	S

หน่วย อุณหภูมิ ( C), ความเร็วลม (m/s)

1\*, 2\* และ 3\* คือ ความเร็วลมที่ช่องทางเข้าและช่องทางออกและปล่องรังสีอาทิตย์ตามลำดับ ของห้องจำลองที่คิดปล่องรังสีอาทิตย์

4\* และ 5\* คือ ความเร็วลมที่ช่องทางเข้าและช่องทางออกและปล่องรังสีอาทิตย์ตามลำดับ ของห้องจำลองที่ไม่คิดปล่องรังสีอาทิตย์

T, V และ D คือ อุณหภูมิบรรยากาศ, ความเร็วลม และทิศทางที่ลมพัดเข้าหาตัวห้องจำลองตามลำดับ

ตารางที่ ก-6(ต่อ) ความเร็วลมที่ช่องเปิด อุณหภูมิบรรยากาศ ความเร็วลมและทิศทางที่ลมพัดเข้าหาห้องจำลอง

เวลา	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	
เปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออก	1*	0.8	0.6	0.3	0.6	0.2	0.5	1.2	1.3	0.9	0.7	1	1	0.6	1
	2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3*	0.4	0.6	0.4	0.8	1	0.6	0.9	0.8	0.6	1.9	1.3	0.3	0.6	0.8
	4*	0.6	0.8	0.7	0.2	1	0.6	1.4	1	1.2	1.3	1.1	0.5	0.3	1.5
	5*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	31	31.7	31.5	31.6	32.3	31.5	31.1	32.3	32.4	31.3	32.8	32.1	33	33.1
	V	2	2	2	1.5	2	1	2.5	2.5	5	3	2.5	2	2.5	2.5
	D	S	SW	S	SW	S	SW	S	S	S	S	S	SW	SW	S
เปิดทางเข้าทั้งหมดและเปิดทางออก	1*	1.6	0.5	0.6	0.8	0.6	2.3	0.3	0.6	0.8	0.8	1.7	0.4	1.5	1.2
	2*	1.5	0.2	0.2	0.6	0.4	1.4	0.5	0.5	0.2	0.6	1.3	0.1	0.6	0.5
	3*	2.3	1.2	1.1	1.3	2.7	0.7	0.4	1.3	1.1	2.2	2	0.8	1.1	1
	4*	1.7	0.7	3.2	1.2	4	2.7	2.3	1.1	1.2	1.1	1.7	0.9	1.9	1.3
	5*	0.4	0.4	0.7	0.8	2.1	0.8	0.4	0.7	0.2	0.6	1	2.7	1.6	0.5
	T	31	30.2	31.8	31.5	30.9	31.7	31.9	31.7	31.8	32	32.4	31.5	32.1	31.9
	V	2.5	4	4.5	5	5.5	5.5	5.7	6	6.5	6.5	5	4.5	6	5
	D	S	S	S	S	S	S	SW	S	S	S	S	S	S	S

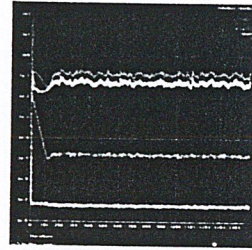
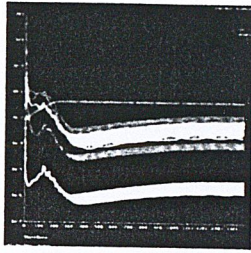
หน่วย อุณหภูมิ ( C ) , ความเร็วลม (m/s)

1\*, 2\* และ 3\* คือ ความเร็วลมที่ช่องทางเข้าและช่องทางออกและปล่องรังสีอาทิตย์ตามลำดับ ของ ห้องจำลองที่ติดปล่องรังสีอาทิตย์

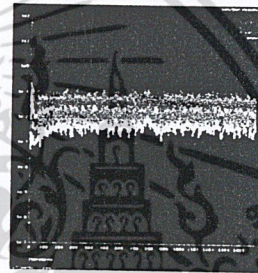
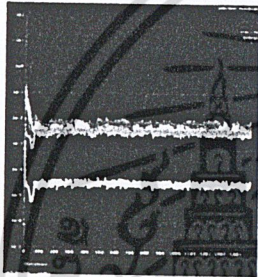
4\* และ 5\* คือ ความเร็วลมที่ช่องทางเข้าและช่องทางออกและปล่องรังสีอาทิตย์ตามลำดับ ของ ห้องจำลองที่ไม่ติดปล่องรังสีอาทิตย์

T, V และ D คือ อุณหภูมิบรรยากาศ, ความเร็วลม และทิศทางที่ลมพัดเข้าหาตัวห้องจำลองตามลำดับ

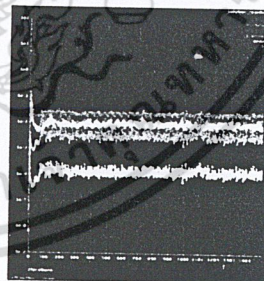
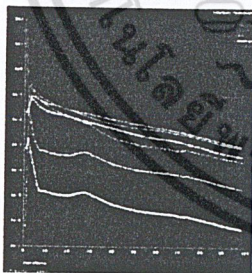
ตารางที่ ก-8 แสดงผลค่ากราฟที่จำนวน 1,500 รอบ (Monitor Graphics for Solution)



รูป ก-7-1 กราฟกรณีที่ 1 (ติดปล่อง) รูป ก-7-2 กราฟกรณีที่ 1 (ไม่ติดปล่อง)

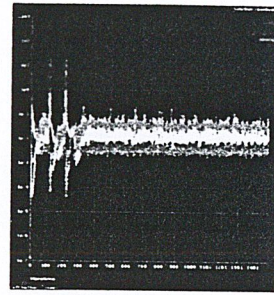
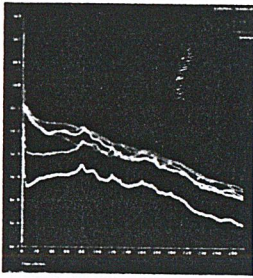


รูป ก-7-3 กราฟกรณีที่ 2 (ติดปล่อง) รูป ก-7-4 กราฟกรณีที่ 2 (ไม่ติดปล่อง)

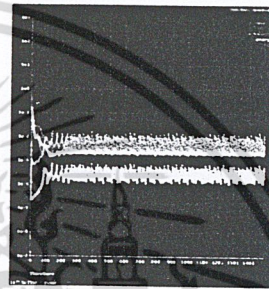
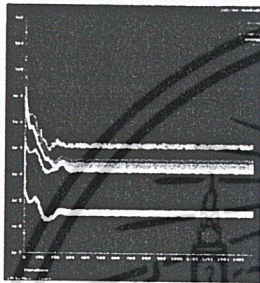


รูป ก-7-5 กราฟกรณีที่ 3 (ติดปล่อง) รูป ก-7-6 กราฟกรณีที่ 3 (ไม่ติดปล่อง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



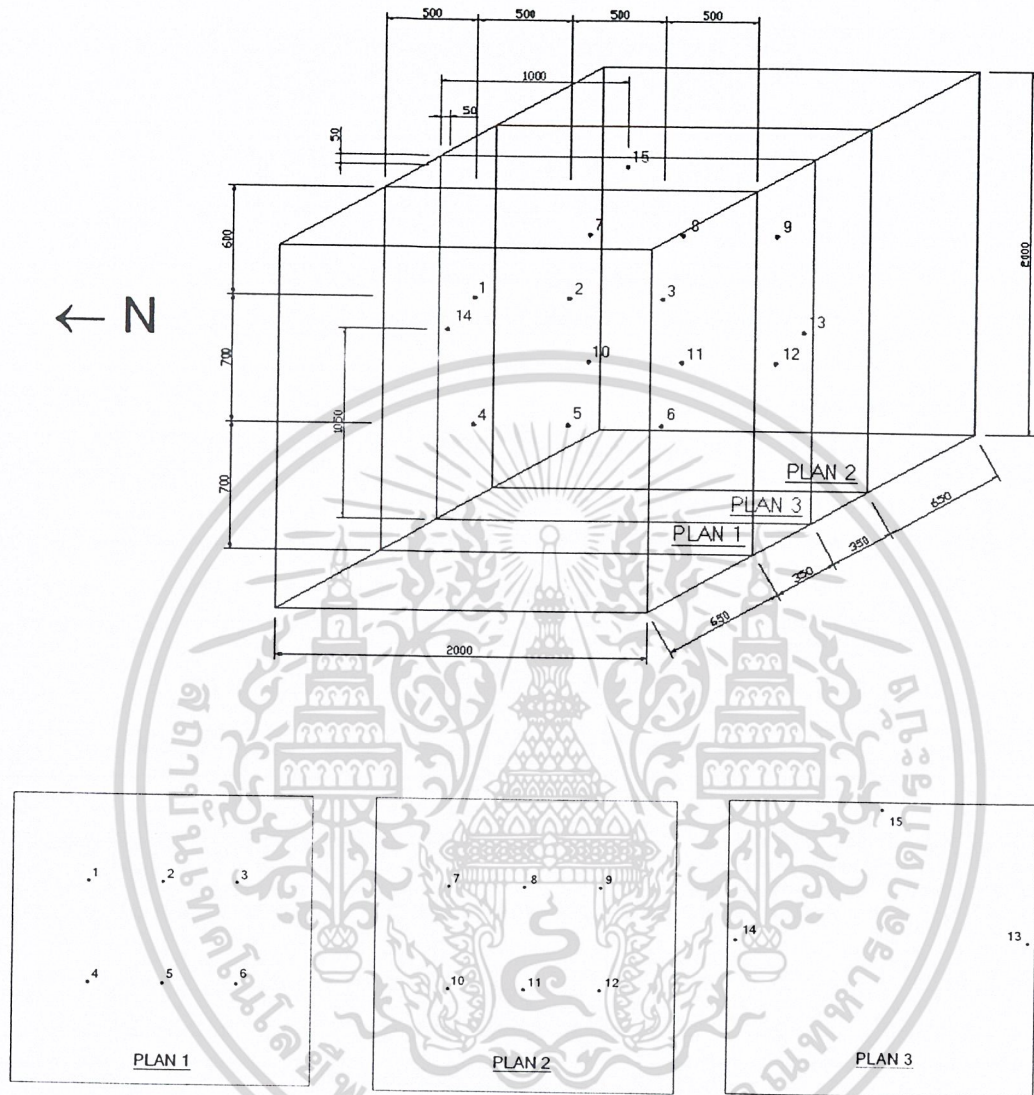
รูป ก-7-7 กราฟกรณีที่ 4 (ติดปล่อง)      รูป ก-7-8 กราฟกรณีที่ 4 (ไม่ติดปล่อง)



รูป ก-7-9 กราฟกรณีที่ 5 (ติดปล่อง)      รูป ก-7-10 กราฟกรณีที่ 5 (ไม่ติดปล่อง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 แสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล



รูปที่ ก-8 แสดงตำแหน่งในการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล จำนวน 15 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ข-1 Monthly Sunshine Duration (hrs.)

Station: 455201 BANGKOK METROPOLISES

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
2000	217.4	196.5	221.7	165.4	203.6	116.7	130.5	168.8	125.8	135.6	210.4	229.4	2121.8
2001	209.6	234.8	197.8	256.8	205.1	158	181.3	142.4	166	154.9	217.2	219.8	2343.7
2002	241.1	227.6	234.9	249.8	194.7	168.9	-	111.1	138.9	187.6	184.1	200.4	-
2003	249.4	228.2	26.1	277.4	236.4	184.1	172.9	164.6	117.4	189.4	234.8	257.7	2518.4
mean	229.4	221.8	215.1	237.4	210	156.9	161.6	146.7	137	166.9	211.6	226.8	2321.2

Computer Section

Climatology division

Meteorological Department

38107

ตารางที่ ข-2 Extreme maximum Wind (Knots)

Station: 455201 BANGKOK METROPOLISES

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

Computer Section

Climatology division

Meteorological Department

38107

ตารางที่ ข-3 Monthly mean wind speed (knots) and prevailing wind

STATION : 455201 BANGKOK METROPOLIS

YEAR		JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2000	spd.	2.4	2.2	2.9	2.6	2.2	2.1	2.5	2.4	1.9	1.3	1.7	1.5
	prev.	S	S	S	S	S	S	SW	SW	SW	S	N	NE
2001	spd.	2.1	2.3	2.2	2.6	2.6	2.9	2.8	2.9	1.7	1.1	1.4	1.5
	prev.	S	S	S	S	S	W	S	W	W	E	NE	NE
2002	spd.	1.6	2.5	3.1	2.8	2.5	2.1	2.8	2.5	2.5	1.4	1.6	1.3
	prev.	S,E	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	E	NW	E
2003	spd.	1.9	2.7	2.5	3.3	3.0	2.8	2.3	2.7	2.0	1.9	1.7	2.0
	prev.	E	S	S	S	SW	SW	S	W	W	E	E	E
	mean spd.	2.0	2.4	2.7	2.8	2.6	2.5	2.6	2.6	2.0	1.4	1.6	1.6
	prev. wind	S	S	S	S	S	SW	S,SW	SW,W	SW,W	E		NE, E

- is missing value/incomplete data

DATA PROCESSING SUB-DIVISION

CLIMATOLOGY DIVISION

METEOROLOGICAL DEPARTMENT

30-Apr-2004

### บรรณานุกรม

- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. "ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม", พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ปี พ.ศ. 2538.
- พงษ์เจต พรหมวงศ์, "การถ่ายเทความร้อน", ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิเจ ปรินต์ติ้ง, ปี พ.ศ. 2542, หน้า 197-219
- มานิจ ทองประเสริฐ และ สมศรี จรุงเรือง, "พลังงานแสงอาทิตย์ทฤษฎีและการใช้ประโยชน์ทางความร้อน", พิมพ์ครั้งที่ 1, คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ปี พ.ศ. 2524
- รังสรรค์ พันธุ์เพชร, "โซลาร์คูลลิ่งซิมนี้", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปี พ.ศ. 2543
- John D. Anderson, Jr., "Computational Fluid Dynamics the basics with applications", McGraw Hill Inc., Singapore, 1995, pp.49-72
- Robert W. Fox and Alan T. McDonald, "Introduction to Fluid Mechanics", 5<sup>th</sup> ed., John Willey & Sons, New York, 1998, pp.195-231