

การศึกษาประสิทธิภาพของผนังที่มีฉนวนกันความร้อน

เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐธรรมดา

STUDY THE PERFORMANCE OF WALL WITH THERMAL INSULATION
COMPARED TO NORMAL BRICK WALL



โดย

นายนิพนธ์พงษ์

โกศาพนิชย์

นายบุญธีร์

เมธิญชัยกิจ

นายพรชัยวัชร์

วงษ์บุบผา

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การศึกษาประสิทธิภาพของผนังที่มีฉนวนกันความร้อนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐธรรมดา

STUDY THE PERFORMANCE OF WALL WITH THERMAL INSULATION COMPARED TO NORMAL
BRICK WALL



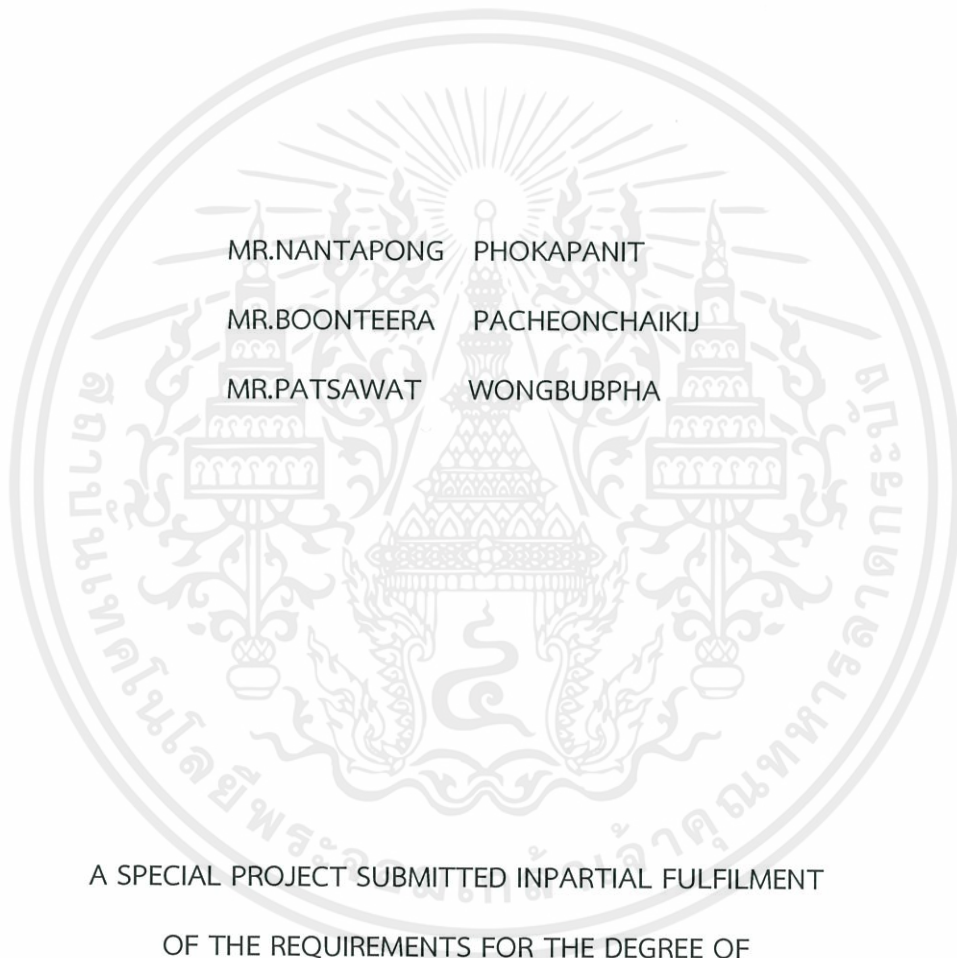
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2555
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY THE PERFORMANCE OF WALL WITH THERMAL INSULATION COMPARED TO NORMAL
BRICK WALL



MR.NANTAPONG PHOKAPANIT

MR.BOONTEERA PACHEONCHAIKIJ

MR.PATSAWAT WONGBUBPHA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHERLOR OF CIVIL ENGINEERING

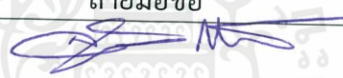
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปี 2012 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาประสิทธิภาพของผนังที่มีฉนวนกันความร้อนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐธรรมดา		
นักศึกษา	นายนันทพงษ์ โภคาพานิชย์	รหัสประจำตัว	52010597
	นายบุญธีร เฝิชญชัยกิจ	รหัสประจำตัว	52010631
	นายพรพรชัย วังษ์บุบผา	รหัสประจำตัว	52010790
อาจารย์ที่ปรึกษา หลักสูตร ปีการศึกษา	ดร.อาทิตย์ เพ็ชรศศิธร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา 2555		

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. รองศาสตราจารย์ สุวัฒน์ ธิระเศรษฐ์	
2. ดร.อาทิตย์ เพ็ชรศศิธร	
3. อาจารย์ ทรงกลด แซ่อึ้ง	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 18 มีนาคม 2556 เวลาสอบ 013.00-16.00
สถานที่สอบ ณ อาคาร CV ห้อง 203



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 18 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาประสิทธิภาพของผนังที่มีฉนวนกันความร้อนเปรียบเทียบกับผนัง
ก่ออิฐธรรมดา

STUDY THE PERFORMANCE OF WALL WITH THERMAL INSULATION
COMPARED TO NORMAL BRICK WALL

นักศึกษา

นายนันทพงษ์ โภคาพานิชย์ รหัสประจำตัว 52010597

นายบุญฤทธิ์ เผชัญชัยกิจ รหัสประจำตัว 52010631

นายพรพรวัชร วงษ์บุบผา รหัสประจำตัว 52010790

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อาทิตย์ เพ็ชรศศิธร

ผศ.ดร.ศักดิ์ชัย สกานุนพงษ์

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา

วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา

2555

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบโดยการใช้โปรแกรมที่มีการคิดค้นขึ้นมาแล้ว
และต้องการพิสูจน์ว่าโปรแกรมมีความน่าเชื่อถือมากน้อยแค่ไหน โดยทำการศึกษาใช้โปรแกรมโดยโปรแกรมได้ทำการ
ออกแบบและคิดค้นมาจากนายฉัตรชัย ภูจักรเกษม โดยการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การ เปรียบเทียบความสามารถใน
การถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่ใช้ก่อผนังที่จะ วิเคราะห์ในที่นี่คืออิฐมวลเบาเป็นหลักและวิเคราะห์เกี่ยวกับการ
เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผ่านตัวกลางต่างๆ โดยการพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของโปรแกรมจะจำลองห้องอิฐมวลเบา
ขึ้นมา มีขนาด 1*1*1 เมตร และทำการวัดอุณหภูมิผิวนอกและผิวใน โดยจะอาศัยข้อมูลภายนอกจากกรม
อุตุนิยมวิทยาเพื่อนำค่าจากสถานีการณ้จริงมาคำนวณเพื่อทำนายความร้อนที่ผิวคอนกรีต ณ ช่วงเวลาต่างๆมาเป็น
กราฟ ซึ่งกราฟจะแสดงกราฟอุณหภูมิในด้านต่างๆของอาคารโดยจะแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่สูงที่สุดในแต่ละวัน
รวมถึงสามารถเปลี่ยนแปลงเนื้อวัสดุจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : STUDY THE PERFORMANCE OF WALL WITH THERMAL INSULATION
COMPARED TO NORMAL BRICK WALL

Name : MR.NANTAPONG PHOKAPANIT
MR.BOONTEERA PACHEONCHAIKIJ
MR.PATSAWAT WONGBUBPHA

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : DR.ARTHIT PETCHSASITORN
ASST.PROF.SAKCHAI SKANUPONG

ABSTRACT

This special project is a study and comparison of the programs that have been invented and would like to prove that the program is incredibly much. Were studied by using a program designed and developed by Chatchai Poo-ChiraKasem. Comparison of the ability of a material to transfer heat to the wall. The analysis is presented a light weight bricks. and analyzed with the variation of temperature through various media. By proving the reliability of the simulation programs come with a lightweight brick room, 1 * 1 * 1 meter and measured surface temperature and surface. It relies on external data to the Meteorological Department of the reality of the situation was calculated to predict the surface temperature at different times of the graph. This graph shows the temperature of the building shows that the highest temperature of the day. The material can be changed to vary the heat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำจาก ดร.อาทิตย์ เพ็ชรศศิธร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยนี้ โดยตลอดเวลาย่านได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในการปฏิบัติงาน และแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดจนให้ประสบการณ์ที่ดีแก่คณะผู้จัดทำจนโครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จเป็นรูปเล่มสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาจากท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์และบุคลากรของ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ทุกท่านได้ให้ความรู้และคำแนะนำจนทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นายฉัตรชัย ภูจิระเกษม(พี่สาย) ที่ให้คำแนะนำเรื่องโปรแกรมทำนายอุณหภูมิผิว ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดมา สุดท้ายนี้ สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการวิจัยฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้บิดามารดาที่รักยิ่ง และสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่คอยเอาใจใส่ ห่วงใย และให้การสนับสนุนอย่างดีเสมอมา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

นายพรชวีร์ วงษ์บุบผา
นายบุญธีร เเพชญ์ชัยกิจ
นายนันทพงษ์ โภคาพานิชย์
คณะผู้จัดทำโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอวมติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
1	บทนำ	1
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
	1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.5. วิธีการศึกษา	2
	1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	3
	2.1. กล่าวนำ	3
	2.2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา	3
	2.3. นิยามและคุณสมบัติต่างๆ	5
	2.3.1. ความหมายของฉนวนความร้อน	5
	2.3.2. คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประ เองนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.3. วัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน	6
	2.3.4. ประโยชน์ที่ได้จากการใช้ฉนวนความร้อน	8
	2.3.5. อัฐมวลเบา	8
	2.3.6. คุณสมบัติของอิฐมวลเบา	8
2.4.	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
	2.4.1. การนำความร้อนผ่านผนังที่บ 1 มิติ	10
	2.4.2. วิธี Exact Analysis	10
	2.4.3. วิธี Numerical Method	11
	2.4.4. วิธี Transform Method	11
	2.4.5. ทฤษฎีการพาความร้อน	12
	2.4.5.1. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)	12
	2.4.5.2. การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection)	13
	2.4.6. ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน	14
3	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	16
	3.1. กล่าวนำ	16
	3.2. การศึกษาโปรแกรม	16
	3.3. ทดสอบจริงกับผนังห้องขนาด 1x1 ตารางเมตร	22
4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์	34
	4.1. ผลการทดลอง	34
	4.1.1. อุณหภูมิผิวคอนกรีตของจริง	34
	4.1.2. ค่าจากโปรแกรม	45
	4.2. วิเคราะห์ผลการทดลอง	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.2.1. ค่าตลาดเคลื่อนไหวในแต่ละวัน	51
5	สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ	58
	5.1. สรุปผลการทดลอง	58
	5.1.1. เปรียบเทียบทางด้านอุณหภูมิ	58
	5.1.1.1. การเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิระหว่างผนังอิฐมวลเบาที่มีฉนวนกับอิฐมวลเบาไม่มีฉนวน	58
	5.1.1.2. การเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิระหว่างผนังอิฐมวลเบาที่มีฉนวนกับอิฐมอญธรรมดา	59
	5.1.2. เปรียบเทียบทางด้านค่าพลังงาน	62
	5.1.2.1. เปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนระหว่างอิฐมวลเบาที่มีฉนวนกับอิฐมวลเบาธรรมดา	62
	5.1.2.2. เปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนระหว่างอิฐที่มีฉนวนกับอิฐมอญ	65
	หนังสืออ้างอิง	70
	บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก ก		
	- ผลการทดลอง	
ภาคผนวก ข		
	- รูปแสดงการทดลอง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.1.	อุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556	34
4.2.	อุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556	36
4.1.	อุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556	38
4.2.	อุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556	40
4.5.	อุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556	42
4.6.	อุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556	44
4.7.	ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายในห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556	51
4.8.	ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายนอกห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556	52
4.9.	ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายในห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. 2556	53
4.10.	ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายนอกห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. 2556	54
4.11.	ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายในห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556	55
4.12.	ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายนอกห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556	56
5.1.	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในแบบใส่ฉนวนของผนังในช่วงเวลา 1 วัน	59
5.2.	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในของผนังแบบไม่ใส่ฉนวนในช่วงเวลา 1 วัน	63
5.3.	ประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มีฉนวนความร้อนได้	65
5.4.	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในของผนังแบบใส่ฉนวนในช่วงเวลา 1 วัน	67
5.5.	พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในของผนังแบบไม่ใส่ฉนวนในช่วงเวลา 1 วัน (อิฐมวล)	68
5.6.	ประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มีฉนวนความร้อนได้	69
ผ.ก.4.	แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายนอกของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556	ผก5
ผ.ก.5.	แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายนอกของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. 2556	ผก6
ผ.ก.6.	แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายนอกของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556	ผก7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	One – dimension homogeneously single slab	12
3.1.	แสดงหน้าโปรแกรม	16
3.2.	วิธีใช้งานโปรแกรม	17
3.3.	วิธีใช้งานโปรแกรม	18
3.4.	วิธีใช้งานโปรแกรม	18
3.5.	วิธีใช้งานโปรแกรม	19
3.6.	วิธีใช้งานโปรแกรม	20
3.7.	วิธีใช้งานโปรแกรม	20
3.8.	วิธีใช้งานโปรแกรม	21
3.9.	วิธีใช้งานโปรแกรม	22
3.10.	หา Azimuth จากกล้อง Total station	23
3.11.	Pole อุปกรณ์ที่ใช้ในการณ์หามุม Azimuth	24
3.12.	ทำการก่อห้องขนาด 1 ลบม. ด้วยอิฐมวลเบา	25
3.13.	ทำการก่อห้องขนาด 1 ลบม. ด้วยอิฐมวลเบา	26
3.14.	ห้องขนาด 1 ลบม. ด้วยอิฐมวลเบาตอนสมบูรณ์	27
3.15.	อุปกรณ์ Infrared Thermometer	28
3.16.	ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (a)	29
3.17.	ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (b)	30
3.18.	ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (c)	30
3.19.	ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (d)	31
3.20.	ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (e)	31
3.21.	ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (f)	32
3.22.	ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (g)	33
4.1.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556	35
4.2.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556	37

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.3.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556	39
4.4.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556	41
4.5.	กราฟแสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556	43
4.6.	กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556	45
4.1.	แสดงค่า CTF (conduction transfer function) ของวัสดุผนังที่คำนวณ	46
4.2.	แสดงค่า ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในวันนั้นที่ทำการเก็บข้อมูลโดยขอมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา	47
4.7.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	47
4.8.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	48
4.9.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	48
4.10.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	49
4.11.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	49
4.12.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	50
5.1.	แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยมีฉนวนชั้นกลางในตัวอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อ	58
5.2.	แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยไม่มีฉนวนชั้นกลางในตัวอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อ	59
5.3.	แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยมีฉนวนชั้นกลางในตัวอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อ	60
5.4.	แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยไม่มีฉนวนชั้นกลางในตัวอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อ	60
5.5.	แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่ออิฐมวลเบาด้วยวัสดุที่มีฉนวน	62
5.6.	แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่อด้วยวัสดุที่ไม่มีฉนวน	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.7.	แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่อด้วยวัสดุที่มีฉนวน	65
5.8.	แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่อด้วยวัสดุที่ไม่มีฉนวน(อิฐมวลเบา)	66
ผ.ก.1.	แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายในของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556	ผก2
ผ.ก.2.	แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายในของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. 2556	ผก3
ผ.ก.3.	แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายในของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556	ผก4
ผ.ก.7.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	ผก8
ผ.ก.8.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	ผก8
ผ.ก.9.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	ผก9
ผ.ก.10.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	ผก9
ผ.ก.11.	แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	ผก10
ผ.ก.12.	แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย	ผก10
ผ.ข.1.	อุปกรณ์ Infrared Thermometer	ผข2
ผ.ข.2.	จุดบันทึกอุณหภูมิภายนอก	ผข3
ผ.ข.3.	หน้าจอแสดงผล Infrared Thermometer	ผข4
ผ.ข.4.	การวัดอุณหภูมิผิวภายนอกด้วย Infrared Thermometer	ผข5
ผ.ข.5.	การวัดอุณหภูมิผิวในด้วย Infrared Thermometer	ผข6
ผ.ข.6.	การวัดอุณหภูมิผิวในด้านล่างด้วย Infrared Thermometer	ผข7
ผ.ข.7.	การวัดอุณหภูมิผิวนอกด้านทิศตะวันตกด้วย Infrared Thermometer	ผข8

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ข.8.	รูปห้องทดสอบที่ก่อด้วยอิฐมวลเบาขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร	ผข9
ผ.ข.9.	การวัดมุม Azimuth ด้วยกล้อง Total Station	ผข10
ผ.ข.10.	อุปกรณ์ในการวัดมุม Azimuth (Pole)	ผข11
ผ.ข.11.	ก่อห้องทดลองอุณหภูมิด้วยอิฐมวลเบา	ผข12
ผ.ข.12.	ก่อห้องทดลองอุณหภูมิด้วยอิฐมวลเบา	ผข13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกและการใช้พลังงานที่มากขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศและจำนวนของประชากรที่มากขึ้น ในปัจจุบันในผนังอาคารต่างๆไม่ว่าจะเป็น บ้าน หรือ อาคารอเนกประสงค์ต่างๆ เพื่อความรู้และการพัฒนาต่อไปในอนาคต จึงสมควรที่จะต้องมีการค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อให้สอดคล้องกับกับสภาพสังคมและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ผนังที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งในการถ่ายเทความร้อนและมีความแข็งแรง โดยการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถนำโปรแกรมมาช่วยให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในส่วนของวัสดุวิศวกรรมโยธาก็มีมากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับยุคสมัยและการเปลี่ยนแปลงของโลก หากแต่ความคิดที่จะคิดประดิษฐ์สิ่งใหม่ๆยังไม่เพียงพอกับความต้องการในปัจจุบัน การค้นคว้าเพิ่มเติมทางด้านวัสดุวิศวกรรมในการลดการใช้พลังงานจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาและค้นคว้าอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ได้สิ่งใหม่ ที่ดีกว่าของเดิมเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทดลองต่อไป

ปัญหาโลกร้อนนับเป็นปัญหาใหญ่ที่สำคัญอย่างหนึ่งของโลก สาเหตุบางประการเนื่องมาจากความต้องการใช้พลังงานไม่ว่าจะเป็น ไฟฟ้า น้ำมัน ถ่านหิน ฯลฯ เพิ่มขึ้นอยู่ทุกวัน แปรผันตรงกับการสูญเสียก๊าซโอโซน(O₃) ยิ่งทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นทุกวัน ในส่วนของคณะจัดทำโครงงานเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการถ่ายเทความร้อนของผนังสู่อาคาร เพื่อลดพลังงานที่จะนำไปใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นภายในอาคาร โดยยึดหลักเกณฑ์ทางวัสดุวิศวกรรมและพยากรณ์ความสามารถด้วยโปรแกรมซึ่ง จำเป็นจะต้องศึกษาและนำมาพัฒนาให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันให้ได้มีความแม่นยำและนำมาหาวัสดุที่มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3.1. ศึกษาโปรแกรมทำนายการถ่ายเทความร้อนของวัสดุต่างๆ

1.3.2. ทดสอบการถ่ายเทความร้อนจากการทำงานจริงจากการทดสอบกับอิฐมวลเบา นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1.3.3. เปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างมีฉนวนกับไม่มีฉนวนในผนังก่ออิฐ แยกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1. ศึกษาโปรแกรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ โดยต้องแสดงให้เห็นถึงวิธีใช้ความหมายของตัวแปร และแสดงกราฟออกมาให้ดู

1.4.2. ทดสอบความสามารถการถ่ายเทความร้อนเพื่อพิสูจน์ศักยภาพของโปรแกรมใช้เวลา 3 วันวัดอุณหภูมิทุกๆชั่วโมงโดยจะนำค่าอื่นๆที่เกี่ยวข้องที่เป็นค่าที่ใช้ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสภาพอากาศปัจจุบัน ซึ่งจะนำมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา

1.4.3. วิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐแบบธรรมดา กับผนังที่มีฉนวนกันความร้อน

1.5. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1.5.1. ขั้นตอนศึกษาทบทวนวรรณกรรมและศึกษางานวิจัยการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีต

1.5.2. ขั้นตอนการศึกษาโปรแกรมอย่างละเอียดและทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ

1.5.3. พิสูจน์ความน่าเชื่อถือของโปรแกรมจากแบบจำลองที่ทำขึ้นมาเอง

1.5.4. ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิววัสดุต่อเวลา

1.5.5. วิเคราะห์ผลที่ได้และต่อยอดโดยการหาวัสดุที่สามารถทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้ดี

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1. ได้ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับโปรแกรมทำนายการถ่ายเทความร้อนของผิววัสดุและสามารถอธิบายได้อย่างละเอียด

1.6.2. สามารถพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของโปรแกรมเพื่อนำโปรแกรมนำไปใช้ประโยชน์ในภายภาคหน้าได้

1.6.3. สามารถวิเคราะห์และต่อยอดเพื่อเลือกสรรวัสดุใหม่ๆที่มีความสามารถถ่ายเทความร้อนดีกว่าปัจจุบันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. กล่าวนำ

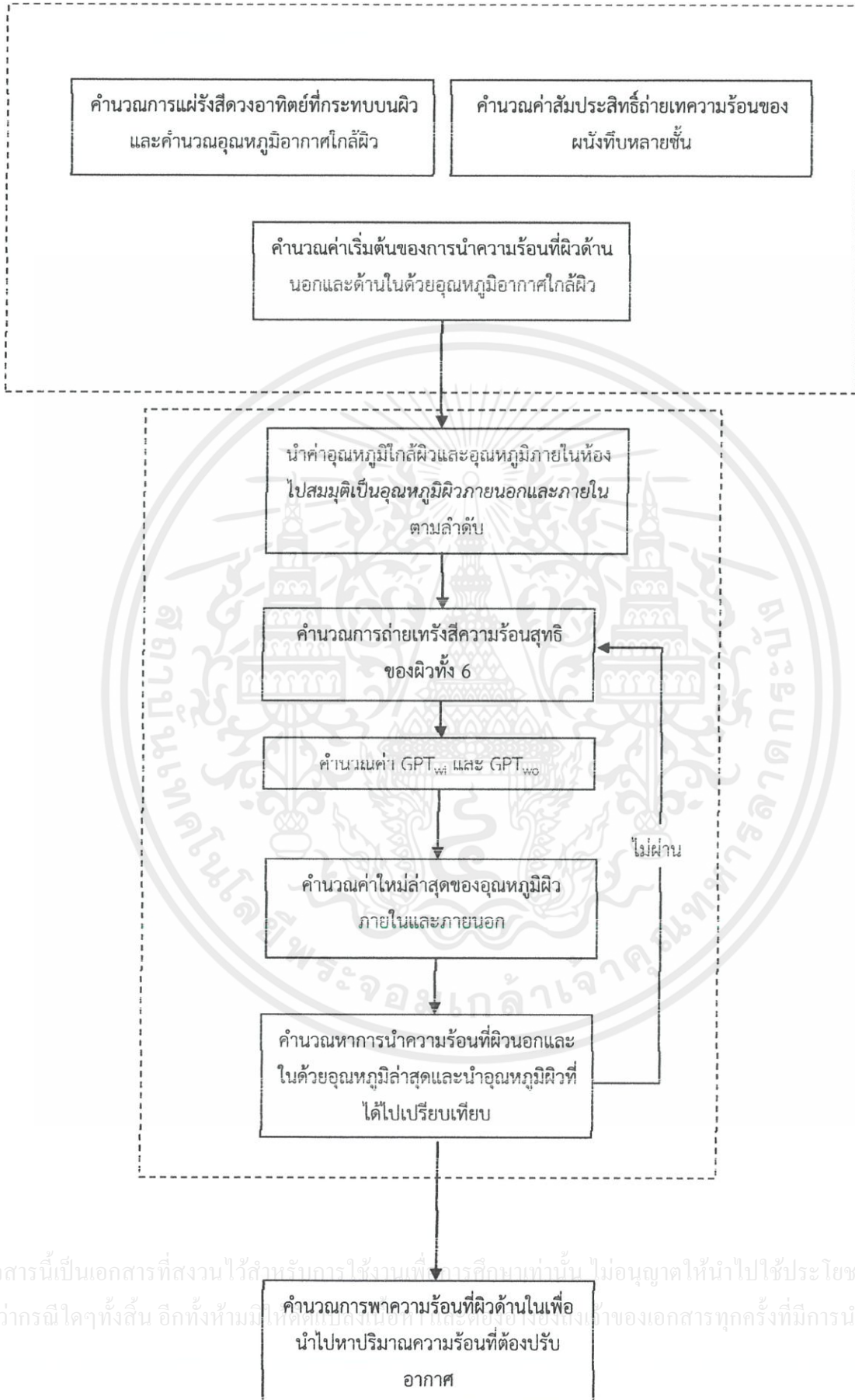
จากที่ได้แสดงที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษชิ้นนี้ไปแล้ว บทนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้ อีกทั้งยังแสดงถึงผลงานวิจัยที่ผ่านมาที่เป็นตัวจุดประกายให้ผู้ทำโครงการได้คิดริเริ่มและทำโครงการพิเศษนี้ขึ้นมา

2.2. ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

Mathematical models and efficient computer algorithms for calculation heat gain through a multi-layered opaque wall , Mr. Chatchai Phujirakasem , The joint graduate school of energy and environment at King Mongkut's University of technology Thonburi โดยเนื้อหาสำคัญของงานวิจัยนี้ เป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้หลักการ การนำความร้อนผ่านผนังที่บ 1 มิติ โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณด้วยวิธี Laplace transformation เพื่อเปลี่ยนสมการ partial differential ให้เป็นสมการ ordinary differential ผลที่ได้จากวิธีนี้เรียกว่า response factor ที่ประกอบด้วยค่าอุณหภูมิของปัจจุบันและอดีตและโปรแกรมจะนำค่า response factor นี้ไปตัดแปลงเป็นค่า conduction transfer function (CTF) ของวัสดุชนิดนั้นๆออกมา ซึ่งค่า CTF นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ของการถ่ายเทความร้อนต่อไป โดยขั้นตอนและกระบวนการการทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนเป็นแผนผังได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการการทำงานของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลงพิมพ์ลงในสื่ออิเล็กทรอนิกส์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. นิยามและคุณสมบัติต่างๆ

ในโครงการพิเศษชิ้นนี้มีความเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจำเป็นต้องมีการอธิบายให้เข้าใจความหมายของตัวแปร และคุณสมบัติของฉนวนต่างๆให้พอเข้าใจดังต่อไปนี้

2.3.1. ความหมายของฉนวนความร้อน

ฉนวนเป็นวัสดุที่นำมาใช้หุ้มท่อหรือภาชนะเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสีย ทำให้ระบบทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ เพื่อการประหยัดพลังงาน และเพื่อความปลอดภัย ในการเลือกฉนวนมีองค์ประกอบที่พึงพิจารณา

2.3.1.1. ช่วงอุณหภูมิใช้งานที่ฉนวนใช้ได้โดยไม่เสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ

2.3.1.2. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ค่าที่ต่ำกว่าจะลดการสูญเสียพลังงานได้ดีกว่า

2.3.1.3. กำลังการอัดบีบ (Compressive Strength) ควรเลือกที่ฉนวนไม่เสียรูปทรงมาก โดยเทียบจากปริมาณการเสียรูปทรงของฉนวนต่าง ๆ ที่ค่าเดียวกันว่ารับกำลังการอัดบีบได้เท่าไร

2.3.1.4. การทนต่อการติดไฟ

2.3.1.5. โครงสร้างเซลล์ซึ่งจะเป็นสิ่งกำหนดว่าฉนวนจะดูดซับความชื้นอย่างง่ายเพียงไร

2.3.1.6. รูปแบบของฉนวน กล่าวคือ ความหมายและรูปทรง ซึ่งจะเป็นสิ่งกำหนดว่าฉนวนมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้เพียงไร

2.3.2. คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี

ฉนวนความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นที่ไปตามวัตถุประสงค์กับงาน และตามชนิดของฉนวนซึ่งคุณสมบัติที่ดัดนั้นพิจารณาได้ดังนี้

- ควรมีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นน้อย
- มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำกล่าวคือยอมให้ความร้อนผ่านตัวฉนวนได้น้อยมาก
- ในบางชนิดจะต้องมีความคงทนต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี
- มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำมากหรือไม่มีเลยจะดีมาก
- สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดีโดยเฉพาะทางเคมี
- มีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยาก
- ต้องทนต่อการติดไฟได้ดี
- ใช้กับระดับอุณหภูมิที่กว้าง
- ติดตั้งเพื่อใช้งานได้ง่ายสะดวก
- มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อนุญาตให้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการผลิตฉนวนกันความร้อนในหลายรูปแบบขึ้น เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน ประเภทต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ต่อไปจะกล่าวถึงฉนวนกันความร้อนบางชนิดที่สำคัญ ๆ และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังต่อไปนี้

- โยแก้ว (Glass Fiber)
- โยแร่ (Mineral fiber)
- โยเซลลูโลส (Cellulose)
- แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate)
- โฟม (Foam)
- ฟอยล์ (Foil) หรือฉนวนรีเฟลคทีฟ
- เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite)
- ยาง (Elastomer)

2.3.3. วัสดุที่เป็นฉนวนความร้อน

2.3.3.1. โยแก้ว

ทำมาจากแก้วหรือเศษแก้วมาหลอมและปั่นจนเป็นเส้นใยละเอียด แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นฉนวนความร้อนในแบบต่าง ๆ เช่น ฉนวนแบบคลุมท่อ ฉนวนแบบแผ่น และฉนวนแบบหุ้มท่อ ฉนวนประเภทนี้เป็นฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด มีโครงสร้างภายในเป็นเส้นใยและช่องว่างอากาศ จัดเป็นวัสดุประเภทไม่ลามไฟ มีทั้งชนิดที่มีวัสดุปิดผิว และไม่มีวัสดุปิดผิวขึ้นอยู่กับการใช้งาน วัสดุปิดผิวส่วนใหญ่จะเป็นแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อใช้ป้องกันไอน้ำและความชื้น (Vapor Barrier) ฉนวนชนิดนี้โดยทั่วไปจะกันไฟไม่ได้มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส แต่ไม่ทนต่อความเปียกชื้น และการควบแน่นเป็นหยดน้ำโดยจะสูญเสียคุณสมบัติในการกันความร้อนไปเมื่อเปียกชื้น

2.3.3.2. โยแร่

อาจเรียกว่า หินแร่ หรือฝอยซีโลส หรือใยหิน มีกรรมวิธีการผลิตคล้ายกับฉนวนใยแก้ว โดยการนำวัสดุประเภทแร่เช่น ซีโลสจากการผลิตเหล็กกล้า ทองแดง หรือตะกั่วมาใช้เป็นวัสดุหลักแทนฉนวนใยแก้วนี้จะมีรูปแบบและข้อจำกัดในการใช้งานทั่วไปเหมือนฉนวนใยแก้ว เช่น ปัญหาการติดไฟของตัวประสาน และการลุกไหม้ของผิวหน้า ฉนวนประเภทนี้เป็นประเภทที่ไม่มีสารประกอบของแร่ใยหิน (Asbestos) ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ มีคุณสมบัติในการกันความร้อนได้เทียบเท่ากับฉนวนใยแก้ว แต่สามารถทนไฟได้ดีกว่า จึงนำมาใช้เป็นฉนวนที่กันไฟได้ด้วย สามารถทนความร้อนสูงถึง 800 องศาเซลเซียส คุณสมบัติอีกประการหนึ่งคือมีความสามารถดูดซับเสียง แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น ดังนั้นจึงควรห่อหุ้มด้วยวัสดุป้องกันความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3. ไยเซลลูโลส

เป็นฉนวนความร้อนที่ผลิตขึ้นจากการนำไม้ หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยแผ่ และดึงให้กระจาย ออกทำการย่อยจนละเอียด จากนั้นทำการประสานเข้าด้วยกันด้วยบอแรกซ์ ส่วนผสมทั้งสองจะช่วยให้มีสภาพต้านทานการลุกไหม้และการดูดซับความชื้น การใช้งานอาจใช้ในลักษณะการเทบรรจุในช่องผนังหรือเพดานของอาคาร ใช้ในลักษณะของฉนวนแบบแผ่น แบบคลุมห่ม หรือเป็นโพนีตสำหรับเป็นฉนวนความร้อนใต้ดาดฟ้าหรือหลังคา โดยทั่วไปแล้วฉนวนใยเซลลูโลสที่ผลิตจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบัน มักทำขึ้นจากเยื่อกระดาษที่ใส่สารกันไม่ไฟไหม้ ทำให้ป้องกันไฟไหม้ได้ระดับหนึ่ง ถ้าเยื่อกระดาษนี้มีสารเคมีผสมอย่างถูกต้อง ก็สามารถใช้เป็นวัสดุกันไฟได้ สำหรับคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกันกับใยแร่และใยแก้ว

2.3.3.4. โพนี

เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนชนิดอื่นโดยทั่วไปโพนีจะไม่ดูดซับความชื้นแต่เนื่องจากโพนีมีจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อโดนความร้อน สูงเป็นเวลานาน ๆ โพนีจะเสียรูปและไหม้ไปในที่สุด

2.3.3.5. แคลเซียมซิลิเกต

เป็นฉนวนกันความร้อนแบบเป็นโพรงหรือช่องกลวงประกอบด้วยไฮดรอกไซด์แคลเซียมซิลิเกตโดยระหว่างกรรมวิธีการผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนรูปหินปูน และซิลิกาไปเป็นไฮดรอกไซด์แคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนทาน นิยมไปใช้ในการหุ้มท่อ และภาชนะในขบวนการทางอุตสาหกรรม ที่มีอุณหภูมิสูง และจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความทนต่อแรงอัดสูงอีกด้วย

2.3.3.6. พอยล์หรือฉนวนรีเฟลคตีฟ

จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการกันความร้อนให้กับอาคาร จากการศึกษาพบว่าการใช้พอยล์เพียงชั้นเดียวไม่พอ สำหรับกันความร้อนจากหลังคา จะต้องมียุ่ยไม่น้อยกว่า 3-4 ชั้นโดยแต่ละชั้นต้องมีช่องว่างอากาศไม่น้อยกว่า 1 นิ้วและต้องป้องกันการรั่วซึมได้ดี ด้วย แต่มีข้อแม้ว่าผิวของแผ่นพอยล์ต้อง มันเงาอยู่ตลอดเวลาถ้าผิวสกปรกจะสูญเสียค่าการสะท้อนรังสีและจะไม่สามารถทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีด้วย

2.3.3.7. เวอร์มิคูไลท์

ทำจากแร่ไมกาซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ด ๆ คล้ายกระจกโดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบการผลิต การใช้งานจะเป็นลักษณะของฉนวนกัน ความร้อนแบบเทบรรจุเข้าไปในบล็อกหรือโพรงผนัง ถ้านำไปผสมกับปูน - ไม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนต์หรือทรายจะได้เป็นคอนกรีตเวอร์มิคูไลต์ที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ กว่าคอนกรีตปกติถึง 10 เท่า โดยทั่วไปจะผสมสารเคมีบางชนิดเพื่อใช้สำหรับพ่นกันไฟให้กับโครงสร้างเหล็กนิยมใช้ในยุโรปและสหรัฐอเมริกา

2.3.3.8. ยาง

เป็นฉนวนที่ใช้เพื่อหุ้มท่อนั้นเป็นฉนวนที่มีลักษณะโครงสร้างแบบ Closed cell เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิ -40 ถึง 104 °C

2.3.4. ประโยชน์ที่ได้จากการใช้ฉนวนความร้อน

- เพื่ออนุรักษ์พลังงาน
- ควบคุมการถ่ายความร้อน
- ควบคุมอุณหภูมิ
- ป้องกันการแข็งตัวเนื่องจากความเย็นจัด
- ป้องกันการเผาไหม้
- ควบคุมไฟไหม้

2.3.5. อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบา คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังและพื้นด้วยคุณสมบัติพิเศษที่เหนือกว่า ประกอบกับการออกแบบและก่อสร้างอาคารบ้านเรือนในปัจจุบัน คำนึงถึงความสำคัญในเรื่อง "คุณภาพชีวิต" ของผู้อยู่อาศัย "การประหยัดพลังงาน" มากขึ้น ทำให้ "อิฐมวลเบา" ได้รับความนิยมและเข้ามามีบทบาทในการก่อสร้างมากขึ้น

2.3.6. คุณสมบัติของอิฐมวลเบา

2.3.6.1. ประหยัดพลังงาน

กันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมวลถึง 4-8 เท่า จึงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคาร ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจากขนาดเครื่องปรับอากาศที่เล็กลงและลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 30%

2.3.6.2. น้ำหนักเบา

น้ำหนักเบากว่าอิฐมวลถึง 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า ส่งผลให้ประหยัดค่าก่อสร้างโครงสร้างอาคารและเสาเข็มลงได้อย่างมาก แต่อาคารยังคงมีความแข็งแรงเท่าเดิม เอกสารนี้เป็นเอกสารทศงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.3. มิติเที่ยงตรง

ขนาดมิติเที่ยงตรง แน่นอน ได้ชิ้นงานที่เรียบ สวยงาม มีหลายขนาดให้เลือก ประหยัดวัสดุ และแรงงานในการก่อ ฉาบ

2.3.6.4. ใช้งานง่าย

ใช้งานได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยความชำนาญสามารถตัด แต่ง เลื่อย โส เจาะได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่ใช้งานง่ายและหาซื้อได้ทั่วไป

2.3.6.5. ก่อสร้างได้เร็ว

มีขนาดใหญ่กว่าแต่น้ำหนักเบาขนย้ายได้สะดวก ทำงานได้เร็วกว่าอิฐมอญ 2-3 เท่า เร่งรัดงานให้เสร็จทันเวลาได้อย่างเป็นระบบ

2.3.6.6. กันเสียงและดูดซับเสียงได้ดี

กันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญ สามารถช่วยลดทอนความดังของเสียงจากภายนอกอาคารและภายในระหว่างห้องได้เป็นอย่างดี

2.3.6.7. ทนไฟนานกว่า 4 ชั่วโมง

ทนทานต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูงได้เป็นอย่างดี สามารถกันไฟได้นานกว่าผนังอิฐมอญ 2-4 เท่า

2.3.6.8. ไม่มีสารพิษ

สามารถหยิบจับหรือสัมผัสได้เมื่อถูกเผาไฟจะไม่เกิดควันหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

2.3.6.9. อายุการใช้งานยาวนาน

ไม่สึกกร่อนและสามารถทนต่อสภาพอากาศได้ทุกสภาวะ ทุกภูมิประเทศทั่วโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงรูปแบบการถ่ายเทความร้อนและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยงานวิจัยนี้เป็นการใช้ความรู้เรื่องการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ โดยรายละเอียดของเนื้อหาประกอบด้วย ทฤษฎีการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน พร้อมทั้งอธิบายถึงหลักการคำนวณความร้อนด้วยทฤษฎีของ การสมดุลความร้อน (heat balance model) ระหว่างผิวภายในและภายนอก

2.4.1. การนำความร้อนผ่านผนังทึบ 1 มิติ

กระบวนการนำความร้อนผ่านผนังทึบถูกอธิบายโดยใช้สมการ การกระจายความร้อน ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางและถูกนำไปใช้คำนวณโดย Air - conditioning Engineers (ASHRAE) ด้วยกรรมวิธี Laplace transformation เพื่อเปลี่ยนสมการ partial differential ให้เป็นสมการ ordinary differential ด้วยวิธีนี้ความร้อนจะถูกขับเคลื่อนด้วยอุณหภูมิและปัจจัยแวดล้อมโดยแยกส่วนข้อมูลตามช่วงเวลา ผลที่ได้จากวิธีนี้เรียกว่า response factor ที่ประกอบด้วยค่าอุณหภูมิของปัจจุบันและอดีต (Hittle 1998, Buhl et al.1980) นอกจากนี้สามารถนำไปดัดแปลงเป็นค่า conduction transfer function (CTF) นอกเหนือจากนี้ยังมีอีกหลายวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณความร้อนผ่านผนังทึบ เช่น Exact Analysis , Numerical Method และ Transform Method ซึ่งจะกล่าวในลำดับต่อไป

2.4.2. วิธี Exact Analysis

ใช้สมการการนำความร้อน

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{k}{\rho c_p} \cdot \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \quad ; \quad 0 \leq x \leq L$$
$$\frac{\partial I(x,t)}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 I(x,t)}{\partial x^2}$$

สมการที่ 2.1. แสดงการนำความร้อน

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ

k คือ Thermal conductivity

ρ คือ ความหนาแน่น

c_p คือ specific heat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ผลลัพธ์คือ

$$q(0,t) = -k \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} = \left[-kT_1 \left[\frac{1}{d} \right] - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2}{\beta_n d} \beta_n \cos \beta_n x \cdot e^{-\alpha \beta_n^2 t} \right]_{x=0}$$

$$q(d,t) = -k \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=d} = \left[-kT_1 \left[\frac{1}{d} \right] - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2}{\beta_n d} \beta_n \cos \beta_n x \cdot e^{-\alpha \beta_n^2 t} \right]_{x=d}$$

สมการที่ 2.2. แสดงการนำความร้อน

เมื่อ β_n คือ $n\pi/d$

d คือ ความหนาของผนัง

T_1 คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกกับผิวใน $T_{wo} - T_{wi}$

2.4.3. วิธี Numerical Method

เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ เกี่ยวกับพลศาสตร์การไหลที่มีทั้งความร้อนและมวลสารเข้าไปเกี่ยวข้องและเหมาะกับปัญหาที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ด้วยวิธีตรง อันเนื่องมาจากความซับซ้อนและเงื่อนไข ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์

2.4.4. วิธี Transform Method

สำหรับการถ่ายเทความร้อน 1 มิติ เริ่มต้นจากสมการ second-order partial differential

คือ

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T(x,t)}{\partial t}$$

สมการที่ 2.3. second-order partial differential

เมื่อ T คือ อุณหภูมิในทิศทาง x

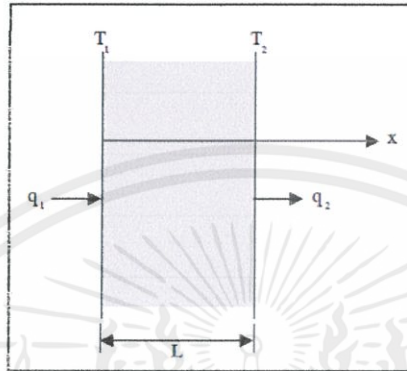
เอกสารนี้เป็นเอกสาร คือ เวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น สิ่งที่ยังขาดไปคือ ความรู้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

α คือ The thermal diffusivity

k คือ Thermal conductivity

ρ คือ ความหนาแน่น

C_p คือ specific heat



รูปที่ 2.1. One – dimension homogeneously single slab

อาศัยวิธี Laplace transformation จะได้ผลลัพธ์

$$\begin{bmatrix} q_1(s) \\ q_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D(s) & I \\ B(s) & B(s) \\ I & A(s) \\ B(s) & B(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1(s) \\ T_2(s) \end{bmatrix}$$

สมการที่ 2.4. Laplace transformation

2.4.5. ทฤษฎีการพาความร้อน

กระบวนการถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อนเป็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของพลังงานจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่โมเลกุลตัวกลางมีการเคลื่อนที่ไปด้วย การพาความร้อนสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 แบบดังนี้

2.4.5.1. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่พร้อมกับทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน มักจะอาศัยอุปกรณ์ช่วย ตัวอย่างเช่น บัมพ์ พัดลม การพาความร้อนแบบบังคับนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5.2. การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection)

กลไกการเกิดการถ่ายโอนความร้อนมักเกิดเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นในระบบ ตัวอย่างเช่น การถ่ายโอนความร้อนของอาหารภายในกระป๋องที่ผ่านการทำเย็นหลังจากการฆ่าเชื้อภายในกระป๋องจะมีการเคลื่อนที่ความร้อนเนื่องจากความหนาแน่น การถ่ายโอนในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้า ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบพาในลักษณะใดก็ตามแต่มีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อนเหมือนกันคือ

$$q_c = h_c (T_w - T_a)$$

สมการที่ 2.5. Laplace transformation

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

T_w คือ อุณหภูมิที่พื้นผิว

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ

บ่อยครั้งที่การพาความร้อนจะสร้างความต้านทานให้กับการถ่ายโอนความร้อนเมื่อเกิดการไหลของความร้อนในลักษณะลามินาร์ โดยที่เกดขึ้นของของไหลร้อนเสมือนว่าเป็นชั้นที่ผิวหน้า ทำหน้าที่เป็นฉนวนในการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งการจะขจัดทำได้ยาก จนกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลเป็นแบบเทอร์บิวเลนต์

โดยทั่วไปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ของการพาความร้อนแบบบังคับ จะมีค่าสูงกว่าการพาแบบธรรมชาติ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อน (h) ขึ้นอยู่กับ ลักษณะการไหล (ลามินาร์ หรือ เทอร์บิวเลนต์) และ ลักษณะของสภาวะการไหล (ไหลผ่านวัสดุใด หรือว่า ไหลในท่อ เป็นต้น)

มีการศึกษาทดลองเพื่อหาค่า h ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันไปโดยอาศัย การวิเคราะห์มิติ (Dimension analysis) หาความสัมพันธ์ทางตัวเลขต่างๆ ที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในการทดลอง และตรวจสอบอัตราการถ่ายโอนความร้อนย้อนกลับเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของค่า h ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มเลขไร้นหน่วยที่มักนำมาวิเคราะห์ ได้แก่
Reynolds Number

$$\text{Re} = \text{Reynolds number} = \frac{\rho v L}{\mu}$$

สมการที่ 2.6. Reynolds Number

Prandtl Number

$$\text{Pr} = \text{Prandtl number} = \frac{c_p \mu}{k}$$

สมการที่ 2.7. Prandtl Number

Grashof Number

$$\text{Gr} = \text{Grashof number} = \frac{g(T_w - T_a)L^3\rho^2\beta}{\mu^2}$$

สมการที่ 2.8. Grashof Number

2.4.6. ทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน

วัตถุทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นของแข็งหรือของเหลว ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์จะแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาทุก ความถี่ ความถี่ที่พลังงานส่วนใหญ่แผ่ออกมาสูงขึ้น จนกระทั่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตา รังสีของแสงที่แผ่ออกมาในช่วงที่ตามองเห็น เราเรียกรังสีช่วงนี้ว่า สเปกตรัม จากนั้น ความถี่ที่พลังงานส่วนใหญ่แผ่ออกมาสูงขึ้นอีก เป็นรังสีเหนือม่วง ซึ่งตาไม่สามารถมองเห็นได้ โดยสเปกตรัมที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้จัดนี้เป็นสเปกตรัมแบบต่อเนื่องวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง (วัตถุที่ร้อน) นอกจากจะมีการแผ่รังสีแล้วยังมีการดูดกลืนรังสีจากสิ่งแวดล้อมด้วย โดยอัตราการรังสีที่แผ่ออกมาจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิและชนิดของพื้นผิว วัตถุต่างชนิดกันจะมีความสามารถในการแผ่และดูดกลืนรังสีต่างกัน วัตถุที่เป็นตัวแผ่และดูดกลืนรังสีได้อย่างสมบูรณ์และดีที่สุด เรียกว่า วัตถุดำ (Black Body) วัตถุดำจะดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่ที่ตกกระทบโดยไม่สะท้อนออกมาสำหรับการหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนสามารถหาได้จากกฎของ Stefan-Boltzmann คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \epsilon \sigma A T^4$$

สมการที่ 2.9. Stefan - Boltzmann

โดย Q คือ อัตราการแผ่รังสีความร้อน

A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุ

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ

ϵ คือ สภาพส่องรังสี

$\sigma = 5.6699 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

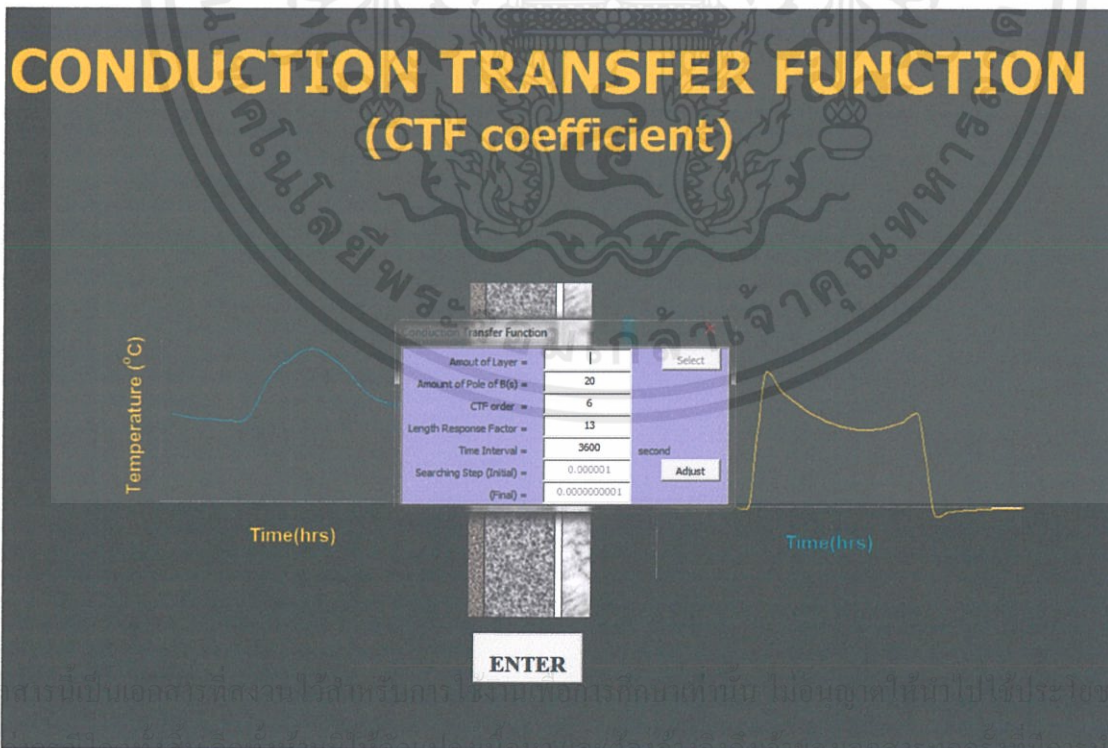
3.1. กล่าวนำ

หากจะศึกษาและเปรียบเทียบว่าความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุต่างๆ จำเป็นต้องทราบถึงความน่าเชื่อถือของโปรแกรมเสียก่อน จึงสามารถจะทำการต่อยอดความสามารถของโปรแกรมและประยุกต์ใช้เพื่อทำการวิเคราะห์หาวัสดุที่มีคุณภาพสูงในการต้านทานความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิในห้องมีความคงที่และสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในสำนักงานและอาคารต่างๆได้ โดยทำการทดสอบจากค่าจริงที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จริงและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากโปรแกรม เพื่อพิสูจน์ว่าค่าที่ได้จากโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนที่พอรับได้จากความจริงมากน้อยแค่ไหน ขั้นตอนที่จะเสนอต่อไปนี้จะเป็นการทดลองและสาธิตวิธีใช้โปรแกรม

3.2. การศึกษาโปรแกรม

วิธีใช้งานโปรแกรม จะแบ่งเป็นขั้นตอนในการใช้งานดังนี้

- คลิกเริ่มโปรแกรม (ENTER)
- เลือกจำนวนชั้น (layer) ที่ทำการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 3.1. แสดงหน้าโปรแกรม

- เลือกวัสดุที่จะอยู่ในแต่ละชั้น (Layer) โดยวัสดุที่มีการ Insert เข้าไปจำเป็นจะต้องรู้ค่า Parameter ดังนี้

1. ความหนาของวัสดุ
2. ค่า Thermal Conductivity หรือ ค่า Thermal Resistance
3. ค่าความหนาแน่น
4. ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

	A	B	C	D	E	F
8	A6	Finish	0.013	0.415	1249	1090
9	A7	100 mm face brick	0.100	1.333	2002	920
10	B1	Air space thermal resistance				
11	B2	25 mm insulation	0.025	0.043	32	840
12	B3	50 mm insulation	0.051	0.043	32	840
13	B4	75 mm insulation	0.076	0.043	32	840
14	B5	25 mm insulation	0.025	0.043	91	840
15	B6	50 mm insulation	0.051	0.043	91	840
16	B7	25 mm wood	0.025	0.121	593	2510
17	B8	62 mm wood	0.063	0.121	593	2510
18	B9	100 mm wood	0.101	0.121	593	2510
19	B10	50 mm wood	0.051	0.121	593	2510
20	B11	75 mm wood	0.076	0.121	593	2510
21	B12	75 mm insulation	0.076	0.043	91	840
22	B13	100 mm insulation	0.100	0.043	91	840
23	B14	125 mm insulation	0.125	0.043	91	840
24	B15	150 mm insulation	0.150	0.043	91	840
25	B16	4 mm insulation	0.004	0.043	91	840
26	B17	8 mm insulation	0.008	0.043	91	840
27	B18	12 mm insulation	0.012	0.043	91	840
28	B19	15 mm insulation	0.015	0.043	91	840
29	B20	20 mm insulation	0.020	0.043	91	840
30	B21	35 mm insulation	0.035	0.043	91	840
31	B22	42 mm insulation	0.042	0.043	91	840
32	B23	60 mm insulation	0.062	0.043	91	840
33	B24	70 mm insulation	0.070	0.043	91	840
34	B25	85 mm insulation	0.085	0.043	91	840
35	B26	92 mm insulation	0.092	0.043	91	840
36	B27	115 mm insulation	0.115	0.043	91	840
37	C1	100 mm clay tile	0.100	0.571	1121	840
38	C2	100 mm lightweight concrete block	0.100	0.381	609	840
39	C3	100 mm heavyweight concrete block	0.100	0.813	977	840

รูปที่ 3.2. วิธีใช้งานโปรแกรม

- โปรแกรมจะคำนวณหาค่า Conduction transfer function (CTF) ออกมา โดยค่า CTF จะเป็นค่าเฉพาะสำหรับวัสดุชนิดหนึ่งๆ ที่ความหนาหนึ่งๆ โดยค่า CTF จะเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิในอดีตที่มีผลต่ออุณหภูมิในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x at Pole		Response Factor			CTF Coefficient						
C(s)	D(s)	X Response	Y Response	Z Response	0	1	2	3	4	5	6
0.0000	1.0000				33.963053651	-0.000009024	33.963053651	1.000000000			
0.0000	-1.0000	33.96305365	-0.00000902	33.96305365	-102.340857967	0.000033159	-102.340857967	-2.427513102			
0.0000	1.0000	-19.89510026	0.00001125	-19.89510026	118.245061632	0.000593398	118.245061632	2.155950939			
0.0000	-1.0000	-3.27323234	0.00064017	-3.27323234	-66.020359618	0.006442538	-66.020359618	-0.865027160			
0.0000	1.0000	-1.69435007	0.00796449	-1.69435007	4	18.540616563	0.012778556	18.540616563	0.157744033		
0.0000	-1.0000	-1.08278321	0.03074345	-1.08278321	5	-2.498076306	0.006940091	-2.498076306	-0.011706198		
0.0000	1.0000	-0.76913439	0.06495105	-0.76913439	6	0.140926825	0.001165003	0.140926825	0.000260883		
0.0000	-1.0000	-0.58281184	0.09934180	-0.58281184							
0.0000	1.0000	-0.46140763	0.12653360	-0.46140763							
0.0000	-1.0000	-0.37706232	0.14441539	-0.37706232							
0.0000	1.0000	-0.31560648	0.15381556	-0.31560648							
0.0000	-1.0000	-0.26912722	0.15657354	-0.26912722							
0.0000	1.0000	-0.23288446	0.15457479	-0.23288446							
0.0000	-1.0000	-0.20388313	0.149339675	-0.20388313							
0.0000	1.0000										
0.0000	-1.0000										
0.0000	1.0000										
0.0000	-1.0000										
0.0000	1.0000										
0.0000	-1.0000										
0.0000	1.0000										
0.0000	-1.0000										

Back to Main Window

Back to Heat Balance Model

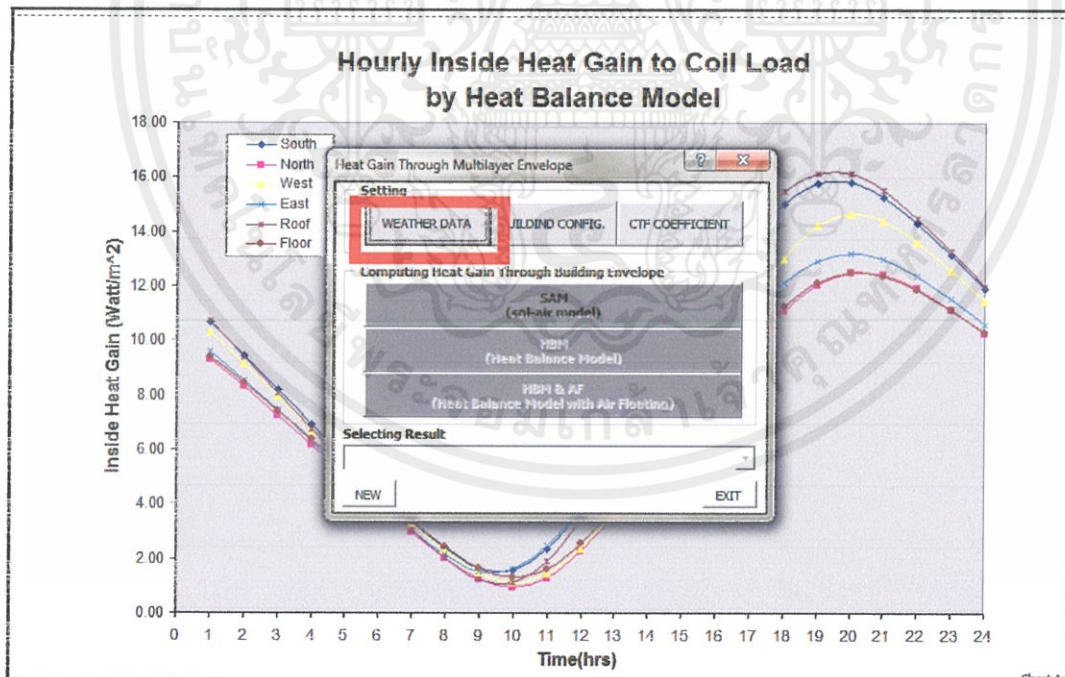
Complete !

Computation Time = 10.473 second

Ux : Uy : Uz : U-value = 3.1274 : 2.8780 : 3.1274 : 2.8850

รูปที่ 3.3. วิธีใช้งานโปรแกรม

- เปิดโปรแกรม Heat Gain Through Multilayer Opaque Wall



รูปที่ 3.4. วิธีใช้งานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือก WEATHER DATA

โดย WEATHER DATA จะบ่งบอกถึงสภาพอากาศบริเวณที่จะวิเคราะห์ โดยตัวแปรที่ต้องใช้ใน
ในส่วนนี้ได้แก่

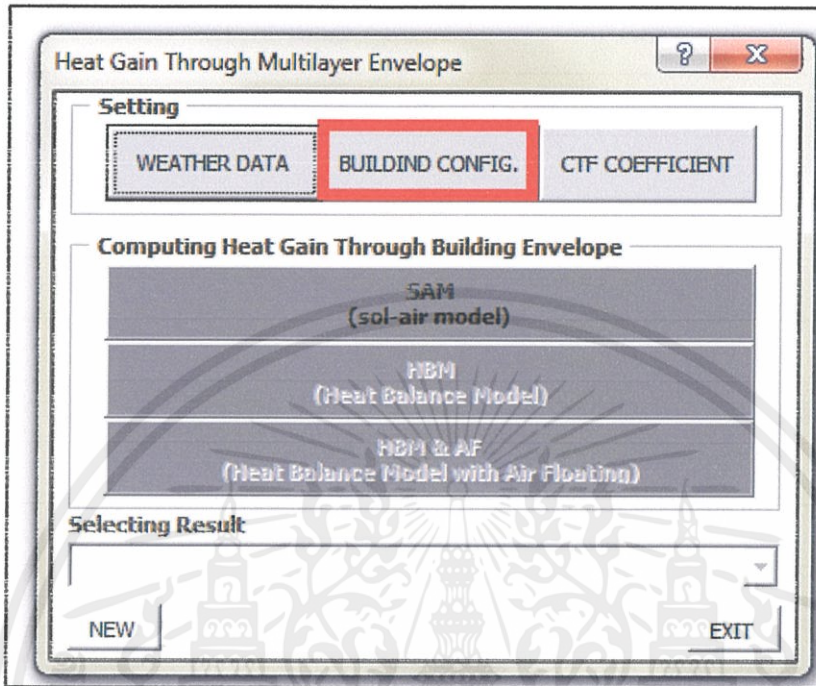
1. ค่าความเข้มรังสีที่ผิวโลก Global Radiation (I_g)
2. ค่าความเข้มรังสีจากดวงอาทิตย์ Solar Radiation (I_b)
3. ค่าอุณหภูมิรายชั่วโมง (สามารถนำข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้มาจากกรมอุตุนิยมวิทยา)

Hour	I_g	I_b	T_o
	(W/m^2)	(W/m^2)	($^{\circ}C$)
1	0.00	0.00	25.56
2	0.00	0.00	25.00
3	0.00	0.00	24.44
4	0.00	0.00	24.44
5	0.00	0.00	23.89
6	0.00	0.00	23.89
7	37.00	4.16	23.33
8	105.00	64.08	24.44
9	170.00	120.00	28.33
10	190.86	183.21	30.56
11	232.84	220.32	30.56
12	250.00	239.44	32.22
13	232.00	215.70	32.78
14	190.00	200.93	32.78
15	170.89	127.23	33.33
16	105.94	65.50	33.33
17	38.96	13.58	32.78
18	0.00	0.00	31.11
19	0.00	0.00	29.44
20	0.00	0.00	28.33
21	0.00	0.00	27.78
22	0.00	0.00	27.22
23	0.00	0.00	27.22
24	0.00	0.00	26.11

O.K.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรุปที่ 3.5. วิธีใช้งานโปรแกรม
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือก BUILDING CONFIG



รูปที่ 3.6. วิธีใช้งานโปรแกรม

- ในส่วนของคำสั่งนี้จะให้ผู้ใช้ได้กำหนดถึงห้องที่ทำการวิเคราะห์ โดยในส่วนนี้จะสามารถปรับขนาดของผนังในแต่ละด้านได้ และสามารถกำหนดมุม Azimuth ของระนาบผนังในแต่ละด้านได้

Building Configuration and Heat Transfer Coefficient

Property	Surface									
	0	1	2	3	4 (roof)	5 (floor)	6	7	8	9
SWAO	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
LWAO	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CCO	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
CCI	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
TA	90	90	90	90	90	0	180	0	180	0
AA	0	-180	90	90	90	0	0	0	0	0
LWEI	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

OK

W = 1
H = 1
L = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก รูปที่ 3.7. วิธีใช้งานโปรแกรม

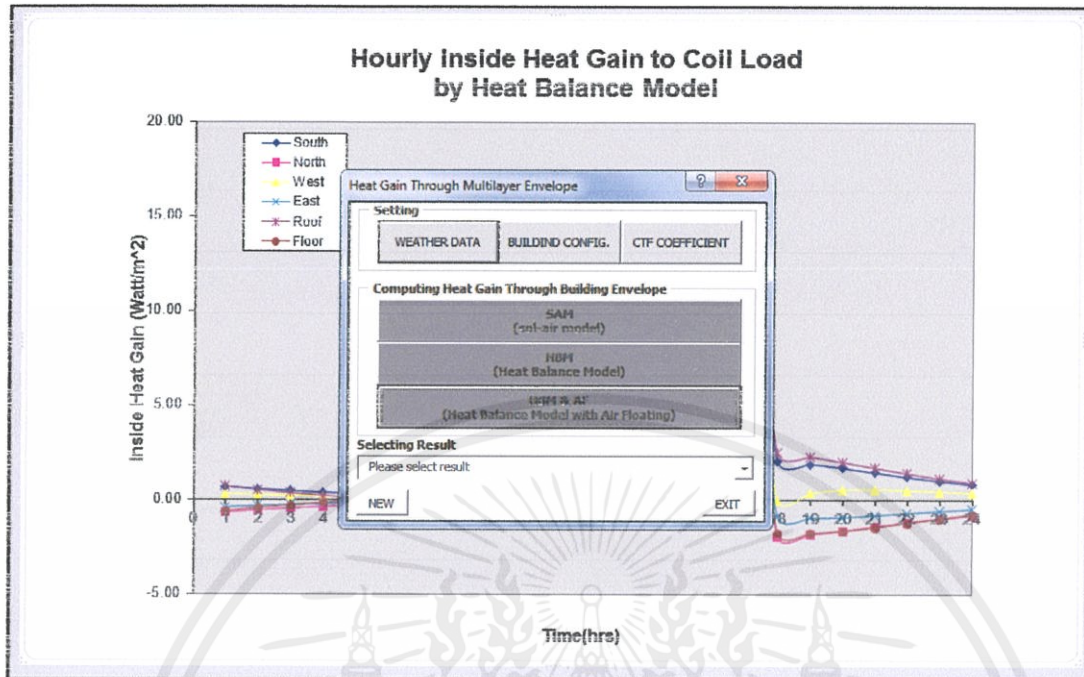
- นำค่า CTF ที่คำนวณได้จากข้อ 3. มาใส่ในคำสั่ง CTF Coefficient เพื่อทำการวิเคราะห์ หากผนังทั้งหมดมีคุณสมบัติที่เหมือนกันให้เลือกคำสั่ง GEN

Building Configuration and Heat Transfer Coefficient													
Property		Surface											
		0	1	2	3	4 (roof)	5 (floor)						
1	A	CTF (Surface 1)				CTF (Surface 2)				CTF (Surface 3)			
2	Index	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
3	0	20.37452092	0.005685269	20.37452092	1.000000000	20.3745201	0.0056853	20.3745201	1.0000000	20.3745201	0.0056853	20.3745201	1.0000000
4	1	-30.298123992	0.287975497	-30.298123992	-0.90127355	-30.2981240	0.2879755	-30.2981240	-0.9012736	-30.2981240	0.2879755	-30.2981240	-0.9012736
5	2	12.068687784	0.526895155	12.068687784	0.160717674	12.0686878	0.5268952	12.0686878	0.1607177	12.0686878	0.5268952	12.0686878	0.1607177
6	3	-1.237231668	0.106000909	-1.237231668	-0.00397056	-1.2372317	0.1060009	-1.2372317	-0.0039706	-1.2372317	0.1060009	-1.2372317	-0.0039706
7	4	0.020842722	0.002110120	0.020842722	0.000006320	0.0208427	0.0021101	0.0208427	0.0000063	0.0208427	0.0021101	0.0208427	0.0000063
8	5	-0.000025551	0.000002438	-0.000025551	0.000000000	-0.0000256	0.0000024	-0.0000256	0.0000000	-0.0000256	0.0000024	-0.0000256	0.0000000
9	6	0.000000001	0.000000000	0.000000001	0.000000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
10	7												
11	8												
12	9												
13	10												
14		CTF (Surface 4)				CTF (Surface 5)				CTF (Surface 6)			
15	Index	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
16	0	20.3745201	0.0056853	20.3745201	1.0000000	20.3745201	0.0056853	20.3745201	1.0000000	20.3745201	0.0056853	20.3745201	1.0000000
17	1	-30.2981240	0.2879755	-30.2981240	-0.9012736	-30.2981240	0.2879755	-30.2981240	-0.9012736	-30.2981240	0.2879755	-30.2981240	-0.9012736
18	2	12.0686878	0.5268952	12.0686878	0.1607177	12.0686878	0.5268952	12.0686878	0.1607177	12.0686878	0.5268952	12.0686878	0.1607177
19	3	-1.2372317	0.1060009	-1.2372317	-0.0039706	-1.2372317	0.1060009	-1.2372317	-0.0039706	-1.2372317	0.1060009	-1.2372317	-0.0039706
20	4	0.0208427	0.0021101	0.0208427	0.0000063	0.0208427	0.0021101	0.0208427	0.0000063	0.0208427	0.0021101	0.0208427	0.0000063
21	5	-0.0000256	0.0000024	-0.0000256	0.0000000	-0.0000256	0.0000024	-0.0000256	0.0000000	-0.0000256	0.0000024	-0.0000256	0.0000000
22	6	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
23	7												
24	8												
25	9												
26	10												
27													
28	CTF Coefficient Tool	GEN											OK

รูปที่ 3.8. วิธีใช้งานโปรแกรม

- ทำการประมวลผล โดยการประมวลผลจะต้องเริ่มที่การประมวลผลแบบใช้ Sol-air model (SAM) ซึ่งการประมวลผลในรูปแบบนี้เป็นการใช้ค่าอุณหภูมิห้องในการคำนวณการถ่ายเทความร้อน ผลที่ได้จึงยังไม่ละเอียด เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแบบ Sol-air model (SAM) แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลแบบใช้ Heat Balance Model (HBM) โดยการประมวลผลแบบนี้จำเป็นต้องใช้ค่าที่ได้จากแบบจำลอง Sol-air model (SAM) เป็นข้อมูลตั้งต้นในการหาอุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านนอก จากนั้นจึงใช้อุณหภูมิที่ผิวของผนังในการคำนวณการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นผลที่ได้จึงมีความละเอียดมากกว่า (หากห้องที่ทดลองไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศก็ต้องใช้แบบจำลองแบบ Heat Balance Model with Air Floating (HBM & AF) ด้วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9. วิธีใช้งานโปรแกรม

การประมวลผลจะประมวลออกมาในรูปแบบของกราฟโดยจะแสดงอุณหภูมิที่มีในแต่ละช่วงเวลาและยังแสดงในแต่ละด้านของผนังอีกด้วย

**คำสั่งในการประมวลผลที่สำคัญ

- outside surface temperature (อุณหภูมิที่ผิวด้านนอก)
- outside heat gain by surface temperature (พลังงานความร้อนที่ผิวด้านนอก)
- Inside surface temperature (อุณหภูมิที่ผิวด้านใน)
- Inside conduction heat gain by surface temperature (พลังงานความร้อนที่ผิวด้านใน)

3.3. ทดสอบจริงกับผนังห้องขนาด 1x1 ตารางเมตร

การทดสอบจากอุณหภูมิห้องทดสอบโดยการสร้างห้องที่ก่อจากอิฐมวลเบา ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร คณะผู้จัดทำได้เลือกบริเวณลานจอดรถหลังอาคารสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา เนื่องจากเป็นลานกว้าง ซึ่งสามารถรับแดดได้เต็มที่ ซึ่งทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 21-23 มกราคม พ.ศ. 2556 รวม 3 วัน ทำการเก็บข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง ดังจะแสดงรูปลำดับขั้นตอนการทดลองต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หาดำแหน่งที่จะก่อสร้างห้อง โดยจะต้องให้ด้านหนึ่งของผนังห้องหันระนาบไปทางทิศเหนือ



รูปที่ 3.10. ทา Azimuth จากกล้อง Total station

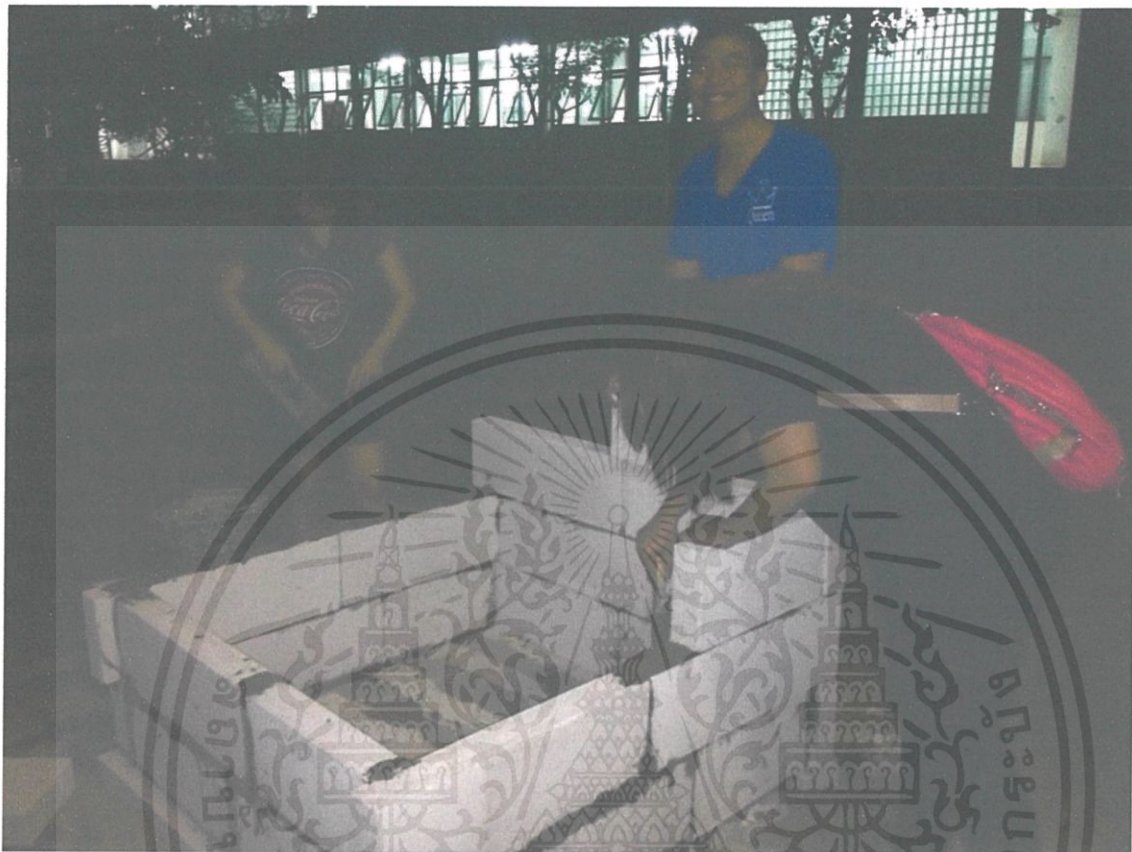
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11. Pole อุปกรณ์ที่ใช้ในการค้นหามุม Azimuth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการก่อสร้างห้องด้วยอิฐมวลเบา โดยให้ผนังแต่ละด้านมีพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร



รูปที่ 3.12. ทำการก่อสร้างห้องขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ด้วยอิฐมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13. ทำการก่อสร้างขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ด้วยอิฐมวลเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14. ห้องขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ด้วยอิฐมวลเบาตอนสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวัดอุณหภูมิทุกๆ ชั่วโมงที่ผิวทุกด้านของผนังทั้งด้านนอกและด้านใน เป็นเวลา 3 วัน



รูปที่ 3.15. อุปกรณ์ Infrared Thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

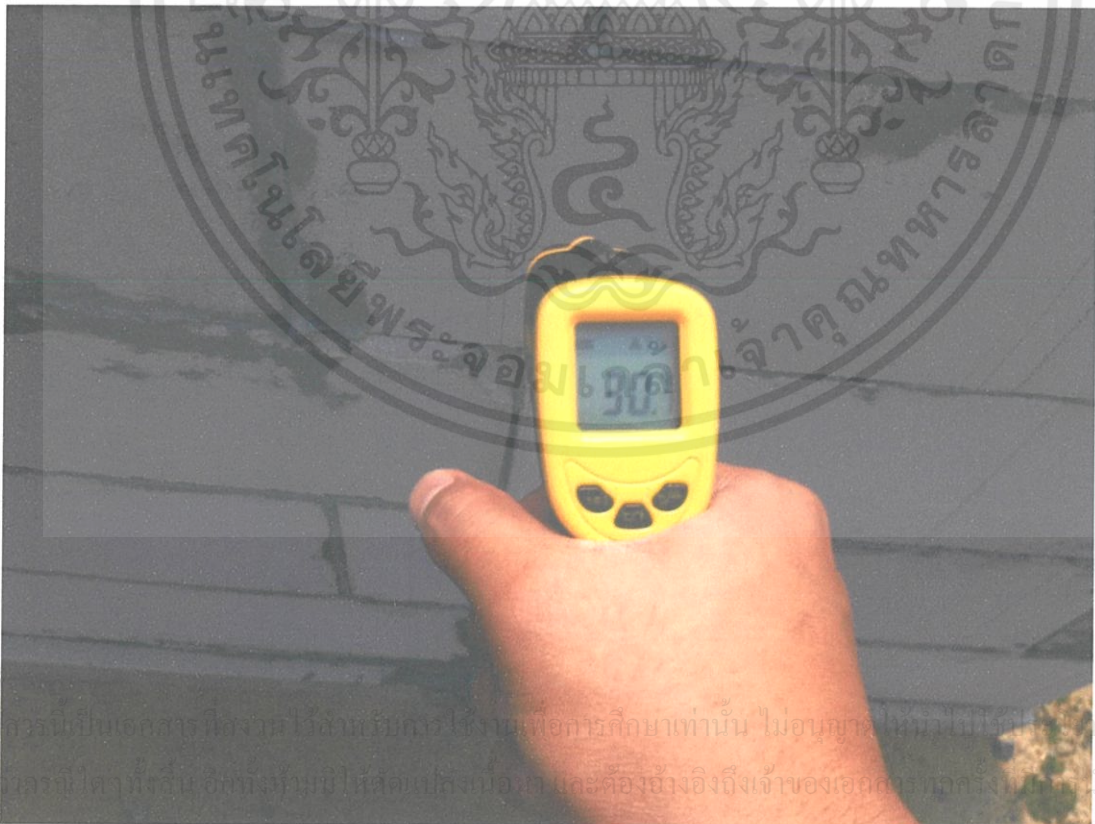


รูปที่ 3.16. ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17. ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (b)

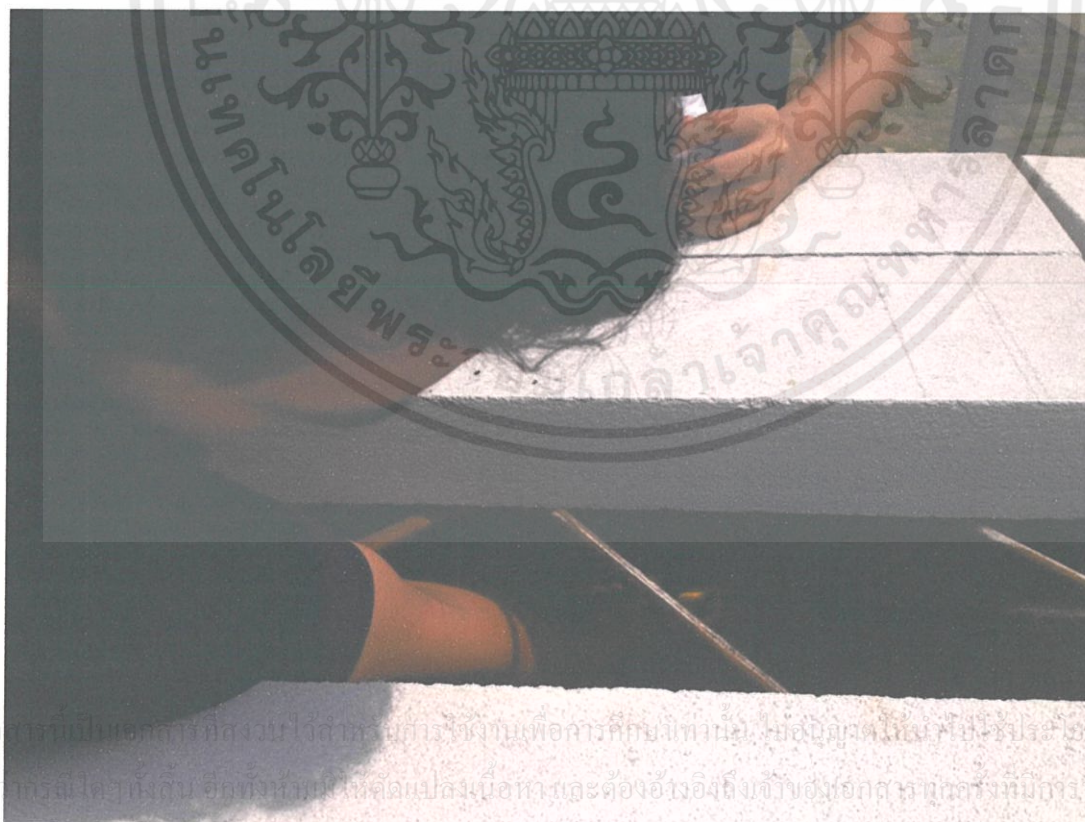


รูปที่ 3.18. ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารโครงการวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลนี้ไปใช้ในการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งก่อนนำไปใช้

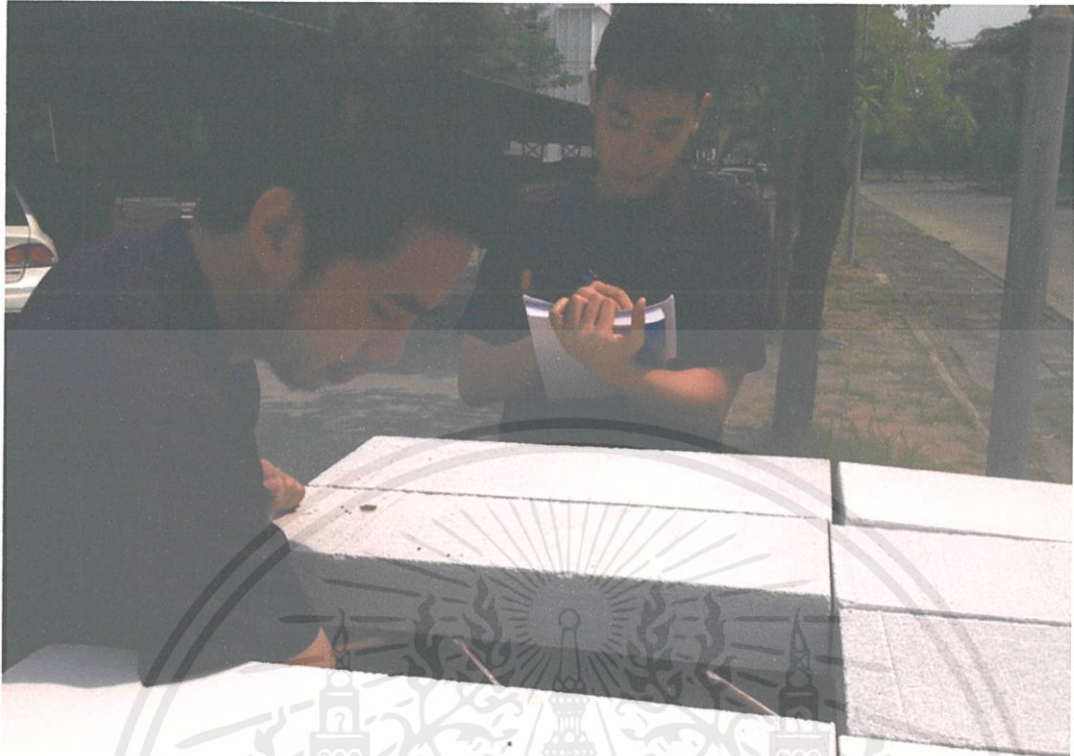


รูปที่ 3.19. ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (d)



รูปที่ 3.20. ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (e)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น. ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏบนหน้าการดำเนินการ
 ไม่สามารถถือได้ว่าเป็นอีกทั้งห้ามมิให้สลับแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่วางพิมพ์นี้ไปใช้



รูปที่ 3.21. ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22. ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Infrared Thermometer (g)

- นำข้อมูลอุณหภูมิทุกชั่วโมงที่วัดได้ในแต่ละวันมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์
- เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดจริง และจากการทดสอบด้วยโปรแกรมว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือหรือไม่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1. ผลการทดลอง

4.1.1. อุณหภูมิผิวคอนกรีตของจริง

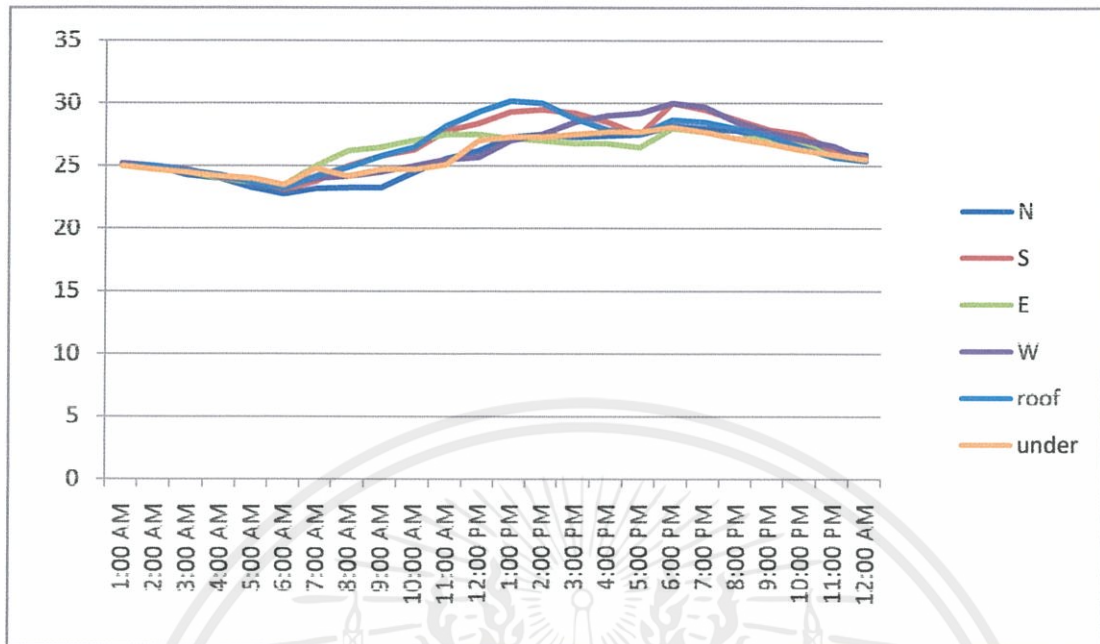
จากที่ผู้ทดลองได้ศึกษาในตัวของโปรแกรมและได้ทำการวัดอุณหภูมิผิวกับแบบจำลองจริงในระยะเวลา 3 วันโดยวัดค่าด้วย Infrared Thermometer ในทุกๆ 1 ชั่วโมงซึ่งได้ค่าดังตารางที่จัดบันทึกและได้แปลงค่าลงไปในกราฟได้ดังนี้

วันที่หนึ่ง (21 ม.ค. 56)

ตาราง 4.1. อุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	under
1:00 AM	25.2	25.1	25	25.2	25	25
2:00 AM	25	25	25	25	25	24.7
3:00 AM	24.3	24.5	24.5	24.7	24.6	24.5
4:00 AM	24	24.2	24	24.1	24.3	24.2
5:00 AM	23.3	23.81	23.7	23.8	23.7	24
6:00 AM	22.77	23.1	23.5	23.4	23.2	23.5
7:00 AM	23.2	23.77	25	24	24.2	24.8
8:00 AM	23.3	25	26.2	24.2	24.9	24.2
9:00 AM	23.3	25.8	26.5	24.5	25.8	24.7
10:00 AM	24.5	26.3	27	25	26.5	24.7
11:00 AM	25.6	27.8	27.5	25.5	28.2	25.1
12:00 PM	26.2	28.4	27.5	25.7	29.3	27
1:00 PM	27.3	29.3	27.2	27	30.2	27.3
2:00 PM	27.5	29.5	27	27.5	30	27.3
3:00 PM	27.3	29.2	26.8	28.5	28.8	27.5
4:00 PM	27.4	28.5	26.8	29	27.9	27.7
5:00 PM	27.5	27.5	26.5	29.2	27.5	27.7
6:00 PM	28.2	30	28	30	28.7	28.1
7:00 PM	28	29.5	27.7	29.7	28.5	27.7
8:00 PM	27.8	28.7	27.2	28.5	28	27.2
9:00 PM	27.3	27.9	27.2	27.7	27.4	26.8
10:00 PM	26.9	27.5	26.8	27.1	26.5	26.3
11:00 PM	26.1	26.3	25.8	26.6	25.7	25.9
12:00 AM	25.9	25.7	25.4	25.5	25.4	25.5

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



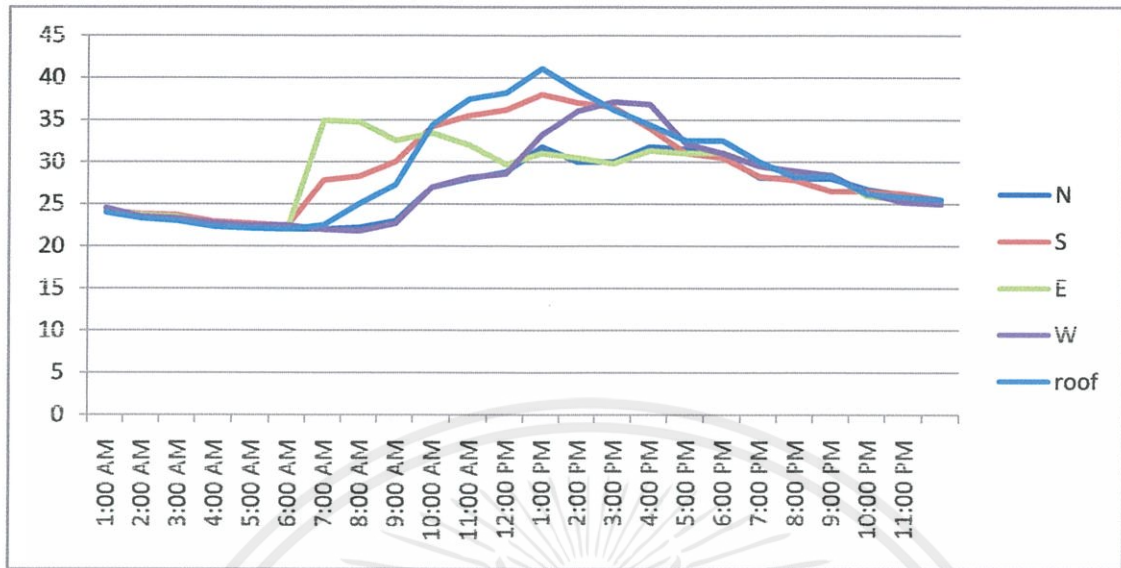
กราฟที่ 4.1. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2. อุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	under
1:00 AM	24	24.2	24.3	24.5	24	
2:00 AM	23.8	23.8	23.7	23.5	23.3	
3:00 AM	23.5	23.7	23.5	23.3	23	
4:00 AM	22.5	22.9	22.7	22.8	22.3	
5:00 AM	22.5	22.7	22.4	22.5	22.1	
6:00 AM	22	22.4	22.1	22.5	22	
7:00 AM	22	27.8	34.9	22	22.5	
8:00 AM	22.2	28.3	34.7	21.8	25	
9:00 AM	23	30	32.5	22.7	27.3	
10:00 AM	27	34.2	33.4	27	34.4	
11:00 AM	28	35.5	32	28.2	37.5	
12:00 PM	28.8	36.2	29.7	28.6	38.2	
1:00 PM	31.8	38	31	33.2	41.1	
2:00 PM	30	37	30.5	36	38.5	
3:00 PM	30	36.5	29.8	37.1	36.2	
4:00 PM	31.8	34	31.3	36.8	34.4	
5:00 PM	31.5	31	31	32.1	32.5	
6:00 PM	30.7	30.5	31.1	31	32.5	
7:00 PM	28.2	28.3	29.5	29.5	30	
8:00 PM	28	27.8	28.7	28.9	28.2	
9:00 PM	28	26.5	28.5	28.4	28.3	
10:00 PM	26.7	26.5	26	26.3	26.2	
11:00 PM	26.1	26.2	25.5	25.2	25.8	
12:00 AM	25.3	25.5	25.3	25	25.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.2. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556



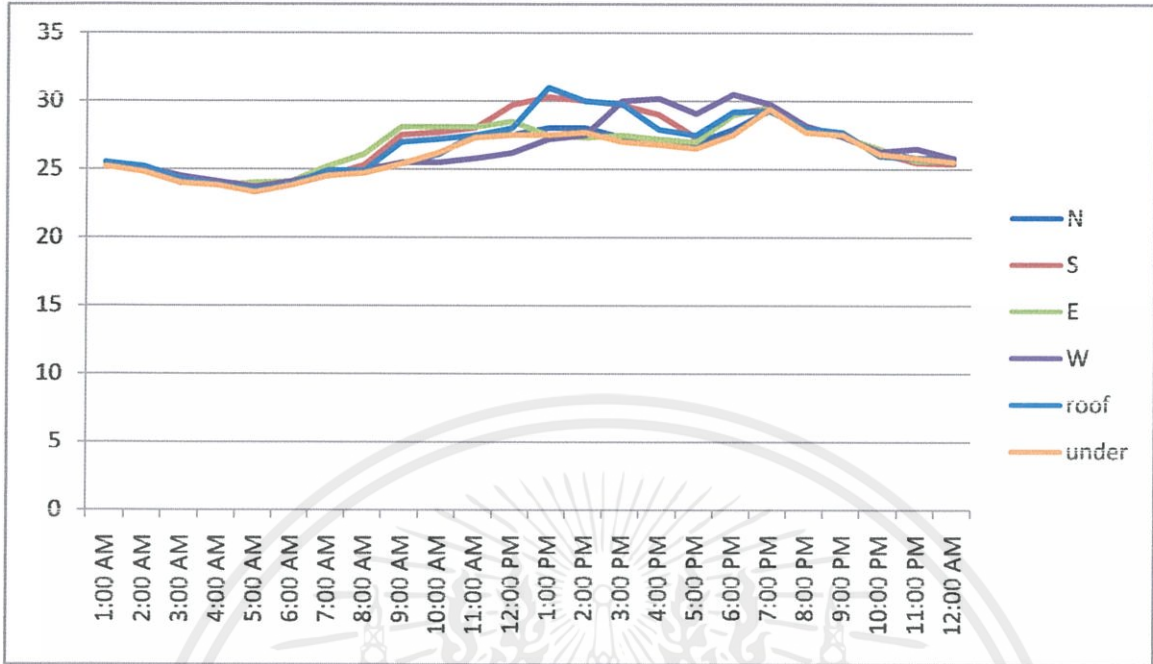
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่สอง (22 ม.ค. 2556)

ตาราง 4.1. อุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	under
1:00 AM	25.5	25.4	25.4	25.5	25.5	25.2
2:00 AM	25.1	25	25	25.1	25.2	24.8
3:00 AM	24.2	24	24	24.5	24.3	24
4:00 AM	24	24	23.8	24.1	23.9	23.8
5:00 AM	23.8	23.9	24	23.7	23.5	23.3
6:00 AM	24.1	24	24.1	24.1	23.9	23.8
7:00 AM	24.7	24.5	25.2	24.7	24.9	24.5
8:00 AM	25	25.3	26.1	24.9	24.9	24.7
9:00 AM	25.4	27.5	28.1	25.5	27	25.4
10:00 AM	26.1	27.7	28.1	25.5	27.2	26.2
11:00 AM	27.5	28	28.1	25.8	27.5	27.3
12:00 PM	27.5	29.7	28.5	26.2	28	27.5
1:00 PM	28	30.3	27.5	27.2	31	27.5
2:00 PM	28	30	27.3	27.5	30	27.7
3:00 PM	27.3	29.7	27.5	30	29.8	27
4:00 PM	27	29	27.2	30.2	27.9	26.8
5:00 PM	26.9	27.3	27	29.1	27.5	26.5
6:00 PM	27.9	29.1	29	30.5	29.2	27.5
7:00 PM	29.3	29.5	29.5	29.8	29.3	29.4
8:00 PM	28	27.8	27.9	28.2	28	27.7
9:00 PM	27.4	27.5	27.4	27.4	27.7	27.5
10:00 PM	26.3	26.2	26.5	26.3	26	26.1
11:00 PM	25.8	25.5	25.6	26.5	25.8	25.8
12:00 AM	25.8	25.4	25.6	25.8	25.5	25.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



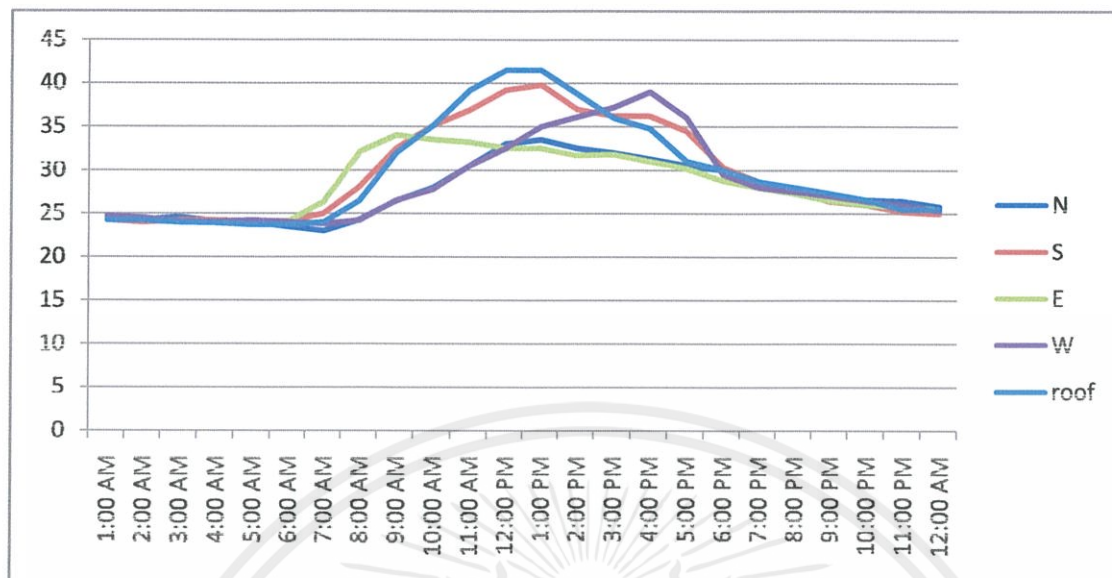
กราฟที่ 4.3. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.2. อุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	under
1:00 AM	24.5	24.3	24.5	24.7	24.2	
2:00 AM	24.3	24	24.5	24.5	24.2	
3:00 AM	24.6	24.2	24.1	24.1	24	
4:00 AM	24.1	24.2	24	24	23.9	
5:00 AM	24	24.1	24	24.2	23.7	
6:00 AM	23.5	24.1	24.1	24	23.7	
7:00 AM	23	25	26.3	23.8	24	
8:00 AM	24.3	28.1	32.1	24.2	26.5	
9:00 AM	26.5	32.5	34	26.5	32	
10:00 AM	28	35.1	33.5	27.8	35.1	
11:00 AM	30.5	36.9	33.2	30.5	39.2	
12:00 PM	33	39.2	32.5	32.5	41.5	
1:00 PM	33.5	39.8	32.5	35	41.5	
2:00 PM	32.5	37	31.7	36.1	38.8	
3:00 PM	32	36.2	31.8	37.2	36	
4:00 PM	31.3	36.2	31	39	34.8	
5:00 PM	30.5	34.5	30.2	36	31	
6:00 PM	30	30.3	28.8	29.5	30	
7:00 PM	28.5	28.7	28	28	28.7	
8:00 PM	27.7	27.6	27.3	27.5	28	
9:00 PM	27	26.4	26.5	27	27.3	
10:00 PM	26.6	26	26	26.4	26.6	
11:00 PM	26.4	25.2	25.8	25.9	25.5	
12:00 AM	25.8	25	25.5	25.3	25.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.4. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556



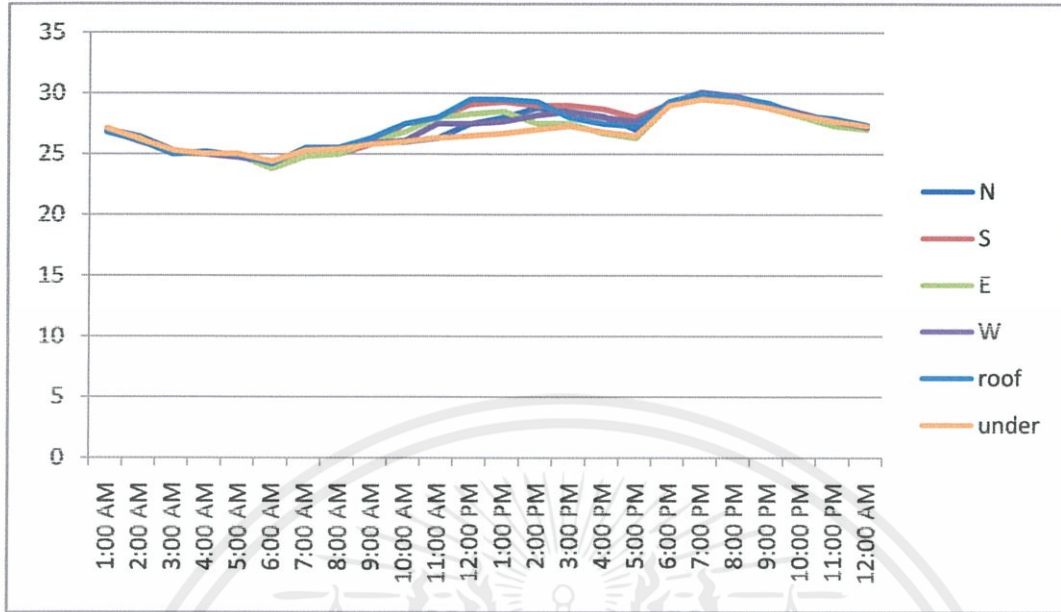
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่สาม (23 ม.ค. 2556)

ตาราง 4.5. อุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	under
1:00 AM	27	27.1	27	26.9	26.8	27.1
2:00 AM	26.4	26.1	26.3	26	26.1	26.2
3:00 AM	25.3	25.2	25	25.2	25	25.3
4:00 AM	25	25.1	25	25	25.2	25
5:00 AM	24.8	24.9	24.9	24.7	24.9	25
6:00 AM	24.1	24	23.8	24.3	24.2	24.4
7:00 AM	25.2	25	24.8	25.4	25.5	25.3
8:00 AM	25.2	25	25	25.4	25.5	25.4
9:00 AM	25.9	25.8	26.1	25.9	26.3	25.8
10:00 AM	26	27.5	26.8	26.1	27.5	26
11:00 AM	26.3	28	28	27.5	28	26.3
12:00 PM	27.5	29.1	28.3	27.5	29.5	26.5
1:00 PM	28	29.3	28.5	27.7	29.5	26.7
2:00 PM	28.8	29	27.5	28.2	29.3	27
3:00 PM	28.5	29	27.5	28.5	28	27.3
4:00 PM	28.1	28.7	26.7	28	27.5	26.8
5:00 PM	27	28	26.3	27.7	27.3	26.5
6:00 PM	29.2	29.1	29	29.2	29.3	29
7:00 PM	30	30.1	29.8	30.1	30	29.5
8:00 PM	29.4	29.5	29.6	29.8	29.7	29.3
9:00 PM	29	28.9	28.8	29.1	29.2	28.8
10:00 PM	28.3	28.3	28.1	28.4	28.2	28.2
11:00 PM	27.7	27.5	27.3	27.7	27.9	27.7
12:00 AM	27.4	27.3	27	27.2	27.4	27.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.5. กราฟแสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556

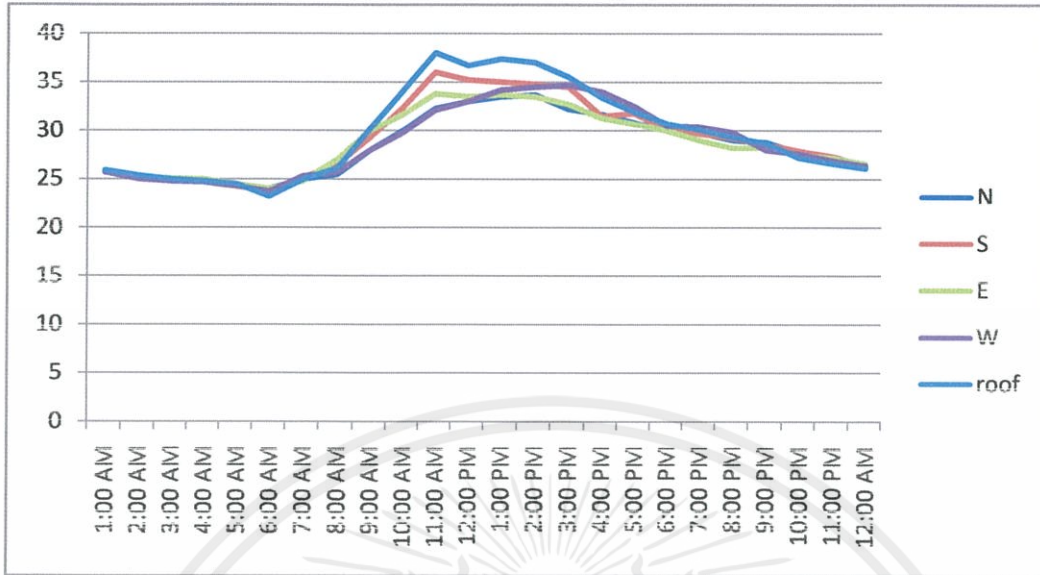


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.6. อุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	under
1:00 AM	25.8	25.8	25.9	25.7	25.9	
2:00 AM	25.3	25.2	25.1	25	25.4	
3:00 AM	24.8	24.9	25.1	24.8	25	
4:00 AM	24.9	24.7	25	24.7	24.8	
5:00 AM	24.3	24.2	24.5	24.3	24.5	
6:00 AM	24	23.8	24	23.7	23.2	
7:00 AM	25	25.1	24.8	25.3	25	
8:00 AM	25.5	26.5	27	25.7	26.1	
9:00 AM	28	29.3	30	28	30.2	
10:00 AM	30	32.4	31.7	29.8	34.1	
11:00 AM	32.3	36	33.8	32.1	38	
12:00 PM	33	35.2	33.5	33	36.7	
1:00 PM	33.5	35	33.7	34.2	37.4	
2:00 PM	33.7	34.8	33.5	34.5	37	
3:00 PM	32.2	34.5	32.7	34.7	35.5	
4:00 PM	31.7	31.5	31.3	34	33.4	
5:00 PM	30.8	31.8	30.7	32.5	31.9	
6:00 PM	30	30	30	30.5	30.7	
7:00 PM	29.8	29.7	29	30.4	30.1	
8:00 PM	29	29.2	28.2	29.8	29.3	
9:00 PM	28.8	28.6	28.2	28	28.7	
10:00 PM	27.7	27.9	27.5	27.6	27.2	
11:00 PM	27	27.3	27.2	26.9	26.6	
12:00 AM	26.2	26.4	26.6	26.4	26.1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.6. กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556

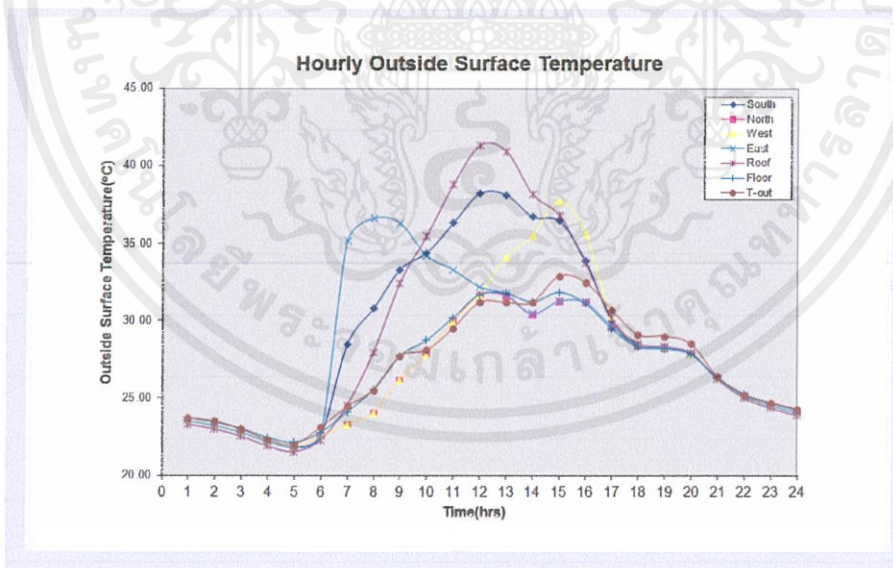
4.1.2. ค่าจากโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมทำนายอุณหภูมิภายในและภายนอกของอาคารที่ทดลองก็ได้ทำการรันโปรแกรมและแสดงผลออกมาเป็นกราฟ ได้ทำการใส่ค่าตัวแปรทั้งหมดในสถานการณ์จริง เช่น ความชื้นของรังสีฯ อุณหภูมิ เลือกวัด และ องค์ประกอบพื้นฐาน ฯลฯ สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่จะแสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

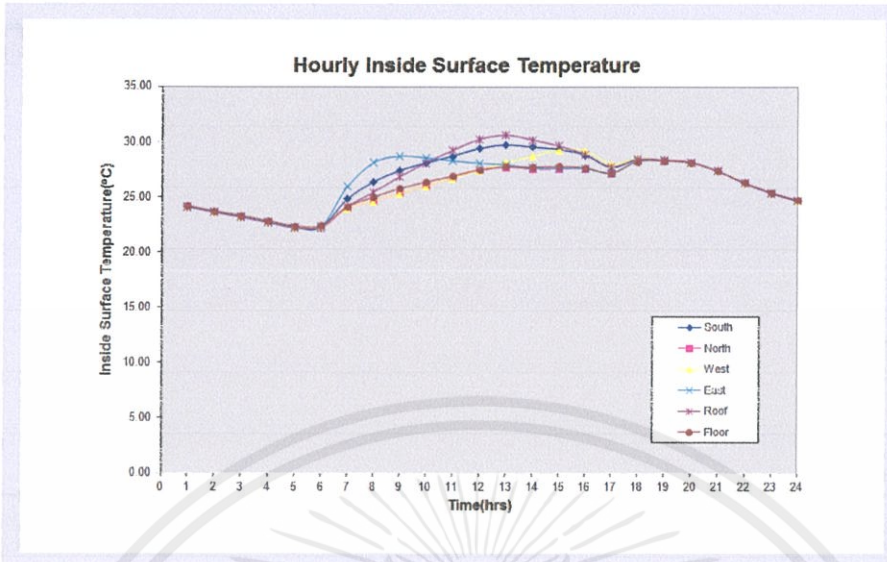
Hour	I_g (W/m^2)	I_b (W/m^2)	T_a ($^{\circ}C$)
1	0.00	0.00	23.70
2	0.00	0.00	23.50
3	0.00	0.00	23.00
4	0.00	0.00	22.30
5	0.00	0.00	22.00
6	0.00	0.00	23.10
7	65.60	134.40	24.44
8	212.30	337.70	25.50
9	368.10	476.90	27.70
10	507.80	501.40	28.10
11	630.70	525.10	29.50
12	684.00	561.00	31.20
13	632.90	544.10	31.20
14	448.30	482.00	31.20
15	295.30	327.60	32.90
16	127.00	110.00	32.50
17	5.90	0.00	30.70
18	0.00	0.10	29.10
19	0.00	0.10	29.00
20	0.00	0.00	28.50
21	0.00	0.00	26.40
22	0.00	0.00	25.20
23	0.00	0.00	24.70
24	0.00	0.00	24.30

รูปที่ 4.2. แสดงค่า ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในวันนั้นที่ทำการเก็บข้อมูลโดยขอมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา

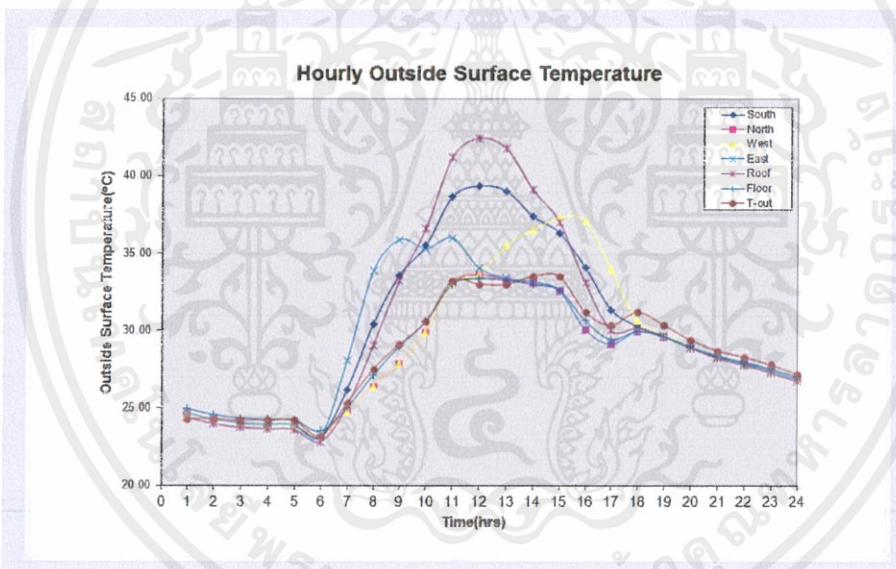


กราฟที่ 4.7. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

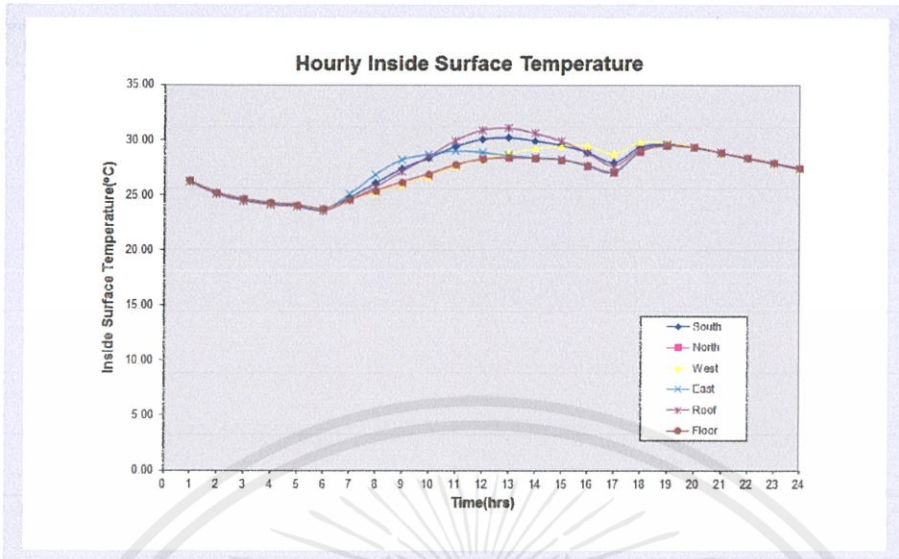


กราฟที่ 4.8. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

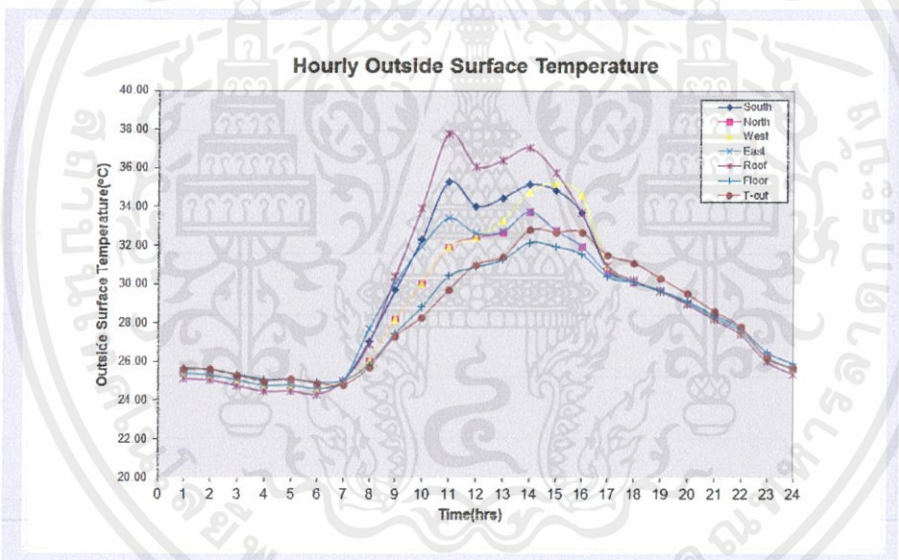


กราฟที่ 4.9. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

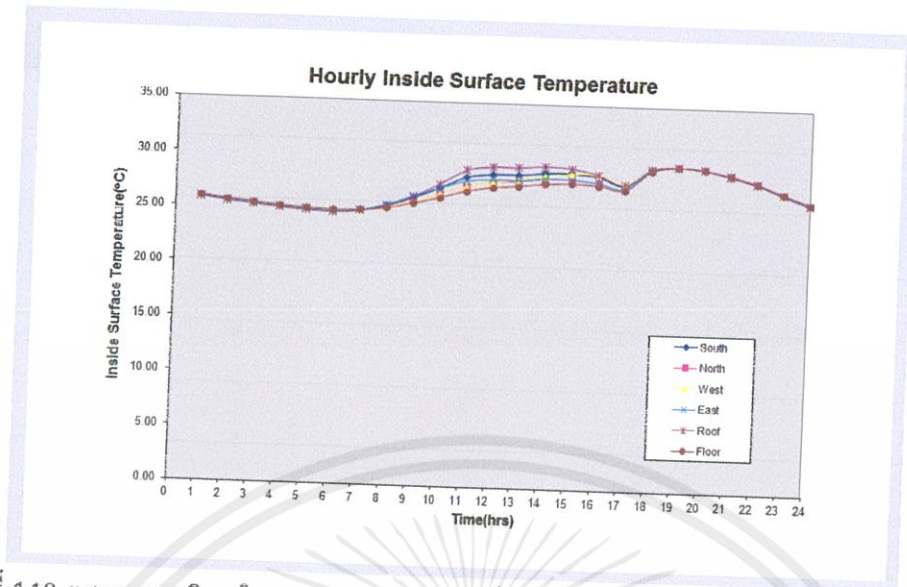


กราฟที่ 4.10. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย



กราฟที่ 4.11. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 4.12. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดสอบในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

4.2. วิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้ผลการทดลองมาแล้วก็จะถึงในส่วนขั้นตอนของการนำค่าทั้งสองอย่าง คือ ในงานจริง และ จากการประมวลผลของโปรแกรมเพื่อที่จะได้ทำการต่อยอดการวิเคราะห์ต่อไป โดยทำการใช้ค่าความคาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมง ทั้งภายใน และ ภายนอก ของอาคารที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1. ค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละวัน

ตาราง 4.7. ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายในห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	floor
1	1.99	1.6	1.2	1.99	1.2	1.2
2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	2.03
3	2.06	2.86	2.86	3.65	3.26	2.86
4	4.17	4.96	4.17	4.57	5.35	4.96
5	3.44	5.51	5.07	5.47	5.07	6.25
6	0.31	1.74	3.41	3	2.16	3.41
7	6.04	5.18	4	2.51	1.66	0.81
8	6.44	8.8	8.4	2.48	0.41	2.9
9	6.87	6.59	7.55	1.64	1.56	1.22
10	2.45	4.95	3.71	0.41	3.02	1.62
11	1.57	0.36	1.46	1.18	0	0.4
12	1.15	0.36	1.1	3.12	1.03	1.86
13	2.57	0.69	0.74	1.12	2.65	2.2
14	3.28	1.7	1.12	2.55	3.34	2.57
15	2.57	1.72	1.87	6.67	0	3.28
16	3.29	0	1.87	8.28	2.51	4.34
17	6.19	2.55	0.38	11.31	6.19	6.86
18	0.71	6.67	0	6.67	2.44	0.36
19	0	5.09	1.09	5.73	1.76	1.09
20	0	3.14	2.21	2.46	0.72	2.21
21	0	2.16	0.37	1.45	0.37	1.87
22	1.86	4.01	1.5	2.59	0.38	0.39
23	3.07	3.81	1.94	4.89	1.56	2.32
24	3.09	2.34	1.19	1.57	1.19	1.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.8. ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายนอกห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof
1	0.42	0	0.42	1.64	0.42
2	0.85	0.85	1.69	2.13	3.01
3	0.86	2.96	3.41	1.72	0
4	0	2.19	1.77	1.76	0
5	1.34	2.65	1.34	1.34	0
6	2.28	0.45	1.81	0	2.73
7	4.55	0	0	4.55	4.89
8	5.86	8.13	4.04	7.8	0.41
9	12.18	10	10.47	13.66	17.22
10	1.86	0.3	2.1	1.86	1.75
11	0	0.85	2.82	-0.71	2.4
12	10.07	4.7	7.08	10.84	10.74
13	0.95	0.53	1.94	1.81	3.41
14	0	2.17	2.3	2.78	2.08
15	1	1.37	1.35	0.81	2.77
16	5.04	10.89	3.52	4.9	4.07
17	7.62	26.78	5.17	8.1	11.08
18	7.82	8.86	9.97	9.36	13.24
19	0	2.13	5.43	5.09	8.34
20	0.72	1.08	3.49	4.5	4.26
21	5	0.76	6.67	6.34	7.43
22	6.37	5.67	3.85	4.95	5.35
23	4.6	4.97	2.36	1.2	5.04
24	3.96	4.71	3.56	2.8	4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.9. ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายในห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	floor
1	3.93	4.34	4.34	3.93	3.93	5.16
2	0.4	0	0	0.4	0.8	0.81
3	2.48	3.34	3.34	1.23	2.06	3.34
4	2.92	2.92	3.79	2.49	3.35	3.79
5	2.53	2.1	1.67	2.96	3.83	4.73
6	0	0.42	0	0	0.84	1.27
7	0.41	1.23	0.8	0.41	0	1.23
8	0.41	0.4	3.45	0	0.81	0.81
9	1.19	1.82	0.72	1.57	0	1.19
10	1.54	0	1.07	3.93	1.84	1.15
11	0	3.58	1.07	6.59	5.82	0.74
12	0.73	0	1.76	5.73	7.86	0.73
13	1.08	1.66	0.73	2.21	1.94	1.1
14	1.43	1.34	1.1	1.46	0	0.37
15	0.74	2.36	0	3.34	1.01	1.86
16	1.12	5.18	0.37	3.65	1.44	1.87
17	1.49	1.1	1.86	4.47	1.82	0
18	1.08	3.1	2.76	3.94	3.43	2.55
19	2.39	3.06	3.06	1.68	2.39	2.73
20	1.79	2.52	2.16	3.55	1.79	2.89
21	2.92	2.55	2.92	2.92	1.81	2.55
22	6.85	7.26	6.04	6.85	8.08	7.67
23	8.53	9.81	9.38	5.67	8.53	8.53
24	8.14	9.85	8.99	8.14	9.42	9.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.10. ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายนอกห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof
1	0.41	0	0.41	0.81	0.83
2	0.83	1.25	0	0	0.42
3	0	0	0.83	0	0
4	2.08	0.42	0.42	0	0.84
5	0.84	0	0.42	0	1.27
6	0.86	0.42	0.42	0	0
7	6.96	4	4.95	3.37	2.92
8	7	6.77	5.3	7.44	7.55
9	3.78	1.54	4.71	3.78	1.57
10	5.36	0	4.48	6.12	4.28
11	8.2	4.88	7.23	8.2	3.58
12	0.91	0.26	2.47	2.47	2.41
13	1.5	2.02	1.54	0.29	0.97
14	1.54	0.55	4.11	0.28	0.26
15	0	0.56	0.63	1.08	1.95
16	4.8	5.53	3.88	6.42	4.6
17	5.25	11.02	4.31	5	3.88
18	0	1	4.17	2.38	0.34
19	2.46	1.75	4.29	4.65	1.75
20	1.45	1.82	2.94	2.55	0.36
21	2.97	5.31	4.91	3.34	1.47
22	3.01	5.39	5.39	4.17	2.64
23	2.28	7.15	5.04	5.02	6.28
24	2.72	6	4.32	5.54	4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.11. ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายในห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	floor
1	3.71	4.06	3.71	3.35	2.99	4.06
2	2.66	1.54	2.29	1.16	1.54	1.91
3	0.8	1.2	2	1.2	2	0.8
4	1.2	0.8	1.2	1.2	0.4	1.2
5	0.81	0.41	0.41	1.22	0.41	0
6	3.32	3.75	4.63	2.47	2.9	2.05
7	0.8	0	0.81	1.58	1.97	1.19
8	0.4	0.41	0.41	1.19	1.57	1.19
9	0.39	3.11	1.92	0.39	1.15	2.72
10	2.7	0	2.62	2.3	5.82	3.47
11	4.57	2.15	0.36	0	4.29	4.57
12	1.82	1.38	0	1.82	1.02	5.29
13	0.72	2.05	0	1.81	1.02	6
14	1.39	0.69	4.01	1.42	0	7.04
15	0.71	0.69	4.37	1.06	3.93	8.06
16	2.14	0	7.5	2.5	4.37	6.35
17	4.45	1.08	7.23	2.17	3.67	5.29
18	0	0.35	0.69	0	0.35	0.69
19	1.34	1.67	0.68	1.67	1.34	0.34
20	0.35	0	0.34	1.01	0.68	0.69
21	0	0.35	0.7	0.35	0.69	0.7
22	0.71	0.71	1.43	0.36	1.07	1.07
23	1.81	2.55	3.3	1.81	1.08	1.81
24	0.37	0.74	1.86	1.11	0.37	0.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.12. ค่าที่คำนวณค่าผิดพลาดจากอุณหภูมิภายนอกห้องอิฐมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556

time	N	S	E	W	roof	floor
1	3.71	4.06	3.71	3.35	2.99	4.06
2	2.66	1.54	2.29	1.16	1.54	1.91
3	0.8	1.2	2	1.2	2	0.8
4	1.2	0.8	1.2	1.2	0.4	1.2
5	0.81	0.41	0.41	1.22	0.41	0
6	3.32	3.75	4.63	2.47	2.9	2.05
7	0.8	0	0.81	1.58	1.97	1.19
8	0.4	0.41	0.41	1.19	1.57	1.19
9	0.39	3.11	1.92	0.39	1.15	2.72
10	2.7	0	2.62	2.3	5.82	3.47
11	4.57	2.15	0.36	0	4.29	4.57
12	1.82	1.38	0	1.82	1.02	5.29
13	0.72	2.05	0	1.81	1.02	6
14	1.39	0.69	4.01	1.42	0	7.04
15	0.71	0.69	4.37	1.06	3.93	8.06
16	2.14	0	7.5	2.5	4.37	6.35
17	4.45	1.08	7.23	2.17	3.67	5.29
18	0	0.35	0.69	0	0.35	0.69
19	1.34	1.67	0.68	1.67	1.34	0.34
20	0.35	0	0.34	1.01	0.68	0.69
21	0	0.35	0.7	0.35	0.69	0.7
22	0.71	0.71	1.43	0.36	1.07	1.07
23	1.81	2.55	3.3	1.81	1.08	1.81
24	0.37	0.74	1.86	1.11	0.37	0.74

จากตารางเปรียบเทียบผลการทดลองสามารถนำมาสรุปหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยได้

ดังนี้

- วันที่ 21 มกราคม 2556 ที่ผิวนอกค่าความคลาดเคลื่อน Error = 4.07 %
- วันที่ 21 มกราคม 2556 ที่ผิวในค่าความคลาดเคลื่อน Error = 2.82 %
- วันที่ 22 มกราคม 2556 ที่ผิวนอกค่าความคลาดเคลื่อน Error = 2.81 %
- วันที่ 22 มกราคม 2556 ที่ผิวในค่าความคลาดเคลื่อน Error = 2.79 %
- วันที่ 23 มกราคม 2556 ที่ผิวนอกค่าความคลาดเคลื่อน Error = 1.26 %
- วันที่ 23 มกราคม 2556 ที่ผิวในค่าความคลาดเคลื่อน Error = 1.84 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลความคาดเคลื่อนของโปรแกรมสามารถสรุปได้ว่าค่าความคาดเคลื่อนที่ได้มาจากโปรแกรมสามารถยอมรับได้ และทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถใช้งานโปรแกรมนี้ในการคาดการณ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

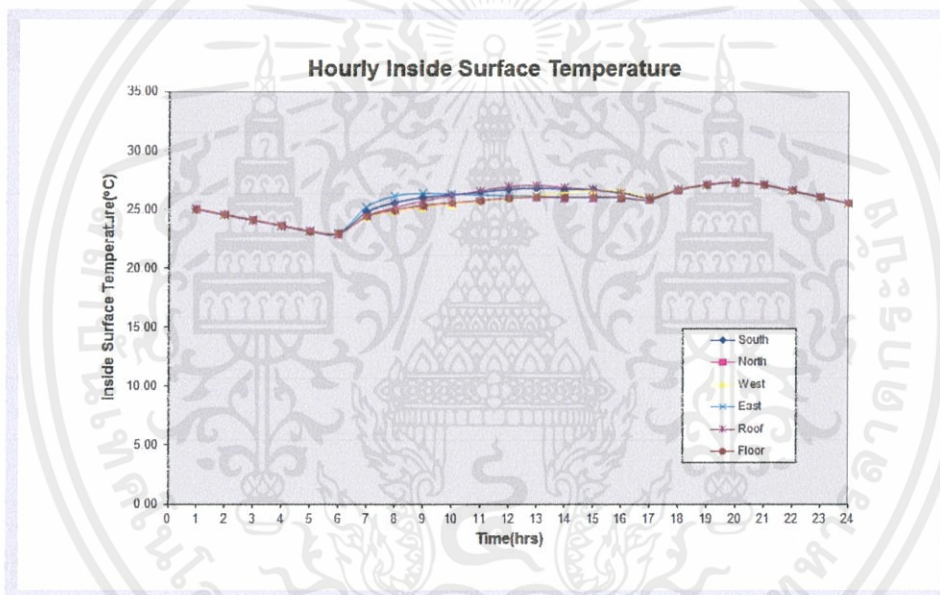
บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

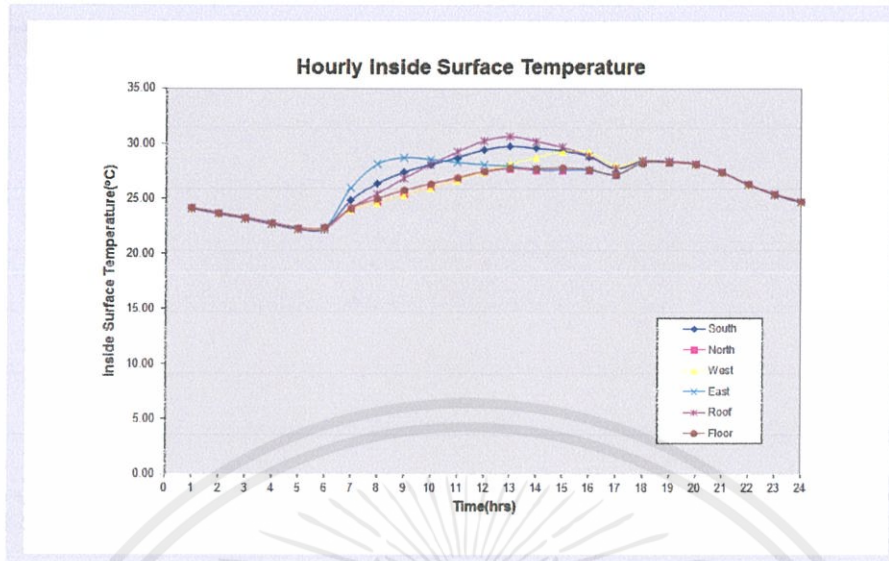
5.1.1. เปรียบเทียบทางด้านอุณหภูมิ

5.1.1.1. การเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิระหว่างผนังอิฐมวลเบาที่มีฉนวนกับอิฐมวลเบาไม่มีฉนวน



กราฟที่ 5.1. แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยมีฉนวนชั้นกลางในตัวอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



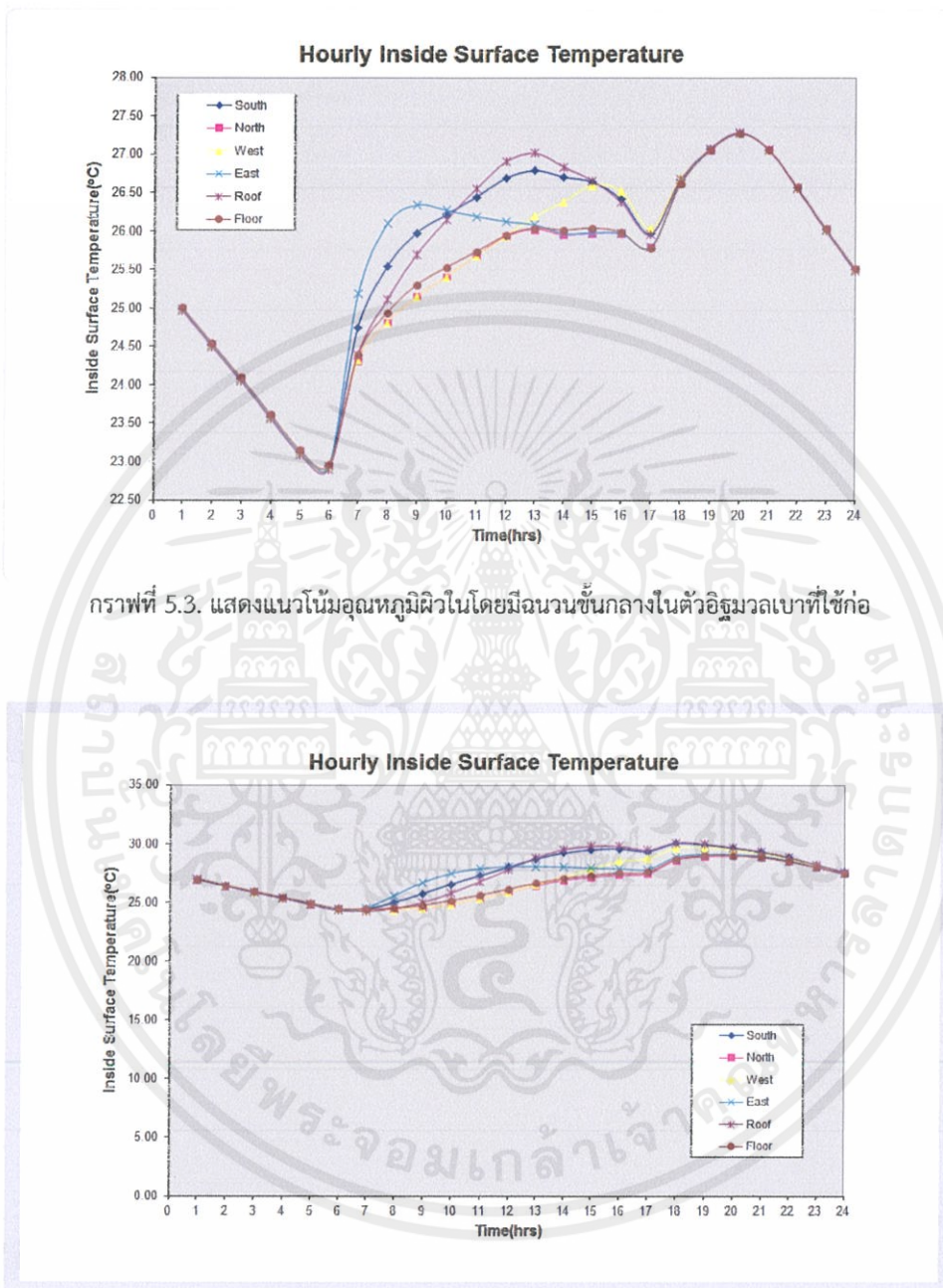
กราฟที่ 5.2. แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยมีมีฉนวนชั้นกลางในตัวอัฐมวลาเบาที่เซ็กก่อ

จากผลการทดสอบที่ได้จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ผิวในของผนังที่มีการใส่ฉนวนความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ผนังฝั่งทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 22.75°C และอุณหภูมิสูงสุดที่ผนังฝั่งทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 27.50°C (ที่เวลา 20.00 น.) ซึ่งจะได้ว่าความต่างกันระหว่างอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิต่ำสุดระหว่างวันมีค่าเท่ากับ $27.50 - 22.75 = 4.75^{\circ}\text{C}$

สำหรับอุณหภูมิที่ผิวในของผนังที่ไม่มีมีการใส่ฉนวนความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ผนังฝั่งทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 22.00°C และอุณหภูมิสูงสุดที่ผนังด้านบน มีค่าเท่ากับ 30.00°C (ที่เวลา 13.00 น.) ซึ่งจะได้ว่าความต่างกันระหว่างอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิต่ำสุดระหว่างวันมีค่าเท่ากับ $30.00 - 22.00 = 8.00^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.2. การเปรียบเทียบด้านอุณหภูมิระหว่างผนังอิฐมวลเบาที่มีฉนวนกับอิฐมวลธรรมดา



กราฟที่ 5.3. แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยมีฉนวนชั้นกลางในตัวอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อ

กราฟที่ 5.4. แสดงแนวโน้มอุณหภูมิผิวในโดยไม่มีฉนวนชั้นกลางในตัวอิฐมวลเบาที่ใช้ก่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบที่ได้จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ผิวในของผนังที่มีการใส่ฉนวนความร้อนจะมี อุณหภูมิต่ำสุดที่ผนังฝั่งทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ $22.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิสูงสุดที่ผนังฝั่งทิศใต้ มีค่าเท่ากับ $27.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ที่เวลา 20.00 น.) ซึ่งจะได้ว่าความต่างกันระหว่างอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิต่ำสุดระหว่างวันมีค่า เท่ากับ $27.50 - 22.75 = 4.75\text{ }^{\circ}\text{C}$

สำหรับอุณหภูมิที่ผิวในของผนังที่ไม่มีการใส่ฉนวนความร้อน (ก่ออิฐฉอมปูน) จะมีอุณหภูมิต่ำสุด ที่ผนังฝั่งทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ $24.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิสูงสุดที่ผนังด้านบน มีค่าเท่ากับ $30.20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ที่เวลา 18.00 น.) ซึ่งจะได้ว่าความต่างกันระหว่างอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิต่ำสุดระหว่างวันมีค่าเท่ากับ $30.20 - 24.40 = 5.80\text{ }^{\circ}\text{C}$

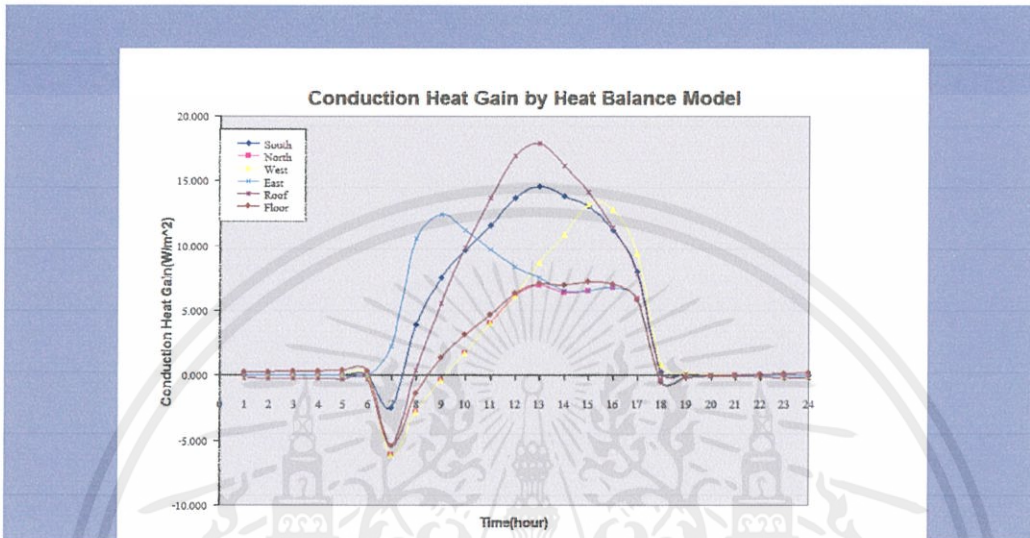
จากข้อมูลข้างต้นประสิทธิภาพที่ดีกว่าของผนังที่ใส่ฉนวนกันความร้อนพิจารณาได้ 3 แง่มุม ดังนี้

1. ผนังที่มีฉนวนกันความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผิวสูงสุดของวันได้ประมาณ $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. ผนังที่มีฉนวนกันความร้อนมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดกับอุณหภูมิต่ำสุดระหว่างวัน น้อยกว่าผนัง ที่ไม่มีฉนวนกันความร้อน ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวภายในห้องมีค่าที่คงที่กว่าทำให้ลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้
3. อุณหภูมิผิวสูงสุดของผนังที่มีฉนวนความร้อน เกิดขึ้นที่เวลา (20.00 น.) หากเป็นอาคารสำนักงานก็จะเห็นว่าที่เวลาดังกล่าวเป็นเวลาปิดทำการจึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศ ดังนั้นจึงเป็นการลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาที่ต้องรับ Load มากที่สุดด้วย

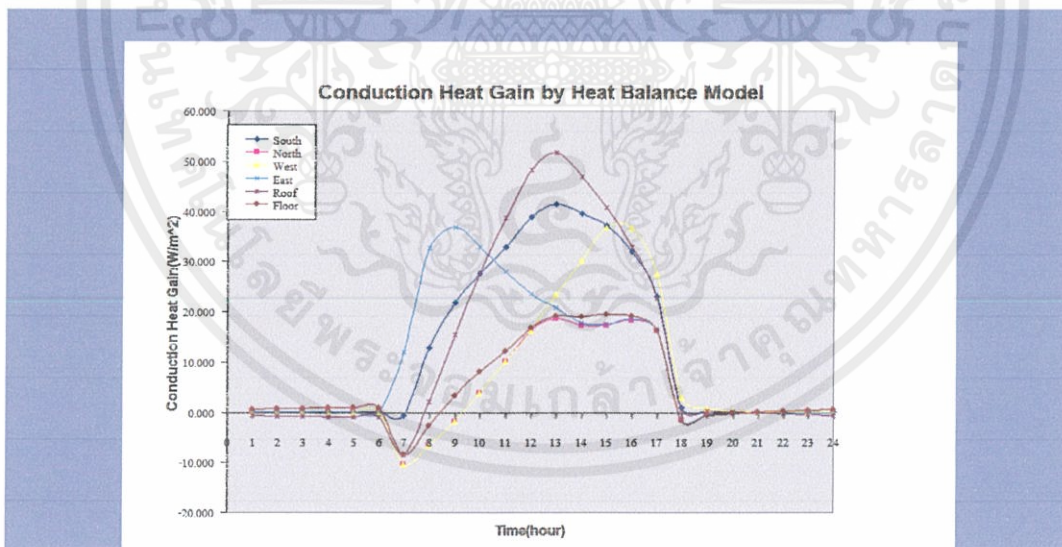
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2. เปรียบเทียบทางด้านค่าพลังงาน

5.1.2.1. เปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนระหว่างอิฐมวลเบาที่มีฉนวนกับอิฐมวลเบาธรรมดา



กราฟที่ 5.5. แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่ออิฐมวลเบาด้วยวัสดุที่มีฉนวน



กราฟที่ 5.6. แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่อด้วยวัสดุที่ไม่มีฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟนำค่าพลังงานความร้อนในแต่ละช่วงเวลา มาหาพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในของผนังในช่วงเวลา 1 วัน ได้ดังตาราง

ตารางที่ 5.1. พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในแบบใสฉนวนของผนังในช่วงเวลา 1 วัน

time	N (W/m ²)	S (W/m ²)	E (W/m ²)	W (W/m ²)	roof (W/m ²)	floor (W/m ²)
1	-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.50
2	-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.50
3	-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.50
4	-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.50
5	-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.50
6	-0.20	0.00	0.00	0.00	-0.50	0.50
7	-6.00	-2.00	3.00	-6.00	-5.00	-5.00
8	-3.00	4.00	10.00	-3.00	0.50	-2.00
9	-0.20	8.00	13.00	-0.20	6.00	2.00
10	2.00	10.00	11.00	2.00	10.00	4.00
11	4.00	12.00	9.00	4.00	14.00	5.00
12	6.00	14.00	8.00	6.00	17.00	7.00
13	7.00	15.00	7.00	8.00	18.00	8.00
14	6.00	14.00	5.00	11.00	17.00	7.50
15	6.00	12.00	5.00	13.00	14.00	8.00
16	7.00	11.00	6.00	13.00	12.00	8.00
17	5.00	7.00	5.00	9.00	6.00	5.00
18	-0.20	0.20	-0.50	0.50	-0.50	-0.50
19	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	32.40	105.20	81.50	57.50	106.00	50.00
overall	432.60					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2. พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในของผนังแบบไม้อัดฉนวนในช่วงเวลา 1 วัน

time	N (W/m2)	S (W/m2)	E (W/m2)	W (W/m2)	roof (W/m2)	floor (W/m2)
1	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.50	1.00
2	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.50	1.00
3	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.50	1.00
4	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.50	1.00
5	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.50	1.00
6	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.50	1.00
7	-10.00	0.00	0.00	-10.00	-10.00	-9.00
8	-7.00	12.00	30.00	-7.00	2.00	-2.00
9	-0.50	21.00	37.00	-1.00	17.00	3.00
10	4.00	28.00	33.00	3.00	26.00	10.00
11	10.00	32.00	28.00	10.00	38.00	12.00
12	18.00	39.00	24.00	14.00	48.00	17.00
13	20.00	41.00	20.00	22.00	52.00	19.00
14	18.00	39.00	17.00	29.00	48.00	18.00
15	18.00	36.00	17.00	39.00	40.00	19.00
16	20.00	30.00	19.00	39.00	33.00	19.00
17	17.00	21.00	16.00	28.00	22.00	17.00
18	-0.50	0.50	-0.50	2.00	-1.00	-0.50
19	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
total	104.00	299.50	240.50	168.50	312.00	128.50
overall	1253.0					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

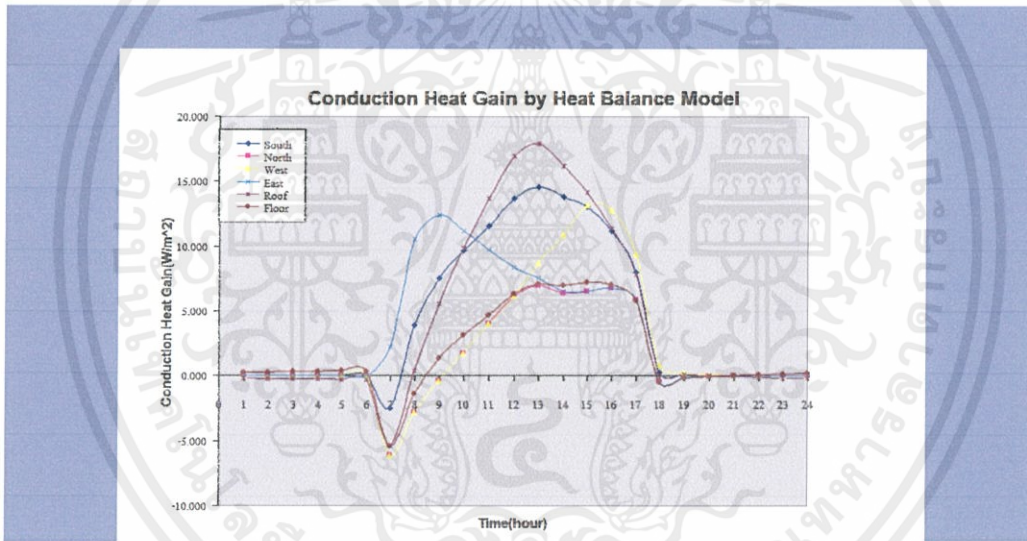
จากตาราง คำนวณหาประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มี
ฉนวนความร้อนได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.3. ประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มีฉนวนความร้อนได้

	N (W/m ²)	S (W/m ²)	E (W/m ²)	W (W/m ²)	Roof (W/m ²)	floor (W/m ²)
Eff (%)	68.84615	64.87479	66.11227	65.87537	66.02564	61.08949

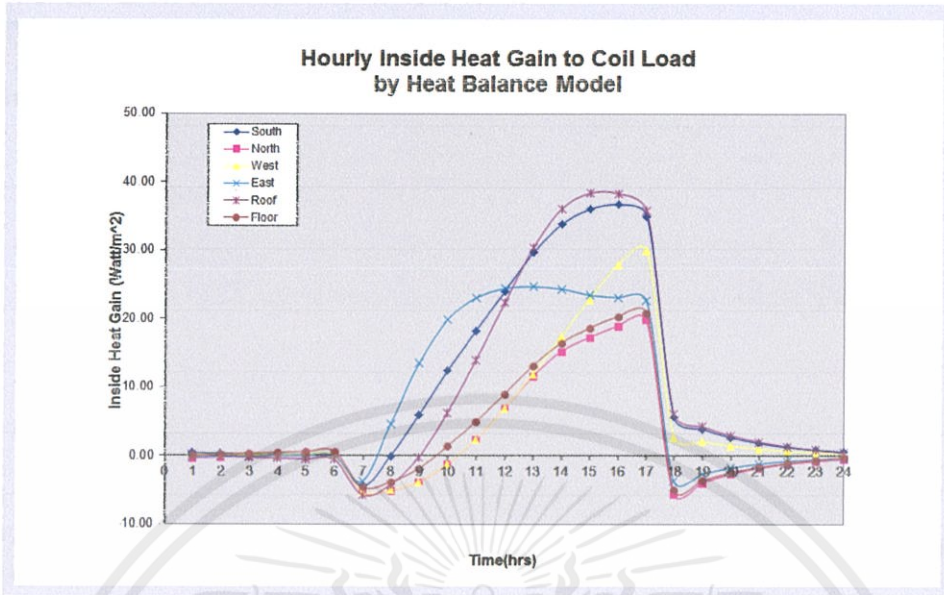
และประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มีฉนวนความร้อน
โดยรวมของผนังทุกด้านมีค่าเท่ากับ Eff = 65.47486 %

5.1.2.2. เปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนระหว่างอิฐที่มีฉนวนกับอิฐมอญ



กราฟที่ 5.7. แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่อด้วยวัสดุที่มีฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.8. แสดงแนวโน้มพลังงานที่ถ่ายเทในผิวในโดยเป็นผนังที่ก่อด้วยวัสดุที่ไม่มีฉนวน(อิฐมวลฉนวน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4. พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในของผนังแบบใสฉนวนในช่วงเวลา 1 วัน

time	N	S	E	W	roof	floor
1	-0.2	0	0	0	-0.5	0.5
2	-0.2	0	0	0	-0.5	0.5
3	-0.2	0	0	0	-0.5	0.5
4	-0.2	0	0	0	-0.5	0.5
5	-0.2	0	0	0	-0.5	0.5
6	-0.2	0	0	0	-0.5	0.5
7	-6	-2	3	-6	-5	-5
8	-3	4	10	-3	0.5	-2
9	-0.2	8	13	-0.2	6	2
10	2	10	11	2	10	4
11	4	12	9	4	14	5
12	6	14	8	6	17	7
13	7	15	7	8	18	8
14	6	14	5	11	17	7.5
15	6	12	5	13	14	8
16	7	11	6	13	12	8
17	5	7	5	9	6	5
18	-0.2	0.2	-0.5	0.5	-0.5	-0.5
19	0	0	0	0.2	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0
Totall	32.4	105.2	81.5	57.5	106	50
Overall	432.6					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5. พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทเข้าสู่ผิวในของผนังแบบไม่ใส่นวนในช่วงเวลา 1 วัน(อิฐมวลฉนวน)

time	N	S	E	W	roof	floor
1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
5	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
7	-4.5	-4.3	-3.7	-4.5	-5.7	-4.5
8	-3.8	0.7	4.6	-4.2	-3.8	-3.8
9	-3.2	5.9	13.5	-3.8	-0.2	-1
10	-1.2	12.3	19.8	-1.5	6.2	1.3
11	2.3	18.2	23.1	2.3	13.9	4.9
12	6.8	24.4	24.4	6.8	22.3	8.9
13	11.8	30.3	24.6	11.9	30.4	13.1
14	15.2	33.8	24.3	16.4	36	16.4
15	17.2	35.9	23.5	22.8	38.3	18.6
16	18.9	36.6	23.1	27.9	38.2	20.2
17	20.8	35.7	22.6	29.9	35.7	20.8
18	-5	6.1	-4.7	2.7	6.1	-5
19	-3.6	4.2	-3.5	2	4.2	-3.6
20	-3.2	2.9	-3	1.4	2.9	-3.2
21	-2.5	1.9	-2.3	0.9	1.9	-2.3
22	-1.8	1.3	-1.5	0.5	1.3	-1.8
23	-0.8	0.7	-0.5	0.2	0.7	-0.8
24	-0.3	0.3	-0.3	0.1	0.3	-0.3
Total	64.52	248.32	185.42	113.22	230.12	79.32
Overall	920.92					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง คำนวนหาประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มี
 ฉนวนความร้อนได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.6. ประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มีฉนวนความร้อนได้

	N	S	E	W	roof	floor
Eff (%)	49.783	57.6353	56.0457	49.2139	53.9371	36.9642

และประสิทธิภาพในการลดพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ผิวในของผนังที่มีฉนวนความร้อนเมื่อ
 เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐมวลเบาโดยรวมของผนังทุกด้านมีค่าเท่ากับ $Eff = 53.02 \%$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- เกรียงไกร เอกจิตต์ และคณะ. 2540. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานฉนวนกันความร้อนในอาคาร. ปรินญาณีพนธ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- ฉัตรชัย ภูจักรเกษม. 2547 . *Mathematical models and efficient computer algorithms for calculation heat gain through a multi-layered opaque wall*. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.
- พงศ์ธร เอี่ยมศรี และคณะ. 2547. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นโครงสร้างกึ่งสำเร็จรูป. ปรินญาณีพนธ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- วิฑูร เจริญชัยฤทธิ. 2537. *บ้านสำเร็จรูปโดยระบบผนังรับแรง*. ปรินญาณีพนธ์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอม –
เกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
- ASTM. *Manual of concrete Inspection* (American Society for Testing and Materials). 1999 – 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ซัชลวาล เศรษฐบุตตร. 2537. *ตอนกรีดเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 3 . กรุงเทพมหานคร : เดอะ พรินท์อินเตอร์ - เนชั่นแนล.

ตระการ ก้าวกล้ากรรม. 2537. *คู่มือคำนวณความร้อน*. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

สุนันท์ ศรีณนิตย์. 2545. *การถ่ายเทความร้อน (heat transfer)*. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว, สถาบันสิ่งแวดล้อม และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. *ข้อกำหนดของฉนวนกันความร้อน (Building Material :Thermal Insulation)*. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการโครงการฉลากเขียว.

Bayazitoglu, Y. 1998 . *Elements of Heat Transfer*. Toronto : McGraw-Hill, Inc.



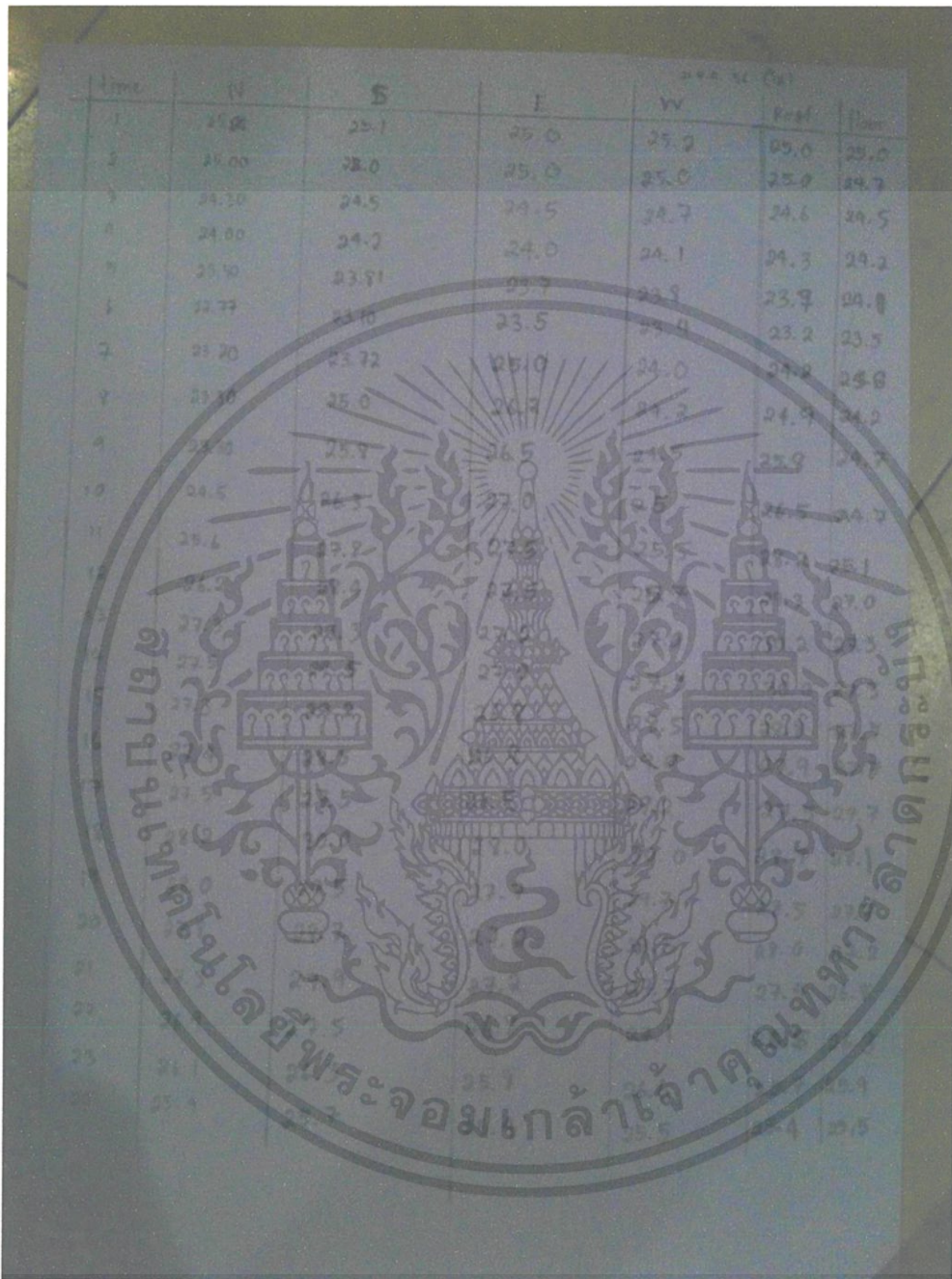
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

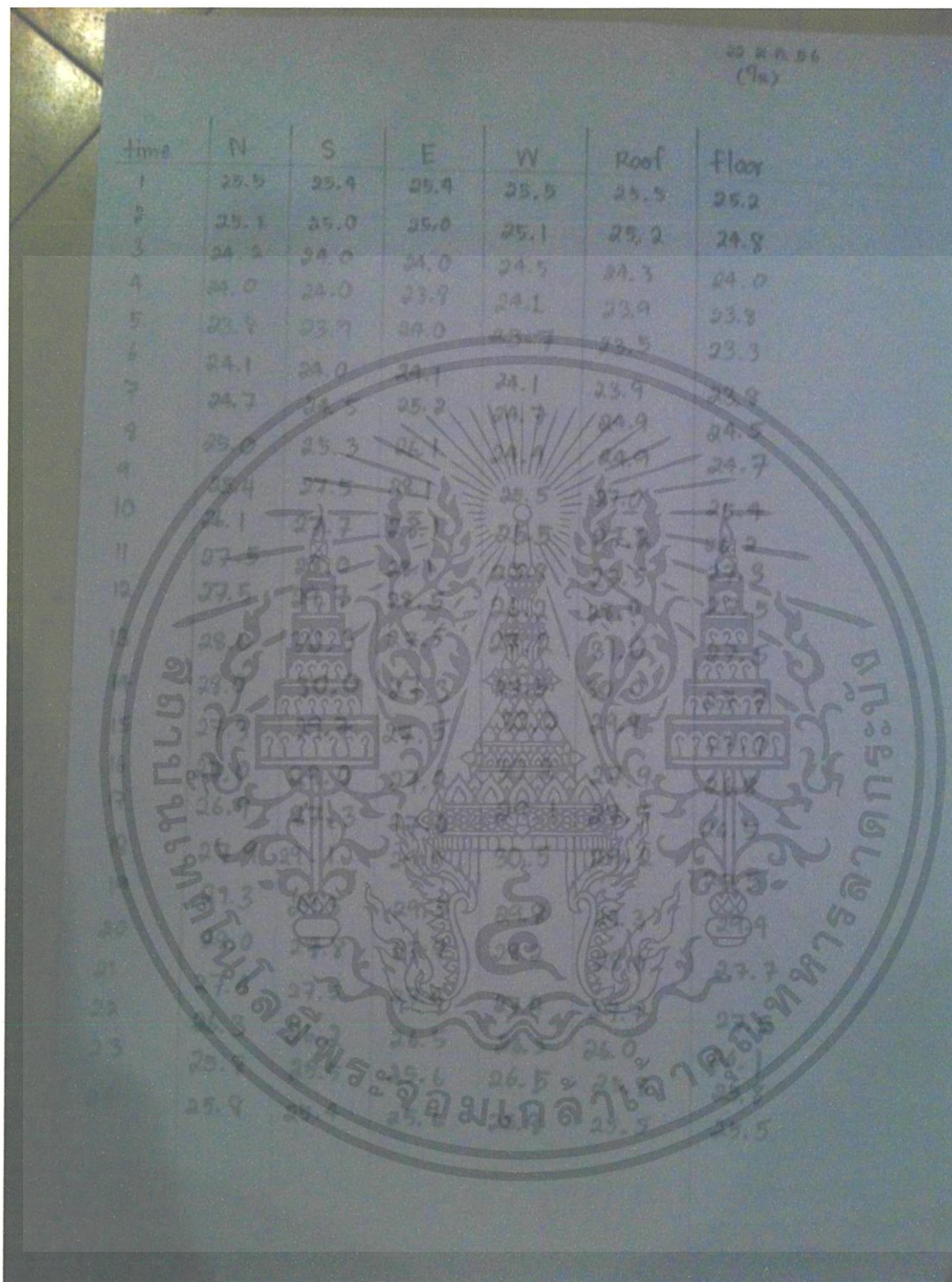
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.1. แสดงผลการวัดอุณหภูมิมิถุนภายในของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.๒. แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายในของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. ๒๕๖๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23 ม.ค. 56
(พ.)

time	N	S	E	W	Roof	floor
1	27.0	27.1	27.0	26.9	26.9	27.1
2	26.4	26.1	26.5	26.0	26.1	26.2
3	25.3	25.2	25.0	25.2	25.0	25.3
4	25.0	25.1	25.0	25.0	25.2	25.0
5	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	25.0
6	24.1	24.0	23.9	24.5	24.2	24.4
7	25.2	25.0	24.9	25.4	25.5	25.5
8	25.2	25.0	25.0	25.5	25.5	25.4
9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9
10	26.0	27.5	26.8	26.1	26.6	26.0
11	25.3	25.6	25.0	22.6	23.0	26.3
12	27.5	25.3	24.5	24.5	24.5	26.3
13	27.0	26.3	27.7	27.7	27.7	27.7
14	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
15	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
16	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
17	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
18	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
19	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
20	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
21	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
22	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
23	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
24	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
25	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
26	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
27	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
28	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
29	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
30	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0

รูปที่ ผ.ก.3. แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายในของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	N	S	E	W	roof
6:00 AM	24	24.2	24.3	24.5	24
7:00 AM	23.8	23.8	23.7	23.5	23.3
8:00 AM	23.5	23.7	23.5	23.3	23
9:00 AM	22.5	22.9	22.7	22.8	22.3
10:00 AM	22.5	22.7	22.4	22.5	22.1
11:00 AM	22	22.4	22.1	22.5	22
12:00 PM	22	27.8	34.9	22	22.5
1:00 PM	22.2	28.3	34.7	21.8	25
2:00 PM	23	30	32.5	22.7	27.3
3:00 PM	27	34.2	33.4	27	34.4
4:00 PM	28	35.5	32	28.2	37.5
5:00 PM	28.8	36.2	29.7	28.6	38.2
6:00 PM	31.8	38	31	33.2	41.1
7:00 PM	30	37	30.5	36	38.5
8:00 PM	30	36.5	29.8	37.1	36.2
9:00 PM	31.8	34	31.3	36.8	34.4
10:00 PM	31.5	31	31	32.1	32.5
11:00 PM	30.7	30.5	31.1	31	32.5
12:00 AM	28.2	28.3	29.5	29.5	30
1:00 AM	28	27.8	28.7	28.9	28.2
2:00 AM	28	26.5	28.5	28.4	28.3
3:00 AM	26.7	26.5	26	26.3	26.2
4:00 AM	26.1	26.2	25.5	25.2	25.8
5:00 AM	25.3	25.5	25.3	25	25.5

ตารางที่ ผ.ก.4. แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายนอกของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 21 ม.ค. 2556

*เนื่องจากไม่สามารถวัดอุณหภูมิพื้นได้ จึงไม่มีอุณหภูมิพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	N	S	E	W	roof
6:00 AM	24.5	24.3	24.5	24.7	24.2
7:00 AM	24.3	24	24.5	24.5	24.2
8:00 AM	24.6	24.2	24.1	24.1	24
9:00 AM	24.1	24.2	24	24	23.9
10:00 AM	24	24.1	24	24.2	23.7
11:00 AM	23.5	24.1	24.1	24	23.7
12:00 PM	23	25	26.3	23.8	24
1:00 PM	24.3	28.1	32.1	24.2	26.5
2:00 PM	26.5	32.5	34	26.5	32
3:00 PM	28	35.1	33.5	27.8	35.1
4:00 PM	30.5	36.9	33.2	30.5	39.2
5:00 PM	33	39.2	32.5	32.5	41.5
6:00 PM	33.5	39.8	32.5	35	41.5
7:00 PM	32.5	37	31.7	36.1	38.8
8:00 PM	32	36.2	31.8	37.2	36
9:00 PM	31.3	36.2	31	39	34.8
10:00 PM	30.5	34.5	30.2	36	31
11:00 PM	30	30.3	28.8	29.5	30
12:00 AM	28.5	28.7	28	28	28.7
1:00 AM	27.7	27.6	27.3	27.5	28
2:00 AM	27	26.4	26.5	27	27.3
3:00 AM	26.6	26	26	26.4	26.6
4:00 AM	26.4	25.2	25.8	25.9	25.5
5:00 AM	25.8	25	25.5	25.3	25.5

ตารางที่ ผ.ก.5. แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายนอกของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 22 ม.ค. 2556

*เนื่องจากไม่สามารถวัดอุณหภูมิพื้นได้ จึงไม่มีอุณหภูมิพื้น

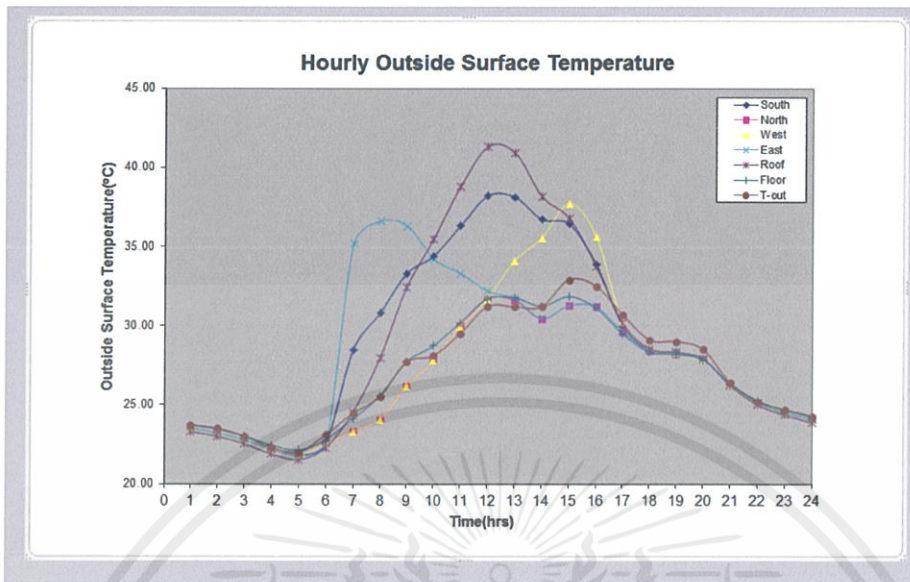
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

time	N	S	E	W	roof
6:00 AM	25.8	25.8	25.9	25.7	25.9
7:00 AM	25.3	25.2	25.1	25	25.4
8:00 AM	24.8	24.9	25.1	24.8	25
9:00 AM	24.9	24.7	25	24.7	24.8
10:00 AM	24.3	24.2	24.5	24.3	24.5
11:00 AM	24	23.8	24	23.7	23.2
12:00 PM	25	25.1	24.8	25.3	25
1:00 PM	25.5	26.5	27	25.7	26.1
2:00 PM	28	29.3	30	28	30.2
3:00 PM	30	32.4	31.7	29.8	34.1
4:00 PM	32.3	36	33.8	32.1	38
5:00 PM	33	35.2	33.5	33	36.7
6:00 PM	33.5	35	33.7	34.2	37.4
7:00 PM	33.7	34.8	33.5	34.5	37
8:00 PM	32.2	34.5	32.7	34.7	35.5
9:00 PM	31.7	31.5	31.3	34	33.4
10:00 PM	30.8	31.8	30.7	32.5	31.9
11:00 PM	30	30	30	30.5	30.7
12:00 AM	29.8	29.7	29	30.4	30.1
1:00 AM	29	29.2	28.2	29.8	29.3
2:00 AM	28.8	28.6	28.2	28	28.7
3:00 AM	27.7	27.9	27.5	27.6	27.2
4:00 AM	27	27.3	27.2	26.9	26.6
5:00 AM	26.2	26.4	26.6	26.4	26.1

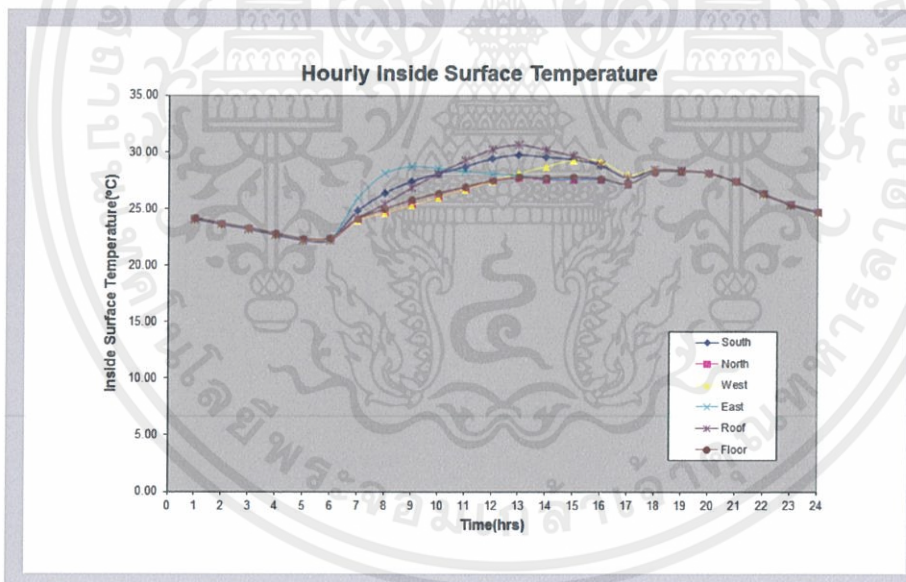
ตารางที่ ผ.ก.6. แสดงผลการวัดอุณหภูมิผิวภายนอกของห้องทดลองคอนกรีตมวลเบาในวันที่ 23 ม.ค. 2556

*เนื่องจากไม่สามารถวัดอุณหภูมิพื้นได้ จึงไม่มีอุณหภูมิพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

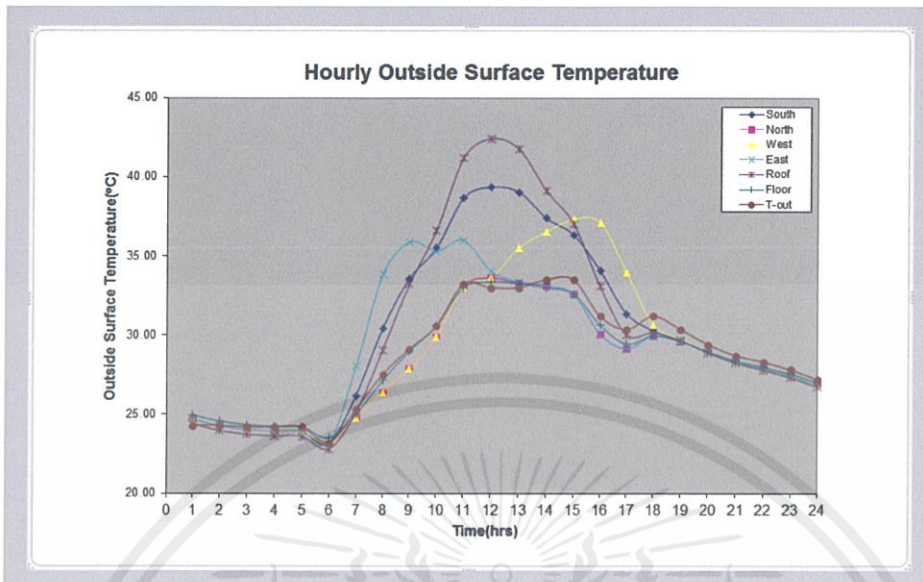


รูปที่ ผ.ก.7. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

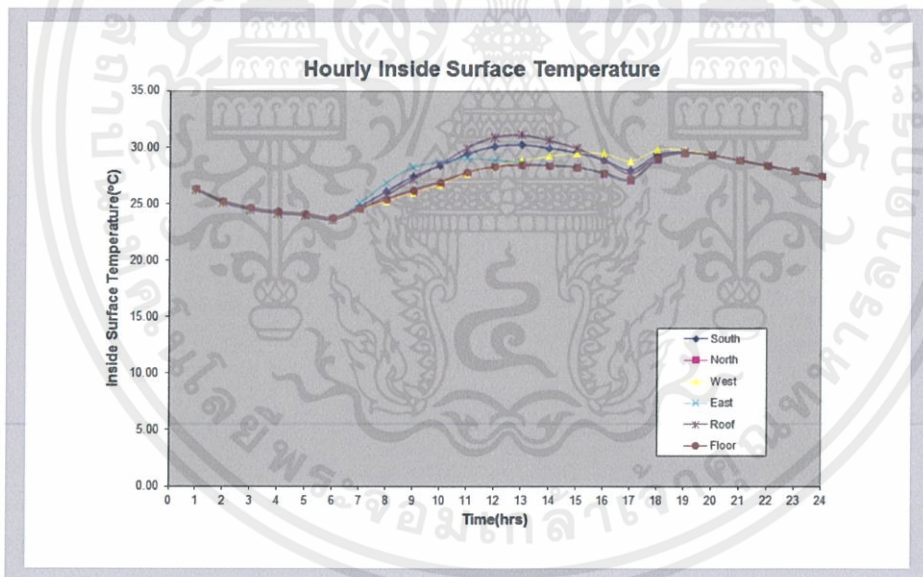


รูปที่ ผ.ก.8. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 21 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

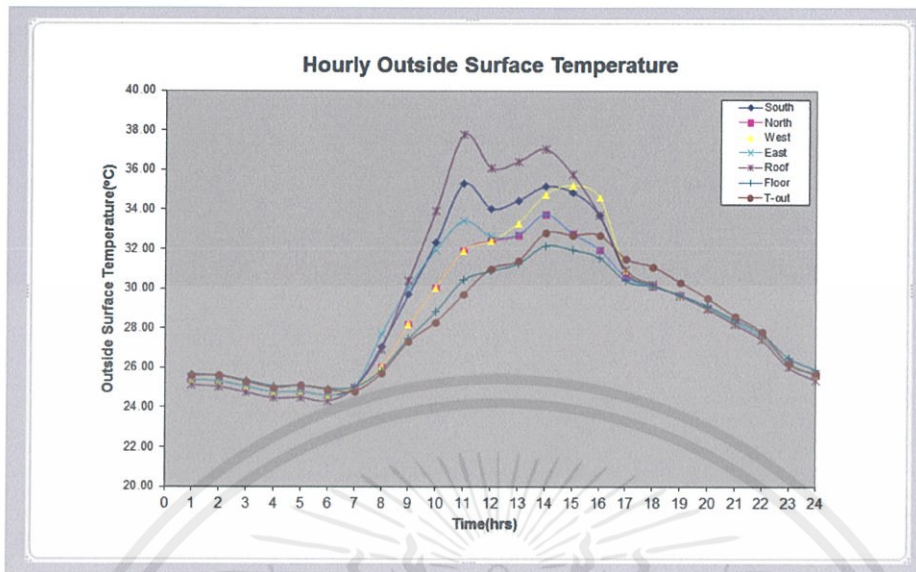


รูปที่ ผ.ก.9. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

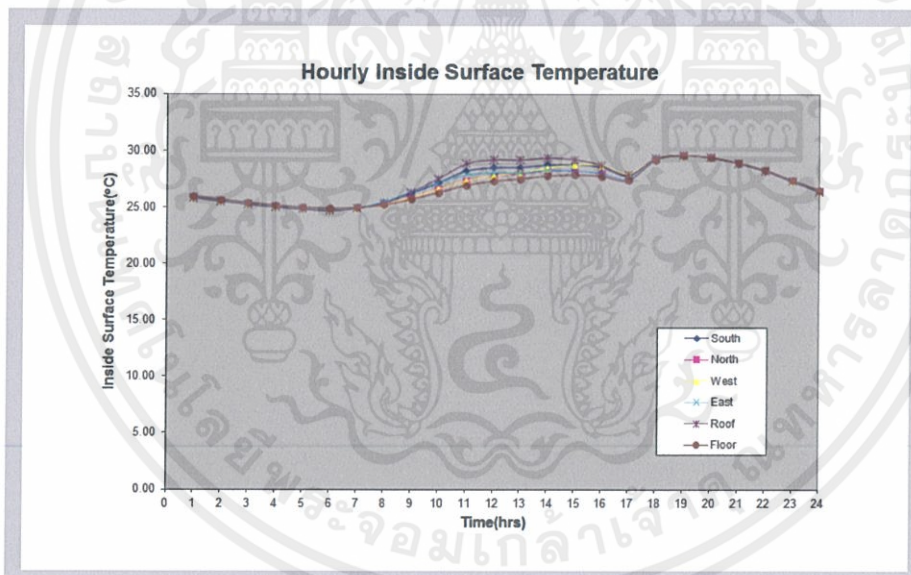


รูปที่ ผ.ก.10. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 22 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ก.11. แสดงอุณหภูมิภายนอกอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย



รูปที่ ผ.ก.12. แสดงอุณหภูมิภายในอาคารคอนกรีตมวลเบาที่ทดลองในวันที่ 23 ม.ค. 2556 ใช้โปรแกรมทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.1. อุปกรณ์ Infrared Thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ช.2. จัดบันทึกอุณหภูมิภายนอก
บุคคลในภาพ นายพรชวีร์ วงษ์บุบผา (ชื่อ)
บุคคลในภาพ นาย นันทพงษ์ โภคาพานิช (ชื่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.3. หน้าจอแสดงผล Infrared Thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



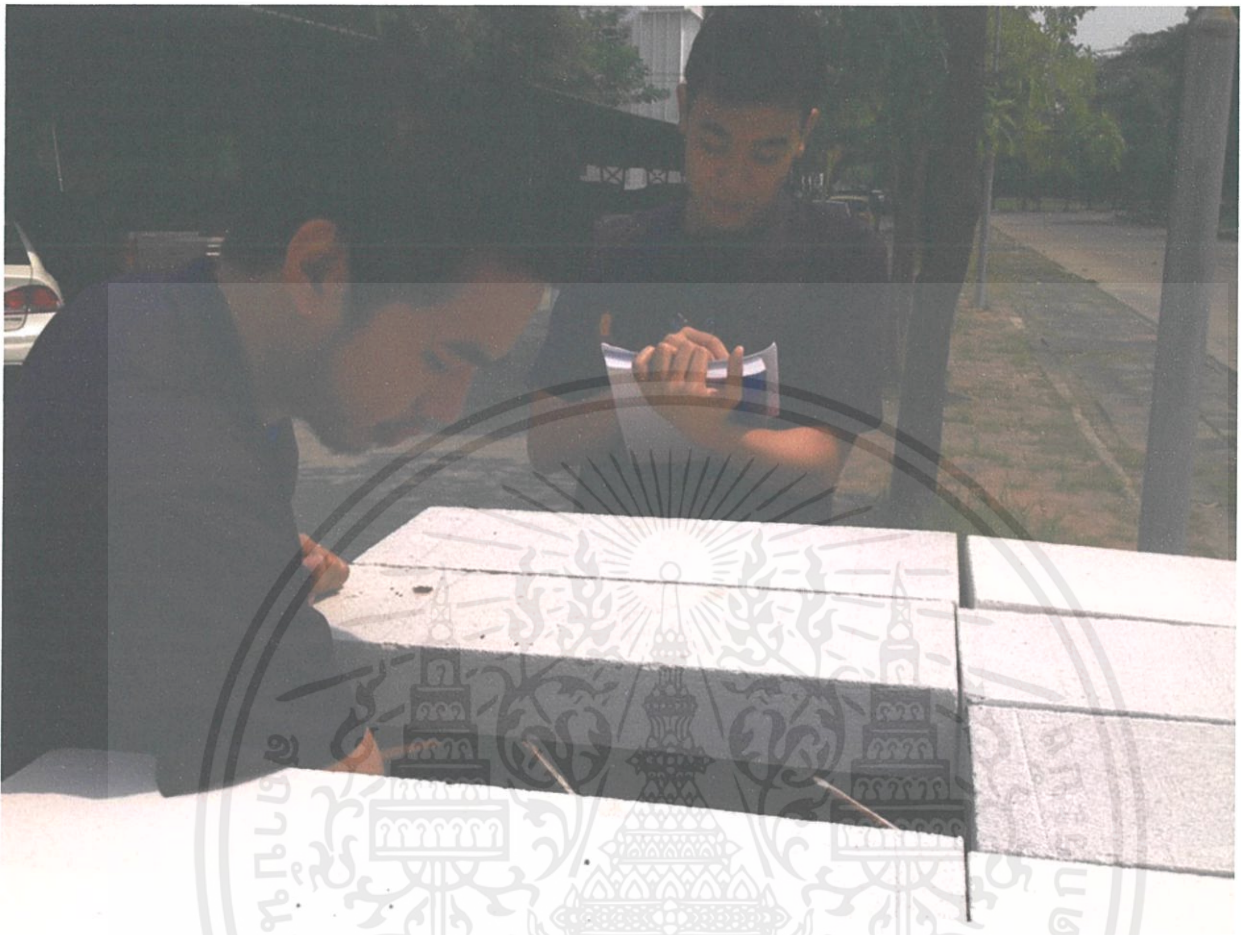
รูปที่ ผ.ข.4. การวัดอุณหภูมิผิวหน้าด้วย Infrared Thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.5. การวัดอุณหภูมิผิวในด้วย Infrared Thermometer
บุคคลในภาพ นายบุญธีร เผิชญชัยกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ช.6. การวัดอุณหภูมิผิวในด้านล่างด้วย Infrared Thermometer

บุคคลในภาพ นายบุญธีร เษชัญชัยกิจ (วัดอุณหภูมิ)

บุคคลในภาพ นายพรชวีร์ วงษ์บุบผา (จดบันทึก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



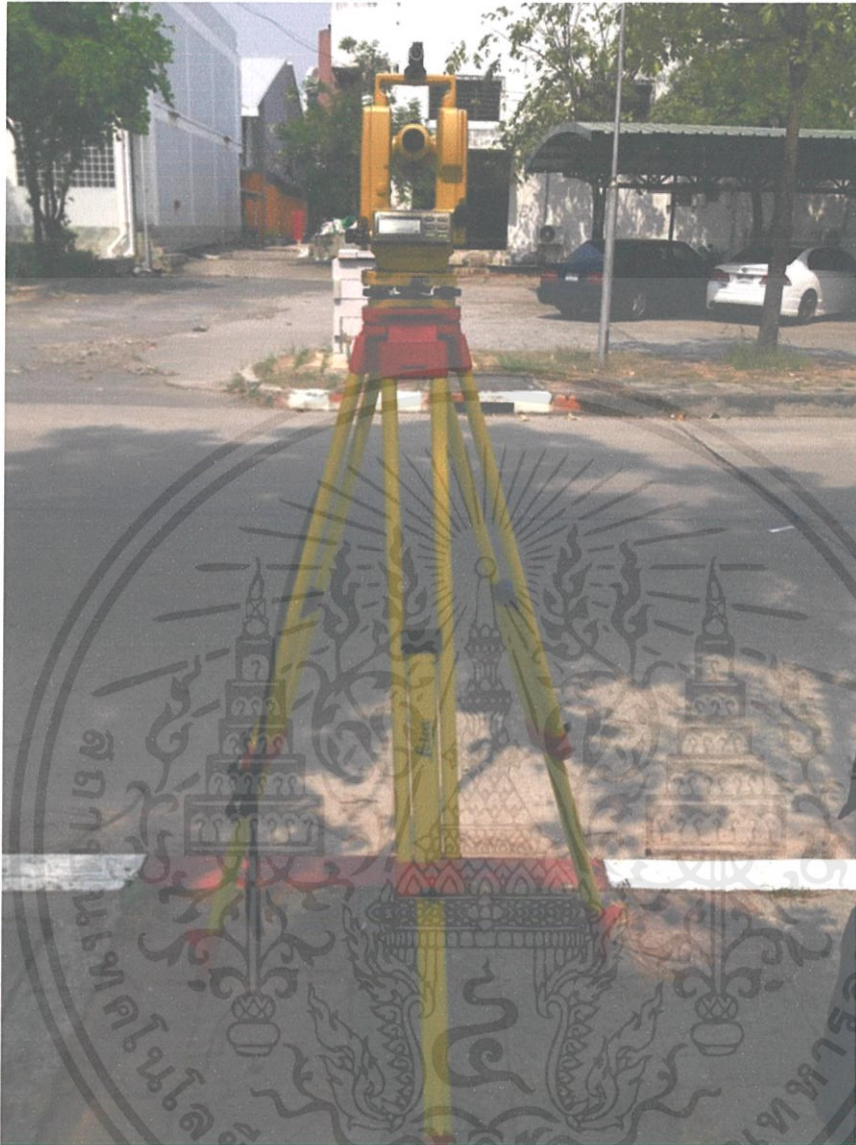
รูปที่ ผ.ข.7. การวัดอุณหภูมิผิวนอกด้านทิศตะวันตกด้วย Infrared Thermometer
บุคคลในภาพ นายพรชวีร์ วงษ์บุบผา (วัดอุณหภูมิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.8. รูปห้องทดสอบที่ก่อด้วยอิฐมวลเบาขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.9. การวัดมุม Azimuth ด้วยกล้อง Total Station

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.10. อุปกรณ์ในการวัดมุม Azimuth (Pole)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ช.11. ก่อห้องทดลองอุณหภูมิต่ำด้วยอิฐมวลเบา
บุคคลในภาพ นางสาวจุฑามาศ ลำสมุท (ซ้ายมือ)
บุคคลในภาพ นายพรชวีร์ วงษ์บุบผา (คนกลาง)
บุคคลในภาพ นางสาวสิรินธร รุ่งรัมย์ (ขวามือ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.ข.12. ก่อห้องทดลองอุณหภูมิด้วยอิฐมวลเบา
บุคคลในภาพ นายพรชวีร์ วงษ์บุบผา (ซ้ายมือ)
บุคคลในภาพ นายนันทพงษ์ โภคาพานิช (ขวามือ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้