

พฤติกรรมกรถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก



นางสาวณัฐกานต์ เกษประทุม

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1233-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THERMAL BEHAVIOR OF HIGH MASS BUILDING WALL



MISS NATTAKAN KESPRATOOM

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 947-13-1233-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์      พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก  
โดย                              นางสาวณัฐกานต์ เกษประทุม  
ภาควิชา                          สถาปัตยกรรมศาสตร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา              อาจารย์ ดร. วรสิทธิ์ นูรณากาญจน์  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม      ศาสตราจารย์ หม่อมราชวงศ์ แฉ่งน้อย ศักดิ์ศรี

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ ดร. วรสิทธิ์ นูรณากาญจน์ )

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
( ศาสตราจารย์ หม่อมราชวงศ์ แฉ่งน้อย ศักดิ์ศรี )

.....กรรมการ  
( ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาริการ )

ณัฐกานต์ เกษประทุม : พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก (THERMAL BEHAVIOR OF HIGH MASS BUILDING WALL) อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์.ม.ร.ว. เน่งน้อย ศักดิ์ศรี, 300 หน้า. ISBN 974-13-1233-4.

การวิจัยเรื่องพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก มีจุดประสงค์เพื่อศึกษา ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน และระดับความสำคัญที่มาจากปัจจัยดังกล่าว เพื่อหาแนวทางการประยุกต์ใช้ผนังมวลสารมากในอาคารให้เกิดความเหมาะสม ปัจจัยที่นำมาศึกษาได้แก่ค่าความจุความร้อน และอุณหภูมิพื้นผิวผนัง การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การทดลองจากกล่องทดลอง และการทดลอง ณ สถานที่จริง การเก็บข้อมูลประกอบด้วย (1) สภาวะไม่ปรับอากาศ ทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวภายนอกได้รับและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ผิวภายนอกทาสีดำและสีขาว (2) สภาวะปรับอากาศ ทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. , 20.00-6.00 น. และ ปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ในการทดลอง ณ สถานที่จริง ทดลองผนัง 2 ด้านได้แก่ ด้านทิศใต้ผิวภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และด้านทิศเหนือผิวภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

ผลการทดลองพบว่า (1) อิทธิพลค่าความจุความร้อนมีผลต่อค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน นั่นคือผนังคอนกรีตที่มีความหนาจะมีค่าความจุความร้อนมาก ทำให้มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมาก ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. จะมีช่วงเวลาหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงกว่าผนังคอนกรีตหนา 20 และ 10 ซม. เท่ากับ 1 และ 2.5 ชั่วโมง (2) อิทธิพลอุณหภูมิผิวผนังมีผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ผนังที่ผิวภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำกว่าผนังที่ได้รับรังสีโดยตรงเท่ากับ 0.6-1.8 องศาเซลเซียส และผนังที่ทาสีขาวจะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำกว่าผนังทาสีดำเท่ากับ 3-4 องศาเซลเซียส การทดลอง ณ สถานที่จริงพบว่าอิทธิพลดังกล่าวไม่มีผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนถ้าผนังมีความหนาเพิ่มขึ้น โดยในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ผนังด้านทิศใต้ซึ่งได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงกว่าผนังด้านเหนือซึ่งไม่ได้รับรังสีโดยตรงเท่ากับ 3.04 องศาเซลเซียส แต่จะมีอุณหภูมิผิวภายในเฉลี่ยต่างกันไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส (3) การทดลองในสภาวะปรับอากาศ ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. จะใช้พลังงานในการลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังน้อยกว่าผนังคอนกรีตหนา 20 และ 10 ซม. เท่ากับ 8 และ 10.7 บีทียูชั่วโมงต่อวัน นั่นคือผนังที่มีความหนาจะมีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังน้อยกว่าผนังที่มีความหนาน้อยกว่า การเปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงใช้พลังงานน้อยกว่าการปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. และ 20.00-6.00 น. เท่ากับ 0.3-0.5 บีทียูชั่วโมง นั่นคือความร้อนที่สะสมในผนังช่วงไม่ปรับอากาศทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานสูงขึ้นเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ (4) ผนังมวลสารมากเหมาะสมกับการใช้งานในช่วงเวลากลางวัน ผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงหรือทาสีขาวจะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันเท่ากับ 30-32 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.5-2.7 องศาเซลเซียส ผนังมวลสารมากไม่เหมาะสมกับการใช้งานในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากผลการทดลองมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 3.7-8.3 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยสรุปว่า (1) อาคารไม่ปรับอากาศและใช้งานในช่วงเวลากลางวันเหมาะสมกับการใช้ผนังมวลสารมากที่มีความหนา เพื่อเพิ่มค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางวัน แม้อุณหภูมิภายในจะไม่อยู่ในเขตสบายแต่สามารถใช้การพัดพาของอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิให้เข้าสู่เขตสบายได้ (2) อาคารไม่ปรับอากาศที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืนหรือการใช้งานตลอดทั้งวันไม่เหมาะสมกับการใช้ผนังมวลสารมาก เนื่องจากจะมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางคืน (3) อาคารที่ปรับอากาศไม่ตลอด 24 ชั่วโมงไม่เหมาะสมกับการใช้ผนังมวลสารมาก เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงานในการลดความร้อนสะสมในผนังเป็นปริมาณมากเพื่อจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....*ณัฐกานต์ เกษประทุม*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*วรสันต์ บุรณากาญจน์*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*เน่งน้อย ศักดิ์ศรี*

##427 41121 25: MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD: HEAT SINK / HIGH MASS / THERMAL / TIME LAG

NATTAKAN KESPRATOOM: THERMAL BEHAVIOR OF HIGH MASS BUILDING WALL.

THESIS ADVISOR: VORASUN BURANAKARN, Ph.D. THESIS COADVISOR: PROFESSOR.

M.R. NENGNOI SUKSRI, 300 pp. ISBN 974-13-1233-4.

This research on the thermal behavior of high mass building evaluates factors in time lag and their magnitudes to discover the best construction for high mass building walls. The current factors examined heat capacity and sol air temperature. Testing models were divided into two stages as controlled environment and actual condition. Collected data included (1) non air-condition of 10, 20 and 30 cm thick of concrete wall with and without direct sun, black and white outside paint, (2) air condition of the same concrete walls during 8 am-6pm, 6 am-8pm and 24 hours.

Results illustrated that (1) heat capacity affects a rise of time lag; walls of high mass have higher heat capacity and heat transfer. A 30 cm wall has the highest, followed by 20 cm and 10 cm walls respectively. Time lag of 30 cm wall was 1-2.5 hours longer than 20 cm and 10 cm walls. (2) Sol air temperature affects time lag; wall surface without direct heat radiation has average inside temperature less than with direct heat radiation as 0.6-1.8 degree celsius. White paint wall has average inside temperature less than black paint as 3-4 degree celsius. Increasing wall thickness makes average inside temperatures similar. (3) For air-conditioning model, 30 cm wall required less energy to reduce heat transfer than 20 cm and 10 cm walls as 8 and 10.7 Btu-hr/day, respectively. Thus, thicker mass wall has less heat transfer. For 24-hour air-condition, walls consumed energy less than 8 am-6 pm and 8 pm-6 am as 0.3-0.5 Btu-hr. It is meant that outside heat stores inside wall mass during non air-condition period, which requires more energy to reduce inside temperature. (4) High mass is suitable to be used during daytime without air-condition. Outside wall surface without direct heat radiation and with white paint have average inside temperature as 30-32 degree celsius during daytime which less than outside air temperature as 0.5-2.7 degree celsius. Therefore, high mass wall is not suitable during night time since the average inside air temperature is higher than outside air temperature as 3.7-8.3 degree celsius.

It can be concluded that (1) a building with high mass wall is appropriate for daytime use without air condition since average inside air temperature is less than outside air temperature affecting from higher time lag. However, inside temperatures remain outside comfort zone, which could be reached by using other factors such as increasing air velocity. (2) High mass wall building without air condition should not be use during the night and 24-hour use since inside temperature is higher than outside temperature. (3) Only 24-hour air condition is suitable for high mass while the others consume more energy causing by heat storage inside wall mass.

Department of Architecture

Field of study Building technology

Academic year 2000

Student's signature..... *Nattakan Kespratoom*

Advisor's signature..... *Vorasun Buranakarn*

Co-advisor's signature..... *M.R. Nengnoi Suksri*



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีของ ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ ดร.วรสันต์ บุญนากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ศาสตราจารย์ หม่อมราชวงศ์ แฉ่งน้อย ศักดิ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำวิจัยมาโดยตลอด และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยนี้ด้วย

ขอขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่ อาประสิทธิ์ คุณสมฤทธิ ใต้ฝุ่น และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ช่วยงานและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย .....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 กระบวนการวิจัย.....	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
ส่วนที่ 1 ทฤษฎีที่สำคัญ.....	10
ส่วนที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านมวลสาร.....	28
ส่วนที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
ส่วนที่ 4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังพระอุโบสถไทย.....	51
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	59
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	59
3.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ.....	65
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	74
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	84
การทดสอบที่ 1 การทดสอบปัจจัยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และ	
ค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ.....	84
การทดสอบที่ 2 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง .....	116
การทดสอบที่ 3 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง .....	146
การทดสอบที่ 4 การทดสอบปัจจัยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และ	
ค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ.....	167

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การทดสอบที่ 5 การทดสอบปัจจัยสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อน และ ค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ.....	199
การทดสอบที่ 6 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง .....	230
การทดสอบที่ 7 การทดสอบปัจจัยสัมพันธ์การถ่ายเทความร้อน และ ค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ ในสภาวะปรับอากาศ.....	251
การทดสอบที่ 8 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวผนังในสถานที่จริง .....	276
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	285
5.1 บทสรุป.....	285
5.2 การนำไปประยุกต์ใช้ .....	295
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	297
รายการอ้างอิง.....	298
ประวัติผู้วิจัย.....	300

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญญัตินำ

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า .....	21
ตารางที่ 2-2 แสดงรายการวัสดุและสีผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ .....	22
ตารางที่ 2-3 ค่าคุณสมบัติการสะท้อนและดูดซับรังสีความร้อน .....	25
ตารางที่ 2-4 การวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างกันของอุณหภูมิในชั่วโมง .....	30
ตารางที่ 2-5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและระยะหน่วงความร้อนสำหรับผนัง ที่มีเนื้อวัสดุชนิดเดียวกันทั้งแผ่น .....	42
ตารางที่ 2-6 ค่าการดูดซับความร้อนและสะท้อนความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ .....	52
ตารางที่ 3-1 ค่าการปรับแก้ห้วงอุณหภูมิ .....	66
ตารางที่ 3-2 ค่าการปรับแก้กล่องทดลอง .....	72
ตารางที่ 4-1 อุณหภูมิอากาศในวันที่ 21-27 เมษายน 2544 .....	86
ตารางที่ 4-2 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในการทดสอบวันที่ 13 เมษายน 2544 .....	103
ตารางที่ 4-3 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน .....	109
ตารางที่ 4-4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน .....	111
ตารางที่ 4-5 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด ขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 .....	113
ตารางที่ 4-6 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ....	115
ตารางที่ 4-7 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง .....	133
ตารางที่ 4-8 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง .....	139
ตารางที่ 4-9 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง .....	140
ตารางที่ 4-10 เป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด ขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น .....	144
ตารางที่ 4-11 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง .....	145
ตารางที่ 4-12 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของผนังแต่ละชนิด .....	161
ตารางที่ 4-13 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของผนังแต่ละชนิด .....	163
ตารางที่ 4-14 อุณหภูมิอากาศในวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 .....	170
ตารางที่ 4-15 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผิวผนังภายนอกทาสีดำ .....	186
ตารางที่ 4-16 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ .....	192

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4-17 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ.....	193
ตารางที่ 4-18 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด ขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น.....	196
ตารางที่ 4-19 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ.....	198
ตารางที่ 4-20 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทาสีดำและสีขาว.....	217
ตารางที่ 4-21 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว.....	223
ตารางที่ 4-22 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว.....	225
ตารางที่ 4-23 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายใน สูงสุดขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น.....	227
ตารางที่ 4-24 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว.....	229
ตารางที่ 4-25 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของผนังที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	245
ตารางที่ 4-26 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของผนังที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	246
ตารางที่ 4-27 การหน่วงเหนี่ยวความร้อนผนังคอนกรีตหนา 30,20 และ 10 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ.....	260
ตารางที่ 4-28 อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในพระอุโบสถ.....	277
ตารางที่ 4-29 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด ขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น.....	280

## สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 2-1 ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุก่อสร้างบางชนิด.....	34
แผนภูมิที่ 2-2 ค่าความหนาแน่นของวัสดุก่อสร้างบางชนิด .....	35
แผนภูมิที่ 2-3 ค่าความจุความร้อน (ความหนาแน่น*ความร้อนจำเพาะ) ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด.....	36
แผนภูมิที่ 2-4 Thermal storage capacity .....	37
แผนภูมิที่ 2-5 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของไม้.....	39
แผนภูมิที่ 2-6 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของอิฐหนา 9 นิ้ว.....	40
แผนภูมิที่ 2-7 ความร้อนที่ผ่านเข้าไปของผนังไม้ และความร้อนที่ผ่านผนังอิฐพื้นเมืองหนา 9” .....	41
แผนภูมิที่ 2-8 เปรียบเทียบวิธีการในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายใน.....	43
แผนภูมิที่ 3-1 แสดงช่วงข้อมูลของหัววัดอุณหภูมิ Thermister 10 กิโลโอมห์ ในช่วงอุณหภูมิ 27-77 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 20 หัว ณ.วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2544.....	69
แผนภูมิที่ 3-2 แสดงช่วงข้อมูลของหัววัดอุณหภูมิ Thermister 10 กิโลโอมห์ ในช่วงอุณหภูมิ 26-64 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 25 หัว ณ.วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2544.....	70
แผนภูมิที่ 3-3 แสดงช่วงข้อมูลของหัววัดอุณหภูมิ Thermister 10 กิโลโอมห์ ในช่วงอุณหภูมิ 24-78 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 26 หัว ณ.วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2544.....	71
แผนภูมิที่ 3-4 แสดงช่วงข้อมูลของกล่องทดลอง 6 กล่อง ในช่วงอุณหภูมิ 22-39 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 6 กล่อง ณ.วันที่ 8-10 กุมภาพันธ์ 2544.....	73
แผนภูมิที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิอากาศต่ำสุด เฉลี่ย และสูงสุด ตั้งแต่วันที่ 13-17 เมษายน 2544 .....	87
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ในวันที่ 16-17 เมย.2543.....	88
แผนภูมิที่ 4-3 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	91
แผนภูมิที่ 4-4 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.ในวันที่ 16-17 เมย.2544.....	94
แผนภูมิที่ 4-5 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	97
แผนภูมิที่ 4-6 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.ในวันที่ 16-17 เมย.2544 .....	99
แผนภูมิที่ 4-7 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	101
แผนภูมิที่ 4-8 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.....	103
แผนภูมิที่ 4-9 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.....	104
แผนภูมิที่ 4-10 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.....	104
แผนภูมิที่ 4-11 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.....	105

## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-12 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ในการทดสอบในวันที่ 13-17 เมษายน 2544.....	107
แผนภูมิที่ 4-13 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน.....	109
แผนภูมิที่ 4-14 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน.....	111
แผนภูมิที่ 4-15 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง ในการทดสอบในวันที่ 13-17 เมษายน 2544.....	112
แผนภูมิที่ 4-16 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับ อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผนังในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544.....	114
แผนภูมิที่ 4-17 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	119
แผนภูมิที่ 4-18 พฏิกิริยาภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	122
แผนภูมิที่ 4-19 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	124
แผนภูมิที่ 4-20 พฏิกิริยาภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	127
แผนภูมิที่ 4-21 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	129
แผนภูมิที่ 4-22 พฏิกิริยาภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	131
แผนภูมิที่ 4-23 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	133
แผนภูมิที่ 4-24 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	134
แผนภูมิที่ 4-25 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	134
แผนภูมิที่ 4-26 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	135
แผนภูมิที่ 4-27 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย.....	138
แผนภูมิที่ 4-28 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	139
แผนภูมิที่ 4-29 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของผนังคอนกรีต หนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	141

## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-30 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง.....	142
แผนภูมิที่ 4-31 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับ อุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดของกล่องทดลองผนังคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด.....	144
แผนภูมิที่ 4-32 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดในแต่ละวัน ของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 10 ,20 และ 30 ซม. ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	147
แผนภูมิที่ 4-33 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดในแต่ละวัน ของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	149
แผนภูมิที่ 4-34 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	151
แผนภูมิที่ 4-35 อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 30 ซม.ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	152
แผนภูมิที่ 4-36 อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 20 ซม.ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	153
แผนภูมิที่ 4-37 อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 10 ซม.ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	154
แผนภูมิที่ 4-38 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองผนัง คอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	155
แผนภูมิที่ 4-39 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองแต่ละวันของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	156
แผนภูมิที่ 4-40 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดแต่ละวัน ของกล่องทดลองหนา 10, 20 และ 30 ซม.ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	159
แผนภูมิที่ 4-41 อุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	161
แผนภูมิที่ 4-42 อุณหภูมิผิวหนังภายนอกต่ำสุดของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	162
แผนภูมิที่ 4-43 อุณหภูมิผิวหนังภายนอกผนัง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.ที่ได้และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	164
แผนภูมิที่ 4-44 อุณหภูมิผิวหนังภายนอกผนัง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	165
แผนภูมิที่ 4-45 อุณหภูมิผิวหนังภายนอกผนัง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	166
แผนภูมิที่ 4-46 แสดงอุณหภูมิอากาศต่ำสุด เฉลี่ย และสูงสุดตั้งแต่วันที่ 6-8 มีนาคม 2544.....	170
แผนภูมิที่ 4-47 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ.....	171
แผนภูมิที่ 4-48 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ.....	174
แผนภูมิที่ 4-49 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ.....	177
แผนภูมิที่ 4-50 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ.....	179



## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-51	182
แผนภูมิที่ 4-52	184
แผนภูมิที่ 4-53	186
แผนภูมิที่ 4-54	187
แผนภูมิที่ 4-55	187
แผนภูมิที่ 4-56	188
แผนภูมิที่ 4-57	191
แผนภูมิที่ 4-58	192
ผิวหนังภายนอกทาสีดำ.....	192
แผนภูมิที่ 4-59	194
ผิวหนังภายนอกทาสีดำ.....	194
แผนภูมิที่ 4-60	195
แผนภูมิที่ 4-61	197
ผิวหนังในสูงสุดของกล่องทดลองผนังคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด.....	197
แผนภูมิที่ 4-62	202
แผนภูมิที่ 4-63	205
แผนภูมิที่ 4-64	208
แผนภูมิที่ 4-65	210
แผนภูมิที่ 4-66	213
แผนภูมิที่ 4-67	215
แผนภูมิที่ 4-68	217
แผนภูมิที่ 4-69	218
แผนภูมิที่ 4-70	218
แผนภูมิที่ 4-71	219
แผนภูมิที่ 4-72	222
แผนภูมิที่ 4-73	224
ผิวหนังภายนอกทาสีขาว.....	224
แผนภูมิที่ 4-74	225
ผิวหนังภายนอกทาสีขาว.....	225
แผนภูมิที่ 4-75	226
แผนภูมิที่ 4-76	228
ของกล่องทดลองผนังคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด.....	228



## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-77 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดในแต่ละวัน ของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว .....	232
แผนภูมิที่ 4-78 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดในแต่ละวัน ของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	233
แผนภูมิที่ 4-79 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 10 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	235
แผนภูมิที่ 4-80 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	236
แผนภูมิที่ 4-81 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	237
แผนภูมิที่ 4-82 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	238
แผนภูมิที่ 4-83 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	239
แผนภูมิที่ 4-84 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองแต่ละวันของกล่องทดลอง ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	240
แผนภูมิที่ 4-85 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดแต่ละวัน ของกล่องทดลองผนังหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	243
แผนภูมิที่ 4-86 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	245
แผนภูมิที่ 4-87 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของกล่องทดลองผนังคอนกรีต หนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	247
แผนภูมิที่ 4-88 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกและภายในของผนังคอนกรีตหนา 10 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว.....	248
แผนภูมิที่ 4-89 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกและภายในของผนังคอนกรีตหนา 10 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ.....	249
แผนภูมิที่ 4-90 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกและภายในของผนังคอนกรีตหนา 10 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว.....	250
แผนภูมิที่ 4-91 ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ.....	254
แผนภูมิที่ 4-92 ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ.....	257
แผนภูมิที่ 4-93 ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ.....	259

## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4-94 ช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ.....	260
แผนภูมิที่ 4-95 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศ.....	262
แผนภูมิที่ 4-96 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 8.00-18.00 น.....	265
แผนภูมิที่ 4-97 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น.....	267
แผนภูมิที่ 4-98 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น.....	268
แผนภูมิที่ 4-99 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น.....	269
แผนภูมิที่ 4-100 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 20.00-6.00 น.....	271
แผนภูมิที่ 4-101 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.....	273
แผนภูมิที่ 4-102 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.....	274
แผนภูมิที่ 4-103 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.....	275
แผนภูมิที่ 4-104 อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในพระอุโบสถ.....	278
แผนภูมิที่ 4-105 อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในพระอุโบสถ.....	279
แผนภูมิที่ 4-106 อุณหภูมิผิวภายนอก ผิวภายใน อากาศภายนอกและอากาศภายใน.....	281
แผนภูมิที่ 4-107 อุณหภูมิผนังทางด้านทิศเหนือพระอุโบสถ.....	282
แผนภูมิที่ 4-108 อุณหภูมิผนังทางด้านทิศใต้พระอุโบสถ.....	283

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1-1 ภาพตัดกล่องทดลองที่ 1 2 และ 3 .....	6
ภาพที่ 1-2 ภาพตัดกล่องทดลองที่ 1 2 และ 3 โคนแคดและไม่โคนแคด.....	6
ภาพที่ 1-3 ภาพตัดกล่องทดลองที่ 1 2 และ 3.....	7
ภาพที่ 2-1 Heat transfer by conduction.....	11
ภาพที่ 2-2 Radiant energy transfer between two surface molecules.....	13
ภาพที่ 2-3 Absorption, reflection, and transmission of radiation striking .....	14
ภาพที่ 2-4 การถ่ายเทความร้อนช่วงเวลากลางวันในฤดูร้อน .....	16
ภาพที่ 2-5 ความร้อนที่เข้าสู่ร่างกาย .....	17
ภาพที่ 2-6 Heat transfer from A to B by convection.....	19
ภาพที่ 2-7 Radiant heat penetration into a solid object .....	28
ภาพที่ 2-8 มวลสารกักเก็บความร้อนระหว่างวันและไม่มีการระบายอากาศ.....	31
ภาพที่ 2-9 การเปรียบเทียบค่าการเก็บกักความร้อนของแต่ละวัสดุที่แตกต่างกัน.....	32
ภาพที่ 2-10 เฉลียงรอบพระอุโบสถวัดเฉลิมพระเกียรติวรวิหาร.....	52
ภาพที่ 2-11 อิริยาบถของผู้ใช้อาคาร.....	54
ภาพที่ 2-12 พระพุทธรูปภายใน.....	54
ภาพที่ 2-13 ชุ่มประตูประอุโบสถวัดเฉลิมพระเกียรติวรวิหาร.....	55
ภาพที่ 2-14 Shading by texture .....	55
ภาพที่ 2-15 Wall that uses wind to cool the wall and defend it by half shade.....	56
ภาพที่ 2-16 Energy balance on a leaf .....	56
ภาพที่ 2-17 ต้นไม้บริเวณรอบ ๆ พระอุโบสถ.....	57
ภาพที่ 2-18 หอไตรปฏิมาวัดอัปสรสวรรค์.....	57
ภาพที่ 3-1 เครื่องวัดอุณหภูมิ Data logger.....	59
ภาพที่ 3-2 เครื่องวัดอุณหภูมิ Dataloader.....	59
ภาพที่ 3-3 หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์.....	60
ภาพที่ 3-4 สายโทรศัพท์.....	60
ภาพที่ 3-5 ชุดเครื่องมือเก็บอุณหภูมิ.....	61
ภาพที่ 3-6 ขาดังกล่องทดลอง.....	62
ภาพที่ 3-7 กล่องทดลอง.....	62
ภาพที่ 3-8 การเทคอนกรีต.....	63
ภาพที่ 3-9 เมื่อฉาบผิวหน้าแล้วทิ้งให้คอนกรีตแห้ง.....	63
ภาพที่ 3-10 การติดตั้งและประกอบแผ่นคอนกรีต 3 ชั้น.....	64
ภาพที่ 3-11 การใส่ผนังในกล่องทดลอง.....	64

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 3-12 การเก็บความเรียบร้อยบริเวณขอบกล่องทดลอง.....	65
ภาพที่ 3-13 กล่องทดลองที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	65
ภาพที่ 3-14 การทดสอบความถูกต้องของกล่องทดลอง.....	72
ภาพที่ 3-15 การทดสอบที่ 1 .....	74
ภาพที่ 3-16 การทดสอบที่ 2 .....	75
ภาพที่ 3-17 การทดสอบที่ 3 .....	76
ภาพที่ 3-18 การทดสอบที่ 4 .....	78
ภาพที่ 3-19 การทดสอบที่ 5 .....	79
ภาพที่ 3-20 การทดสอบที่ 6 .....	80
ภาพที่ 3-21 การทดสอบที่ 7 .....	82
ภาพที่ 4-1 กล่องทดลองที่ 1.....	84
ภาพที่ 4-2 กล่องทดลองที่ 2 .....	85
ภาพที่ 4-3 กล่องทดลองที่ 3 .....	85
ภาพที่ 4-4 กล่องทดลองที่ 4 .....	116
ภาพที่ 4-5 กล่องทดลองที่ 5 .....	116
ภาพที่ 4-6 กล่องทดลองที่ 6.....	117
ภาพที่ 4-7 อุปกรณ์บังแดดของกล่องทดลองไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง.....	118
ภาพที่ 4-8 กล่องทดลองที่ 1 .....	167
ภาพที่ 4-9 กล่องทดลองที่ 2 .....	167
ภาพที่ 4-10 กล่องทดลองที่ 3.....	168
ภาพที่ 4-11 กล่องทดลองผนังภายนอกทาสีดำ.....	169
ภาพที่ 4-12 กล่องทดลองที่ 1.....	199
ภาพที่ 4-13 กล่องทดลองที่ 2.....	199
ภาพที่ 4-14 กล่องทดลองที่ 3.....	200
ภาพที่ 4-15 กล่องทดลองผนังภายนอกทาสีขาว .....	201
ภาพที่ 4-16 การทดลองที่ 6.....	231
ภาพที่ 4-17 แผ่นผนังทดลองที่ 1.....	251
ภาพที่ 4-18 แผ่นผนังทดลองที่ 2.....	252
ภาพที่ 4-19 แผ่นผนังทดลองที่ 3.....	252
ภาพที่ 4-20 อาคารทดลองปรับอากาศ.....	253
ภาพที่ 4-21 พระอุโบสถวัดบวรวิญญู.....	276
ภาพที่ 4-22 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่ผนังภายนอก.....	276

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 4-22 ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ.....	277



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิทธิพลหลักที่มีผลต่อเขตสบายภายในอาคาร ได้แก่ความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในจาก อากาศภายนอก และการแผ่รังสีของผนังหรือกรอบอาคาร ผนังภายนอกอาคารนั้นเป็นส่วนที่ได้รับ ความร้อนโดยตรงจากรังสีดวงอาทิตย์และสภาพแวดล้อม ผนังความหนาต่างกันจะมีค่าความจุ ความร้อน (Heat capacity) และช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag) ต่างกัน โดยผนัง ที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและเก็บกักความร้อนไว้ได้มากทำให้มีอัตราการไหลผ่านของความร้อนต่ำลง และเมื่อสะสมความร้อนสูงขึ้น หรือสูงจนถึงจุดอิ่มตัว ผนังจะค่อย ๆ ถ่ายเทความร้อน เข้าสู่อาคาร โดยผนังที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้นานกว่าผนังที่มีมวล สารน้อยกว่า ซึ่งจะทำให้เลื่อนเวลาการเกิดความร้อนสูงสุดออกไปในช่วงเวลาที่ไม่มีผู้ใช้งาน นอกจากนี้ผนังมวลสารมากจะทำให้อุณหภูมิภายในอาคารคงที่หรือมีความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุด และสูงสุดในแต่ละวัน (Temperature swing) น้อยกว่าผนังมวลสารน้อยด้วย

อาคารไทยพุทธศาสนาได้มีการคำนึงถึงหลักการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวโดยใช้ผนังที่มี มวลสารมากเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารช่วงเวลากลางวันให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย และใช้ การลดอุณหภูมิผิวผนัง (Sol-air temperature) ให้ใกล้เคียงอุณหภูมิสภาพแวดล้อมโดยใช้ชายคา ยื่นยาวป้องกันแดดโดยตรง (Direct sun) ทำให้อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำกว่าผนังโดยทั่วไปที่ โดดแดด และทำให้อุณหภูมิผิวภายในต่ำลง ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยจากพื้นผิวโดยรอบ (MRT) มี ค่าต่ำลง และเกิดสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

นอกจากนี้อาคารไทยพุทธศาสนาจะมีช่วงเวลาการใช้งานเวลากลางวัน ซึ่งผนังมวลมาก จะช่วยลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนลงไป ในขณะที่เวลากลางคืนอากาศภายนอกอาคารมี อุณหภูมิต่ำกว่า ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังนั้นส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคาร และอีกส่วนหนึ่ง จะเคลื่อนตัวออกจากผนังสู่อากาศภายนอก ซึ่งถ้าหากผนังมีมวลสารมาก และมีการหน่วงเหนี่ยว เวลานาน โอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังจะสูญเสียให้กับอากาศภายนอกก็มีมาก<sup>1</sup> และช่วย ลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารลงได้

---

<sup>1</sup>ลีธีรัตน์ ภัทรธรรมกุล. ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), หน้า 10.



การวิจัยนี้เป็นการทดสอบหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารมากจากการทดลองหุ่นจำลอง เพื่อประยุกต์การใช้ผนังมวลสารมากกับอาคารจริงเพื่อให้เกิดเขตสบายในอาคารมากที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลสำคัญต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก
2. ศึกษาหาความระดับความสำคัญของปัจจัยแต่ละตัวที่มีอิทธิพลสำคัญต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารที่มีมวลสารมาก
3. ศึกษาแนวทางการใช้ผนังอาคารที่มีมวลสารมากให้เกิดเขตสบายในอาคารมากที่สุด

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารมากได้แก่
  - 1.1 คุณสมบัติของวัสดุ
    - 1.1.1 ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity)
    - 1.1.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Heat transfer coefficient)
    - 1.1.3 อุณหภูมิพื้นผิวผนัง (Sol-air temperature)
  - 1.2 สภาพแวดล้อม
    - 1.2.1 การพาความร้อนจากลม (Surface convection)
    - 1.2.2 การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (Long wave radiation heat exchange)
2. ผนังที่มีมวลสารมากที่มีความหนาจะมีอุณหภูมิภายในคงที่มากกว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในต่ำกว่า และเกิดช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าผนังที่มีมวลสารที่มีความหนาน้อยกว่า
3. ในสภาวะปรับอากาศ ผนังมวลสารมากที่มีความหนาต่างกันจะมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน โดยผนังที่มีความหนามากที่สุด จะมีการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังเข้ามาได้น้อยที่สุด และจะใช้พลังงานในการลดความร้อนที่กักเก็บภายในผนังมากที่สุด

4. ผนังมวลสารมากที่ไม่โดนแดดจะมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่าและคงที่มากกว่าผนังโดนแดด โดยผนังที่ความหนามากกว่าและไม่โดนแดดจะมีอุณหภูมิต่ำและคงที่มากที่สุด และผนังที่มีความหนาน้อยกว่าและโดนแดดจะมีอุณหภูมิภายในสูงที่สุด
5. ผนังมวลสารมากที่ทำสีอ่อนจะมีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนแตกต่างจากผนังที่ทำสีเข้ม

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลสำคัญต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารที่มีมวลสารมาก
2. ทราบระดับความสำคัญของปัจจัยแต่ละตัวที่มีอิทธิพลสำคัญต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารที่มีมวลสารมาก
3. สามารถประยุกต์ใช้ผนังอาคารที่มีมวลสารมากเพื่อให้เกิดเขตสบายในอาคารได้

#### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ผนังมวลสารมาก หมายถึง ผนังที่มีน้ำหนักมากกว่า 195 กก./ตารางเมตร ในการวิจัยนี้ใช้ผนังคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 2400 กก./ลบ.ม ที่ความหนา 10, 20 และ 30 เซนติเมตร
2. ทำการทดสอบที่จังหวัดปทุมธานีตั้งแต่วันที่ 26 กุมภาพันธ์ ถึง 15 เมษายน 2544 ไม่ครอบคลุมตลอดทั้งปีและใช้สภาพภูมิอากาศ ณ สถานที่ทดสอบจังหวัดปทุมธานีซึ่งถือว่าสามารถนำไปใช้กับภูมิอากาศที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้
3. คัดเลือกปัจจัยที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อความเหมาะสมและสามารถปรับเปลี่ยนได้ เช่น การทดสอบกล่องทดลอง ได้ตัดปัจจัยในเรื่องการแผ่รังสีจากสภาพแวดล้อม และการพาความร้อนจากลมออกไปเนื่องจากไม่สามารถปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อม ณ สถานที่ทดสอบได้ และพิจารณาปัจจัยเฉพาะอุณหภูมิเท่านั้น
4. การทดสอบ ณ สถานที่จริง ใช้พระอุโบสถวัดบัวขวัญเป็นตัวแทนของอาคารที่มีผนังมวลสารมาก โดยทำการทดสอบในวันที่ 24-26 มีนาคม 2544

## 1.6 กระบวนการวิจัย

### 1. การทดสอบเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของอาคารมวลสารมาก

#### 1.1 การหาข้อมูล

ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารมาก และทำการคัดเลือกปัจจัยที่สามารถทดสอบกับกล่องทดลองได้ และควบคุมปรับเปลี่ยนได้ง่าย<sup>2</sup> คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อผนังมวลสารมากมาใช้ทดสอบ ได้แก่ ปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ พิจารณาที่ความหนาของวัสดุโดยทดสอบตามสภาวะของการนำผลการทดลองไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ สภาวะไม่ปรับอากาศและสภาวะปรับอากาศ และพิจารณาที่ปัจจัยอุณหภูมิผิวผนังโดยทดสอบตามสภาวะการโดนแดดและไม่โดนแดด สีเข้มและสีอ่อน

#### 1.2 การทดลอง

##### 1.2.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้วัดค่าข้อมูล<sup>3</sup>

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าข้อมูลได้แก่เครื่องวัดอุณหภูมิ (Data logger) ใช้หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ความต้านทาน 10 กิโลโอมห์ (kOhm) และสายโทรศัพท์ โดยใช้โปรแกรม Sciometric instruments system 200 model 236 hardware

ได้ทำการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เครื่องจะสามารถอ่านได้ และตรวจสอบค่าอุณหภูมิจากหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ให้อ่านได้ถูกต้องกับค่าเฉลี่ยโดยรวมจนได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่า  $R^2$  ของทุกหัววัดอุณหภูมิเท่ากับ 0.99 ขึ้นไป หลังจากนั้นใช้หัววัดอุณหภูมิดังกล่าวในการทดสอบความถูกต้องของกล่องทดลองโดยวิธีเดียวกันจนได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องและค่า  $R^2$  เท่ากับ หัวทดลอง

##### 1.2.2 การทดสอบจากกล่องทดลอง

การทดลองนี้ต้องทดสอบปัจจัยแต่ละตัวโดยควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่ จึงใช้การทดสอบจากหุ่นจำลองกล่องทดลอง

##### กล่องทดลอง

สร้างกล่องทดลองมีปริมาตรอากาศภายในกล่องเท่ากับ  $0.6 \times 0.6 \times 0.6 \text{ m}^3$  เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการแบ่งชั้นความร้อน (Stratification) ของอากาศภายใน

<sup>2</sup> ดูในบทที่ 1 ข้อ 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

<sup>3</sup> อ่านเพิ่มเติมได้ในบทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

และเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย กล่องทดลองใช้ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมหนา 6 นิ้วมีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต มีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.221 W/(m<sup>2</sup>.C) ติดตั้งผนังทดสอบไว้ด้านหนึ่ง และด้านตรงข้ามมีช่องเปิดไว้เพื่อความสะดวกในการติดตั้งเครื่องมือและการดูแลรักษาอื่น ๆ

#### ผนังทดลอง

การทดลองทั้งหมดใช้วัสดุผนังคอนกรีต มีความหนาแน่น 2400 กก./ลบ.ม (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2538 : 59) ค่าความร้อนจำเพาะ 0.922 kJ/kg.C (ASHRAE, 1989: 22.8) มีผนังดังนี้

ผนังแบบที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน 4.291 W/(m<sup>2</sup>.C) มีค่าความจุความร้อน 1.121 Btu/ft<sup>3</sup>.°F

ผนังแบบที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน 3.304 W/(m<sup>2</sup>.°C) มีค่าความจุความร้อน 2.243 Btu/ft<sup>3</sup>.°F

ผนังแบบที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน 2.69 W/(m<sup>2</sup>.°C) มีค่าความจุความร้อน 3.364 Btu/ft<sup>3</sup>.°F

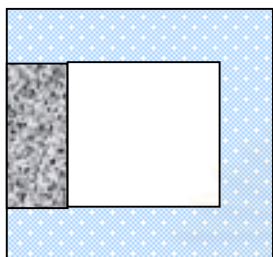
#### สี

ใช้สีน้ำมันทาภายนอกสีดำและสีขาว

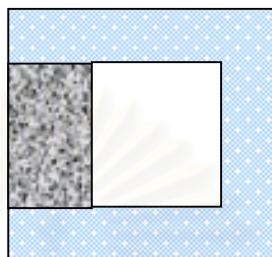
### การทดสอบ

1. การทดสอบปัจจัยด้านค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ

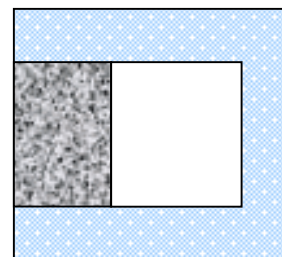
พิจารณาที่ความหนาของวัสดุ โดยใช้ผนังแบบที่ 1 2 และ 3 ทั้งในสภาวะปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ



กล่องที่ 1 ผนังแบบที่ 1



กล่องที่ 2 ผนังแบบที่ 2



กล่องที่ 3 ผนังแบบที่ 3

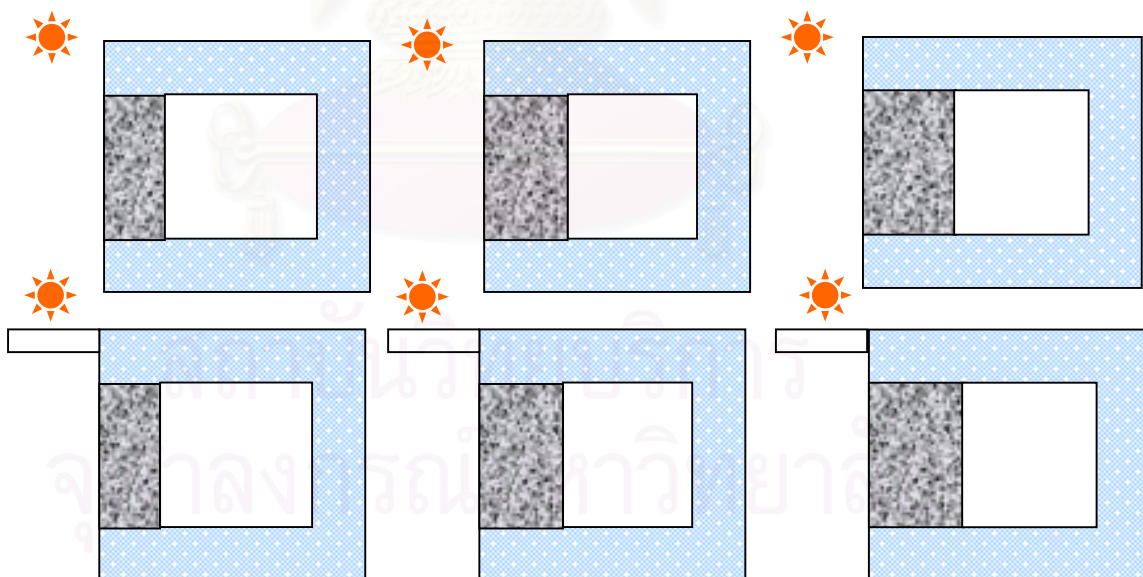
ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร

ภาพที่ 1-1 ภาพตัดกล่องทดลองที่ 1 2 และ 3

2. อุณหภูมิพื้นผิวผนัง

2.1 สภาวะโดนแดดและไม่โดนแดด

ใช้ผนังแบบที่ 1 2 และ 3 ทั้งในสภาวะโดนแดดและไม่โดนแดด



กล่องที่ 1 ผนังแบบที่ 1

กล่องที่ 2 ผนังแบบที่ 2

กล่องที่ 3 ผนังแบบที่ 3

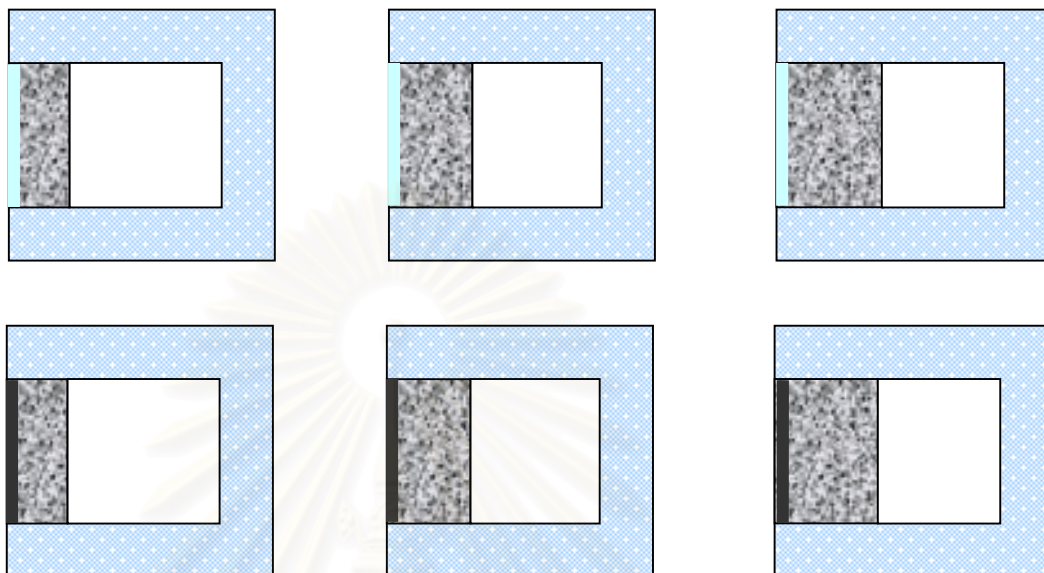
ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร

ภาพที่ 1-2 ภาพตัดกล่องทดลองที่ 1 2 และ 3 โดนแดดและไม่โดนแดด



## 2.2 ผนังภายนอกทาสีเข้มและสีอ่อน

ใช้ผนังแบบที่ 1 2 และ 3 ทาสีภายนอกสีดำ และสีขาว ใน  
สภาวะไม่ปรับอากาศ



กล่องที่ 1 ผนังแบบที่ 1

กล่องที่ 2 ผนังแบบที่ 2

กล่องที่ 3 ผนังแบบที่ 3

ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร

ภาพที่ 1-3 ภาพตัดกล่องทดลองที่ 1 2 และ 3

จากการทดลองทั้งหมดทำการทดสอบกล่องทดลองในสภาพวัน เวลา  
และสถานที่เดียวกันในชุดเดียวกัน และวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่อไปนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
2. อุณหภูมิอากาศกระเปาะเปียกภายนอก
3. อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
4. อุณหภูมิภายในแผ่นผนัง
5. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
6. อุณหภูมิอากาศภายใน

ทำการวัดและบันทึกข้อมูลทุก 15 นาทีและนำมาเฉลี่ยเป็น 1 ชั่วโมง  
ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 วัน โดยหั่นกล่องทดสอบทางทิศใต้เพื่อให้ได้ผล  
การถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุด



### 1.2.3 การทดสอบในสถานที่จริง

ทดสอบปัจจัยอุณหภูมิผิวผนัง การพาความร้อนจากลม และการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ณ พระอุโบสถวัดบวรวิบูลย์ โดยวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่อไปนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
2. อุณหภูมิอากาศกระเปาะเปียกภายนอก
3. อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิอากาศภายใน

### 1.3 การสรุปผล

สรุปผลปัจจัยที่มีอิทธิพลสำคัญต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านอาคารมวลงสารมากเพื่อที่จะนำไปใช้ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการทดสอบข้อที่ 2

## 2. การทดสอบความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย

จากขั้นตอนที่ 1 สรุปหาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลงสารมาก ตลอดจนเสนอแนวทางการนำปัจจัยเหล่านั้นมาใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดเขตสบายในอาคารมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในบทนี้ได้แบ่งเนื้อหาสำคัญเป็น 4 ส่วนตามเนื้อหาและการนำไปใช้ดังนี้

#### ส่วนที่ 1 ทฤษฎีที่สำคัญ

- 1.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)
- 1.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient)
- 1.3 การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (Mean radiant temperature: MRT)
- 1.4 อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (Sol-air temperature)

#### ส่วนที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านมวลสาร

- 2.1 การเก็บกักความร้อน (Heat storage)
- 2.2 การคำนวณความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัสดุ  
(Thermal storage conductivity)

#### ส่วนที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- 3.1 การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag)
- 3.3 ผลกระทบของสีผนังและมวลสารภายในต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
- 3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคาร
- 3.5 ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

#### ส่วนที่ 4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังพระอุโบสถไทย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ส่วนที่ 1 ทฤษฎีที่สำคัญ

### 1.1 การถ่ายเทความร้อน<sup>1</sup> (Heat transfer)

#### ความร้อนและอุณหภูมิ

ความร้อนและอุณหภูมิโดยทั่วไปมีความหมายต่างกัน ความร้อนเป็นพลังงานของโมเลกุลที่เคลื่อนที่ของสสาร แต่อุณหภูมิเป็นหน่วยการวัดปริมาณการเคลื่อนที่ของแต่ละโมเลกุลโดยรวมของสสารนั้น ๆ ซึ่งอุณหภูมิเป็นการวัดปริมาณพลังงานความร้อนที่อยู่ในสสารนั่นเอง พลังงานความร้อนของสสารหรือวัสดุจึงเกิดจากแต่ละโมเลกุลภายในเคลื่อนไหวหรือสั่น (Vibration)

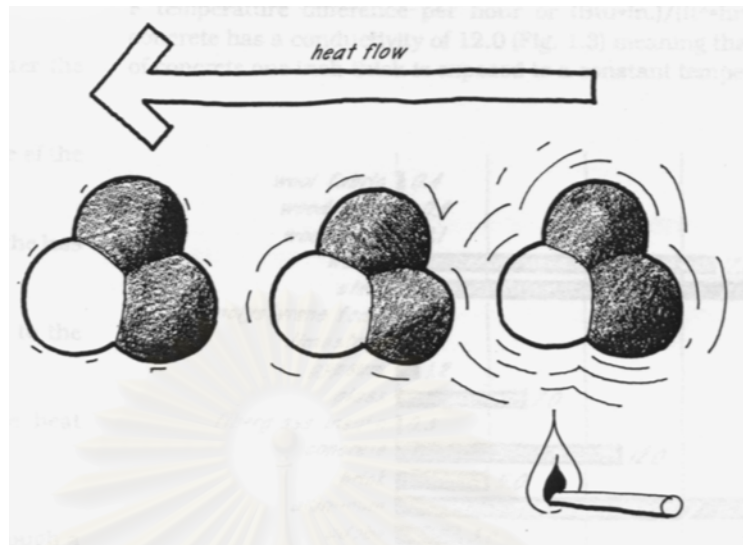
ค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (Absolute zero) เป็นค่าอุณหภูมิที่โมเลกุลของสสารทุกชนิดหยุดเคลื่อนไหว ได้แก่อุณหภูมิ  $-459.69$  องศาฟาเรนไฮต์,  $-273.15$  องศาเซลเซียส และ  $0$  องศาเคลวิน ยิ่งโมเลกุลมีการเคลื่อนไหวเร็วจะทำให้สสารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าการวัดมี 2 แบบ แบบแรกได้แก่การวัดอุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสและองศาฟาเรนไฮต์ที่นิยมกันอยู่ทั่วไป แบบที่สองได้แก่การวัดพลังงานความร้อนมีหน่วยเป็นบีทียู (British Thermal Unit :Btu) หรือแคลอรี (Calorie) บีทียู คือจำนวนปริมาณความร้อนของน้ำ 1 ปอนด์ที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์

ความร้อนจะเคลื่อนที่จากสสารที่ร้อนสู่อุณหภูมิที่เย็นกว่าเสมอ และถ้าสสารใด ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้วก็จะไม่มีการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนมีอยู่ 3 ประเภทได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

#### 1.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากบริเวณที่ร้อนกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลมากกว่า ไปสู่บริเวณที่เย็นกว่าหรือมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลช้ากว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดในทุกทิศทาง และจะไม่ขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลก วัสดุจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุล วัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะนำความร้อนได้มาก วัสดุโลหะ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง เป็นตัวนำความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่คอนกรีตและอิฐ วัสดุในธรรมชาติเช่นไม้จะไม่มีค่าการนำความร้อนน้อยกว่า

<sup>1</sup> เรียบเรียงจาก Moore, Fuller. Environmental control system: Heating cooling lighting. Singapore: McGraw-Hill, 1993. pp.7-17.



ภาพที่ 2-1 Heat transfer by conduction.( Moore, 1993: 8)

อากาศหรือก๊าซชนิดต่าง ๆ จะนำความร้อนได้ต่ำที่สุด อากาศจึงเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำความร้อนผ่านไปยังสภาวะที่ไม่มีโมเลกุลเรียงตัวกันเช่นสุญญากาศได้ ความสามารถในการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุ ความหนาวัสดุ พื้นที่สัมผัสโดยตรงกับความร้อน และช่วงเวลาที่สัมผัสนั้น เป็นต้น ค่าที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนได้แก่

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity:  $k$ ) หน่วย  $W/m \cdot ^\circ K$  หรือ  $Btu.in/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$  คือค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสารในความหนา ช่วงเวลา พื้นที่ และค่าความแตกต่างอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใช้ในการวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ เช่น คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ  $12.0 Btu.in/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$  หมายความว่า คอนกรีตขนาด 1 ตารางฟุต หนา 1 นิ้ว ถ้ามีค่าความแตกต่างอุณหภูมิของสองด้านของคอนกรีตเท่ากับ  $1.0$  บีทียูแล้ว จะมีการนำความร้อน  $12.0$  บีทียูผ่านในวัสดุใน  $1$  ชั่วโมง

ความนำความร้อน (Conductance:  $C$ ) หน่วย  $W/m^2 \cdot ^\circ K$  หรือ  $Btu/(ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F)$  คือค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสารในความหนาที่กำหนดในช่วงเวลา 1 หน่วย โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 หน่วย ค่าความนำความร้อนนั้นคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแต่หน่วยของการวัดจะกำหนดตายตัว เช่น

คอนกรีตหนา 3 นิ้วมีค่าความนำความร้อนเท่ากับ  $4.0 \text{ Btu} / (\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F})$  (ซึ่งมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนหารด้วยความหนา 3 นิ้ว หมายความว่าถ้าคอนกรีตหนา 3 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางฟุต มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก  $1.0$  บีที่ยู จะมีการนำความร้อน  $4 \text{ Btu}$  ผ่านวัสดุใน 1 ชั่วโมง

$$C = k / \text{ความหนาวัสดุ}$$

ความต้านทานความร้อน (Resistance: R, R-value) หน่วย  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K} / \text{W}$  หรือ  $(\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}) / \text{Btu}$  คือส่วนกลับของค่าความนำความร้อน เป็นค่าที่นิยมใช้ในการกำหนดค่าฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ค่า R-value ที่มากขึ้นยิ่งแสดงถึงค่าความเป็นฉนวนที่มีมาก

$$R = 1 / C$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน<sup>2</sup> (Thermal transmittance: U) หน่วย  $\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$  หรือ  $\text{Btu} / (\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F})$  คือหน่วยของการวัดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาในอาคารในช่วงเวลาหนึ่ง และพื้นที่หนึ่ง เป็นส่วนกลับของค่า R

$$U = 1 / \sum R$$

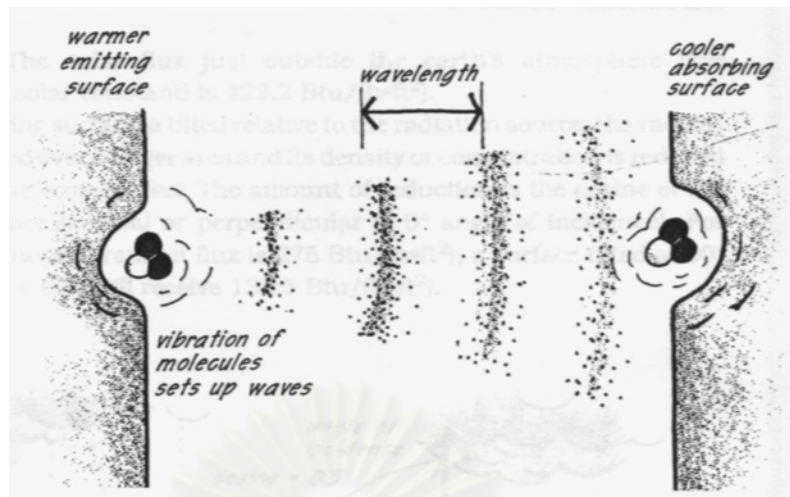
$$= 1 / (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

### 1.1.2 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อโมเลกุลของสสารเกิดการเคลื่อนไหวจะคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเคลื่อนที่จากวัตถุที่ร้อนกว่าไปสู่วัตถุที่เย็นกว่าเช่นเดียวกับการนำความร้อน แต่การแผ่รังสีความร้อนสามารถส่งความร้อนผ่านสุญญากาศได้

การเคลื่อนที่หรือการสั่นของโมเลกุลพื้นผิวของสสารจะก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนผ่านตัวกลางได้เร็วเท่ากับความเร็วแสง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะช้าลงเมื่อเปลี่ยนแปลงไปเป็นคลื่นรังสีความร้อน โดยเมื่อความร้อนเคลื่อนที่ผ่านของแข็ง อากาศ หรือสุญญากาศไปจนกระทบพื้นผิววัสดุอีกด้าน จะสะสมพลังงานความร้อนในด้านนั้น ๆ และทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวมากขึ้นจนอุณหภูมิสูงขึ้น และคายความร้อนออกมา การแผ่รังสีความร้อนจะเป็นเส้นตรงในทุกทิศทาง และไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก

<sup>2</sup>ดูเพิ่มเติมในหัวข้อ 1.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 2-2 Radiant energy transfer between two surface molecules.

( Moore, Fuller, 1993: 13)

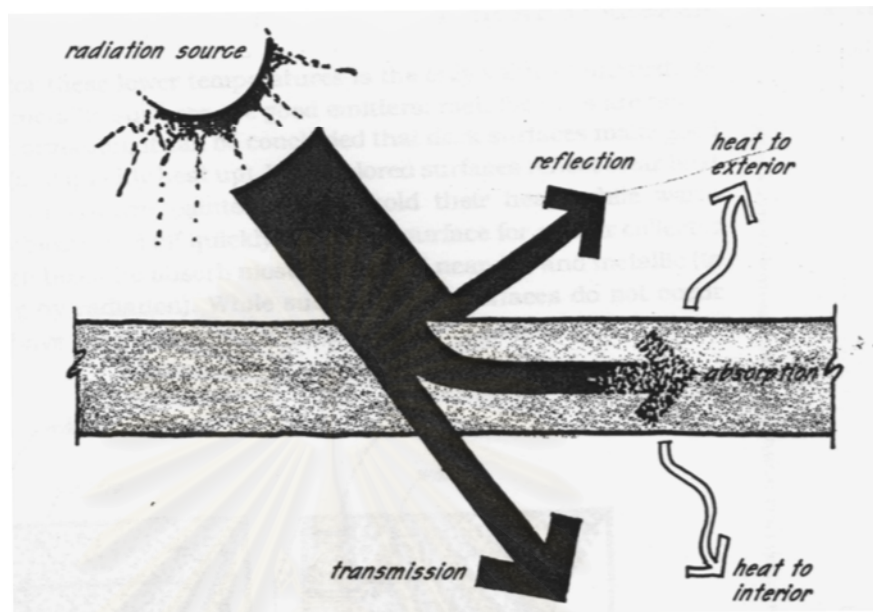
### ความยาวคลื่น

อุณหภูมิโมเลกุลของพื้นผิววัสดุสามารถให้ความร้อนที่วัดได้เป็นค่าความยาวคลื่น (Wave length) หรือความถี่คลื่น (Frequency) ได้ โมเลกุลของพื้นผิวแต่ละชนิดจะมีการเคลื่อนไหวหรือการสั่นที่แตกต่างกัน และแผ่รังสีความร้อนออกมาในความเร็วที่คงที่ การเคลื่อนไหวดังกล่าวจะทำให้เกิดความถี่ของคลื่นการแผ่รังสี โมเลกุลที่เคลื่อนที่เร็วที่สุดหรือร้อนที่สุดจะคายคลื่นรังสีสั้น ๆ ออกมา เช่น คลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์จะเป็นคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.4-4.0 ไมครอน (micron) โดย 1 micron มีค่าเท่ากับ  $10^{-6}$  เมตร และโมเลกุลที่เคลื่อนที่ช้า ๆ จะคายรังสีคลื่นยาวซึ่งมีความยาวคลื่น 8-50 ไมครอน

เมื่อพลังงานการแผ่รังสีความร้อนกระทบพื้นผิว พื้นผิวนั้นจะสามารถดูดซับ (Absorption:  $\alpha$ ) ความร้อน และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนซึ่งจะทำให้ผิววัสดุอุ่นขึ้น พื้นผิวยังสามารถจะสะท้อนความร้อน (Reflection:  $\beta$ ) กลับไปได้หรือถ้าวัสดุมีคุณสมบัติที่ความร้อนสามารถผ่านไปได้ ความร้อนจะทะลุผ่าน (Transmission:  $\tau$ ) ชั้นวัสดุไป ค่าการดูดซับความร้อน การสะท้อนความร้อน และการทะลุผ่านของความร้อนดังกล่าวนี้ไม่มีหน่วย และมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0-1.0 ค่าของคุณสมบัติทั้งสามส่วนรวมกันจะเท่ากับ 1

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$





ภาพที่ 2-3 Absorption, reflection, and transmission of radiation striking a semitransparent material. ( Moore,1993: 15)

### การคายความร้อน (Emissivity: $\epsilon$ )

ค่าการคายความร้อนเป็นหน่วยการวัดความสามารถของผิววัสดุที่จะคายรังสีความร้อนออกมาในอุณหภูมิที่กำหนด ค่าการคายความร้อนสามารถวัดได้เป็น 0.0 ในกรณีที่วัสดุไม่มีการคายความร้อน ไปจนถึง 1.0 ซึ่งเป็นการคายความร้อนที่สูงที่สุด เทียบได้กับวัสดุจำลองสีดำในอุดมคติ (Black body) ในอุณหภูมิต่าง ๆ กันจะพบว่าค่าการคายความร้อนจะเท่ากับค่าการดูดซับความร้อน (Kirchhoff's law)

$$\epsilon = \alpha$$

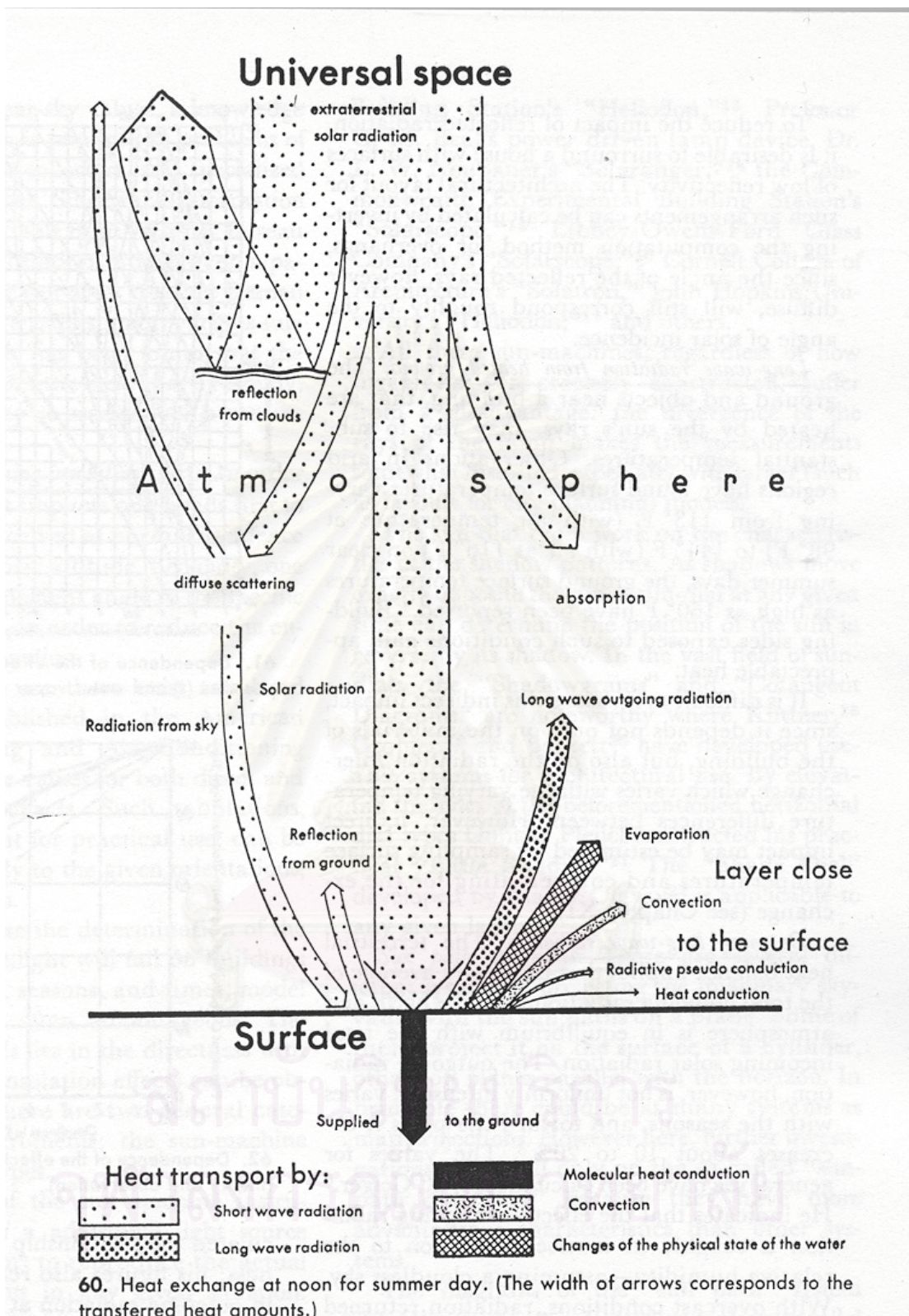
วัสดุที่ผิวไม่มันหรือไม่เป็นโลหะ (Non metallic) จะมีความสามารถคายความร้อนได้มากกว่าวัสดุโลหะ วัสดุสีเข้มจะมีการดูดซับความร้อนที่ดีและมีอุณหภูมิสูงได้อย่างรวดเร็วในขณะที่วัสดุสีอ่อนจะสะท้อนความร้อนได้ดีและมีอุณหภูมิต่ำกว่า วัสดุธรรมชาติจะดูดซับความร้อนไว้ได้ดีในขณะที่วัสดุที่มีผิวมันจะไม่ดูดซับความร้อน และมีอุณหภูมิต่ำลงได้เร็ว

### การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนและให้แสงสว่างแก่โลก รังสีความร้อนที่ผ่านเข้ามาถึงผิวโลกมีประมาณ  $420 \text{ Btu/ft}^2/\text{hr}$  หรือเท่ากับ  $1.94 \text{ Cal/cm}^2/\text{min}$  ทั้งนี้โลกได้รับรังสีความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะเป็นมากเนื่องจากมีบรรยากาศของโลกกรองเอาไว้ ส่วนหนึ่งของรังสีถูกดูดซับไว้ในบรรยากาศ บางส่วนต้องกระจายออกเพราะกระทบกับโมเลกุลของบรรยากาศ และแผ่กลับให้โลกในสภาพของรังสีแผ่กระจาย (Diffuse radiation) ส่วนหนึ่งของรังสีพื้นดินจะรับและอมความร้อนไว้และคายให้กับอากาศบริเวณรอบ ๆ และสิ่งที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้อากาศและสิ่งใกล้เคียงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ยิ่งพื้นผิวโลกมีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าใดรังสีความร้อนที่ได้รับก็เพิ่มขึ้นตามความสูง เนื่องจากมีการกรองจากชั้นบรรยากาศน้อยลง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-4 การถ่ายเทความร้อนช่วงเวลากลางวันในฤดูร้อน (Olgay,1991:33)



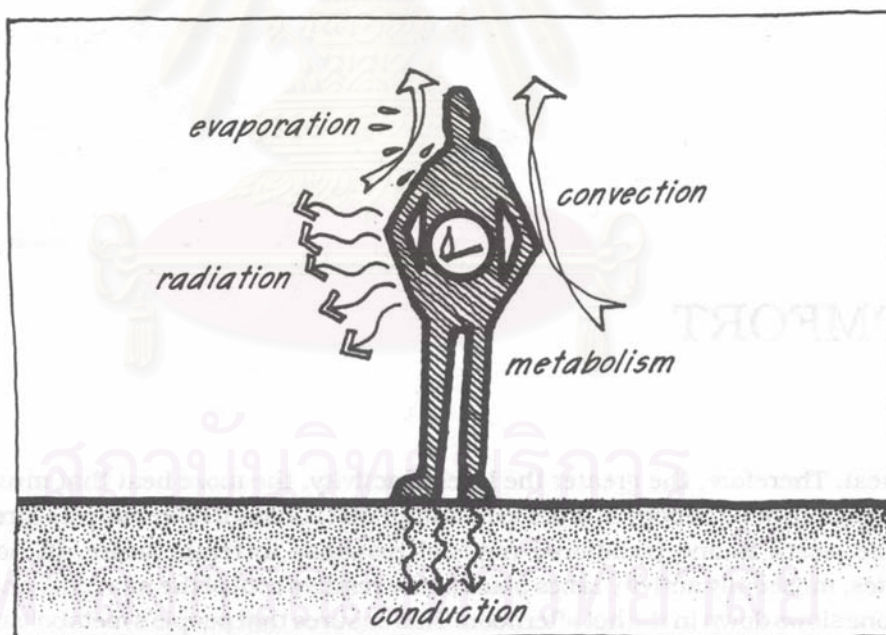
### ลักษณะการถ่ายเทรังสีความร้อน<sup>3</sup>

การแผ่รังสีความร้อนมีอยู่หลายลักษณะ ตามชนิดของต้นกำเนิด และลักษณะการถ่ายเท คือ

1. คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct radiation)
2. คลื่นรังสีสั้นแผ่กระจาย (Diffuse radiation)
3. คลื่นรังสีสั้นสะท้อนจากพื้นดิน และสิ่งใกล้เคียง
4. คลื่นรังสียาวจากพื้นดิน หรือสิ่งใกล้เคียงที่มีอุณหภูมิสูง
5. คลื่นรังสียาวที่อาคารแผ่กลับให้บรรยากาศ

1. + 2. คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์กับคลื่นรังสีแผ่กระจายรวมกัน เรียกว่า คลื่นรังสีรวม หรือการแผ่รังสีรวม (Total radiation)

3. การแผ่รังสีสะท้อนจากสิ่งที่อยู่ใกล้เคียง ปกติพื้นที่แน่นอนจะได้รับรังสีเป็น 2 เท่าของทางแนวตั้ง



ภาพที่ 2-5 ความร้อนที่เข้าสู่ร่างกาย (Moore, 1993)

<sup>3</sup>เรียบเรียงจาก สมสัทธา นิตยะ.การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น. (1000 เล่ม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.), หน้า 35-36.

### การสะท้อนของวัตถุที่กระทำกับรังสีดวงอาทิตย์

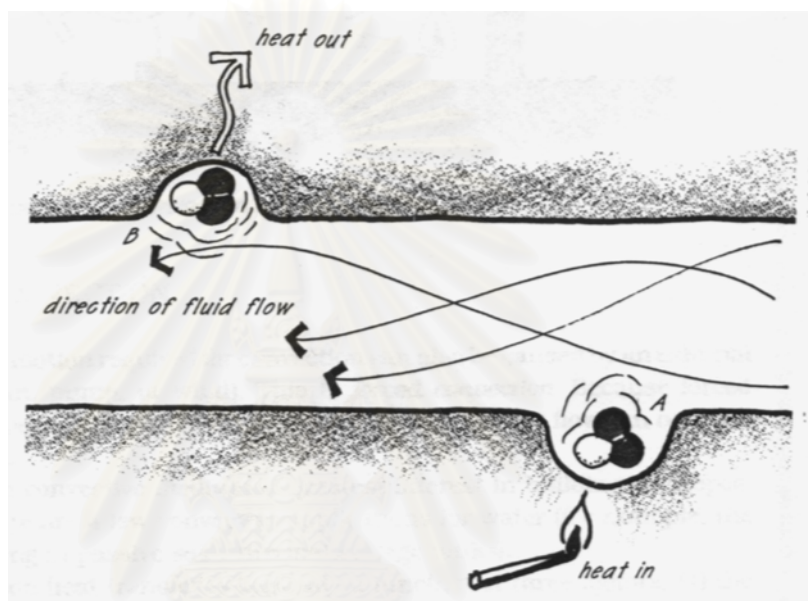
วัตถุ	ค่า % ของการสะท้อน
พื้นดินแห้ง	10 - 25
พื้นดินเปียก	9 - 9
ทรายแห้ง	18 - 30
ทรายเปียก	9 - 18
หิน	12 - 15
ฉิวรดำ	14
หญ้าแห้ง	32
หญ้าเขียว	3 - 15
ใบไม้เขียว	25 - 32
ป่าทึบ	5
ทะเลทราย	24 - 28
ลานเกลือ	42
อิฐ	23 - 48
แอสฟัลท์	15
บริเวณพื้นที่ทั่ว ๆ ไปของเมือง	10

4. คลื่นรังสียาวจากพื้นดิน หรือ สภาพแวดล้อมข้างเคียงที่มีอุณหภูมิสูง พื้นดินและวัตถุที่อยู่ใกล้อาคารรวมทั้งวัสดุที่ใช้เป็นผนัง หรือโครงสร้างผิวของตัวอาคาร เมื่อกระทบแสงแดด (การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์) จะร้อนขึ้นเสมือนเป็นต้นกำเนิดรังสีความร้อนได้เอง

5. คลื่นรังสียาวแผ่กลับสู่บรรยากาศ คลื่นรังสีความร้อนจะแผ่จากอาคารกลับคืนสู่บรรยากาศ บรรยากาศไม่ค่อยจะมีความเข้มของรังสีความร้อนมากนัก และจะแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาล และตำแหน่งของเส้นรุ้ง ยิ่งเส้นรุ้งสูง ๆ ไกลชั่วโลกเข้าไปก็ยิ่งมีค่าน้อยลง

### 1.1.3 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนคือการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของของไหล เช่น อากาศและน้ำผ่านตัวกลาง เมื่อสสารถูกทำให้ร้อนขึ้นโมเลกุลจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้นและแตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ก่อให้เกิดการขยายตัวของสสารนั้น ๆ โดยของแข็งจะมีการเพิ่มปริมาตรขึ้น ของเหลวและก๊าซจะมีความหนาแน่นต่ำลงและลอยตัวขึ้น



ภาพที่ 2-6 Heat transfer from A to B by convection. (Moore, 1993: 17)

จากภาพการถ่ายเทความร้อนจากด้านร้อน A ไปด้านเย็น B มีการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกจนมากระทบที่จุด A ความร้อนนี้จะถ่ายเทไปที่อากาศและพาความร้อนผ่านอากาศไปยังจุด B

ความแตกต่างของการนำความร้อนและการพาความร้อนคือความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของโมเลกุล การนำความร้อนนั้นโมเลกุลจะไม่เปลี่ยนตำแหน่งแต่จะเคลื่อนย้ายพลังงานจากโมเลกุลหนึ่งไปยังโมเลกุลใกล้เคียง ส่วนการพาความร้อนพลังงานจะถูกถ่ายเทไปโดยการนำไปของโมเลกุล



## 1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีค่าเท่ากับ  $1/\Sigma R$  มีหน่วยเป็น  $W / (m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  โดยค่า  $(\Sigma R)$  หมายถึงค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังมีหน่วยเป็น  $(m^2 \text{ } ^\circ\text{C}) / W$

ดังนั้นหากวัสดุผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากก็หมายถึงมีค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังน้อย ความร้อนจึงสามารถถ่ายเทเข้ามาสู่ภายในอาคารได้มากกว่า วัสดุผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากอาคารอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับภายใน ค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอก จะสามารถแยกออกได้เป็น 2 กรณีดังนี้

1. กรณีการถ่ายเทความร้อนในสภาวะคงที่ (Steady state) หรือมีอิทธิพลจากองค์ประกอบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกไม่รุนแรงนัก จะใช้สมการในการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนดังนี้ (ASHARE, 1989)

$$q = UA (t_o - t_i)$$

$q$  หมายถึง ปริมาณการถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) หรือบีทียู (Btu)

$U$  หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีหน่วยเป็น  $W / (m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  หรือ

$$\text{Btu} / (\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F})$$

$A$  หมายถึง พื้นที่ผิวที่ได้รับความร้อนมีหน่วยเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุต ( $m^2$ ,  $\text{ft}^2$ )

$t_o$  หมายถึง อุณหภูมิอากาศภายนอก มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสหรือ -

$$\text{องศาฟาเรนไฮน์ } (^\circ\text{C}, ^\circ\text{F})$$

$t_i$  หมายถึง อุณหภูมิอากาศภายใน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสหรือ -

$$\text{องศาฟาเรนไฮน์ } (^\circ\text{C}, ^\circ\text{F})$$

2. กรณีการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะไม่คงที่ อุณหภูมิภายนอกและภายในจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่แปรผันไปตลอดเวลาเนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ สิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศภายนอก การคิดคำนวณจะยุ่งยากซับซ้อนจึงได้มีการปรับการคำนวณแบบสภาวะไม่คงที่ให้อยู่ในรูปแบบสภาวะที่คงที่ จึงใช้ค่า CLTD (Cooling Load Temperature Difference) แทนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน ( $t_o - t_i$ ) จากการศึกษา (ASHARE, 1989) พบว่า ค่า CLTD ดัดแปลงมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในโดยคำนึงถึงอิทธิพลภายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา วัน เดือน ละติจูด มวลสารของผนัง ความชื้นและความอ่อนของสีผนัง และสภาพแวดล้อม เป็นต้น

ประเทศไทยการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่คำนึงถึงค่าการถ่ายเทความร้อนมวลสาร และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ใช้ค่า  $TD_{eq}$  (Equivalent Temperature Difference) ในการคำนวณแทนค่า CLTD ดังแสดงในตารางที่ 2-1 และ 2-2 โดยจะใช้สมการในการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อน ดังนี้ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536)

$$q = (U_w) (TD_{eq})$$

$q$  หมายถึง ปริมาณการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น  $W/m^2$

$U_w$  หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วยเป็น  $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$

$TD_{eq}$  หมายถึง ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ( $^\circ C$ ขป (พรสวัสดิ์ พิริยะศรัทธา, 17-19: 2540)

มวลของผนัง $กก\ m.^2$	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า				
	ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ )				
	0.1 <0 - 0.2>	0.3 <0.2 - 0.4>	0.5 <0.4 - 0.6>	0.7 <6 - 0.8>	0.9 <0.8 - 1.0>
0 - 125	14	15	16	17	18
126 - 195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536.

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังภายนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง [ $\alpha < 0.2$ ]	- ผิววัสดุที่ฉายด้วยดีบุก - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	- สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน [ $0.2 < \alpha < 0.4$ ]	- อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	- แลคเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา
3. วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง [ $0.4 < \alpha < 0.6$ ]	- วัสดุที่ทาสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีนํ้าเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง - สีเขียวปานกลาง
4. วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม [ $0.6 < \alpha < 0.8$ ]	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีนํ้าเงิน - สีเทาอ่อน - สีสนิมแก่ปานกลาง
5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม [ $0.8 < \alpha < 1.0$ ]	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย - คอนกรีตสีน้ำตาล - วัสดุถุงหลังคาสีเขียว - หินชนวนสีเทาแกมสีนํ้าเงิน  - อิฐสีแดง - อิฐแอสทฟอर्डสีนํ้าเงิน - คอนกรีตสีดำ	- สีนํ้าเงินแก่หรือสีเขียวแก่ - สีเทาแกมนํ้าเงินเข้ม - สีนํ้าตาลแก่ - สีโอลีฟเข้ม - สีดำ - แลคเกอร์สีนํ้าเงินแก่ - สีเทาแก่ - แลคเกอร์สีดำ - สีดำธรรมดา - สีดำเรียบมาก
$\alpha$ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์		

ตารางที่ 2-2 แสดงรายการวัสดุและสีผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์  
ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2536.

### 1.3 การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (Mean Radiant Temperature: MRT)

อุณหภูมิของพื้นผิวสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิร่างกายโดยที่ปัจจัยส่วนหนึ่งที่ประกอบขึ้นเป็นสภาวะนำสบายของมนุษย์คือการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ การคิดค่าการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ การคิดค่าการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมนี้คิดเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ของการแผ่รังสีจากแหล่งต่าง ๆ ในสภาวะแวดล้อม

#### สูตรการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{MRT} &= \frac{\sum T\theta}{360} \\ &= \frac{(T_1\theta_1 + T_2\theta_2 + \dots + T_n\theta_n)}{360} \end{aligned}$$

เมื่อ  $T$  = อุณหภูมิผิวของวัสดุ (Surface temperature)

$\theta$  = มุมที่เปิดรับกับพื้นผิววัสดุ ณ จุดที่ทำการวัด  
(Surface exposure angle relative to occupant in degrees)  
(วันเอก กิจสมใจ, 2539: 14-15)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.4 อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (Sol-air temperature)

### ความร้อนกับพื้นผิววัสดุ<sup>4</sup>

การแลกเปลี่ยนความร้อนของวัสดุโดยจากหลักการถ่ายเทความร้อนได้แก่

1. การนำความร้อน จะขึ้นอยู่กับ

ลักษณะของเนื้อวัสดุ

ความชื้นในเนื้อวัสดุ

ความแน่นของเนื้อวัสดุ

ปริมาณของโพรงอากาศในเนื้อวัสดุ

2. การที่ความร้อนเคลื่อนผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติในการพาความร้อน

3. การแผ่รังสีความร้อน การที่ความร้อนจากแหล่งกำเนิด

การลดการถ่ายเทความร้อนของวัสดุทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่ผิววัสดุจากการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนเป็นส่วนใหญ่

ปริมาณของการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้า ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ระดับความสูงของสถานที่จากระดับน้ำทะเล และการแผ่รังสีจากวัสดุหรือสิ่งแวดล้อมข้างเคียง ปริมาณของการพาความร้อนเป็นการถ่ายเทแลกเปลี่ยนกับอากาศที่อยู่รอบ ๆ ซึ่งถ้าลมมีความเร็วเพิ่มขึ้น ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนก็เพิ่มขึ้น

ผิววัสดุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศเหนือพื้นผิวโดยการพาความร้อนทำให้พื้นผิวมีอุณหภูมิต่ำลง เราสามารถเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ได้โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวหรือการทำพื้นผิวหยาบ และใช้คุณสมบัติของวัสดุได้แก่ การดูดซับความร้อนและคายความร้อนของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการสะท้อนความร้อนมากกว่าการดูดซับความร้อน และมีการคายความร้อนออกมาสม่ำเสมอจะมีอุณหภูมิต่ำ

คลื่นการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยคลื่นแสง (Visible light) ซึ่งมีความยาวคลื่น 0.3-0.7 ไมครอน และรังสีความร้อนคลื่นสั้น (Short Infrared radiation) ซึ่งมีความยาวคลื่น 1.7-2.5 ไมครอน เมื่อพลังงานของรังสีคลื่นสั้นนี้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับคลื่นแสงที่มองเห็นแล้ว การสะท้อนความร้อนของวัสดุจะขึ้นอยู่กับสีของวัสดุนั้น โดยวัสดุสีขาวจะมีค่าการสะท้อนแสง 90% ขึ้นไป และวัสดุสีดำจะมีค่าการสะท้อนแสง 15% หรือต่ำกว่า ของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ

<sup>4</sup> เรียบเรียงจาก Olygay, Victor. *Design with Climate*. (New York: Van Nostrand Reinhold, 1992,) pp.113-119. และสมสิทธิ์ นิตยะ. *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น*. (1000 เล่ม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.) หน้า 133-134.

การแลกเปลี่ยนความร้อนของวัสดุกับสิ่งแวดล้อมจะเกิดจากรังสีคลื่นยาว (Longer Infrared wavelengths) ซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 2.5 ไมครอน หรือประมาณ 5-20 ไมครอน โดยทั่วไปใช้ประมาณ 9 ไมครอน โดยการแผ่รังสีของวัสดุจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของพื้นผิววัสดุและการจัดเรียงโมเลกุลมากกว่าขึ้นอยู่กับสี

ตารางที่ 2-3 ค่าคุณสมบัติการสะท้อนและดูดซับรังสีความร้อน (Olgay: 1992)

ลักษณะพื้นผิว	การสะท้อน		การดูดซับ
	รังสีดวงอาทิตย์	รังสีความร้อน	รังสีความร้อน
พื้นผิวเงินขัดเงา	93	98	2
พื้นผิวอลูมิเนียมขัดเงา	85	92	8
พื้นผิวทองแดงขัดเงา	75	85	15
สีขาว (White wash)	80	-	-
แผ่นโครเมียม	72	80	20
พื้นผิวตะกั่วสีขาว	71	11	89
หินอ่อนสีขาว	54	5	95
สีเขียวอ่อน	50	5	5
สีอลูมิเนียม	45	45	55
ไม้	40	5	95
ซีเมนต์แอสเบสทอสอายุ 1 ปี	29	5	95
อิฐแดง	23-30	6	94
สีเทา	25	5	95
เหล็กกล้าวไนซ์	10	72	28
วัสดุสีดำ	3	5	95

ที่มา : Handbook of Chemistry and Physics, Dept. Scient. & Ind. Research (England), Coblenz, Cammerer, Drysdale. อ้างถึงใน Design with climate



**อุณหภูมิผิววัสดุ (Sol – air temperature)** คือ อุณหภูมิสมมุติของอากาศที่ติดกับผิวของวัสดุในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดด และการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบเท่ากับการแผ่รังสีจริงของดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า, สิ่งแวดล้อม และการพาความร้อนของอากาศ

Sol – air temperature is the temperature of the outdoor air that, in the absence of all radiation changes, gives the same rate of heat entry into the surface as would the combination of incident solar radiation, radiant energy exchange with the sky and other outdoor surroundings, and convective heat exchange with the outdoor air. (ASHRAE , 1997: 28.5)

การคำนวณค่า Sol – air temperature สามารถทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

Sol – air temperature	$(T_e)$	=	$T_{out} + I * \alpha / h_o - \epsilon \Delta R / h_o$
-----------------------	---------	---	--

โดยที่	$T_e$	=	Sol – air temperature
	$T_{out}$	=	อุณหภูมิอากาศภายนอก (Outdoor Air temperature) °F
	$I$	=	ปริมาณรังสีความร้อนที่ตกกระทบ Btu/(h.ft <sup>2</sup> ) (Total solar radiation incident on surface)
	$\alpha$	=	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนของผิววัสดุ (Absorbance of surface for solar radiation)
	$h_o$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของรังสีคลื่นยาวและการนำความร้อนที่ผิวภายนอกวัสดุ (Btu/h. ft <sup>2</sup> . °F) (Coefficient of heat transfer by long-wave radiation and convection at outer surface)
	$\Delta R$	=	ค่าความแตกต่างระหว่างอัตราแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุของสิ่งแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu/ h. ft <sup>2</sup> .) (Difference between long-wave radiation incident on surface from sky and surroundings and radiation emitted by blackbody at outdoor air temperature)
	$\epsilon$	=	สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากพื้นผิว (Hemispherical Emittance of surface)

### พื้นผิว

พื้นผิวแนวราบ (Horizontal surface) จะรับการแผ่รังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าเท่านั้น ค่า  $\Delta R$  ที่เหมาะสมคือ  $20 \text{ Btu/h. ft}^2$  จึงทำให้ถ้า  $\epsilon = 1$  และ  $h_o = 3.0 \text{ Btu/h. ft}^2\text{°F}$  ค่า  $\epsilon \Delta R / h_o$  ในส่วนท้ายของสมการจะเท่ากับ  $-7 \text{ °F}$

ส่วนพื้นผิวแนวตั้ง (Vertical surface) จะรับการแผ่รังสีคลื่นยาวจากพื้นดินและสิ่งแวดล้อมโดยรอบเท่า ๆ กับที่ได้รับจากท้องฟ้า จึงไม่สามารถกำหนดค่า  $\Delta R$  ที่แน่นอนได้ และเมื่อปริมาณความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์สูงขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุโดยส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเสมอ ด้วยเหตุนี้ปริมาณการแผ่รังสีคลื่นยาวออกจากวัตถุที่เพิ่มขึ้นก็สามารถชดเชยกับค่าการกระจายความร้อนของท้องฟ้าที่มีค่าต่ำ เพราะฉะนั้นในการคำนวณปกติจึงคิดค่า  $\Delta R$  สำหรับพื้นผิวแนวตั้งเท่ากับ  $0 \text{ Btu/h. ft}^2$  และทำให้ส่วนท้ายของสมการเท่ากับ 0

สีอ่อนใช้  $\alpha / h_o = 0.15$  สีเข้มใช้  $\alpha / h_o = 0.30$

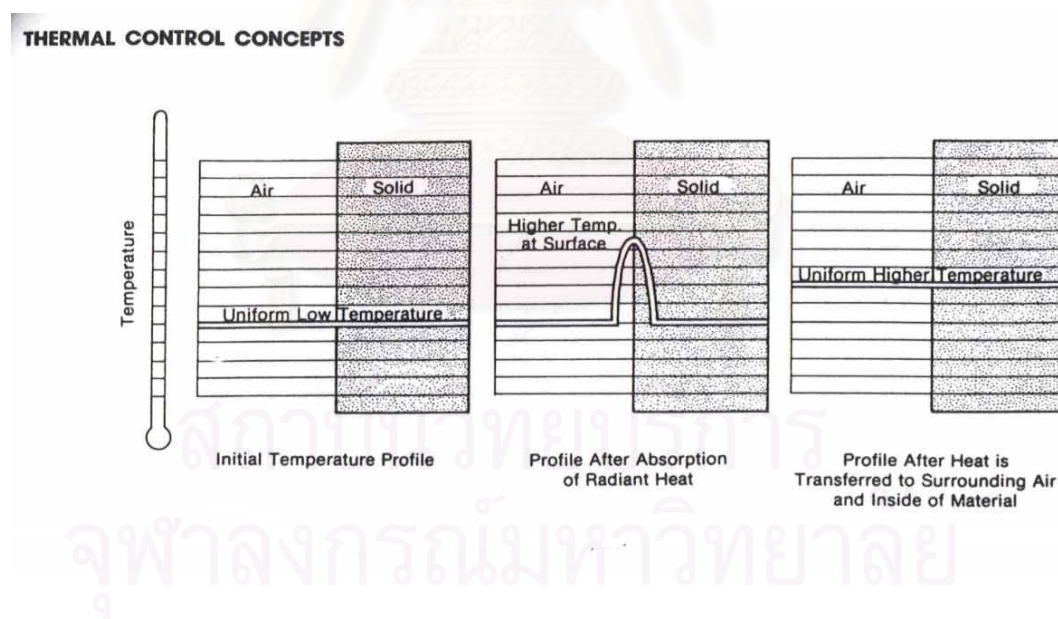
การวิจัยนี้ได้กำหนดอุณหภูมิพื้นผิววัสดุเป็นหนึ่งในตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารที่มีมวลสารมาก จากสมการเริ่มต้นเมื่อควบคุมตัวแปรคุณสมบัติของวัสดุ เช่น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของรังสีคลื่นยาว และการนำความร้อนที่ผิวภายนอกวัสดุ และสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนของผิววัสดุมวลมากซึ่งในการวิจัยใช้คอนกรีต และมุมของพื้นผิวซึ่งใช้มุมแนวตั้งแล้ว อุณหภูมิพื้นผิววัสดุจะมีผลต่อสีทาภายนอก ความหยาบของพื้นผิว และการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

## ส่วนที่ 2 การถ่ายเทความร้อนผ่านมวลสาร

### 2.1 การเก็บกักความร้อน (Heat Storage)<sup>5</sup>

แหล่งกำเนิดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารดังที่กล่าวมาแล้วได้แก่ จากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์, สิ่งแวดล้อม, อากาศภายนอกอาคาร, อุปกรณ์ภายในอาคาร และผู้ใช้อาคาร ซึ่งส่วนใหญ่ ความร้อนที่เข้ามาจะไม่เพิ่มอุณหภูมิภายในทันที เนื่องจากความร้อนเหล่านั้นจะต้องกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ และเพิ่มอุณหภูมิภายในของมวลวัสดุและอุณหภูมิอากาศที่สัมผัสผิววัสดุนั้น ๆ จนเกิดการอิมิตัว และคอย ๆ คายความร้อนออกมา หรือการถูกพาความร้อนจากอากาศบริเวณผิววัสดุไปยังอากาศภายในห้องภายในเวลาต่อมา

ความร้อนจำนวนหนึ่งที่ถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสารของวัสดุทำให้อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุสูงขึ้นกว่ามวลสารภายในและได้ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ติดกับผิววัสดุนั้นสูงขึ้นด้วย จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้ทำให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปในตัววัสดุโดยการนำความร้อน และสู่อากาศโดยการพาความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในเท่ากัน ดังภาพที่แสดงดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2-7 Radiant heat penetration into a solid object

(Bradshaw, 1993: 82)

<sup>5</sup> เรียบเรียงจาก Bradshaw, Vaughn. *Building control system*, 2<sup>nd</sup> ed. (USA: John Wiley and sons, 1993), pp.81-84. และ สมสิทธิ์ นิตยะ. *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น*. (กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541), หน้า 139-140.

ความร้อนที่ผ่านเข้าสู่วัสดุได้ถูกสะสมไว้ในตัวมวลวัสดุ และความร้อนที่ถูกพาโดยอากาศก็จะเป็นการถ่ายเทความร้อน (Heat gain) เข้าสู่ภายในห้อง สัดส่วนของความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่จะสะสมในเนื้อวัสดุมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ

1. อัตราส่วนของค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุนั้นกับค่าความต้านทานความร้อน ที่ชั้นบาง ๆ ของอากาศ (Air film) ที่สัมผัสวัสดุนั้นอยู่
2. ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวของวัสดุกับอุณหภูมิในเนื้อวัสดุเปรียบเทียบกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวกับอุณหภูมิของอากาศที่ผิววัสดุรอบ ๆ

ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุทุกชนิดโดยปกติจะต่ำกว่าค่าความต้านทานความร้อนฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุมาก เพราะฉะนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศเท่ากับอุณหภูมิผิวของวัสดุ ความร้อนจะไม่ถ่ายเทออกไปแต่จะสะสมอยู่ในตัวมวลวัสดุ อย่างไรก็ตามเมื่อวัสดุมีการสะสมความร้อนต่อไป อุณหภูมิภายในมวลวัสดุจะเริ่มสูงขึ้นซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกไปอย่างช้า ๆ โดยความร้อนจะสะสมอยู่ภายในตัววัสดุเอง ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่สัมผัสอยู่กับพื้นผิววัสดุสูงขึ้นมาก ๆ การถ่ายเทความร้อนออกไปจากพื้นผิววัสดุก็ยิ่งน้อยลง แต่จะถูกสะสมอยู่ในวัสดุมากขึ้น

นอกจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีแล้ว ยังเกิดจากการพาความร้อนจากอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณรอบ ๆ ผิววัสดุอีกด้วย แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจากสาเหตุดังกล่าวยังไม่เด่นชัดเท่าการแผ่รังสีความร้อนเนื่องจากการส่งผ่านความร้อนผ่าน Air film มีค่าน้อย ผลกระทบของการแผ่รังสีความร้อนจึงเห็นได้ชัดเจนกว่า

ความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนจะมีค่ามากขึ้นและน้อยลงในระหว่างวัน โดยปริมาณความร้อนจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากผ่านช่วงที่มีความร้อนสูงสุด (Peak) ความร้อนที่เข้ามาจะมีจำนวนมากและเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการถ่ายเทออกไป ทำให้เกิดการกักเก็บความร้อนจำนวนมากไว้ในอาคารตั้งแต่ที่ความร้อนเริ่มเข้ามา และค่อย ๆ ถ่ายเทออกไปอย่างช้า ๆ ความร้อนที่เก็บในวัสดุและอุปกรณ์ภายในอาคารมีลักษณะคล้ายฟองน้ำซับน้ำ และความสามารถของวัสดุในการเก็บความร้อนจะขึ้นอยู่กับมวลสารและค่าความร้อนจำเพาะ เมื่อมวลสารร้อนขึ้นจะลดความสามารถในการเก็บความร้อนที่เข้ามาและเมื่อรับความร้อนจนถึงจุดอิ่มตัวที่ไม่สามารถรับความร้อนต่อไปได้อีก มวลสารจะคายความร้อนออกมา เปรียบได้กับฟองน้ำซับน้ำจนอิ่มตัวและไม่สามารถรับน้ำได้อีกต่อไป

ในห้องปรับอากาศความร้อนระหว่างวันจะถูกสะสมในวัสดุ เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางคืนแล้วความร้อนที่สะสมอยู่จะคายออกมา ซึ่งปริมาณความร้อนนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิววัสดุและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร ถ้าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิผิววัสดุจะคายความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก แต่ถ้าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงกว่า

อุณหภูมิผิววัสดุ ความร้อนจะคงอยู่ภายในอาคารต่อไป และกลายเป็นภาระการทำความร้อน (Cooling load) ของการปรับอากาศในวันต่อมา

### การถ่ายเทความร้อนผ่านมวลสาร

ปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. คลื่นความร้อนจะจางลง ปริมาณความร้อนผ่านเข้ามาได้บางส่วน เกิดจากคุณสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุ ที่ได้จากค่าของสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งยิ่งต่ำก็ยิ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

2. เกิดช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้จากคุณสมบัติของความร้อนจำเพาะของวัสดุกับมวลของวัสดุ ซึ่งค่าการกักเก็บความร้อนยิ่งมาก ก็ยังมีเวลาที่ได้จากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมาก อากาศจึงเป็นฉนวนความร้อนที่ดี วัสดุที่มีโพรงอากาศอยู่ภายในจึงมีน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนความร้อน ในทางตรงกันข้ามวัสดุที่น้ำหนักมากมีมวลแน่นเป็นวัสดุที่มีช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ดี

การวิเคราะห์ข้อมูลรายปีของอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด (พิสัย) นำไปสู่การออกแบบใช้วัสดุที่มีความจุความร้อนดังนี้ (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541)

ตารางที่ 2-4 การวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างกันของอุณหภูมิในชั่วโมง

ความแตกต่างของอุณหภูมิชั่วโมง	วัสดุที่ควรใช้น้ำหนัก/ตารางเมตรของอาคาร
6 – 8 °C (11 – 14 °F)	300 Kg/m <sup>2</sup>
10 – 12 °C (18 – 22 °F)	600 – 700 Kg/m <sup>2</sup>
> 20 °C ( > 36 °F)	1,200 Kg/m <sup>2</sup> ขึ้นไป

สำหรับกรุงเทพ และภาคกลางซึ่งมีพิสัยประมาณ 12°C จึงควรใช้วัสดุที่มีน้ำหนักประมาณ 600 – 700 Kg/m<sup>2</sup>

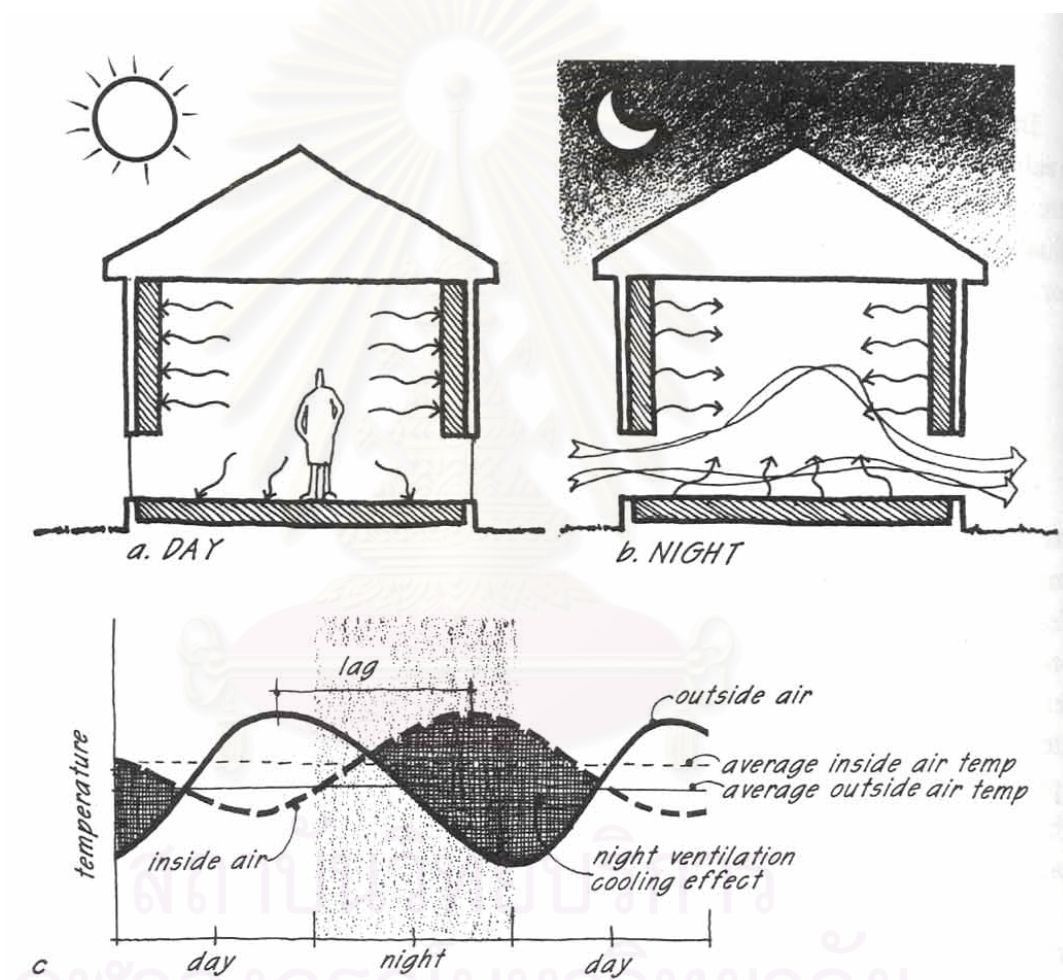
อย่างไรก็ดีข้อมูลอันนี้เป็นการประมาณอย่างคร่าว ๆ และไม่คิดถึงการวิเคราะห์สภาวะน่าสบาย กับช่วงเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนอันแท้จริง

การใช้ผนังมวลสารมากเหมาะสมสำหรับภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงระหว่างวันสูง ๆ และอุณหภูมิอากาศภายนอกที่สูงสุดและต่ำสุดมีค่าเกินกว่าที่ต้องการ โดยในช่วงเวลากลางวันความร้อนจะถูกกักเก็บไว้ในมวลสารทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอยู่ในช่วงที่ต้องการ ช่วงเวลา



กลางคืนที่อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำลง ผนังจะคายความร้อนออกสู่อากาศภายนอก ทำให้ภายในอาคารเย็นสบาย

ผนังมวลสารมากจะใช้ประโยชน์ได้ดีกับภูมิอากาศร้อนแห้ง ซึ่งต้องป้องกันรังสีความร้อนในช่วงเวลากลางวัน ในภูมิอากาศร้อนชื้นเช่นประเทศไทยจะต้องมีการใช้การระบายอากาศร้อนออกในช่วงเวลากลางคืนด้วย โดยปิดอาคารในช่วงเวลากลางวัน และเปิดอาคารให้มีการระบายอากาศในช่วงเวลากลางคืน ในช่วงที่ไม่มีลมนั้นอาจใช้แหล่งกำเนิดลมอาจเป็นพัดลมหรือเครื่องกลได้

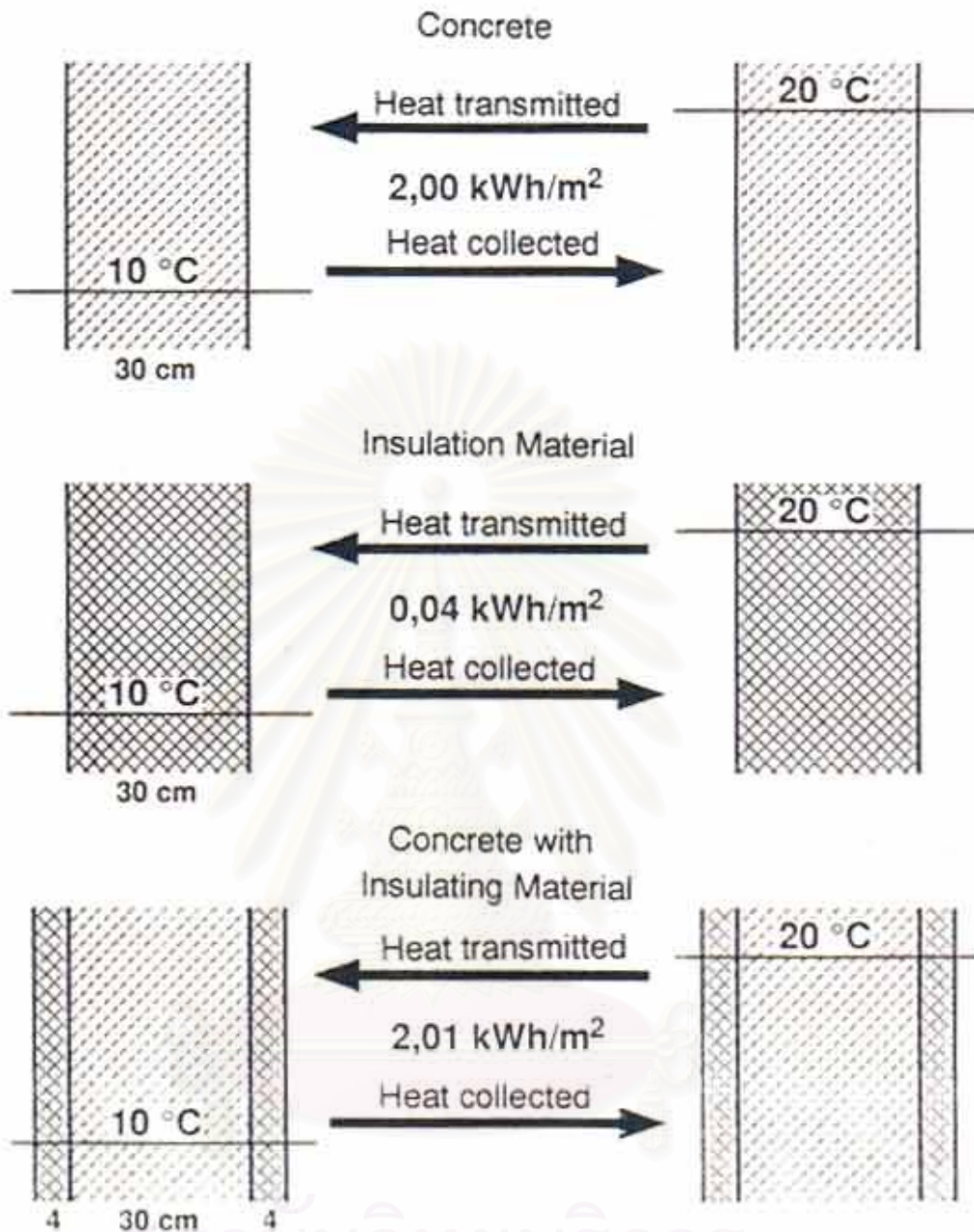


ภาพที่ 2-8 a. มวลสารก็เก็บความร้อนระหว่างวันและไม่มีกการระบายอากาศ

b. การระบายอากาศจากลมเย็นช่วงเวลากลางคืนช่วยลดความร้อน

c. กราฟแสดงอุณหภูมิภายในและภายนอก (Moore, 1993: 210)





ภาพที่ 2-9 การเปรียบเทียบค่าการเก็บกักความร้อนของแต่ละวัสดุที่แตกต่างกัน

(Bansal, Gerd and Grenot, 1994: 43)

จากภาพ จะพบว่าวัสดุที่มีค่าการเก็บกักความร้อนสูงกว่า เช่น คอนกรีต ที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนจะมีการกักเก็บความร้อนได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดาและวัสดุฉนวนกันความร้อน

## 2.2 การคำนวณความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัสดุ (Thermal Storage Conductivity<sup>6</sup>)

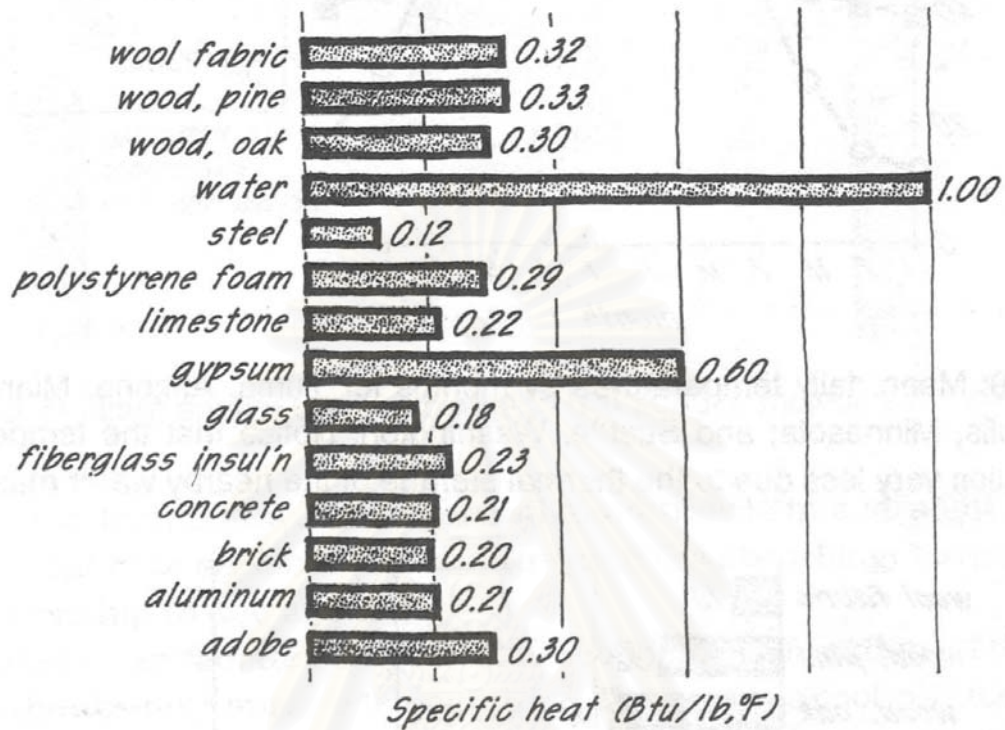
เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการกักเก็บหรือสะสมความร้อนของวัสดุ

ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) เป็นค่าพลังงานของวัสดุ 1 ลิตรที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิทุก ๆ 1 องศาฟาเรนไฮน์ มีหน่วยเป็น Btu/lb.°F โดยน้ำจะใช้พลังงาน 1 Btu/lb ในการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °F ทำให้น้ำมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1 และทำให้มีอุณหภูมิคงที่อาคารที่ตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน 1 วันน้อยกว่าที่อื่น

โดยทั่วไปถ้าอากาศภายนอกมีอุณหภูมิคงที่ ค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ (Thermal storage) จะมีผลเพียงเล็กน้อยกับอุณหภูมิภายในอาคาร อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน ค่าความร้อนจำเพาะที่ใช้ไม่สามารถครอบคลุมถึงปริมาณความร้อนที่กักเก็บไว้ได้ จึงใช้ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ที่สามารถวัดปริมาณความร้อนที่กักเก็บต่อ 1 หน่วยปริมาตรของวัสดุได้ โดยใช้ค่าความหนาแน่น (Density) มีหน่วยคือ lb/ft<sup>3</sup> มาเทียบเป็นหน่วยปริมาตรวัสดุ โดยค่าความจุความร้อนมีหน่วยเป็น Btu/ft<sup>3</sup>.°F และนำค่าการนำความร้อน (Conductance) มาใช้เพื่อให้สามารถวัดค่าการถ่ายเทความร้อนจากผิววัสดุไปภายในมวลสารได้ เรียกค่าทั้งหมดว่า Thermal storage capacity

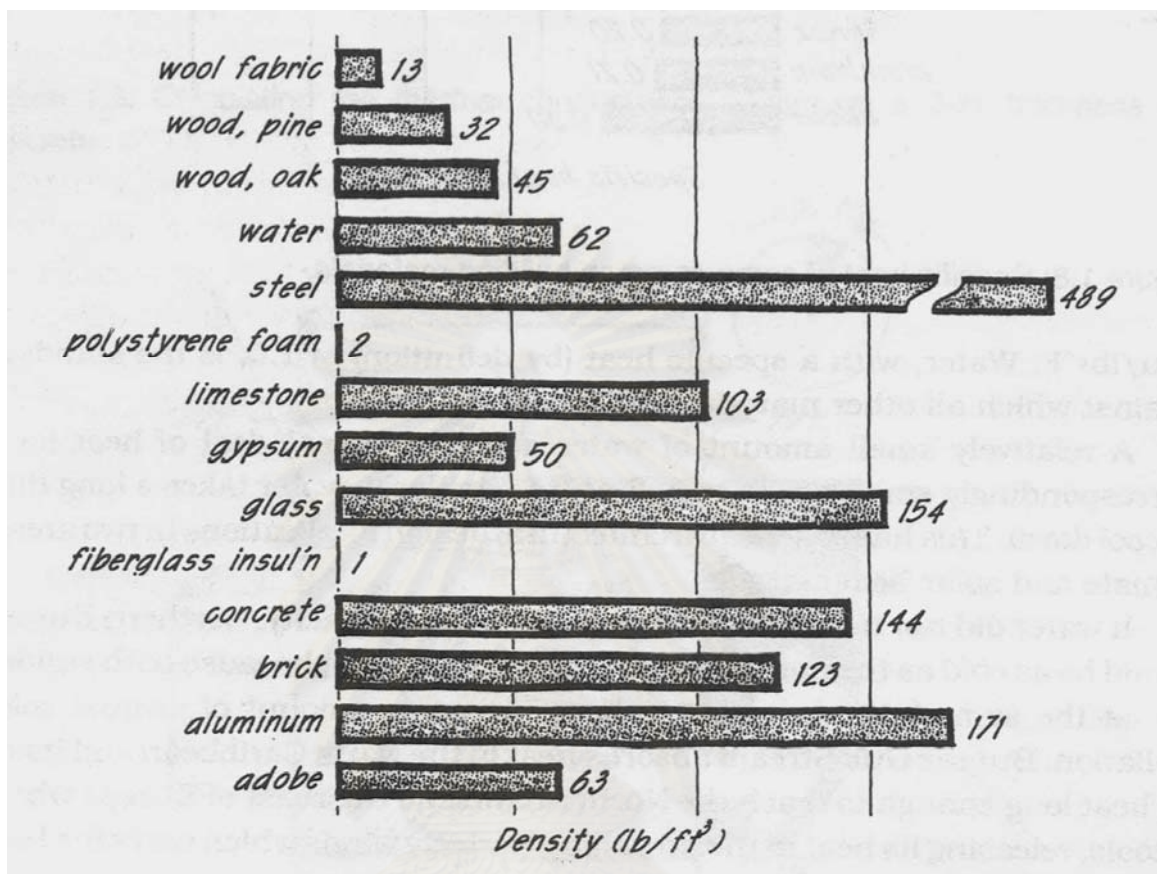
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>6</sup> เรียบเรียงจาก Moore, Fuller. Environmental control system: Heating cooling lighting. (Singapore: McGraw-Hill, 1993), pp.11-13.



แผนภูมิที่ 2-1 ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุก่อสร้างบางชนิด (Moore, 1993: 11)

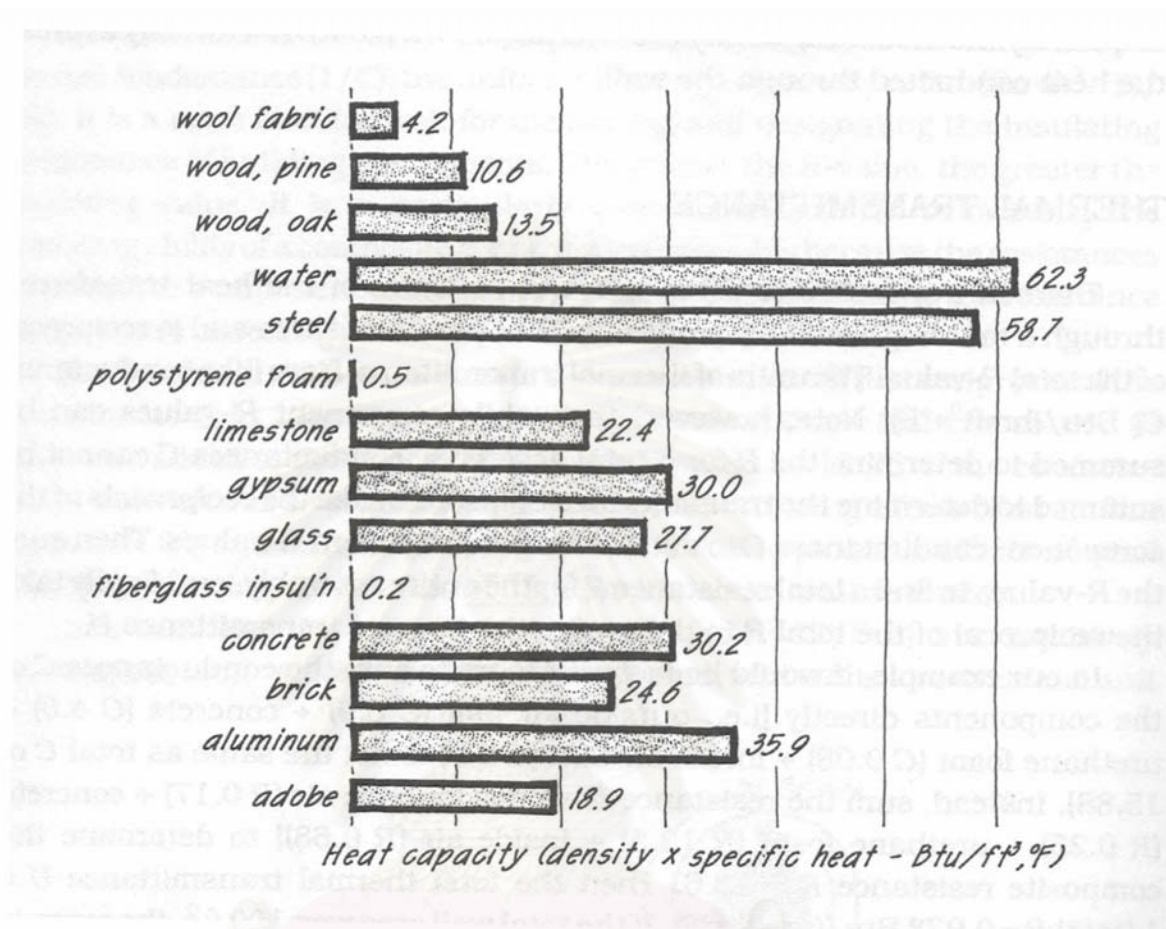
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2-2 ค่าความหนาแน่นของวัสดุก่อสร้างบางชนิด (Moore, 1993: 12)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

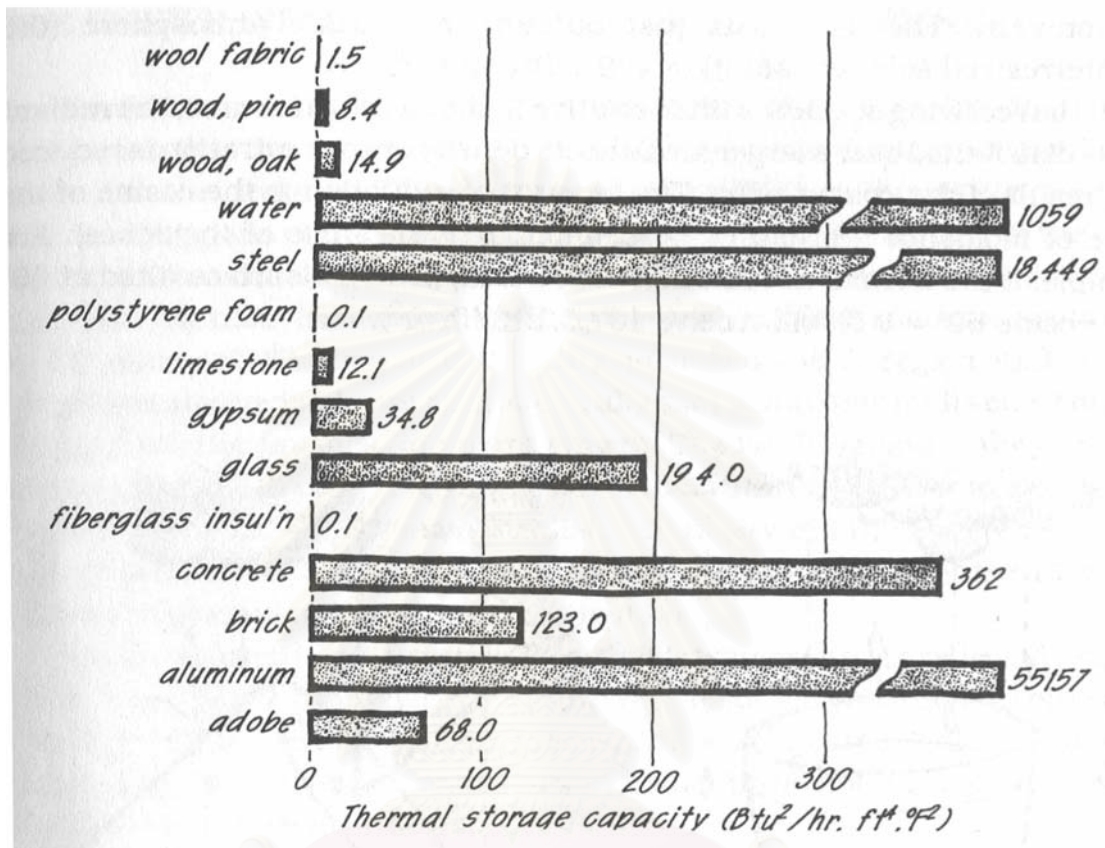




แผนภูมิที่ 2-3 ค่าความจุความร้อน (ความหนาแน่น\*ความร้อนจำเพาะ) ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด

(Moore, 1993: 12)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2-4 Thermal storage capacity (ความหนาแน่น\*ความร้อนจำเพาะ\*ค่าการนำความร้อน) ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด (Moore, 1993: 13)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ค่า Thermal storage capacity สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Thermal Storage Capacity} = \rho \cdot S \cdot K, \text{ Btu}^2/(\text{h} \cdot \text{ft}^4 \cdot \text{°F}^2)$$

K = ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) หน่วย Btu/h.ft.°F

S = ความร้อนจำเพาะ หน่วย Btu/lb.°F

$\rho$  = ความหนาแน่น หน่วย lb/ft<sup>3</sup>

นอกจากนั้นค่าที่ใช้วัดการเก็บกักความร้อนของวัสดุมีอีกหลายค่าด้วยกัน ได้แก่

1. Thermal Diffusivity (ASHRAE, 1997: 39.12)

$$\alpha = K/(\rho \cdot S)$$

$\alpha$  = Thermal Diffusivity

K = ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) หน่วย Btu/h.ft.°F

S = ความร้อนจำเพาะ หน่วย Btu/lb.°F

2. The stored thermal energy (Bansal, Gerd and Grenot, 1994: 42)

$$Q = \rho \cdot V \cdot S \cdot \Delta t$$

Q = The stored thermal energy หน่วย Btu

$\rho$  = ความหนาแน่น หน่วย lb/ft<sup>3</sup>

V = ปริมาตร หน่วย ft<sup>3</sup>

S = ความร้อนจำเพาะ หน่วย Btu/lb.°F

$\Delta t$  = ความแตกต่างของอุณหภูมิ หน่วย °F

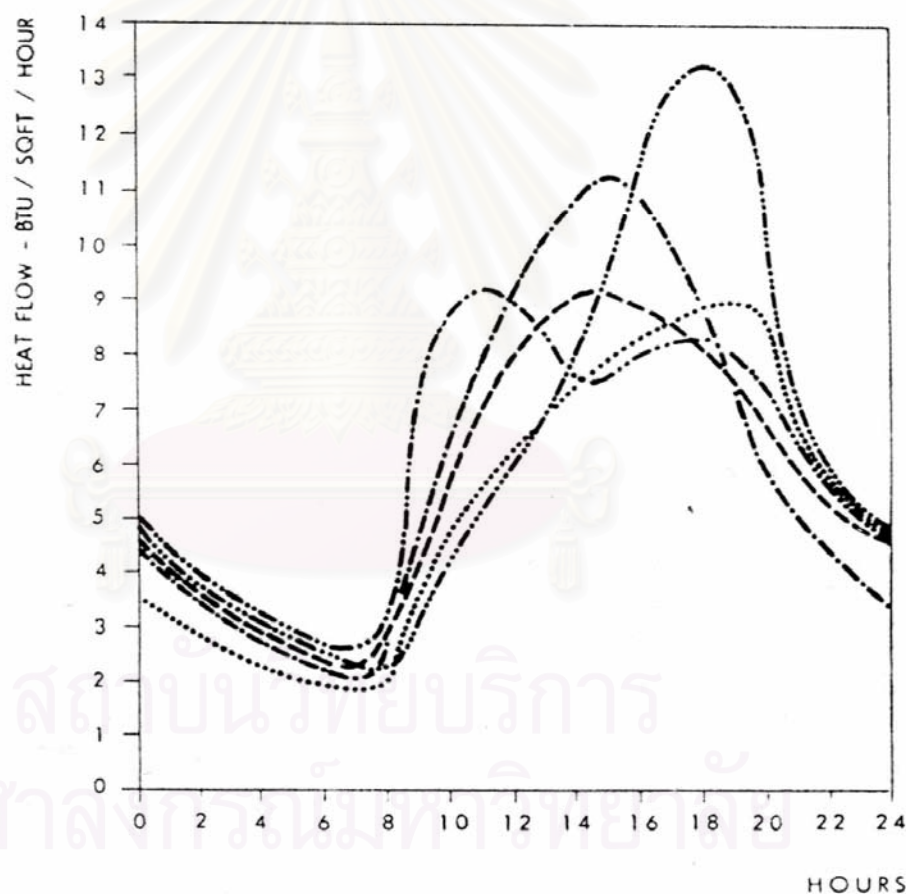
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ส่วนที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 การหน่วงความร้อน (Time lag)<sup>7</sup>

การหน่วงเหนี่ยวความร้อนคือช่วงเวลาที่วัสดุสามารถเก็บกักปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่งจนวัสดุอิ่มตัวและคายความร้อนออกมาสู่ภายในซึ่งจะเลื่อนการเกิดความร้อนสูงสุดภายในออกไปจากช่วงเวลาที่การเกิดความร้อนสูงสุดที่ภายนอกได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ๆ วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงกว่ามวลสารน้อย

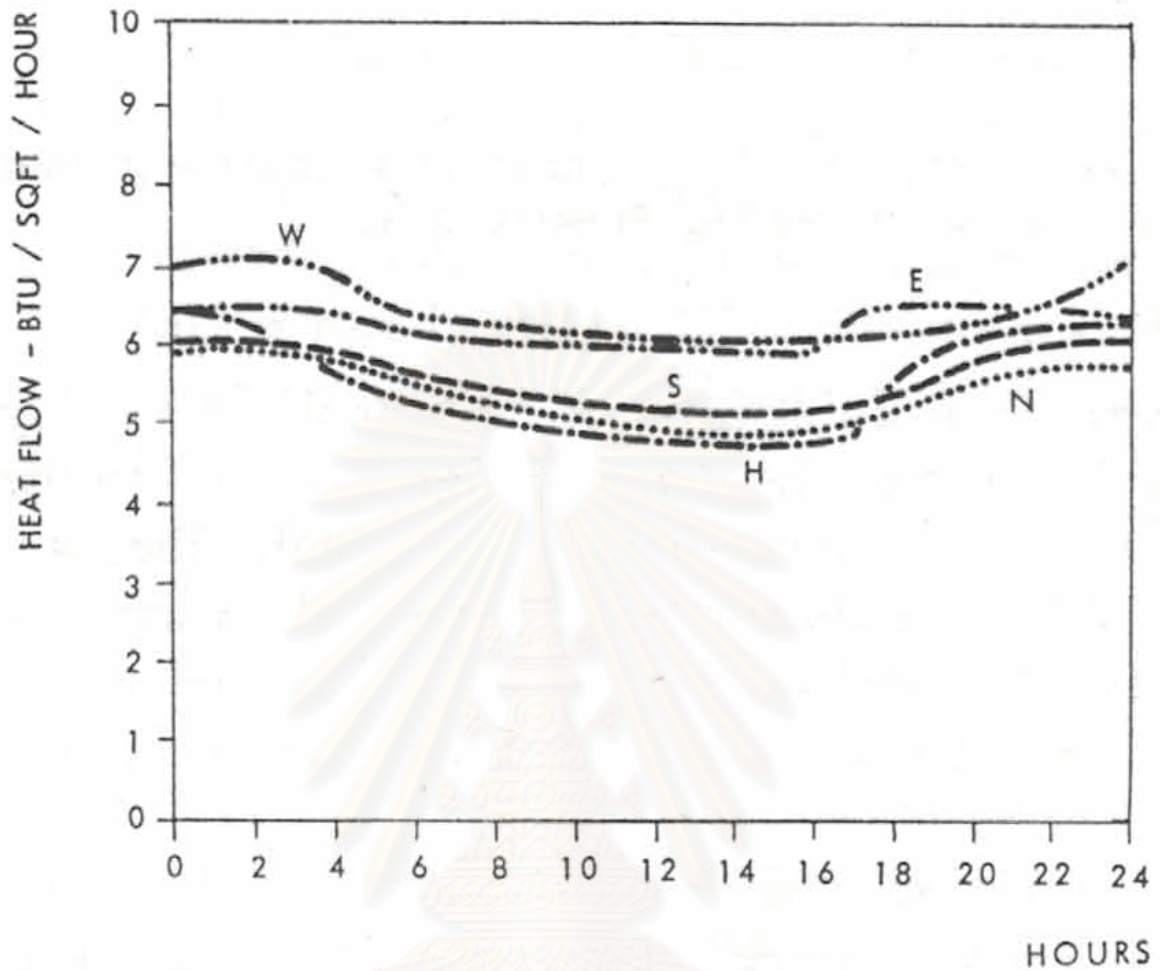
จากการทดลองที่ Housing development กรุงแบกแดด ประเทศอิรัก ในฤดูร้อนวันที่ 21 กรกฎาคม และใช้วัสดุเป็นสีขาวอ่อน ได้กราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ มวลสารน้อย และมวลสารมากดังนี้



Behaviour of light wood structure, Iraq, July.

แผนภูมิที่ 2-5 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของไม้ (Olgay, 1993:117)

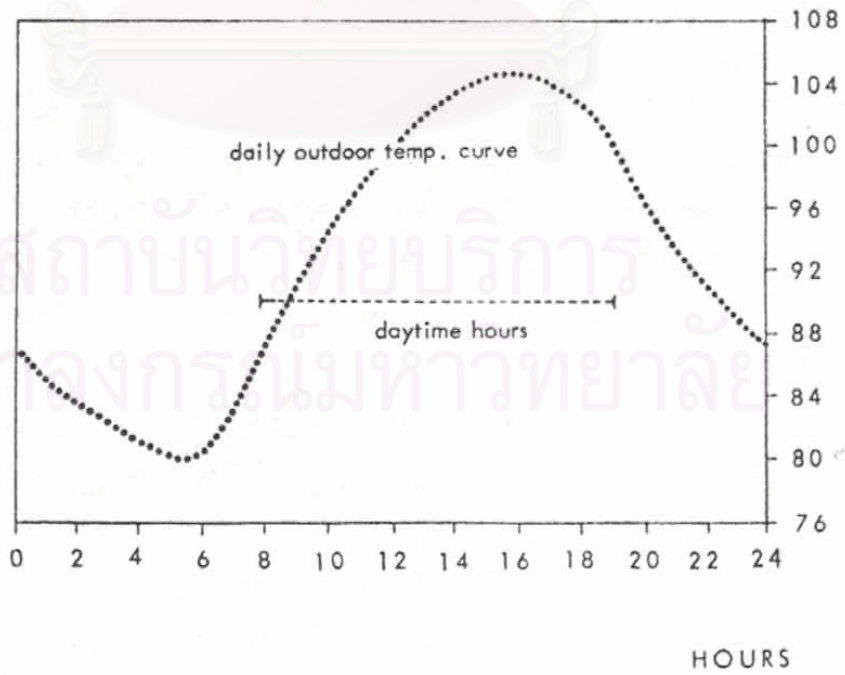
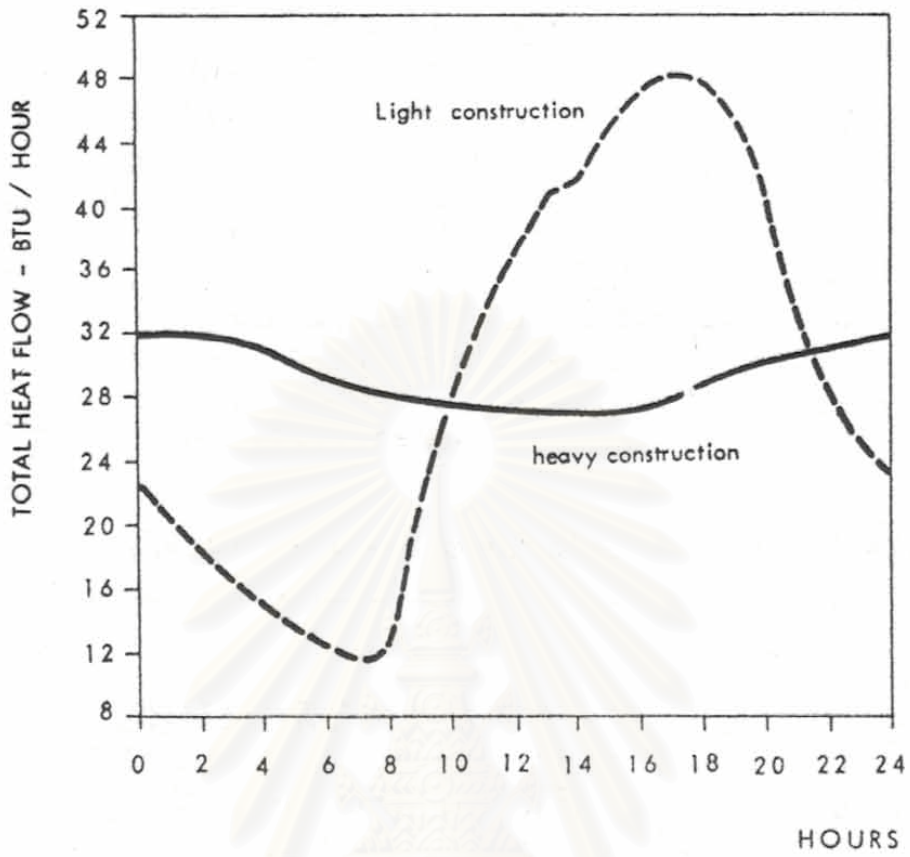
<sup>7</sup> เรียบเรียงจาก สมสัทธา นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น. 1000 เล่ม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.



Behavior of 9'' brick structure, Iraq, July.

แผนภูมิที่ 2-6 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของอิฐหนา 9 นิ้ว (Olgyay, 1993:117)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Thermal behaviour comparison of the structures, Iraq, July.

แผนภูมิที่ 2-7 เส้นประแสดงความร้อนที่ผ่านเข้าไปของผนังไม่มีค่า  $U = 0.268$  และเวลาหน่วงความร้อน 2 ชั่วโมง เส้นทึบแสดงความร้อนที่ผ่านผนังอิฐพื้นเมืองหนา 9" เวลาหน่วงความร้อน 10 ชั่วโมง (Olgay, 1993:117)

ผนังเบาจะร้อนขึ้นในเวลาเดียวกับที่อุณหภูมิภายนอกสูงขึ้น ดังนั้นผนังที่มีน้ำหนักมากจะสามารถรักษาอุณหภูมิภายในได้ดีกว่าในตอนกลางวันและจากการวิจัยค้นพบว่า การเพิ่มความหนาของวัสดุ ไม่เพียงแต่เพิ่มระยะเวลาหน่วงความร้อนเท่านั้น อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกซึ่งกระทบแสงแดดยังคงลดลง และ ยืดเวลาของการที่วัสดุเองจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นออกไปอีกด้วย

ตารางที่ 2-5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและระยะเวลาหน่วงความร้อนสำหรับผนังที่มีเนื้อวัสดุชนิดเดียวกันทั้งแผ่น (Heat transmission coefficient and time lag for homogeneous walls) (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541)

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	ค่า U (Btu/ft <sup>2</sup> /hr)	ระยะเวลาหน่วงความร้อน (ชั่วโมง)
หิน	8	0.67	5.5
	12	0.55	8.0
	16	0.47	10.5
	24	0.36	15.5
คอนกรีต	2	0.98	1.1
	4	0.84	2.5
	6	0.74	3.8
	8	0.66	5.1
	12	0.54	7.8
	16	0.46	10.2
อิฐ	4	0.60	2.3
	12	0.31	8.5
	16	0.25	12.0
อิฐประดับ	4	0.77	2.4
ไม้	1/2	0.68	0.17
	1	0.48	0.45
	2	0.30	1.3

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	ค่า U (Btu/ft <sup>2</sup> /hr)	ระยะหน่วงความร้อน (ชั่วโมง)
แผ่นฉนวน (Insulating Board)	1/2	0.42	0.88
	1	0.26	0.23
	2	0.14	0.77
	4	0.08	2.7
	6	0.05	5.0

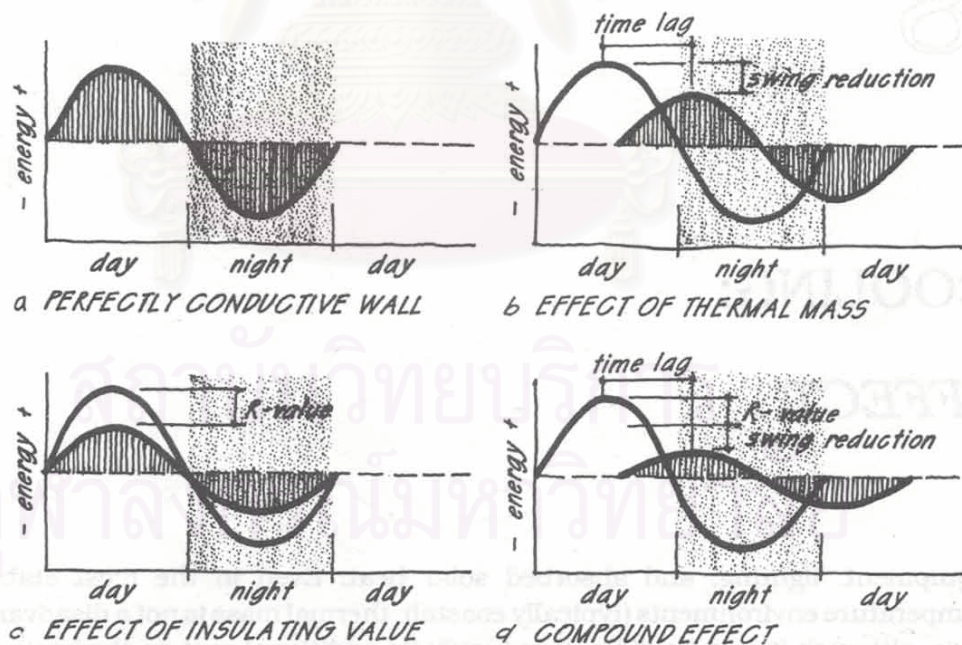
\*หมายเหตุ

ค่าที่ได้ในตารางนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้มาโดยการให้

ค่าการนำความร้อน (ที่ผิว) ภายนอกอาคาร = 4.0 Btu/ft<sup>2</sup>/hr

และ ค่าการนำความร้อนภายใน = 1.65 Btu/ft<sup>2</sup>/hr

สำหรับผนังที่เป็นผนังประกอบ (Composite wall) ช่วงเวลาของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนแต่ละส่วนรวมกันแล้วจะต้องบวกเพิ่มขึ้นจากค่าดังต่อไปนี้ ผนังเบาที่มี 2 ชั้น ควรเพิ่มอีก 1/2 ชั่วโมง ผนัง 3 ชั้น หรือกว่า หรือ ผนังที่หนัก ควรเพิ่มอีก 1 ชั่วโมง



แผนภูมิที่ 2-8 เปรียบเทียบวิธีการในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายใน

(Moore, 1993: 210)



จากแผนภูมิที่ 2-8 แสดงคุณสมบัติในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ซึ่งสามารถใช้กับวิธีการอื่น ๆ อีก ดังนี้

รูป a เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของวัสดุปกติ

รูป b เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของวัสดุมวลสารรวมด้วยจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในและมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเพิ่มขึ้น

รูป c เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของวัสดุฉนวนกันความร้อนร่วมด้วยจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายใน

รูป d เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างวันของวัสดุที่ใช้ทั้งมวลสารและฉนวนกันความร้อนจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในและมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากที่สุด



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3 ผลกระทบของสีผนังและมวลสารภายในต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

โดย นายพรสวัสดิ์ พิริยะศรัทธา วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

3.1.1 **วัสดุ** ใช้หุ่นจำลองสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด  $0.90 \times 0.90 \times 0.90$  เมตร ให้ด้านหนึ่งเปิดโล่งเพื่อติดตั้งวัสดุทดลอง

- วัสดุผนัง

1. ผนังที่มีมวลสารมาก ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และ 8 นิ้ว มีความหนาแน่น  $1760 \text{ kg/m}^3$  ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้วมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ  $3.00 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$  และผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 8 นิ้วมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ  $2.18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$

2. ผนังที่มีมวลสารน้อย ใช้ผนังโฟมโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้ว และ 4 นิ้ว มีความหนาแน่น  $16 \text{ kg/m}^3$  ผนังโฟมโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้วมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ  $0.63 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$  และผนังโฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้วมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ  $0.33 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$

- สีที่ใช้ทำการทดสอบใช้สีน้ำพลาสติก โดยใช้สีดำเป็นตัวแทนของสีเข้ม และสีขาวเป็นตัวแทนของสีอ่อน

- มวลสารภายใน

1. อิฐมอญ มีความหนาแน่น  $1760 \text{ kg/m}^3$

2. แผ่นยิปซัมหนา 12 มม. มีความหนาแน่น  $880 \text{ kg/m}^3$

3.1.2 **เทคนิคการวิจัย** ใช้การวางผนังทดสอบทิศใต้เพื่อให้ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากรังสีดวงอาทิตย์ให้ยาวนานที่สุด และเก็บข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศภายใน หุ่นจำลอง อุณหภูมิอากาศภายนอกหุ่นจำลอง และอุณหภูมิผิวของวัสดุผนังทั้งภายในและภายนอก

#### 3.1.3 ผลการทดลอง

1. สีเข้มและสีอ่อนของผนังจะมีอิทธิพลลดน้อยลงเมื่อใช้วัสดุผนังที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ โดยจะทำให้ผนังที่มีสีเข้มและสีอ่อนมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมงใกล้เคียงกัน

2. ผนังสีเข้มจะมีค่าอุณหภูมิภายในสูงสุดสูงกว่าผนังที่มีสีอ่อนทั้งผนังที่มีมวลสารมาก และน้อยในเวลากลางวัน

3. ผนังที่มีมวลสารมากจะมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่าผนังที่มีมวลสารน้อยและอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าในเวลากลางคืน
4. มวลสารภายในจะช่วยลดอุณหภูมิภายใน และทำให้อุณหภูมิภายในมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงเวลากลางวัน และจะเพิ่มอุณหภูมิภายในในช่วงเวลากลางคืน
5. มวลสารภายในมากจะทำให้มีปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้าออกภายในมากกว่ากรณีที่มีมวลสารภายในน้อย

### 3.1.4 การนำไปใช้

1. ควรเลือกใช้ผนังอาคารสีอ่อน ถ้าต้องการเลือกใช้ผนังสีเข้มควรใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ
2. การใช้มวลสารภายในเหมาะสมในช่วงเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน
3. อาคารที่ปรับอากาศควรใช้ผนังมวลสารน้อย อาคารที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศควรใช้ผนังมวลสารมาก

## 3.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคาร

โดย นายวันเอก กิจสมใจวิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

3.2.1 วัสดุ สร้างอาคารทดลองขนาด 7.5\*7.5 เมตร สูง 2.5 เมตร บุฉนวนโดยรอบและปิดที่ทุกด้านยกเว้นทางด้านทิศใต้เปิดเป็นช่องว่างไว้ติดตั้งผนังทดลองและเป็นทางเข้าออก

- วัสดุผนัง ใช้วัสดุทดลองขนาด 0.6\*0.6 เมตร ล้อมกรอบด้วยโฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว โดยรอบ 4 ด้านเพื่อกันความร้อนจากด้านข้าง ขนาดของวัสดุเมื่อรวมกรอบโฟมได้แก่ 0.8\*0.8\*0.2 ม.
  1. ผนังมวลสารมากใช้คอนกรีต มีมวลสาร 2200 kg/m<sup>3</sup>
  2. ผนังมวลสารปานกลางใช้คอนกรีตเบา มีมวลสาร 475 kg/m<sup>3</sup>
  3. ผนังมวลสารน้อยใช้โฟมโพลีสไตรีน มีความหนาแน่น 15 kg/m<sup>3</sup>
 โดยใช้ผนังแต่ละชนิดที่มีความหนาต่าง ๆ กัน
- การทดสอบปัจจัยด้านความชื้นของสี ใช้วัสดุทาสีดำเป็นตัวแทนของสีเข้ม เปรียบเทียบกับวัสดุทาสีขาวเป็นตัวแทนของสีอ่อน
- การทดสอบปัจจัยด้านพื้นผิว ใช้การทำพื้นผิวของคอนกรีตให้มีพื้นที่ต่าง ๆ กันโดยที่ยังมีมวลเท่ากัน

- การทดสอบปัจจัยด้านการกระจายรังสีความร้อน ใช้การทาสีเงิน (Aluminized Painted) ซึ่งมีค่าการกระจายความร้อน = 0.5 เปรียบเทียบกับวัสดุธรรมชาติซึ่งมีค่าการกระจายความร้อนประมาณ 0.8-0.9 กับวัสดุมวลมาก และมวลน้อย
- การทดสอบปัจจัยด้านการติดตั้งฉนวนและความหนาของฉนวนที่เปลี่ยนไป ใช้โฟมโพลีสไตรีนความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว ร่วมกับผนังคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตร ติดตั้งทั้งด้านนอกและด้านในเปรียบเทียบกัน

3.2.2 **เทคนิคการวิจัย** ผนังทดลองทั้งหมดนำมาทดสอบใน 2 กรณีคือ ควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารทดลองให้คงที่ด้วยเครื่องปรับอากาศ และไม่ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร

### 3.2.3 ผลการทดลอง

#### 1. มวลสาร

##### คอนกรีต

- ผนังคอนกรีตส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอกทั้งวัน โดยผนังมวลสารมากจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำในช่วงเวลากลางวัน และอุณหภูมิผิวภายนอกสูงในช่วงเวลากลางคืน และผนังมวลสารน้อยจะมีค่าตรงข้ามกัน เนื่องจากผนังมวลสารมากจะมีการสะสมความร้อนไว้ทำให้ผิวไม่ร้อนมาก และคายออกมาในช่วงเวลากลางคืน

##### โฟมโพลีสไตรีน

- เมื่อความหนาของโฟมเพิ่มขึ้น อุณหภูมิผิวของโฟมที่มีความหนามากกว่าจะมีค่าสูงกว่าในเวลากลางวัน และต่ำกว่าในเวลากลางคืน และอุณหภูมิผิวของโฟมที่มีความหนาน้อยกว่าจะมีค่าตรงข้ามกัน เนื่องจากมวลสารที่เพิ่มขึ้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความเป็นฉนวนที่เพิ่มขึ้น

#### 2. ความหยาบของพื้นผิว

- ช่วงเวลากลางวัน วัสดุที่มีพื้นผิวหยาบขรุขระมีลักษณะพื้นผิวยื่นออกมาเป็นสัน และเว้าเข้าไปเป็นร่อง ทำให้มีพื้นที่รวมมากกว่าพื้นที่เรียบในขนาดที่เท่ากัน ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสู่วัสดุผิวขรุขระจึงมีมากกว่า และส่วนที่ยื่นนั้นเป็นส่วนที่มีมวลสารน้อย ทำให้อุณหภูมิที่ผิววัสดุขรุขระสูงกว่าวัสดุผิวเรียบในเวลาที่มีความร้อนจากแสงแดด แต่ในส่วนที่เว้าเข้าไปจะถูกบังแดดทำให้เกิดร่มเงาตลอดทั้งวันทำให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำกว่า
- ช่วงเวลากลางคืน ผนังที่มีพื้นผิวมากกว่าจะคายความร้อนออกมากกว่า ทำให้อุณหภูมิผิวขรุขระภายนอกต่ำกว่าวัสดุผิวเรียบ

### 3. การดูดกลืนความร้อน

- เวลาที่มีอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์ (6.00-18.00น.) วัสดุสีเข้มจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงกว่าวัสดุสีอ่อนตลอดเวลา
- เวลาที่ไม่มีอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทั้งสีเข้มและสีอ่อนใกล้เคียงกันมากเนื่องจากปัจจัยด้านการดูดกลืนความร้อนของพื้นผิวนั้นจะมีผลต่ออุณหภูมิผิววัสดุเมื่อมีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์เท่านั้น

### 4. การกระจายความร้อนของพื้นผิว

- เวลากลางวัน วัสดุที่มีพื้นผิวที่มีค่าการกระจายความร้อนสูงกว่ามีอุณหภูมิสูง เพราะรังสีจะกระจายอยู่ที่ผิวก่อนจะเข้าไปด้านใน
- เวลากลางคืน วัสดุที่มีพื้นผิวกระจายความร้อนสูงกว่าจะมีการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าและสิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิผิวภายนอกต่ำกว่า

### 5. ตำแหน่งการติดตั้งฉนวน

- เวลากลางวัน อุณหภูมิผิวภายนอกผนังที่ติดโคมไว้ภายนอกจะสูงกว่าที่ติดโคมไว้ภายใน และค่อย ๆ ลดลงเมื่อแสงเริ่มหมดไป เนื่องจากมวลสารของผิวมีค่าน้อย เมื่อได้รับรังสีความร้อนอุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ต่างกับที่ติดไว้ภายในเพราะมวลสารภายนอกจะช่วยสะสมความร้อนไว้ก่อน
- อุณหภูมิผิวภายนอกผนังที่ติดโคมไว้ภายในจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน

### 6. ความหนาของฉนวนภายนอก

- เวลากลางวัน อุณหภูมิผิวของผนังที่ติดโคมภายนอกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยผนังโคมที่มีความหนาสูงสุดมีอุณหภูมิสูงสุด ในขณะที่อุณหภูมิผิวผนังคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และมีค่าอุณหภูมิผิวต่ำสุดในเวลาเดียวกัน
- เวลากลางคืน อุณหภูมิผิวของผนังที่ติดโคมจะมีค่าต่ำกว่าอากาศภายนอก และมีค่าใกล้เคียงกันมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### 3.5 ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

โดย น.ส. สีนีรัตน์ ภัทรรวมกุล วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

#### 3.3.1 วัสดุ ใช้หุ่นจำลองสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 0.50\*0.50\*0.50 เมตร

- การทดสอบปัจจัยด้านมวลสาร
  1. ผนังที่มีมวลสารมาก ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว และ 8 นิ้ว มีมวลสารประมาณ  $1800 \text{ kg/m}^3$
  2. ผนังที่มีมวลสารน้อย ใช้โฟม มีมวลสารประมาณ  $15 \text{ kg/m}^3$
- การทดสอบปัจจัยด้านสี ใช้สีทาภายนอก โดยใช้สีดำเป็นตัวแทนของสีเข้ม และสีขาวเป็นตัวแทนของสีอ่อน
- การทดสอบปัจจัยด้านค่าความต้านทานที่มากขึ้นต่อสี ใช้โฟมหนา 6, 12, 25.4 และ 50 มม. มีค่าความต้านทาน 0.90, 1.82, 3.85 และ 7.70 ตามลำดับ และมีความหนาแน่น  $15 \text{ kg/m}^3$

#### 3.3.2 เทคนิคการวิจัย

ทำการวัดอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกกล่องทดลอง อุณหภูมิผิวผนังภายในและภายนอก และค่าการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยหันผนังด้านทดสอบไปทางด้านทิศใต้ และทางทิศเหนือ

#### 3.3.3 ผลการทดลอง

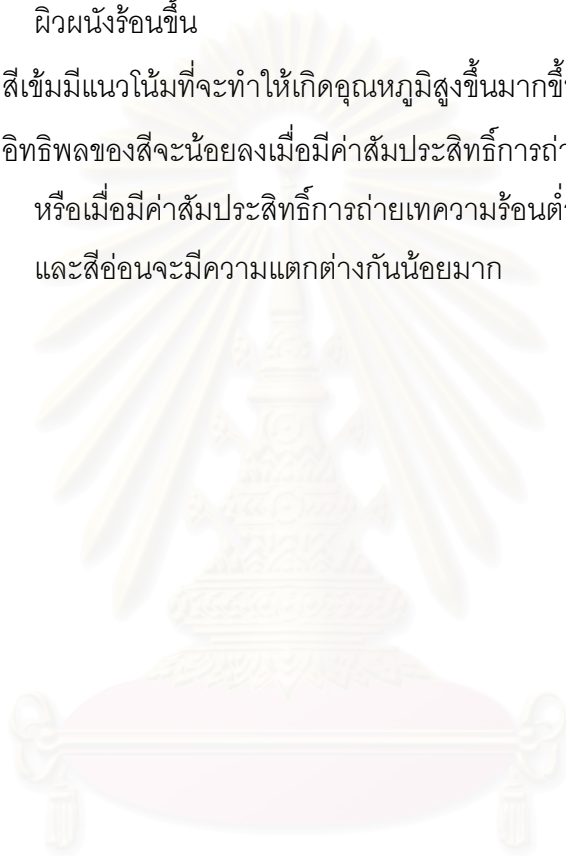
1. ผนังที่มีมวลสารต่างกัน แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเท่ากัน
  - ผนังมวลสารมากจะสะสมและสูญเสียความร้อนในอัตราที่ช้ากว่าผนังมวลสารน้อย
  - ผนังมวลสารมากมีค่าอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าผนังมวลสารน้อย
  - ผนังมวลสารมากมีจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากกว่าผนังมวลสารน้อย
  - จำนวนชั่วโมงสภาวะน่าสบาย (Comfort zone) ของผนังมวลสารมากมีน้อยกว่าผนังมวลสารน้อย
  - ผนังมวลสารมากมีการถ่ายเทความร้อนเข้าออก (Temperature swing) ในอัตราคงที่ และมีอุณหภูมิภายในคงที่มากกว่าผนังมวลสารน้อย และผนังที่มี

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) มากจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าออกมาก

- ผนังที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลา (Time lag) มากกว่า

## 2. ความเข้มอ่อนของสี

- สีเข้มหรือสีอ่อนจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร ในช่วงเวลาที่มีอิทธิพลจากแสงอาทิตย์เท่านั้น เพราะสีจะดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้ผิวผนังร้อนขึ้น
- สีเข้มมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นมากขึ้น
- อิทธิพลของสีจะน้อยลงเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) น้อยลง หรือเมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำมาก ๆ อิทธิพลระหว่างสีเข้มและสีอ่อนจะมีความแตกต่างกันน้อยมาก



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ส่วนที่ 4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังพระอุโบสถไทย

พระอุโบสถ หรือโบสถ์ ใช้เป็นสถานที่สำหรับพระภิกษุหรือคณะสงฆ์ประกอบศาสนกิจ เช่น การทำอุโบสถกรรม การอุปสมบทพระภิกษุ การบรรพชาสามเณร ตลอดจนการรับกฐิน อันเป็นประเพณีสำคัญทางพระพุทธศาสนา ในพระอารามหนึ่ง ๆ มีพระอุโบสถหรือโบสถ์ได้เพียงแห่งเดียว.....สร้างขึ้นในพื้นที่ที่กำหนดขึ้นด้วยการผูกตามประเพณีที่เรียกว่า “พัทธสีมา” แสดงโดยมีโบสถสีมาล้อมรอบตัวอาคารอยู่ 8 แห่งด้วยกันเพื่อแสดงเขตวิสูงคามสีมา (แน่งน้อย ศักดิ์ศรี, 2536: 63)

พระอุโบสถไทยในอดีตนั้น มีการก่อสร้างโดยคำนึงถึงการลดความร้อนจากภายนอกที่จะเข้ามาสู่ภายในพระอุโบสถเป็นอันมาก Bansal (1994) กล่าวว่าความร้อนที่เข้ามาภายในได้ 3 ทาง ได้แก่

1. ความร้อนจากรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Penetration of direct beam sunlight)
2. การนำความร้อนผ่านผนัง หลังคา และส่วนประกอบอื่น ๆ ของอาคาร (Conduction of heat through walls, roofs etc)
3. การรั่วซึมจากอากาศภายนอก (Infiltration of outside air)

ปัจจัยที่ทำให้ความร้อนเข้ามาภายในพระอุโบสถไทยได้น้อย ได้แก่

### 1. การลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามากระทบภายในโดยตรง

วัดไทยให้ความสำคัญกับการลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์มาตั้งแต่สมัยโบราณ ดังจะเห็นได้จากพระอุโบสถในพระราชานิยมตั้งแต่รัชกาลที่ 2 เป็นต้นมา มีการก่อกั้นผนังเป็นเฉลียงรอบพระอุโบสถ และตั้งเสาารายรับพาไลคลุมเฉลียงโดยรอบ เพื่อป้องกันฝน ทำให้เกิดเงาจากชายคาซึ่งจะบังรังสีดวงอาทิตย์ไม่ให้กระทบผิวภายนอกผนังได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-10 เฉลียงรอบพระอุโบสถวัดเฉลิมพระเกียรติวรวิหาร

นอกจากนี้ การใช้สีอ่อนที่ผนังด้านนอกจะช่วยลดอุณหภูมิพื้นผิวผนัง (Sol-air temperature) ลงได้มาก Bansal (1994) กล่าวว่า ผิวภายนอกที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูงเพื่อให้มีการดูดซับความร้อนต่ำ และมีการคายความร้อนสูงนั้นจะช่วยทำให้อุณหภูมิภายในต่ำ

วัสดุ	ค่าการสะท้อนความร้อน (Solar radiation)	ค่าการคายความร้อน (Low temp.)
อลูมิเนียมพอยต์, bright	0.95	0.05
อลูมิเนียมพอยต์, oxidized	0.85	0.12
อลูมิเนียมพอยต์ขัดมัน	0.80	0.05
Aluminium paint	0.50	0.50
เหล็กกล้าวไนซ์	0.75	0.25
สีไวท์วอชท์ (Whitewash)	0.88	0.90
สีน้ำมันสีขาว	0.80	0.90
สีเทาอ่อน	0.60	0.90
สีเทาเข้ม	0.30	0.90
สีเขียวอ่อน	0.60	0.90
สีเขียวเข้ม	0.30	0.90
อิฐสีส้มแดง	0.40	0.90
กระจก	0.08	0.90

ตารางที่ 2-6 ค่าการดูดซับความร้อนและสะท้อนความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ (Bansal, Hauser and Minke, 1994: 128)

จากตารางพบว่าวัสดุ Whitewash ผงสีขาวมีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนต่ำกว่าผิว Aluminium แต่จะเย็นกว่าเมื่อมีรังสีความร้อนมากระทบเพราะมีค่าการคายรังสีสูงกว่า แต่การใช้สีภายนอกนั้นจะมีผลต่อโครงสร้างมวลเบามากกว่าเพราะมีค่าความเป็นฉนวนและค่าความจุความร้อนต่ำกว่ามวลมาก สีที่ใช้ทาภายนอกของผนังพระอุโบสถจึงส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในน้อย

## 2. การลดความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนัง หลังคา และส่วนประกอบอื่น ๆ ของอาคาร

อาคารพระอุโบสถไทยใช้ผนังก่ออิฐถือปูน ซึ่งเป็นผนังมวลสารมากและมีการใช้ความเย็นจากดินทำให้การแผ่รังสีความร้อนภายนอกที่มีกระทบผนังไม่มีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในมากนัก โดยพื้นและผนังมวลสารมากจะชะลอการเข้ามาของความร้อนภายนอก ช่วยควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน และทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีค่าน้อย ช่วงที่มีการใช้งานในเวลากลางวัน พื้นและผนังมวลสารมากจะกักเก็บความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าสู่ภายใน ทำให้เกิดภาวะน่าสบายจนถึงช่วงเวลาเย็นซึ่งผนังจะเก็บกับความร้อนจนเริ่มถึงจุดอิ่มตัวและคายความร้อนออกมาในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีผู้ใช้งาน อุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางคืนนี้จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผนัง จึงมีการถ่ายเทความร้อนจากผนังออกมาที่ภายนอก และมีการใช้การระบายอากาศในช่วงเวลากลางคืนซึ่งจะนำความเย็นจากอากาศภายนอกเข้ามาพัดพาความร้อนที่เกิดขึ้นออกไป

นอกจากนี้ตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 3 เป็นต้นมา พระอุโบสถในพระราชานิยมจะนิยมใช้โครงหลังคาไม้ประดับปูนปั้นเป็นเครื่องยอดหลังคา เช่น ซ่อฟ้า ใบระกา นาคสะดุ้ง ซึ่งจะช่วยเพิ่มมวลที่โครงหลังคา และหลังคาพระอุโบสถที่มีความชันมาก ๆ นั้นจะช่วยลด Angle factor ภายใน ทำให้ MRT ภายในต่ำลง



### 3. อิริยาบถและเสื้อผ้าที่สวมใส่

ผู้ใช้งานภายในพระอุโบสถ ส่วนใหญ่จะมีอิริยาบถที่พักผ่อน ซึ่งประมาณค่า Metabolic Rate ได้ 0.8-1.0 met units (15-18 Btu/h-s.ft) (Stein and Reynold,1992: 35) จากการนั่งพักผ่อน (Resting: reclining and seated, quiet) และมีการสวมเสื้อผ้าแบบลำลอง ค่า Clo เท่ากับ 0.5 clo เทียบจากการใส่กางเกงขายาวและเสื้อเชิ้ตแขนสั้น (Fitted trousers, long-sleeved shirt) (Stein and Reynold,1992: 37) การอยู่ในช่วงสบายของผู้ใช้อาคารจึงอยู่สูงกว่าปกติ



ภาพที่ 2-11 อิริยาบถของผู้ใช้อาคาร

### 4. อุปกรณ์ภายใน (Equipment)

ภายในพระอุโบสถประกอบด้วยพระพุทธรูปเป็นพระประธานเพียงองค์เดียว นอกจากนั้นจะเป็นบริเวณทำกิจของสงฆ์ พระพุทธรูปสร้างจากวัสดุที่มีมวลสารมาก จะช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในคงที่ และจะคายความร้อนออกมาในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีผู้ใช้งาน



ภาพที่ 2-12 พระพุทธรูปภายใน

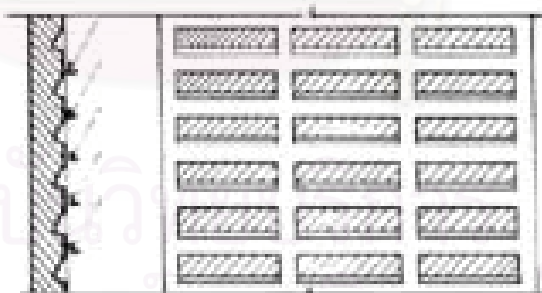
### 5. การพาความร้อนจากลม

จากการวิจัย (วันเอก กิจสมใจ,2539) พบว่า ผนังผิวหยาบจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ผนังผิวเรียบตลอดทั้งวัน โดยตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 1 จนถึงปัจจุบัน พระอุโบสถจะมีการ ปั้นปูนที่ซุ้มประตูหน้าต่างเป็นทรงต่าง ๆ ตามขนบนิยม เช่น ซุ้มทรงบันแถลง ทรงคูหา มงกุฏ เป็นต้น



ภาพที่ 2-13 ซุ้มประตูพระอุโบสถวัดเฉลิมพระเกียรติวรวิหาร

Bansal (1994) กล่าวว่า พื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ (Texture) สูง จะทำให้เกิด การบังเงาบนผนังมาก ดังภาพ



ภาพที่ 2-14 Shading by texture (Bansal, Hauser and Minke,1994: 127)



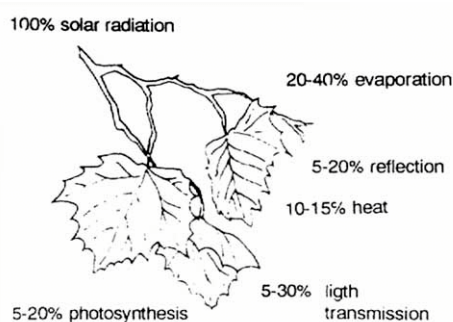
ภาพที่ 2-15 Wall that uses wind to cool the wall and defend it by half shade.(Olgyay, 1992:64)

พื้นที่การดูดซับรังสีความร้อนจะน้อยกว่าพื้นที่การคายรังสีความร้อนออกมา และทำให้พื้นผิวที่ขรุขระมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าพื้นผิวเรียบ ยิ่งมีพื้นผิวมากขึ้นจะเพิ่มอัตราการพัดพาความร้อนจากลม ซึ่งจะให้อาคารเย็นลงเร็วในช่วงเวลากลางคืน โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิอากาศโดยรอบเย็นกว่าผิวอาคาร

### 6. การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม

สภาพแวดล้อมของพระอุโบสถในสมัยโบราณจะมีการปลูกต้นไม้อยู่โดยรอบ ต้นไม้หรือพืชคลุมดินจะสามารถลดอุณหภูมิลงได้โดยการดูดซึ่มรังสีดวงอาทิตย์ และใช้การระเหยน้ำที่ดูดซึ่มผ่านทางปากใบ จากการวิจัย (ธนิต จินดาวงนิค, ม.ป.ป.) พบว่ากลุ่มต้นไม้ใหญ่และพืชคลุมดินสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศในช่วงอากาศร้อนจัดได้ถึง 3 องศาเซลเซียส นอกจากนี้มวลต้นไม้ใหญ่จะสามารถเปลี่ยนทิศทางการลดความเร็วและเพิ่มความเร็วลมได้ และช่วยควบคุมผลกระทบจากแสงแดด กรองรังสีดวงอาทิตย์ ควบคุมอุณหภูมิที่ผิวดิน และปริมาณความร้อนที่สะท้อนหรือแผ่รังสีจากพื้นผิวต่าง ๆ

Bansal (1994) กล่าวว่า การใช้ต้นไม้พืชพรรณเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมาก ในการปรับสภาพอากาศร้อนโดยรอบ และป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ การดูดซับรังสีความร้อนโดยใบไม้ใช้ในการสังเคราะห์แสงและระเหยน้ำดังนี้



ภาพที่ 2-16 Energy balance on a leaf (Epinatjeff,1983 cited in Bansal, Hauser and Minke,1994: 118)



ภาพที่ 2-17 ต้นไม้บริเวณรอบ ๆ พระอุโบสถ

ในบริเวณรอบ ๆ พระอุโบสถ นิยมขุดสระน้ำเพื่อความสวยงาม หรือเพื่อการใช้งาน เช่น บริเวณหอไตร จะช่วยควบคุมอุณหภูมิบริเวณรอบ ๆ เนื่องจากน้ำมีค่าความร้อนจำเพาะสูงกว่าดินหรือแผ่นดิน ทำให้บริเวณน้ำอุ่นกว่าในช่วงฤดูหนาว และเย็นกว่าในช่วงฤดูร้อน ในระหว่างวันก็เช่นกันบริเวณน้ำจะเย็นกว่าในช่วงเวลากลางวัน และอุ่นกว่าในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นบริเวณที่ตั้งใกล้แหล่งน้ำขนาดใหญ่จะช่วยลดการแปรเปลี่ยนอุณหภูมิที่ขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุดได้



ภาพที่ 2-18 หอไตรปฏิมาวัดอัมพรสวรรค์ (ม.ร.ว.เน่งน้อย คักดีศรี, 2536)

นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์จากมวลสาร (Mass) และ การหน่วงเหนี่ยว ความร้อนเป็นฤดูกาล (Season lag) จากดินด้วย ดินเป็นองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมอีกตัวหนึ่งที่มีอิทธิพลและช่วงส่งเสริมสภาวะน่าสบายภายในบริเวณใต้ถุนเรือนไทย ดินจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเป็นฤดูกาล ดินจะมีความเย็นในช่วงฤดูร้อน และเก็บความร้อนในช่วงนี้ไว้ใช้ในฤดูหนาว เนื่องจากพื้นดินมีค่าการเก็บกักความร้อน (Heat capacity) และมวลสารมากทำให้อุณหภูมิดินคงที่ โดยเฉพาะช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิดินจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน และช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศจะลดต่ำกว่าอุณหภูมิดินเพียงเล็กน้อย จากการศึกษา (อเนก วีระวิวัฒน์ชัย, 2539 อ้างถึงใน สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ดินที่มีความลึก 0.60 เมตร พบว่าอุณหภูมิของดินจะค่อนข้างคงที่ไม่แปรผันมากเหมือนอุณหภูมิอากาศอยู่ที่อุณหภูมิ 26-27 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นดินยังมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน จากความเย็นของดินนี้เองที่ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายจากอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (MRT) และอุณหภูมิอากาศ

เมื่อผู้ใช้อาคารนั่งบนพื้นในพระอุโบสถซึ่งสร้างอยู่บนดิน ดินที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิผิวร่างกายคนเรา ด้วย ซึ่งดินจะทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บกักความร้อน (Heat sink) ทำให้การทำกิจกรรมบริเวณนี้จะรู้สึกเย็นสบายเพราะร่างกายจะสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีไปสู่พื้นดินที่เย็นกว่า และจะช่วยปรับให้อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1.1 การวัดอุณหภูมิ

- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Data logger) การทดสอบบ่งชี้ทดลองใช้เครื่องวัดอุณหภูมิของ Sciometric Instruments System 200 รุ่น 236 High speed A/D convector ซึ่งสามารถต่อหัววัดอุณหภูมิได้ทั้งหมด 96 หัว และเครื่องวัดอุณหภูมิ Datataker รุ่น DT605 Series 2 สำหรับการทดสอบสถานที่จริง

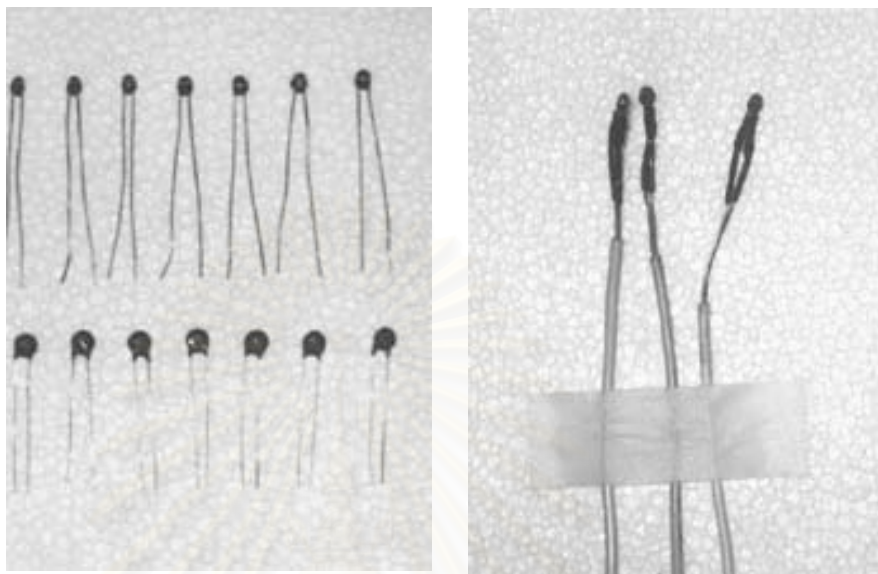


ภาพที่ 3-1 เครื่องวัดอุณหภูมิ Data logger



ภาพที่ 3-2 เครื่องวัดอุณหภูมิ Datataker

- หัววัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ขนาด 10 กิโลโอห์มใช้กับเครื่องวัดอุณหภูมิ Data Logger และใช้ขนาด 3 กิโลโอห์มกับเครื่องวัดอุณหภูมิ Datataker



ภาพที่ 3-3 หัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์

- สายวัดอุณหภูมิ ใช้สายโทรศัพท์ (Station wire) เชื่อมหัววัดอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์กับเครื่องวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 3-4 สายโทรศัพท์



ภาพที่ 3-5 ชุดเครื่องมือเก็บอุณหภูมิ

### 3.1.2 ्हุ่นจำลอง

คุณสมบัติของหุ่นจำลองคือมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ ค่าการกักเก็บความร้อนต่ำ การดูดซับความร้อนต่ำ และการถ่ายเทความร้อนต่ำ สามารถประกอบติดตั้งและดูแลรักษาได้ง่าย การวิจัยนี้จึงใช้หุ่นจำลองเป็นกล่องทดลองทำจากโฟมโพลีสไตรีนมีความหนา 15 เซนติเมตรทรงลูกบาศก์ มีปริมาตรภายใน  $0.60 \times 0.60 \times 0.60$  ลูกบาศก์เมตร วนช่องผนังไว้ 2 ด้าน ด้านหนึ่งเพื่อติดตั้งผนังทดสอบ อีกด้านหนึ่งมีฝาเปิดเพื่อใช้ในการติดตั้งเครื่องมือ และการดูแลรักษาอื่น ๆ

กล่องทดลองตั้งอยู่บนฐานเหล็กสูงจากพื้น 0.60 เมตรเพื่อลดการถ่ายเทรังสีความร้อนจากพื้นดิน



ภาพที่ 3-6 ขาตั้งกล่องทดลอง



ภาพที่ 3-7 กล่องทดลอง



### 3.1.3 ผนังทดสอบ

- การสร้างผนัง

ใช้แผ่นผนังคอนกรีตขนาด 0.58\*0.58 เมตรหนา 0.10 เมตร จำนวน 6 แผ่นเพื่อนำมาประกอบกันเป็นผนังคอนกรีตหนา 0.10, 0.20 และ 0.30 เมตร ตามลำดับ โดยมีวิธีการดังนี้

1. สร้างไม้แบบขนาด 0.58\*0.58 เมตร เจาะช่องที่ด้านหนึ่งเพื่อใส่แบบหล่อเพื่อใช้เป็นช่องสำหรับวัดอุณหภูมิภายในผนัง
2. เทคอนกรีตอัตราส่วน 1 :2 :4 ลงในไม้แบบทั้งหมด ใส่แบบหล่อ แล้วทิ้งไว้จนคอนกรีตแห้ง



ภาพที่ 3-8 การเทคอนกรีต



ภาพที่ 3-9 การฉาบผิวหน้าและทิ้งคอนกรีตให้แห้ง



- การติดตั้งผนังทดสอบ

- ประกอบคอนกรีตแต่ละชั้นเข้าด้วยกันด้วยปูนผสมทรายบาง ๆ ให้เท่ากันทุกชั้น โดยวางบนพื้นที่เรียบ และจัดให้คอนกรีตแต่ละแผ่นมีแนวตรงกันเพื่อประกอบกันให้เป็นผนังแผ่นเดียวกันให้มากที่สุด



ภาพที่ 3-10 การติดตั้งและประกอบแผ่นคอนกรีต 3 ชั้น

- ใส่อายัดอุดนหุ้มีที่มึการทดสอบความถูกต้องแล้วที่ช่องตรงกลางแผ่นแล้วอุดด้วยซีลีโคน จากนั้นยกกล่องทดลองเข้ามาครอบ และจัดขึ้นวางบนขาตั้งกล่องทดลอง



ภาพที่ 3-11 การใส่ผนังในกล่องทดลอง

- อุดขอบรอยต่อระหว่างกล่องทดลองกับแผ่นคอนกรีตบริเวณขอบด้วยซีลีโคนและโฟม



ภาพที่ 3-12 การเก็บความเรียบร้อยบริเวณขอบกล่องทดลอง  
- ปิดผาด้านหลังและทิ้งไว้จนกล่องและคอนกรีตอิมตัว



ภาพที่ 3-13 กล่องทดลองที่ประกอบแล้ว

### 3.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

#### 3.2.1 การทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ทั่วไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ทั้งหมดต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- หัววัดอุณหภูมิ เป็นชนิดเดียวกันจากร้านเดียวกัน และมีความต้านทานในแต่ละหัวใกล้เคียงกัน ในการวิจัยนี้ใช้ค่าความต้านทานเท่ากับ 10 กิโลโอมห์
- สายโทรศัพท์ เป็นชนิดเดียวกัน จากร้านเดียวกัน และตัดเป็นความยาวที่เท่ากันก่อนต่อเข้ากับหัววัดอุณหภูมิ ในการวิจัยนี้ใช้ความยาวเท่ากันคือ 25 เมตร
- กล่องทดลอง สร้างจากโฟมโพลีสไตรีน โดยการสร้างนั้นควบคุมให้มีขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด และมีการอุดรอยต่ออย่างหนาแน่น ก่อนทำการทดลองต้องนำ

ไปทำให้แห้ง เช่น นำไปตากแดดและเปิดฝาด้านหลังเพื่อให้ลมระบายความชื้นออกไป หรือใช้การติดตั้งหลอดไฟด้านใน และไว้ในห้องปรับอากาศเพื่อลดความชื้น

- การทดลองต้องทำ ณ สถานที่เดียวกัน ช่วงเวลาเดียวกัน และหันไปยังทิศทางเดียวกัน

### 3.2.2 การทดสอบความถูกต้องของห้วงวัดอุณหภูมิ

1. ต่อสายดินกับเครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อป้องกันการรบกวนของกระแสไฟ และเพื่อให้กระแสในทุกห้วงวัดเป็นศูนย์
2. ติดตั้งห้วงวัดอุณหภูมิให้รวมกันอยู่เป็นจุดเดียวและให้อยู่ภายในวัสดุที่ป้องกันลมพัดและปัจจัยภายนอกอื่น ๆ มีผลกระทบได้ได้ เช่น กล่องฉนวนโฟม เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ถูกต้องใกล้เคียงกันมากที่สุด
3. ทดสอบโดยเพิ่มและลดอุณหภูมิโดยรอบห้วงวัด ผลที่วัดได้ของห้วงวัดอุณหภูมิที่ใช้การได้จะต้องมีช่วงห่างกันในแต่ละห้วงไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส
4. ใช้การปรับแก้ค่าด้วยวิธีการ Regression เพื่อให้ได้ค่ากลางที่ถูกต้องที่สุด

ห้วงวัดอุณหภูมิมียุบรวมทั้งหมด 58 ชุด และจากการทดสอบความถูกต้องได้ค่าที่จะต้องปรับแก้ดังนี้

ห้วงวัดอุณหภูมิ	Offset	Slope
0	-0.659	1.014
1	-1.059	1.008
2	-0.656	1.026
3	-0.369	0.997
4	1.319	0.959
5	-0.919	1.023
6	-0.967	1.016
7	0.478	0.989
8	2.134	0.945
9	0.997	0.961
10	1.056	0.961
11	-0.181	1.001
13	1.781	0.967

15	0.342	0.980
16	1.244	0.982
17	0.936	0.976
18	-0.492	1.015
19	-0.870	1.009
20	0.897	0.964
21	-1.086	1.004
22	0.398	1.000
23	-1.362	1.022
24	-0.964	1.008
25	0.924	0.986
26	0.632	0.988
27	-0.750	1.014
28	0.175	0.990
30	-0.917	1.032
31	-0.903	1.011
32	2.026	0.965
33	-0.179	1.018
34	2.476	0.946
35	-0.294	1.009
36	0.419	1.002
37	-1.003	1.004
40	-1.086	1.009
41	0.977	0.983
42	1.381	0.966
43	-0.605	1.019
44	0.855	0.976
45	1.099	0.977
46	1.255	0.978
47	1.217	0.975

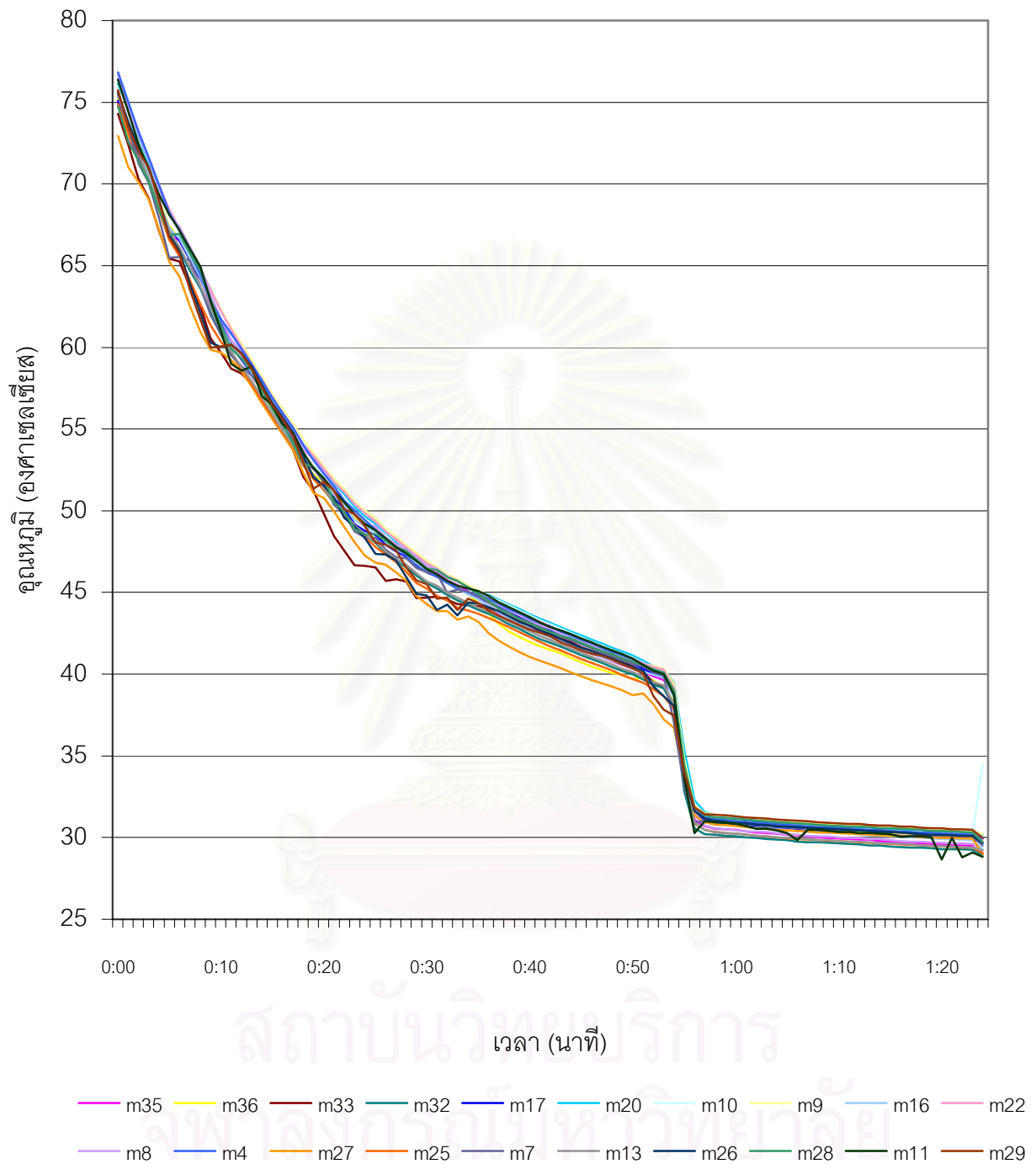
48	1.261	0.966
50	1.382	0.976
51	0.870	0.977
52	-1.346	1.022
53	0.961	0.988
59	0.085	0.996
60	1.344	0.979
61	0.942	0.998
62	1.240	0.986
63	0.988	0.986
64	1.204	0.998
65	1.611	1.007
66	0.615	0.993
67	0.618	0.986
68	-0.600	1.039

ตารางที่ 3-1 ค่าการปรับแก้ห้วงวัดอุณหภูมิ

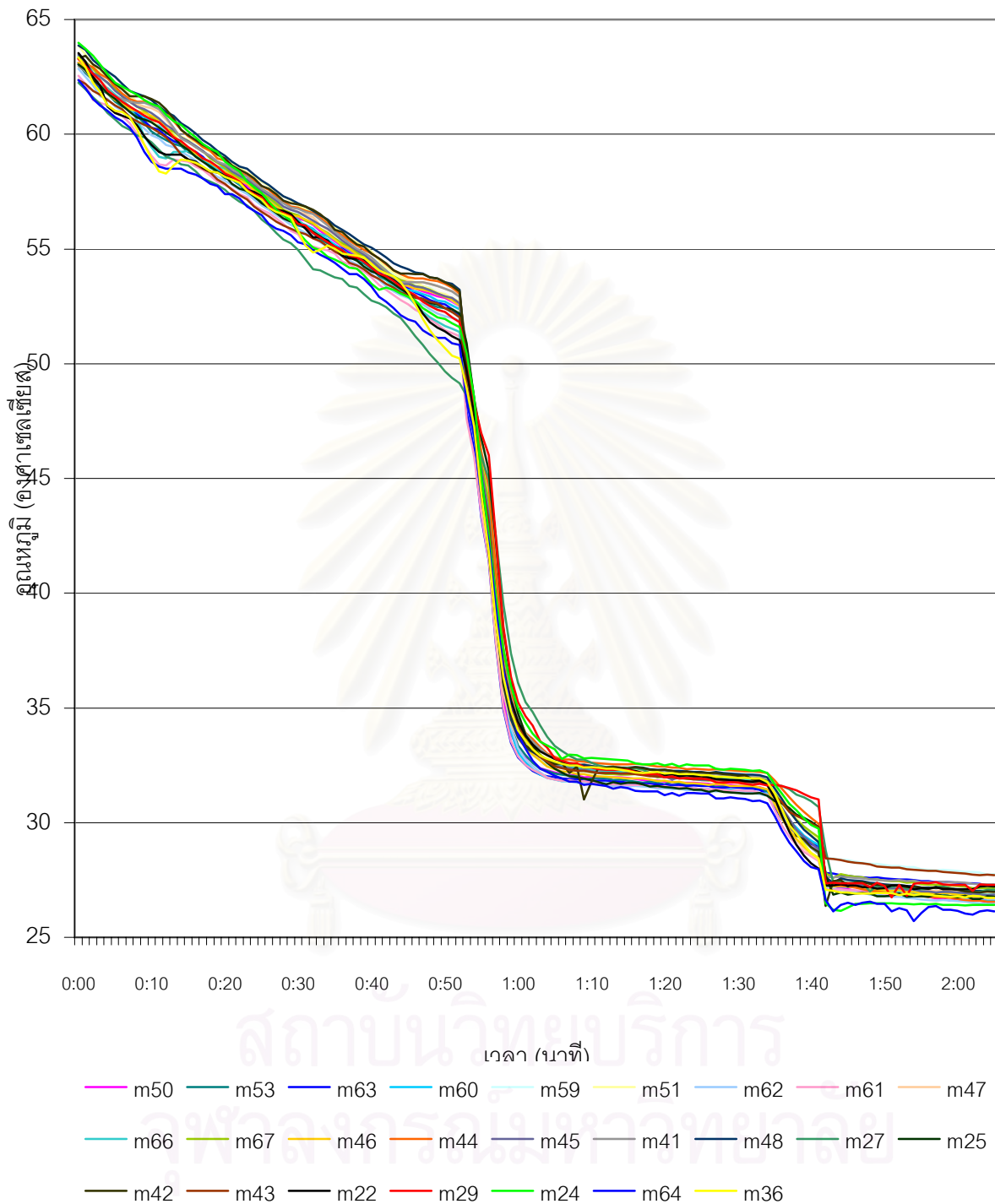
จากตารางที่ 3-1 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิแนวโน้มช่วงข้อมูลอุณหภูมิได้ดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

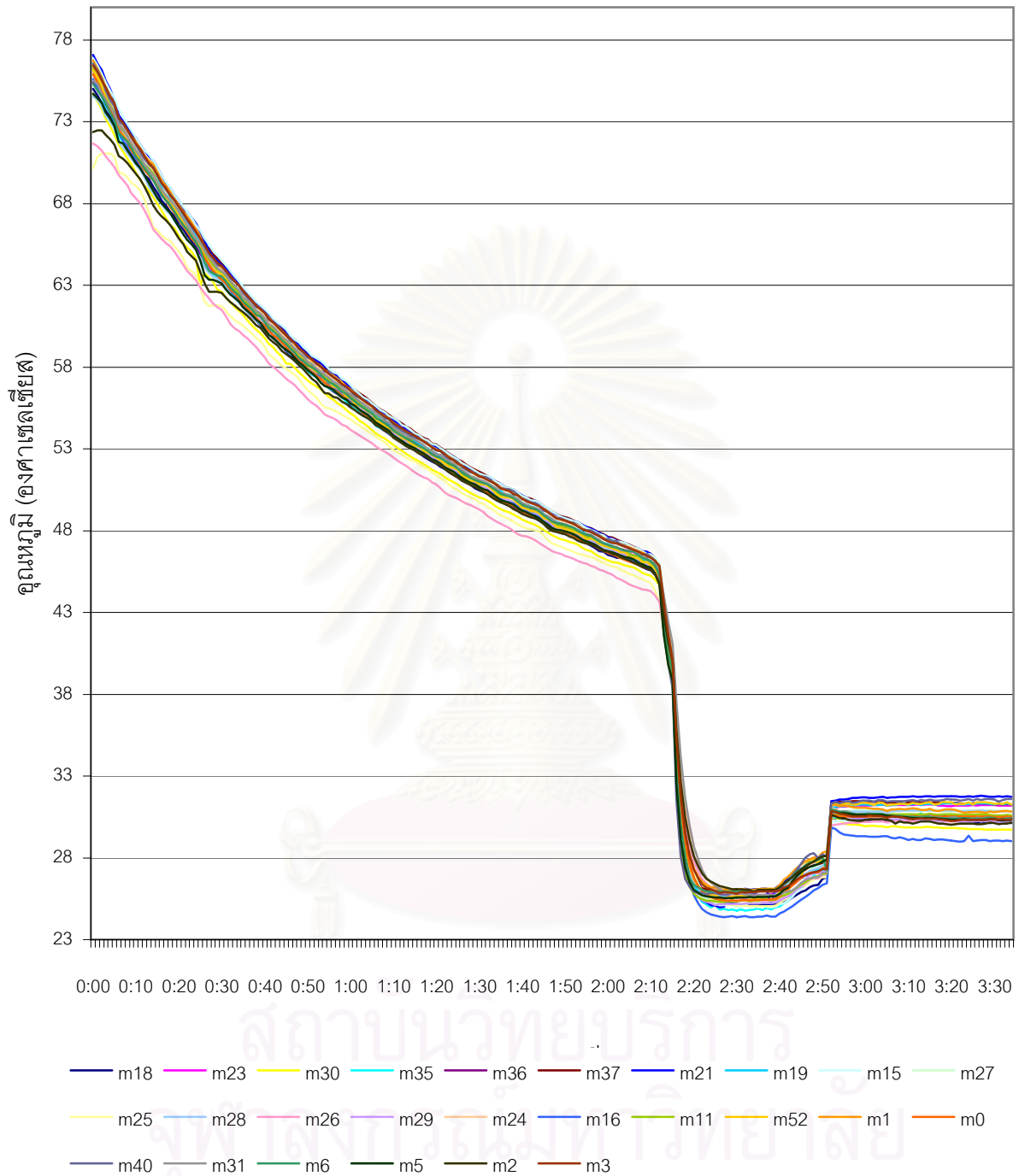




แผนภูมิที่ 3-1 แสดงช่วงข้อมูลของหัววัดอุณหภูมิ Thermister 10 กิโลเมตร ในช่วงอุณหภูมิ 27-77 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 20 หัว ณ.วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2544



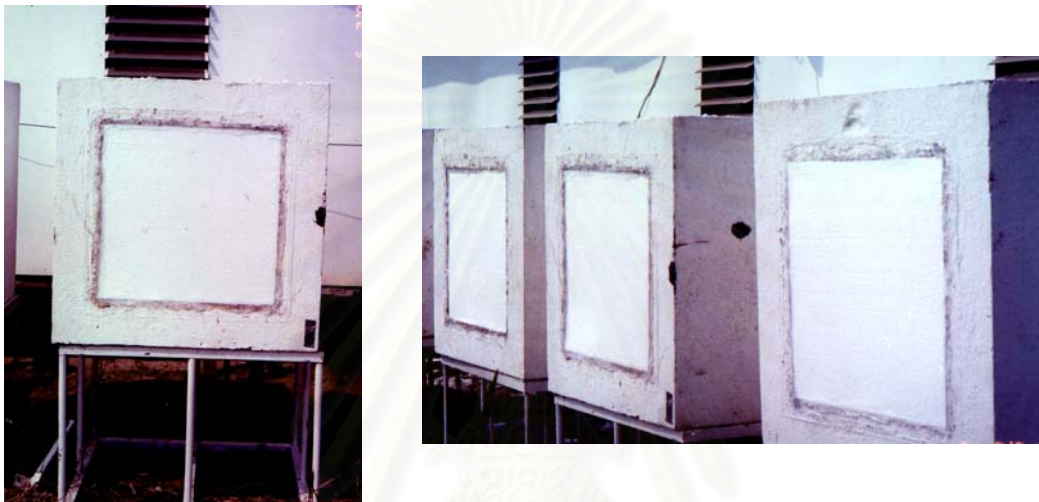
แผนภูมิที่ 3-2 แสดงช่วงข้อมูลของหัววัดอุณหภูมิ Thermister 10 กิโลโอมห์ ในช่วงอุณหภูมิ 26-64 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 25 หัว ณ.วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2544



แผนภูมิที่ 3-3 แสดงช่วงข้อมูลของหัววัดอุณหภูมิ Thermister 10 กิโลโอมห์ ในช่วงอุณหภูมิ 24-78 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 26 หัว ณ.วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2544

### 3.2.3 การทดสอบความถูกต้องของกล่องทดลอง

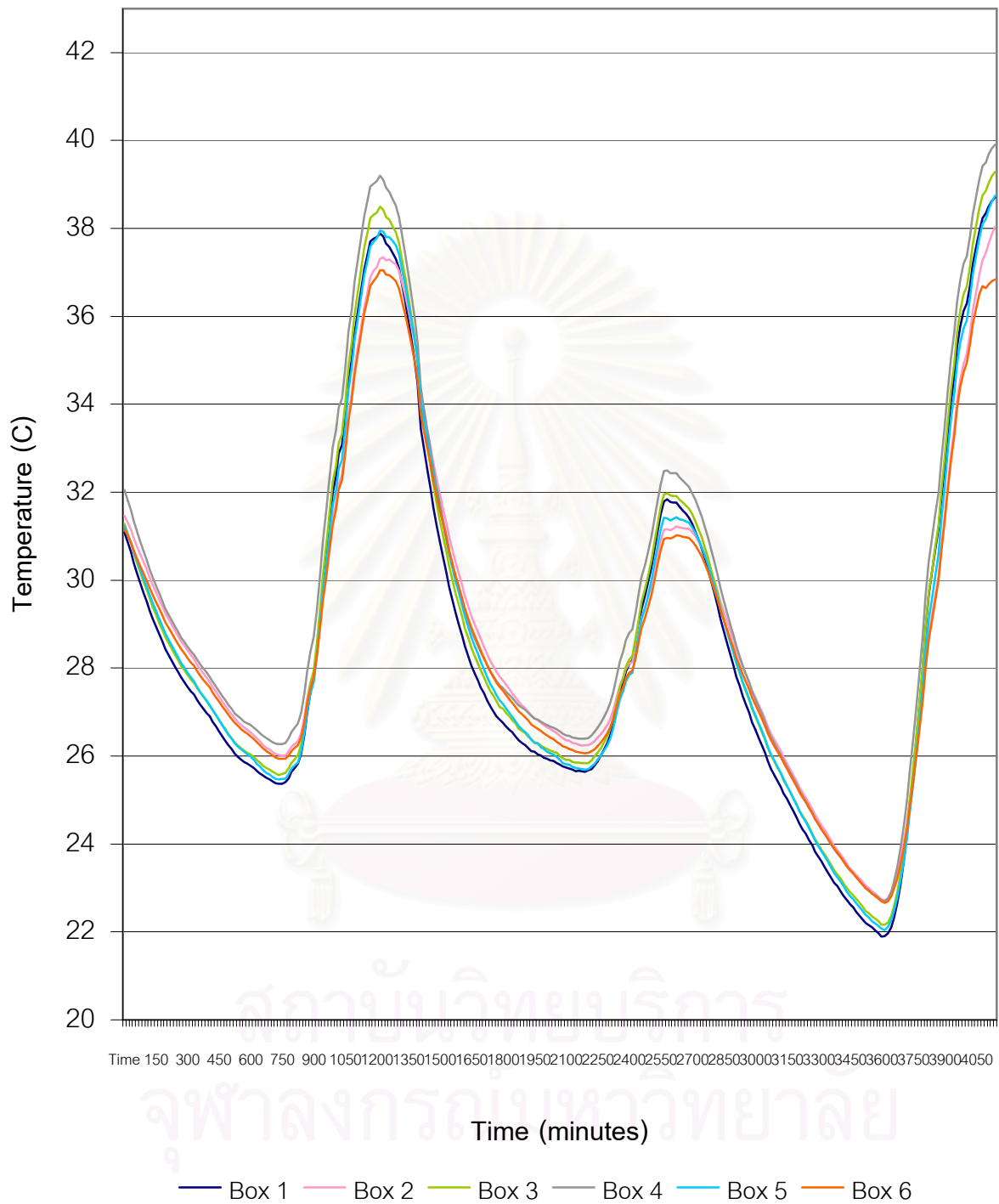
ใช้แผ่นโฟมหนา 1 นิ้ว ขนาด 0.60\*0.60 ตารางเมตรปิดด้านที่จะใช้ติดตั้งผนังทดลอง วางกล่องทดลองในสถานที่เดียวกัน และหันด้านทดสอบไปทางเดียวกัน วัดอุณหภูมิภายในกล่องจากหัววัดที่ทำการทดสอบความถูกต้องเป็นเวลา 3 วัน และนำผลการทดลองไปปรับแก้ค่าด้วยวิธีการ Regression เพื่อให้ได้ค่ากลางที่ถูกต้องที่สุด



ภาพที่ 3-14 การทดสอบความถูกต้องของกล่องทดลอง  
กล่องทดลองทั้งหมด 6 กล่อง ได้ค่าที่จะต้องปรับแก้ดังนี้

กล่อง	Slope	Offset
1	0.9623	1.3706
2	1.0766	-2.2678
3	0.9470	1.5361
4	0.9389	1.2352
5	0.9801	0.7403
6	1.1032	-2.8179

ตารางที่ 3-2 ค่าการปรับแก้กล่องทดลอง  
จากตารางที่ 3-2 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิแนวโน้มช่วงข้อมูลอุณหภูมิได้ดังต่อไปนี้



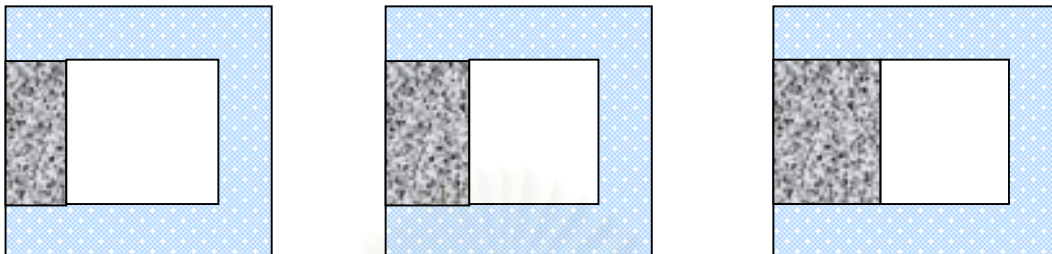
แผนภูมิที่ 3-4 แสดงช่วงข้อมูลของกล่องทดลอง 6 กล่อง ในช่วงอุณหภูมิ 22-39 องศาเซลเซียส พร้อมกันจำนวน 6 กล่อง ณ.วันที่ 8-10 กุมภาพันธ์ 2544



### 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

#### 3.3.1 การทดสอบในสภาวะไม่ปรับอากาศ

การทดสอบที่ 1 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



กล่องทดลองที่ 1

กล่องทดลองที่ 2

กล่องทดลองที่ 3

ภาพที่ 3-15 การทดสอบที่ 1

กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{F}$

กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$  มีค่า

ความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{F}$

กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$  มีค่า

ความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{F}$

#### เปรียบเทียบปัจจัย

1. พฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด เปรียบเทียบอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ในกล่องทดลองแต่ละกล่อง ดังต่อไปนี้

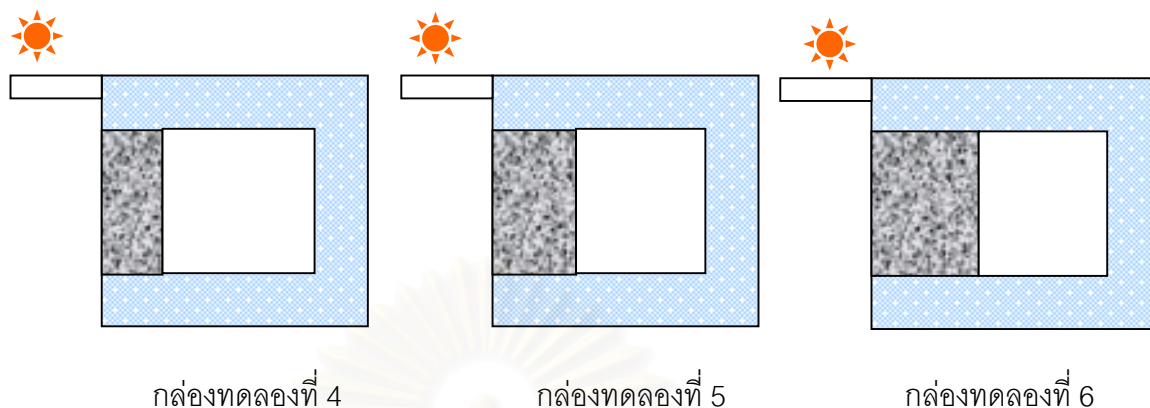
- อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
- อุณหภูมิภายในแผ่นผนัง
- อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

2. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างกล่องทดลองที่ 1 กล่องทดลองที่ 2 และ กล่องทดลองที่ 3 ดังนี้

- อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด
- อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย
- การแปรผันอุณหภูมิระหว่างวัน และพีสัย
- ค่าความแตกต่างสูงที่สุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง

- การห้วงเหนี่ยวความร้อน

## การทดสอบที่ 2 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง



ภาพที่ 3-16 การทดสอบที่ 2

ช่องทดลองที่ 4 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่โดนแดด

ช่องทดลองที่ 5 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

ความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่โดนแดด

ช่องทดลองที่ 6 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

ความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่โดนแดด

### เปรียบเทียบปัจจัย

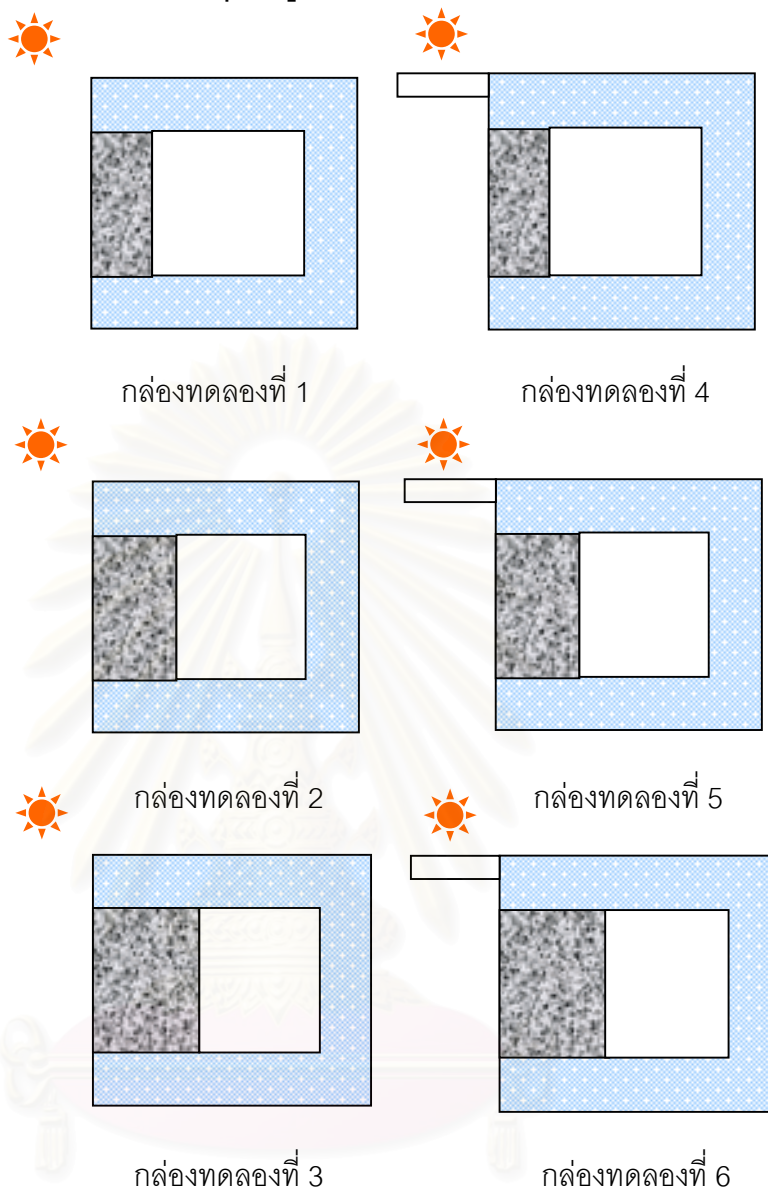
1. พฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด เปรียบเทียบอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ในช่องทดลองแต่ละช่องดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
- อุณหภูมิอากาศภายในช่องทดลอง

2. อุณหภูมิอากาศภายในช่องทดลอง เปรียบเทียบอุณหภูมิมะหว่างช่องทดลองที่ 4 ช่องทดลองที่ 5 และ ช่องทดลองที่ 6 ดังนี้

- อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด
- อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย
- การแปรผันอุณหภูมิมะหว่างวัน และพิสัย
- ค่าความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในช่องทดลอง
- การห้วงเหนี่ยวความร้อน

### การทดสอบที่ 3 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง



ภาพที่ 3-17 การทดสอบที่ 3

กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกโดนแดด

กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

ความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกโดนแดด

กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

ความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกโดนแดด

กล่องทดลองที่ 4 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่โดนแดด

กล่องทดลองที่ 5 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่โดนแดด

กล่องทดลองที่ 6 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่โดนแดด

**เปรียบเทียบปัจจัย** เปรียบเทียบกล่องทดลองที่ 1 กับ 4 กล่องทดลองที่ 2 กับ 5 และกล่องทดลองที่ 3 กับ 6 ดังนี้

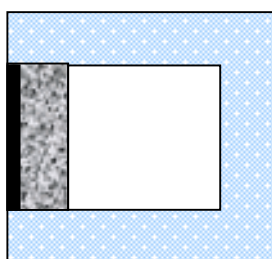
1. พฤติกรรมของผนัง เปรียบเทียบอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
- อุณหภูมิภายในแผ่นผนัง
- อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

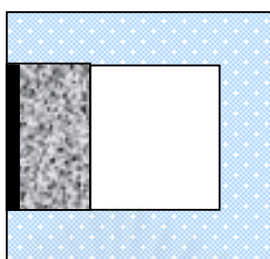
2. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

- อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด
- อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย
- การแปรผันอุณหภูมิตั้งแต่วัน และพีดัส
- ค่าความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง
- การห้วงเหนี่ยวความร้อน

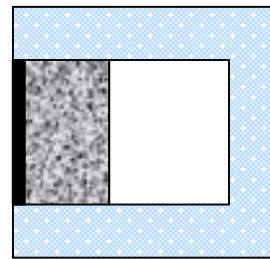
## การทดสอบที่ 4 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



กล่องทดลองที่ 7



กล่องทดลองที่ 8



กล่องทดลองที่ 9

ภาพที่ 3-18 การทดสอบที่ 4

กล่องทดลองที่ 7 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีดำที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 8 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$  มีค่า

ความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีดำที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 9 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$  มีค่า

ความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีดำที่ด้านนอกแผ่นผนัง

### เปรียบเทียบปัจจัย

1. พฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด เปรียบเทียบอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ในกล่องทดลองแต่ละกล่องดังต่อไปนี้

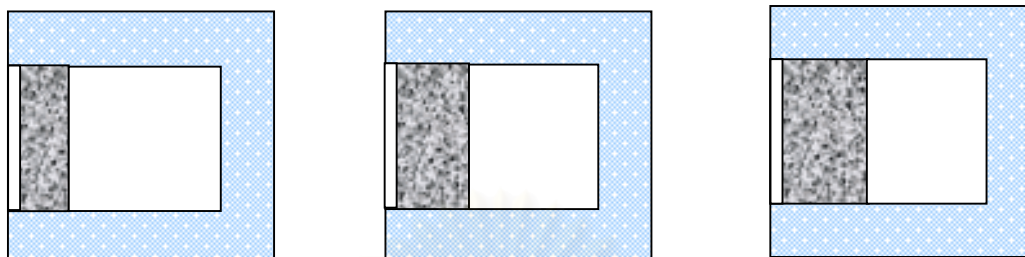
- อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
- อุณหภูมิภายในแผ่นผนัง
- อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

2. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างกล่องทดลองที่ 7 กล่องทดลองที่ 8 และ กล่องทดลองที่ 9 ดังนี้

- อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด
- อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย
- การแปรผันอุณหภูมิระหว่างวัน และพีสัย
- ค่าความแตกต่างสูงที่สุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง
- การหน่วงเหนี่ยวความร้อน



**การทดสอบที่ 5 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน**



กล่องทดลองที่ 10

กล่องทดลองที่ 11

กล่องทดลองที่ 12

ภาพที่ 3-19 การทดสอบที่ 5

กล่องทดลองที่ 10 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีขาวที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 11 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มี

ค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีขาวที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 12 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

ความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีขาวที่ด้านนอกแผ่นผนัง

**เปรียบเทียบปัจจัย**

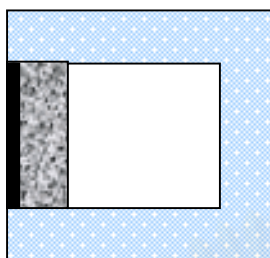
1. พฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด เปรียบเทียบอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ในกล่องทดลองแต่ละกล่องดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
- อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- อุณหภูมิภายในผนัง
- อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

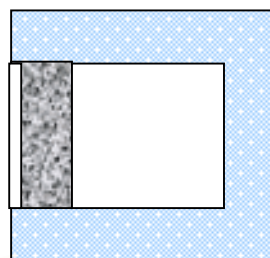
2. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างกล่องทดลองที่ 10 กล่องทดลองที่ 11 และ กล่องทดลองที่ 12 ดังนี้

- อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด
- อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย
- การแปรผันอุณหภูมิระหว่างวัน และพิสัย
- ค่าความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง
- การห่อวงเหนี่ยวความร้อน

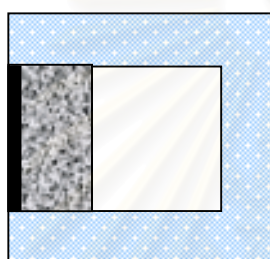
### การทดสอบที่ 6 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิผิววัสดุ



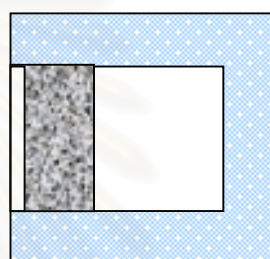
กล่องทดลองที่ 7



กล่องทดลองที่ 10



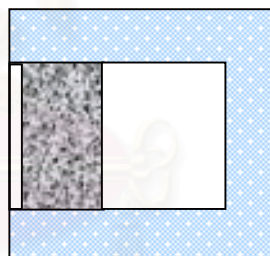
กล่องทดลองที่ 8



กล่องทดลองที่ 11



กล่องทดลองที่ 9



กล่องทดลองที่ 12

ภาพที่ 3-20 การทดสอบที่ 6

กล่องทดลองที่ 7 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีดำที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 8 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีดำที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 9 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ทาสีดำที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 10 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ทาสีขาวที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 11 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  มี

ค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ทาสีขาวที่ด้านนอกแผ่นผนัง

กล่องทดลองที่ 12 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$  มีค่า

ความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu/ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ทาสีขาวที่ด้านนอกแผ่นผนัง

**เปรียบเทียบปัจจัย** เปรียบเทียบกล่องทดลองที่ 7 กับ 10 กล่องทดลองที่ 8 กับ 11 และกล่องทดลองที่ 9 กับ 12 ดังนี้

1. พฤติกรรมของผนัง เปรียบเทียบอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิผิวผนังภายนอก
- อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- อุณหภูมิภายในผนัง
- อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

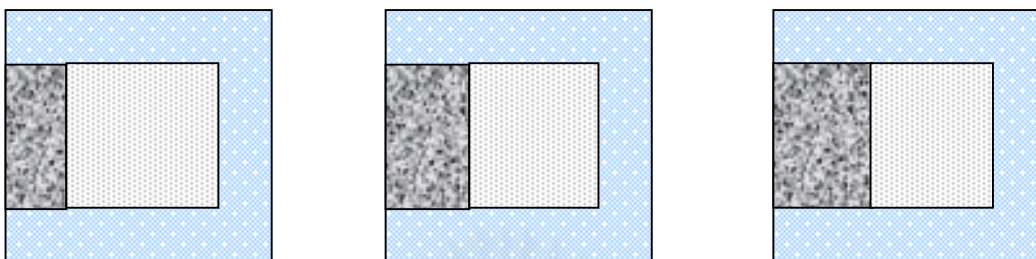
2. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

- อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด
- อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย
- การแปรผันอุณหภูมิตะหว่างวัน และพิสัย
- ค่าความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง
- การห้วงเหนี่ยวความร้อน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3.2 การทดสอบในสภาวะปรับอากาศ

การทดสอบที่ 7 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในสภาวะปรับอากาศ



กล่องทดลองที่ 1

กล่องทดลองที่ 2

กล่องทดลองที่ 3

ภาพที่ 3-21 การทดสอบที่ 7

กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ภายในควบคุมสภาวะปรับอากาศ

กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

ความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ภายในควบคุมสภาวะปรับอากาศ

กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

ความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ภายในควบคุมสภาวะปรับอากาศ

#### เปรียบเทียบปัจจัย

1. ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุ
2. ค่าพลังงานที่ใช้ในการลดความร้อนจากการกักเก็บความร้อนในวัสดุ

### 3.3.3 การทดสอบในสถานที่จริง

#### การทดสอบที่ 8 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวผนัง ในสถานที่จริง

ทดสอบ ณ. พระอุโบสถวัดบวรวิญญ โดยทดสอบอุณหภูมิดังนี้

- อุณหภูมิผิวผนังภายนอกทิศเหนือและทิศใต้
- อุณหภูมิผิวผนังภายในทิศเหนือและทิศใต้
- อุณหภูมิอากาศภายใน
- อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียก

พิจารณาเปรียบเทียบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวผนังดังนี้

- การแปรผันอุณหภูมิตะหว่างวัน และพิสัย
- ค่าความแตกต่างสูงที่สุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในพระอุโบสถ
- การห้วงเหนียวความร้อนของผนัง
- อุณหภูมิผิวผนังภายนอกทิศเหนือและทิศใต้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

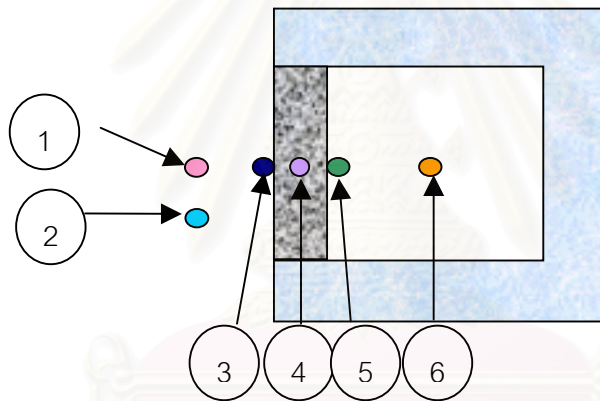
#### 4.1 การทดสอบในสภาวะไม่ปรับอากาศ

การทดสอบที่ 1 การทดสอบปัจจัยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) และค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ (HC) พิจารณาที่ความหนาของวัสดุ

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ช่วงได้แก่ การทดสอบในวันที่ 21-27 ตุลาคม 2543 เป็นเวลา 7 วัน และในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544

กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

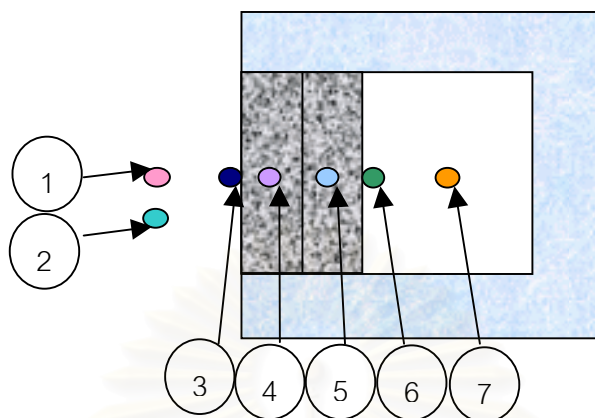
มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดดังนี้



ภาพที่ 4-1 กล่องทดลองที่ 1

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (6) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

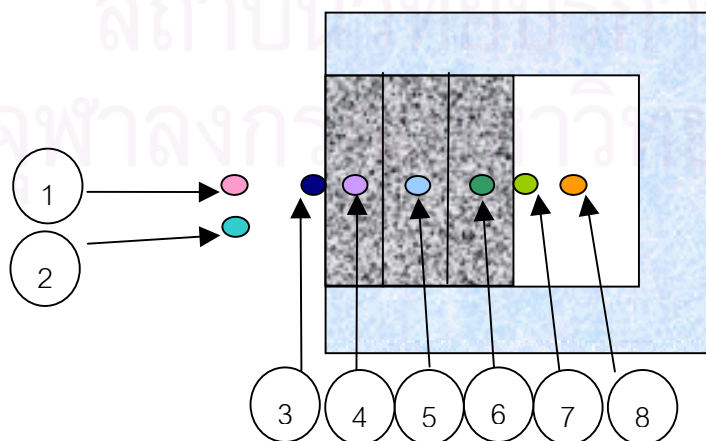
กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$



ภาพที่ 4-2 กล่องทดลองที่ 2

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (7) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$



ภาพที่ 4-3 กล่องทดลองที่ 3

- (1) คุณหม้ออากาศภายนอก (DB)
- (2) คุณหม้อกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) คุณหม้อผิวภายนอก
- (4) คุณหม้อภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) คุณหม้อภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) คุณหม้อภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
- (7) คุณหม้อผิวผนังภายใน
- (8) คุณหม้อภายในกล่องทดลอง

### ผลการทดสอบ

#### 1. คุณหม้ออากาศภายนอก

#### คุณหม้ออากาศภายนอกในช่วงวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544

คุณหม้ออากาศภายนอกสูงสุด ต่ำสุด พิสัย และค่าเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

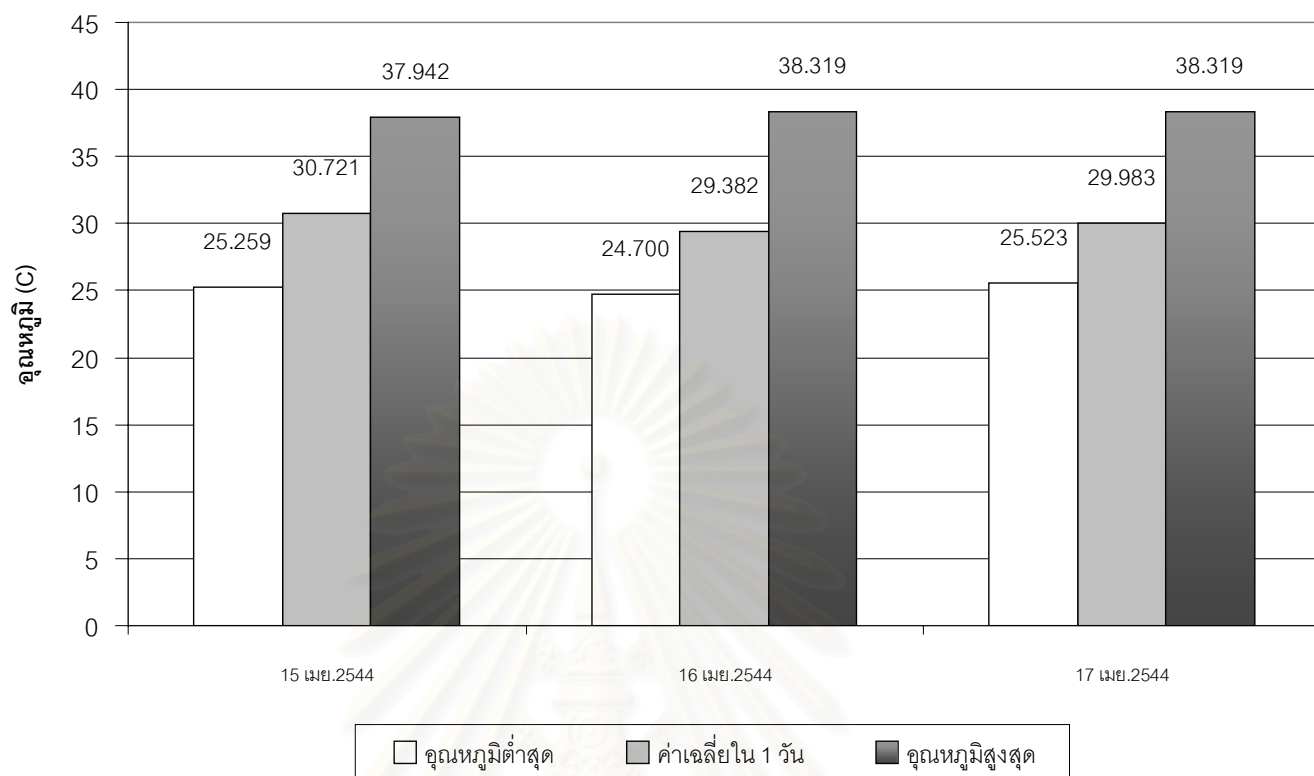
วัน <sup>1</sup>	เวลาสูงสุด	คุณหม้อสูงสุด	เวลาต่ำสุด	คุณหม้อต่ำสุด	พิสัย	ค่าเฉลี่ยใน 1 วัน	ฝน
14 เมย. 2544	13:45	37.942	6:45	25.259	12.683	30.721	ไม่มีฝน
15 เมย.2544	13:45	38.319	6:45	24.700	13.619	29.382	16.00-17.00
16 เมย.2544	13:45	38.319	6:45	25.523	12.796	29.983	ไม่มีฝน
เฉลี่ย		38.193		25.161	13.033		
คุณหม้อเฉลี่ยตลอด 5 วันเท่ากับ 29.694 องศาเซลเซียส							

ตารางที่ 4-1 คุณหม้ออากาศในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544

คุณหม้ออยู่ในช่วงสูกุ่มร้อนขึ้นมาก-ลมใต้ ในประเทศไทย<sup>2</sup> พบว่ามีคุณหม้อเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส คุณหม้อเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส มีพิสัยเฉลี่ยเท่ากับ 13.033 องศาเซลเซียส และมีคุณหม้อเฉลี่ยตลอด 3 วันเท่ากับ 29.694 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีคุณหม้อสูงสุดคือ 13.45 น. ช่วงเวลาที่มีคุณหม้อต่ำสุดคือ 6.45 น. สามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้

<sup>1</sup> เนื่องจากทำการวัดในช่วงเวลา 20.45 น. ของวันที่ 13 เมษายน และเสร็จในช่วง 12.45 น. ของวันที่ 17 เมษายน 2544 ทั้งสองวันในวันเริ่มและวันสิ้นสุดการวัดจึงไม่มีคุณหม้อสูงสุดและต่ำสุด

<sup>2</sup> แบ่งภูมิอากาศในประเทศไทยตามเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า ของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ



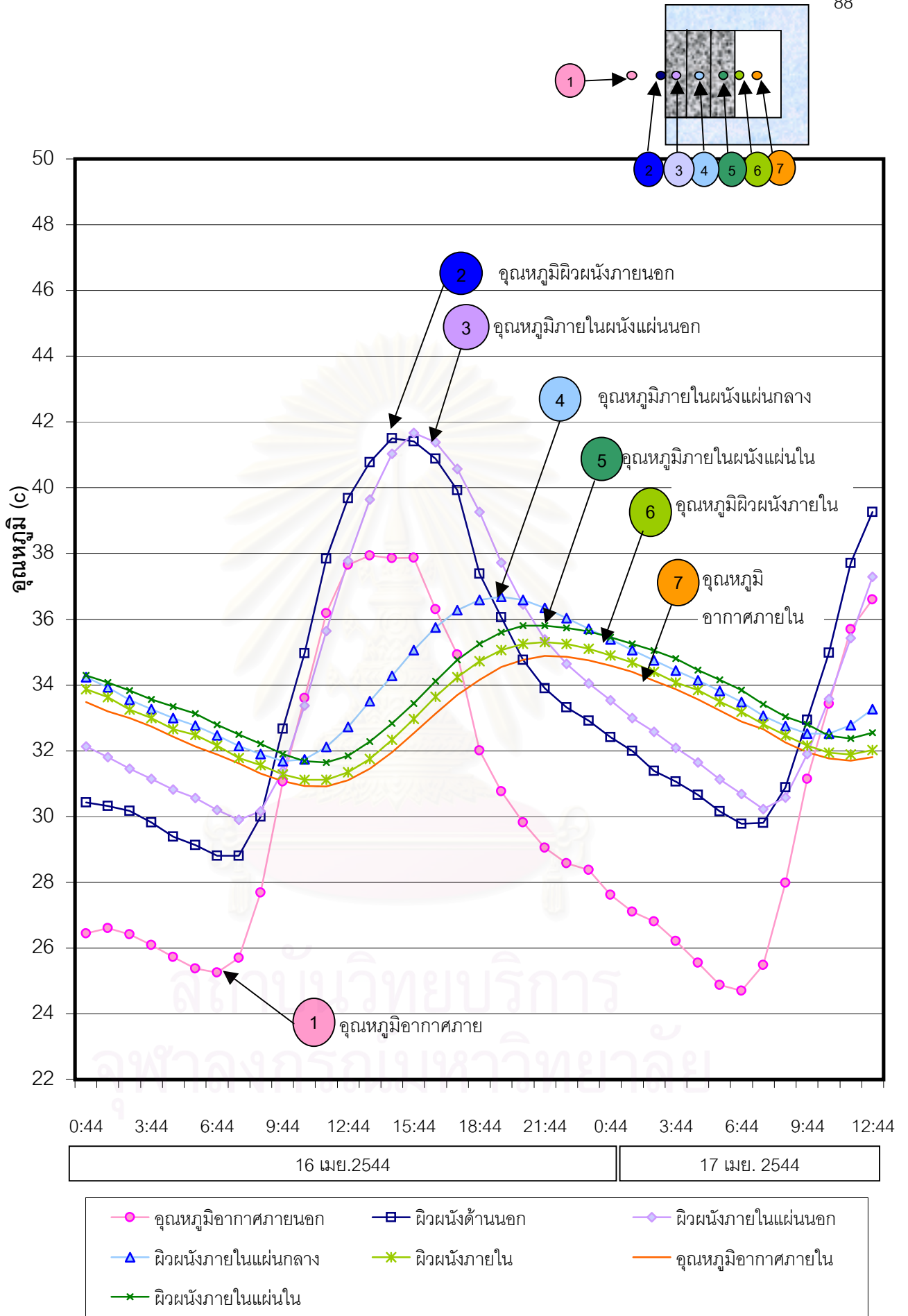
แผนภูมิที่ 4-1 อุณหภูมิอากาศในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544

## 2. ผลการทดลองพฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด

### 2.1 ก่อผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.

ก่อก่อผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-2 กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส



จากแผนภูมิที่ 4-2 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงที่สุดไปจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
2. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
3. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

จะเห็นว่าอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ มีการเรียงตัวจากลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในได้ถูกต้อง

มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

### สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 17.45 น. วันที่ 14 เมษายน 2544 เท่ากับ 35.81 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิกอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 8.45 วันที่ 16 เมษายน 2544 เท่ากับ 30.324 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 33.261 องศาเซลเซียส

มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่วันที่หรือพิสัยในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 3.572 องศาเซลเซียส

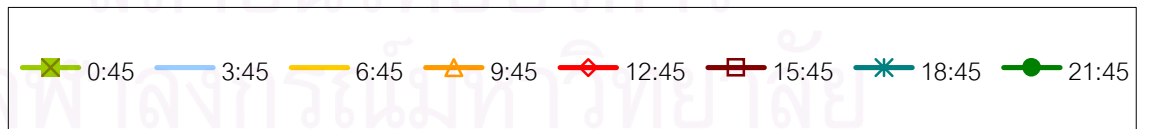
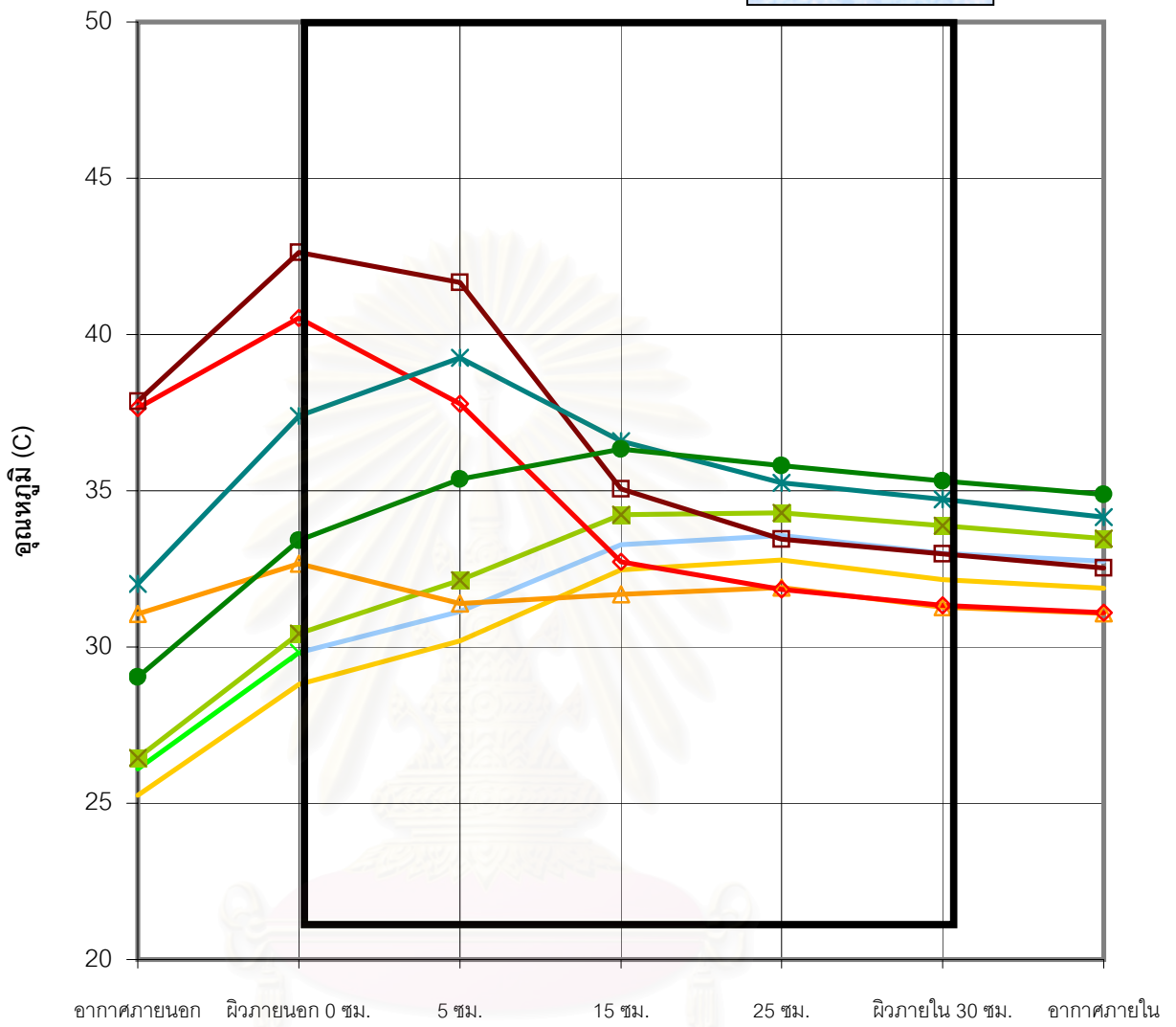
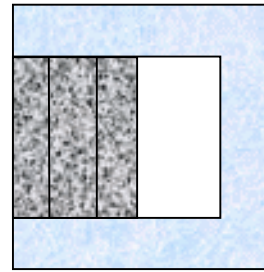
มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 4-6 ชั่วโมง

### พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 16 เมษายน 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนัง คอนกรีตหนา 30 ซม.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-3 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-3 พบว่าอุณหภูมิผิวภายนอกผนัง มีค่าสูงมากในช่วงเวลากลางวัน (8.00-18.00 น.) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากแสงแดดที่ส่องกระทบผิวผนังโดยตรง (Sol-air temperature) ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรมีอุณหภูมิสูงขึ้นใกล้เคียงกัน และอุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอกสูงขึ้นตาม และจะชะลอการถ่ายเทความร้อนที่ตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก เมื่ออุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.45-10.45 น. และผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ที่เวลา 10.45-16.45 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.45 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 16.45 น. จากนั้นผนังภายในระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทกลับสู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 17.45-18.45 ซึ่งหลังจากนี้จนกระทั่ง 7.45 น. ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. จะถ่ายเทออกมาด้วย อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.45 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.45 น. ต่อไป ผนังภายในที่ระยะ 25 ซม. และผิวผนังภายในกล่องทดลองจะรับการถ่ายเทความร้อนเข้าออกในช่วงเวลาเดียวกันคงที่เพราะอยู่ลึกเข้าไปภายในกล่องและส่วนใหญ่จะรับการถ่ายเทความร้อนเข้า สามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.45-18.45น.)

#### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม.  
8.45-10.45 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 10.45-16.45 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. และความร้อนออกจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. สู่ผิวผนังภายนอก 17.45-18.45 น.  
เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.45 น.

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก  
16.45-18.45 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.45-6.45 น.)

การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และออกสู่ผิวผนังภายนอก 19.45-7.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.45 น.

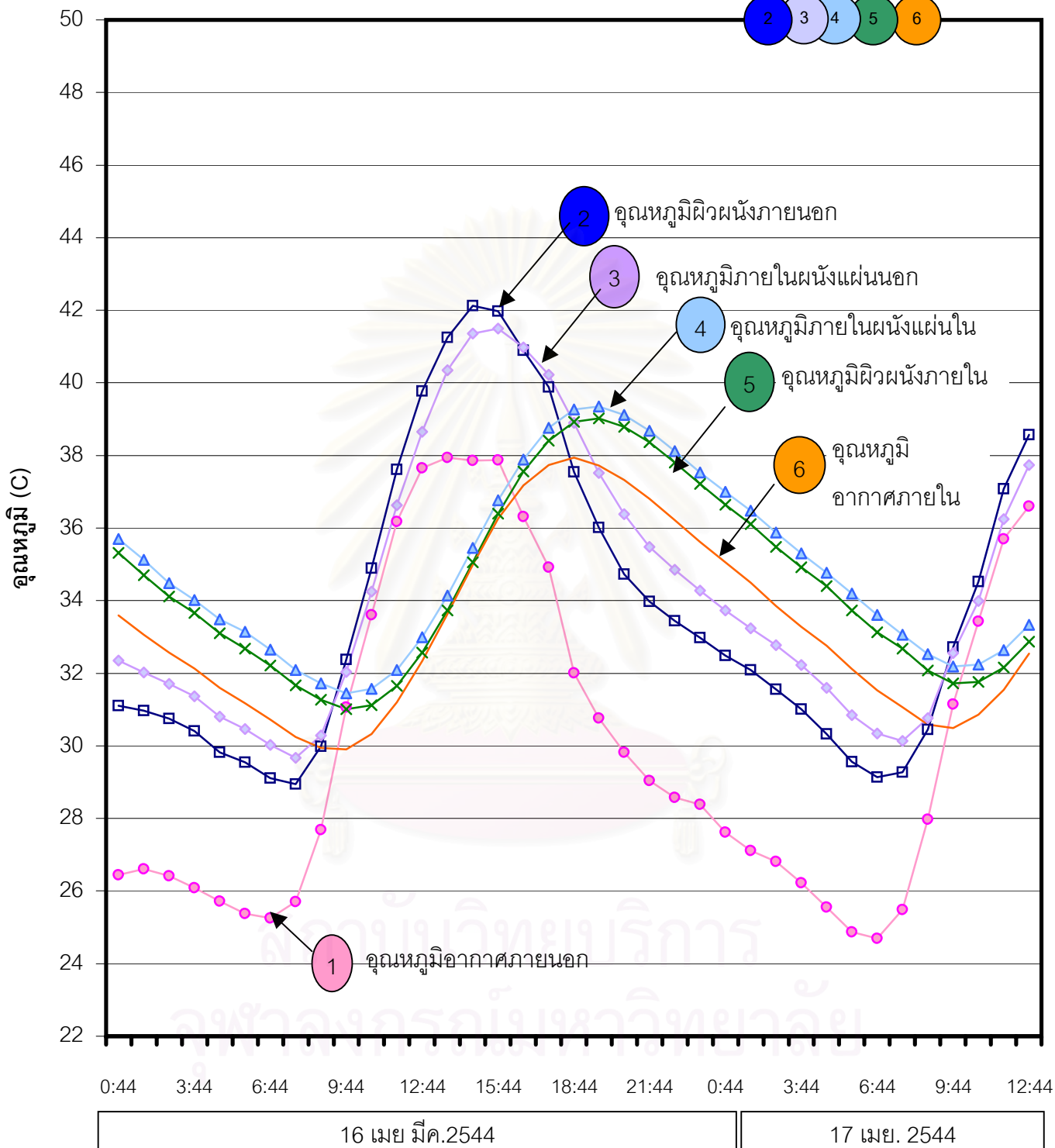
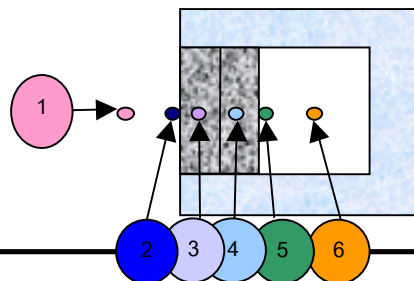
## 2.2 กล้องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.

กล้องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- ผิวผนังด้านนอก
- ◆ ผิวผนังภายในแผ่นนอก
- ▲ ผิวผนังภายในแผ่นใน
- × ผิวผนังด้านใน
- อุณหภูมิอากาศภายใน

แผนภูมิที่ 4-4 กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161

จากแผนภูมิที่ 4-4 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงที่สุดไปจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
2. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
6. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิมีการเรียงตัวกันอย่างถูกต้อง

มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
6. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิมีการเรียงตัวของการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในได้ชัดเจน

### สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. วันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูง ณ เวลา 18.45 น. วันที่ 14 เมษายน 2544 เท่ากับ 37.945

องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำ ณ เวลา 9.45 วันที่ 16 เมษายน 2544 เท่ากับ 28.453 องศา

เซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 33.018

องศาเซลเซียส

มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่วันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 7.335 องศาเซลเซียส

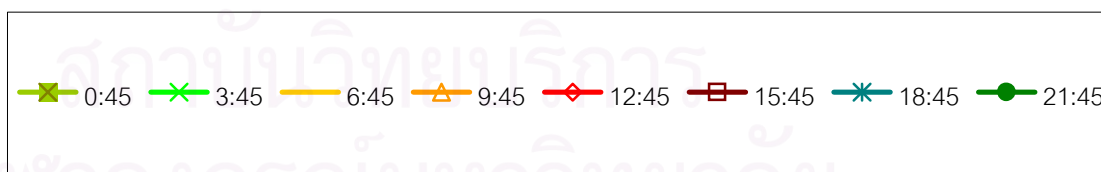
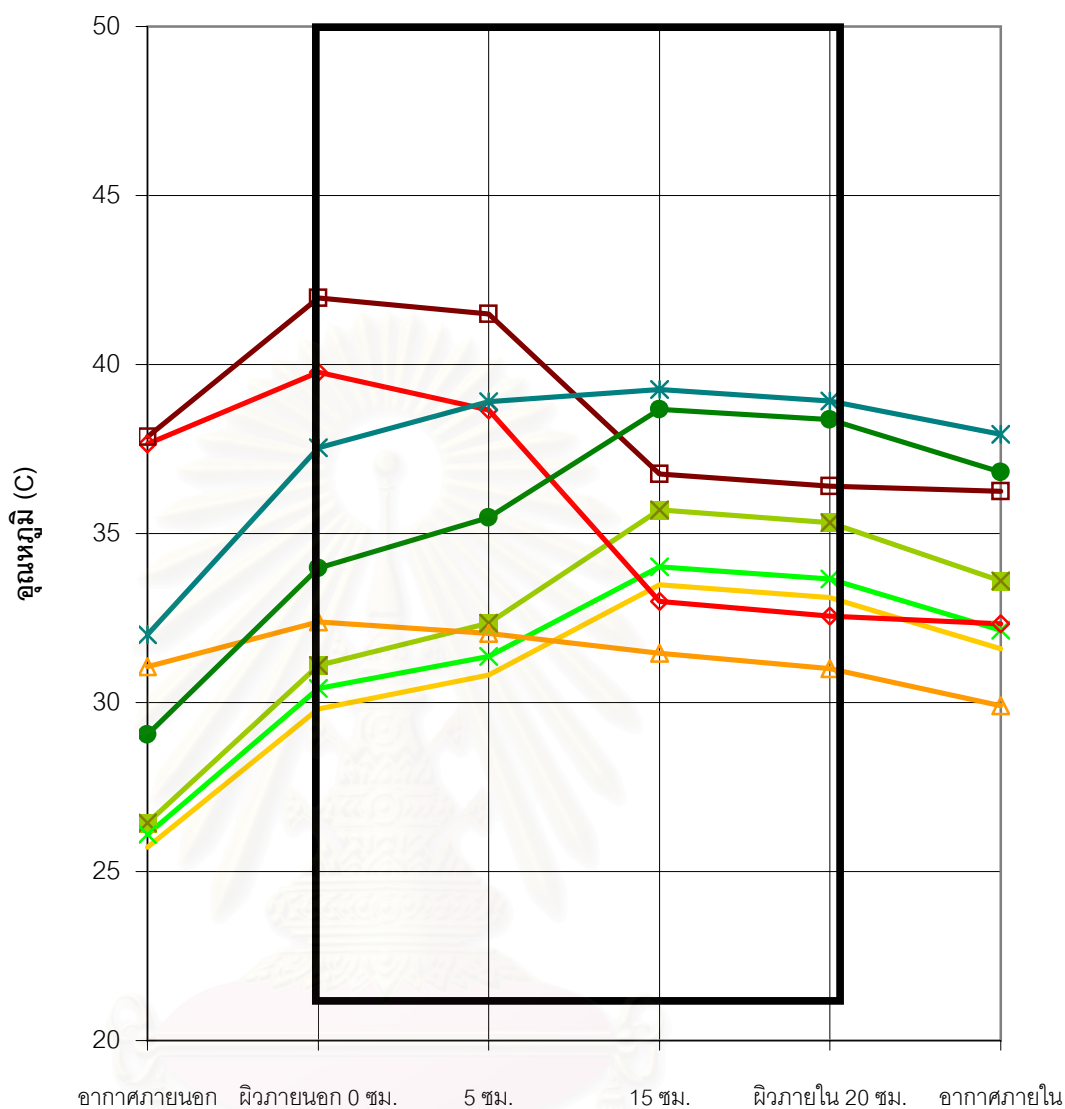
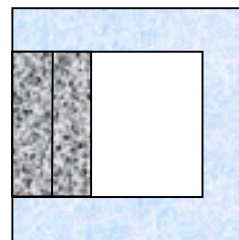
มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 2-5 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 16 เมษายน 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม

จากแผนภูมิที่ 4-5 พบว่าการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกจะเข้ามาที่ผิวผนังภายนอก สู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม.และจะชะลอการถ่ายเทความร้อนที่ตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก เช่นเดียวกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. เมื่ออุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.45 น. และผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ตั้งแต่เวลา 9.45-17.45 น.อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 14.45 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 15.45 น. จากนั้นผนังภายในระยะ 5 ซม.จะถ่ายเทกลับสู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 17.45 น. ซึ่งหลังจากนี้จนกระทั่ง 7.45 น.ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม.จะถ่ายเทออกมาด้วย อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 6.45 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.45 น. ต่อไป ผิวผนังภายในกล่องทดลองจะรับการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. แล้วจะพบว่าช่วงของอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิห่างกันไปด้วย สามารถสรุปได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-5 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.45-18.45น.)

การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม.

8.45 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 9.45-16.45 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. และความร้อนออกจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. สู่อากาศภายนอกผนัง 17.45 น

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 14.45 น.

การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกจากผิวผนังภายนอก 17.45-18.45 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.45-6.45 น.)

การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลากการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และออกจากผิวผนังภายนอก 18.45-7.45 น.

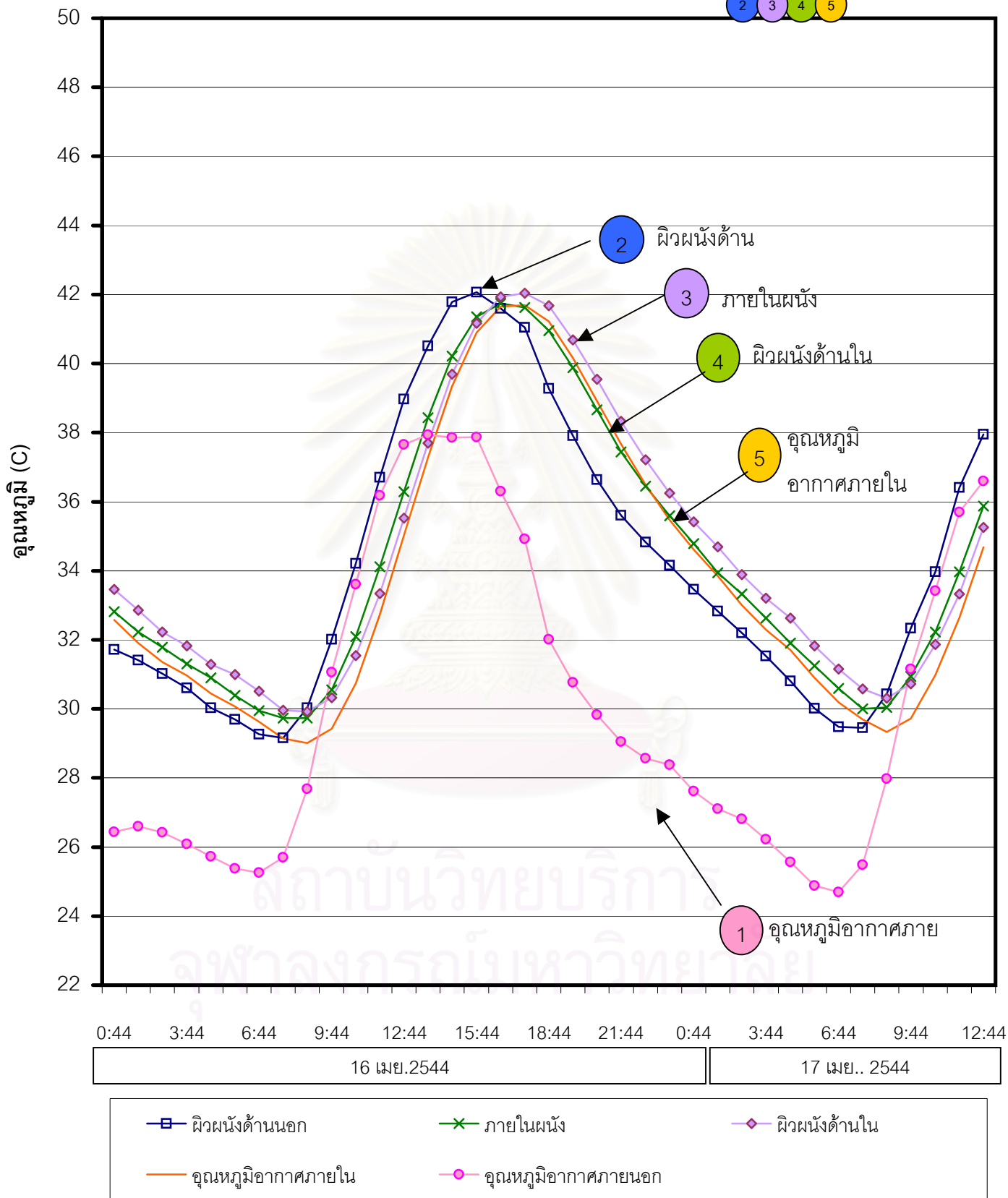
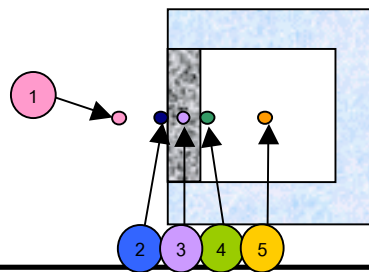
เวลาที่อุณหภูมิมิผนังภายนอกต่ำสุด 6.45 น.

### 2.3 กล้องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.

กล้องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึงวันที่ 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





แผนภูมิที่ 4-6 กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศา

จากแผนภูมิที่ 4-6 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิเรียงจากอุณหภูมิสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
2. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
3. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
4. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
5. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)

มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
2. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
3. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
4. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
5. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิมีการเรียงตัวของ การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในได้ชัดเจน

### สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูง ณ เวลา 18.45 น. วันที่ 14 เมษายน 2544 เท่ากับ 41.688 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำ ณ เวลา 9.45 วันที่ 16 เมษายน 2544 เท่ากับ 28.053 องศาเซลเซียส

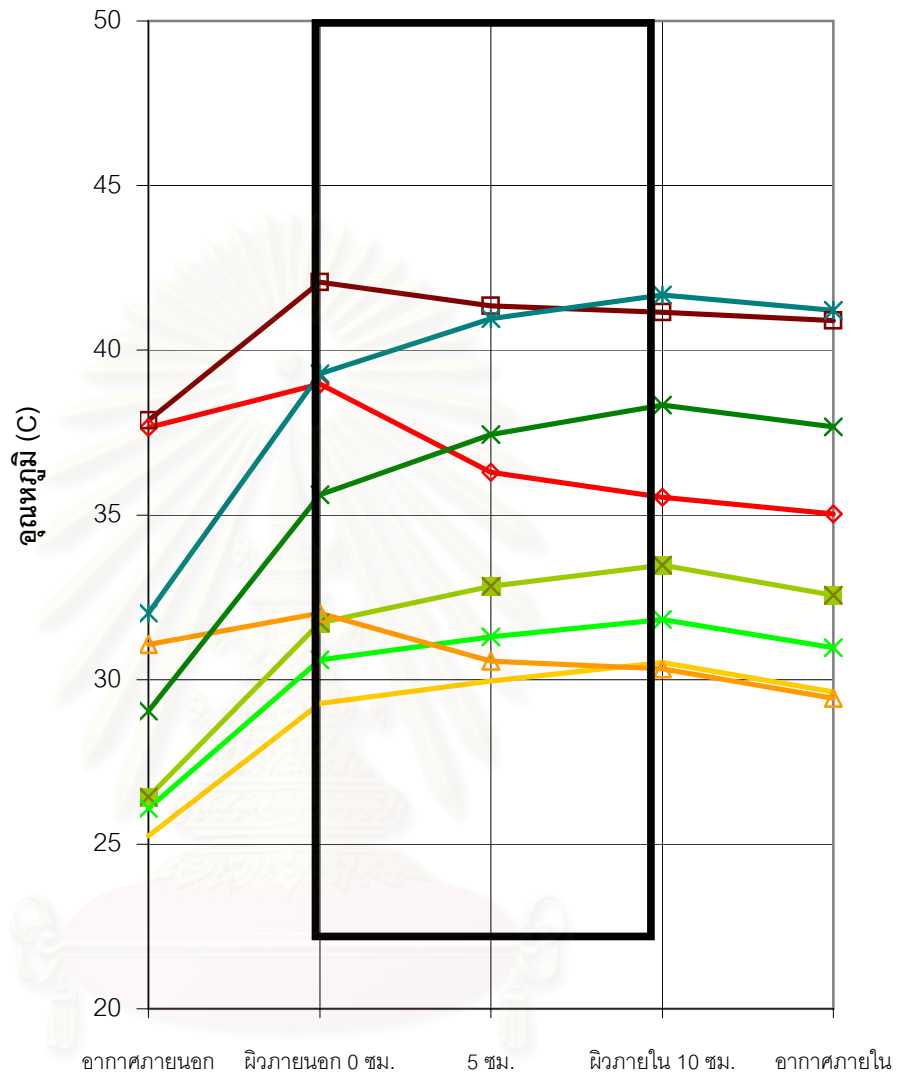
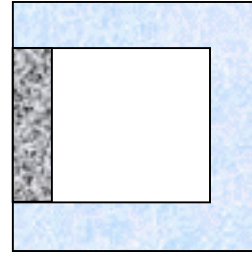
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 33.635 องศาเซลเซียส

มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่วันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 11.829 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 1-2 ชั่วโมง

### พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 16 เมษายน 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.



แผนภูมิที่ 4-7 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง  
 ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-7 พบว่าความร้อนจากภายนอกจะสามารถถ่ายเทเข้าไปภายในผนังได้โดยง่าย ทำให้อุณหภูมิในจุดต่าง ๆ มีค่าเท่า ๆ กันในเวลาเดียวกัน การถ่ายเทความร้อนเข้าและออกจะไม่มี การถ่ายเทความร้อนกลับไปมาภายในผิวผนังดังเช่นผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. และ 20 ซม. เนื่องจากผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าความจุความร้อนต่ำที่สุด จึงไม่สามารถเก็บความร้อนในช่วงอุณหภูมิค่อย ๆ สูงขึ้นจนสามารถถ่ายเทกลับออกไปในช่วงอุณหภูมิลดลงได้ โดยในเวลาที่อุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ต่อไปยังผิวผนังด้านในเกิดขึ้นตั้งแต่เวลา 9.45 -15.45 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.45 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 16.45 น. จากนั้นผิวผนังภายในจะถ่ายเทความร้อนกลับสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกไปยังผิวผนังภายนอกที่เวลา 18.45-7.45 น. อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.45 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 9.45 น. ต่อ เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. และ 20 ซม. แล้วจะพบว่าช่วงของอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิต่างกันไปด้วยและอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.45-18.45น.)

#### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และผิวผนังภายใน 9.45-10.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.45 น.

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายใน สู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก 18.45 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.45-6.45 น.)

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายใน สู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก 18.45-7.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.45 น.

### 3. ผลการทดลองการเปรียบเทียบผนังแต่ละชนิด

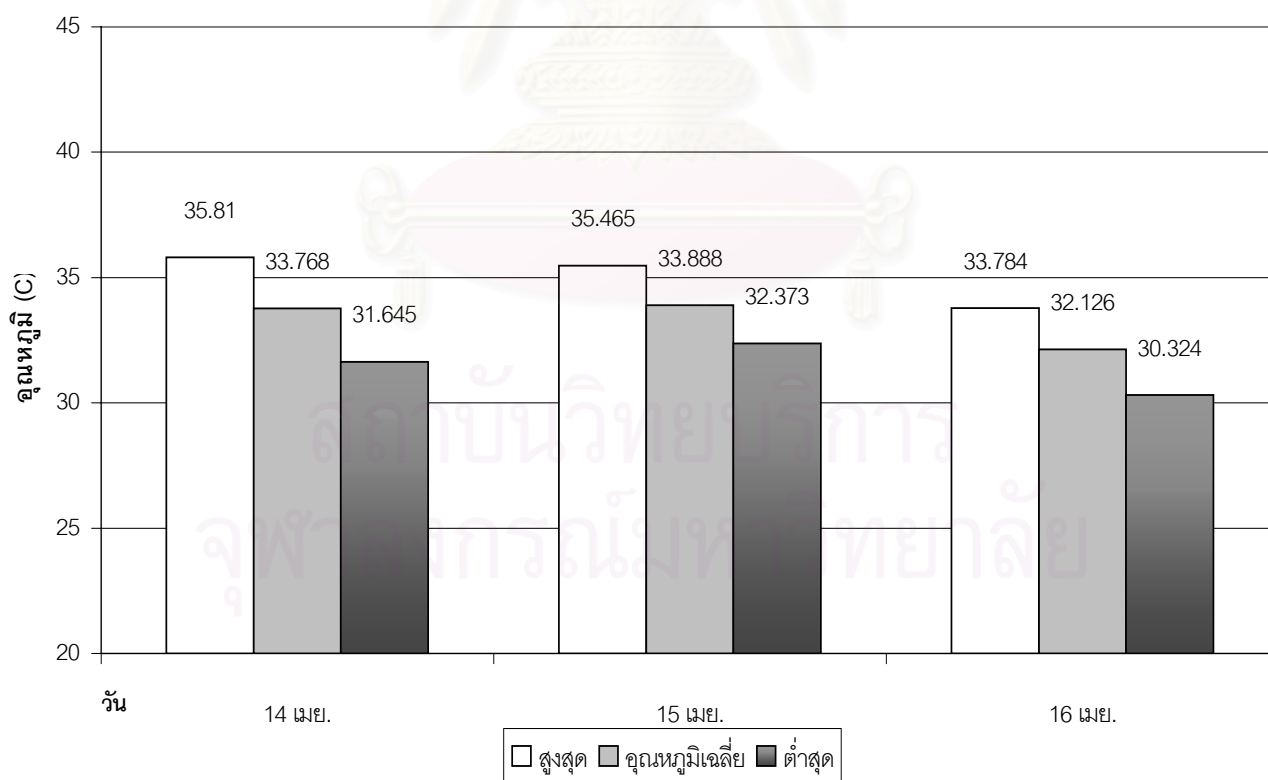
#### 3.1 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

#### อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

ในการทดสอบวันที่ 13 เมษายน ถึงวันที่ 17 เมษายน 2544

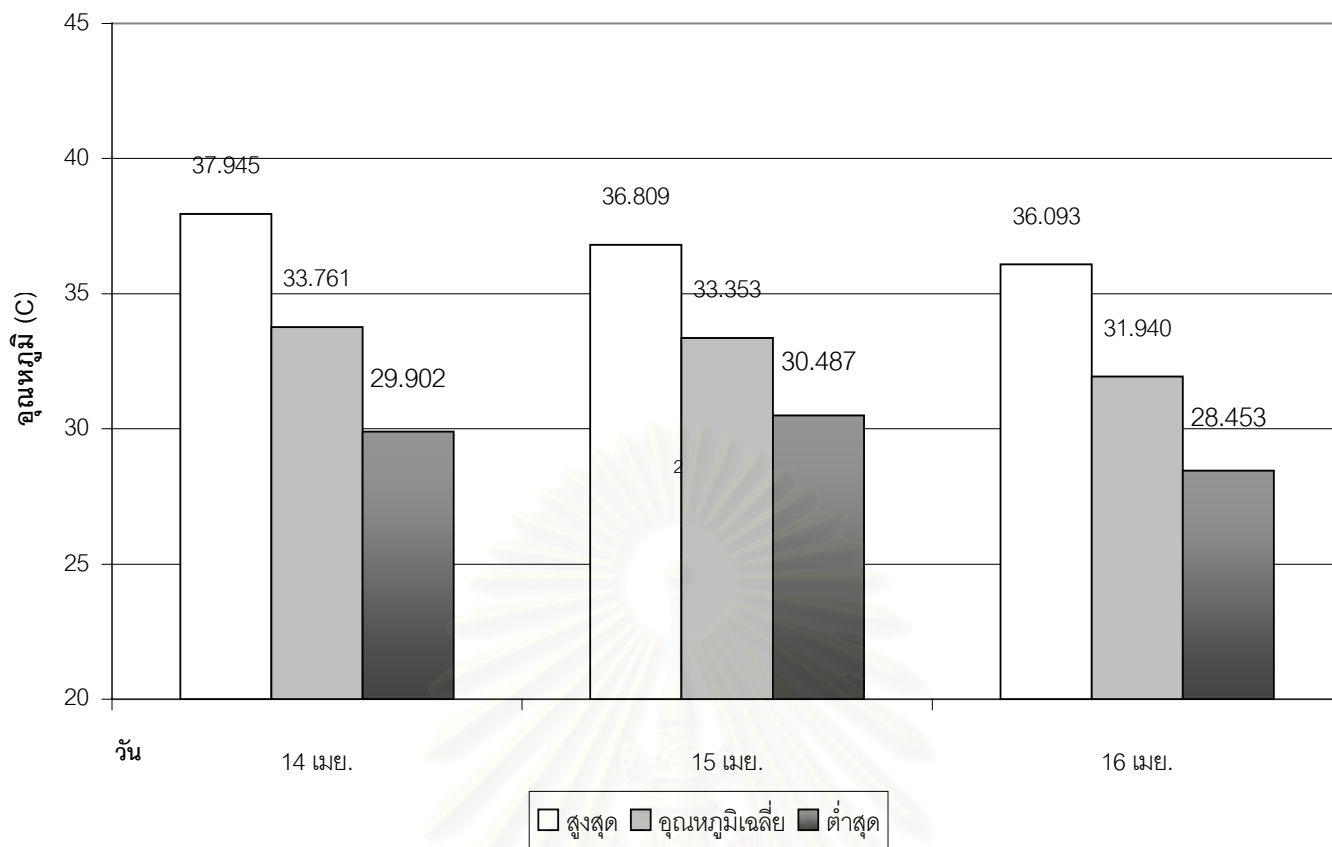
วันที่	30 ซม.				20 ซม.				10 ซม.			
	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย
14 เมย.	35.81	31.645	4.165	33.768	37.945	29.902	8.043	33.761	41.688	29.007	12.681	34.741
เวลา	19.45	10.45			18.45	9.45			18.45	9.45		
15 เมย.	35.465	32.373	3.092	33.888	36.809	30.487	6.322	33.353	40.856	29.329	11.527	33.521
เวลา	18.45	10.45			16.45	9.45			16.45	9.45		
16 เมย.	33.784	30.324	3.460	32.126	36.093	28.453	7.64	31.940	39.332	28.053	11.279	32.642
เวลา	19.45	10.45			18.45	9.45			18.45	9.45		
เฉลี่ย	35.020	31.447	3.572	33.261	36.949	29.614	7.335	33.018	40.625	28.796	11.829	33.635

ตารางที่ 4-2 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในการทดสอบวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544



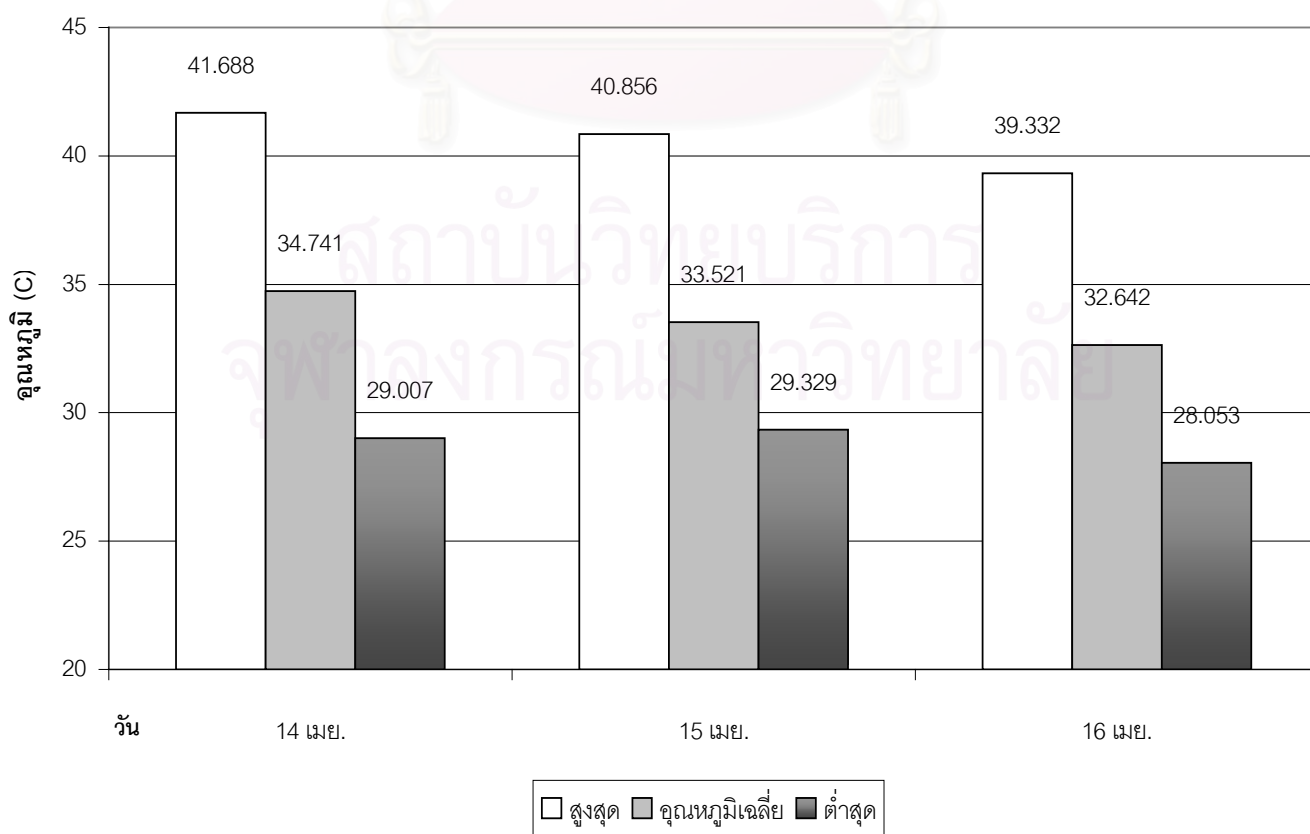
แผนภูมิที่ 4-8 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.

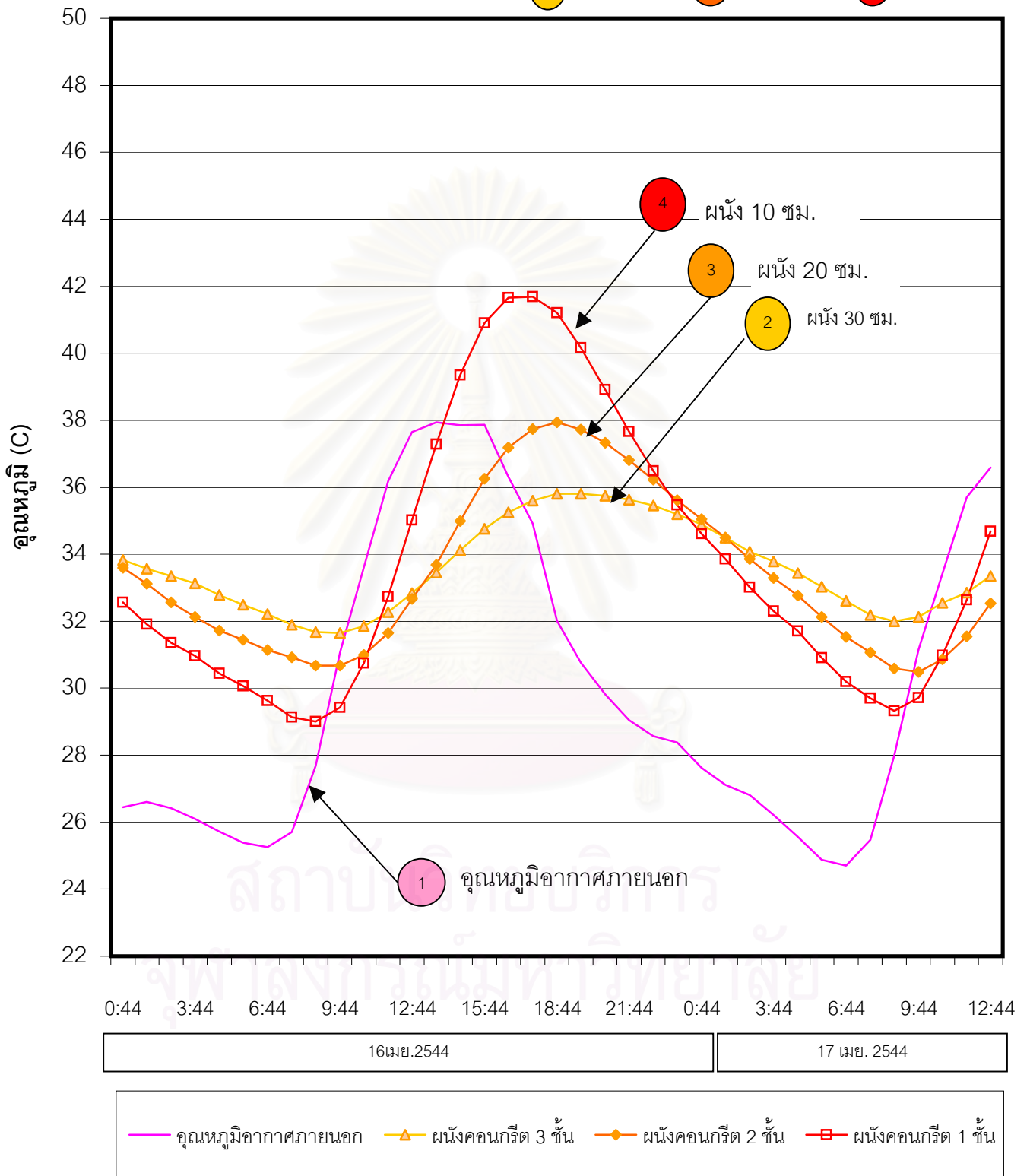
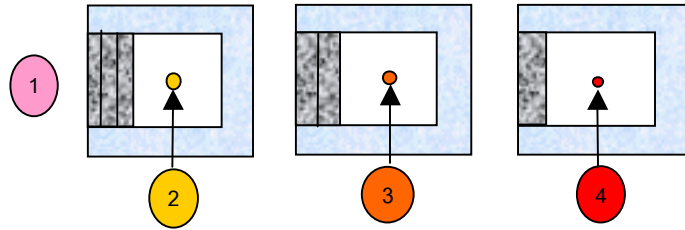




แผนภูมิที่ 4-9 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.

แผนภูมิที่ 4-10 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.





แผนภูมิที่ 4-11 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

### 3.2 อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

จากแผนภูมิที่ 4-11 พบว่าในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้น (Heat up) นั้น ผนังที่มีความหนา 10 ซม. มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุดสามารถรับปริมาณความร้อนเข้าไปได้เต็มที่ นอกจากนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุด ส่งผลให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปภายในกล่องทดลองได้เร็ว ปริมาณความร้อนเข้ามาได้มากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายในจึงสูงสุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. จึงมีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยลงมา และผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. จะมีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยที่สุด อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 37.97 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.45 และ 14.45 น.

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้น นั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 40.625 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 2.655 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 16.45 และ 18.45 น.

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 36.949 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 1.021 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 16.45 และ 18.45 น.

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 35.020 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 2.95 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 18.45 และ 19.45 น.

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลง (Cool down) นั้น ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุดสามารถถ่ายเทปริมาณความร้อนที่อยู่ภายในกล่อง และเนื้อผนังออกไปสู่อากาศภายนอกที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้ง่ายกว่าและเร็วกว่าผนังที่มีค่าความจุความร้อนสูงกว่าซึ่งยังเก็บกักความร้อนอยู่ภายใน อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนัง 10 ซม. จึงต่ำสุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. จึงมีอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่าและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. จะ

มีอุณหภูมิอากาศภายในมากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 25.16 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6.45 น.

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงนั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

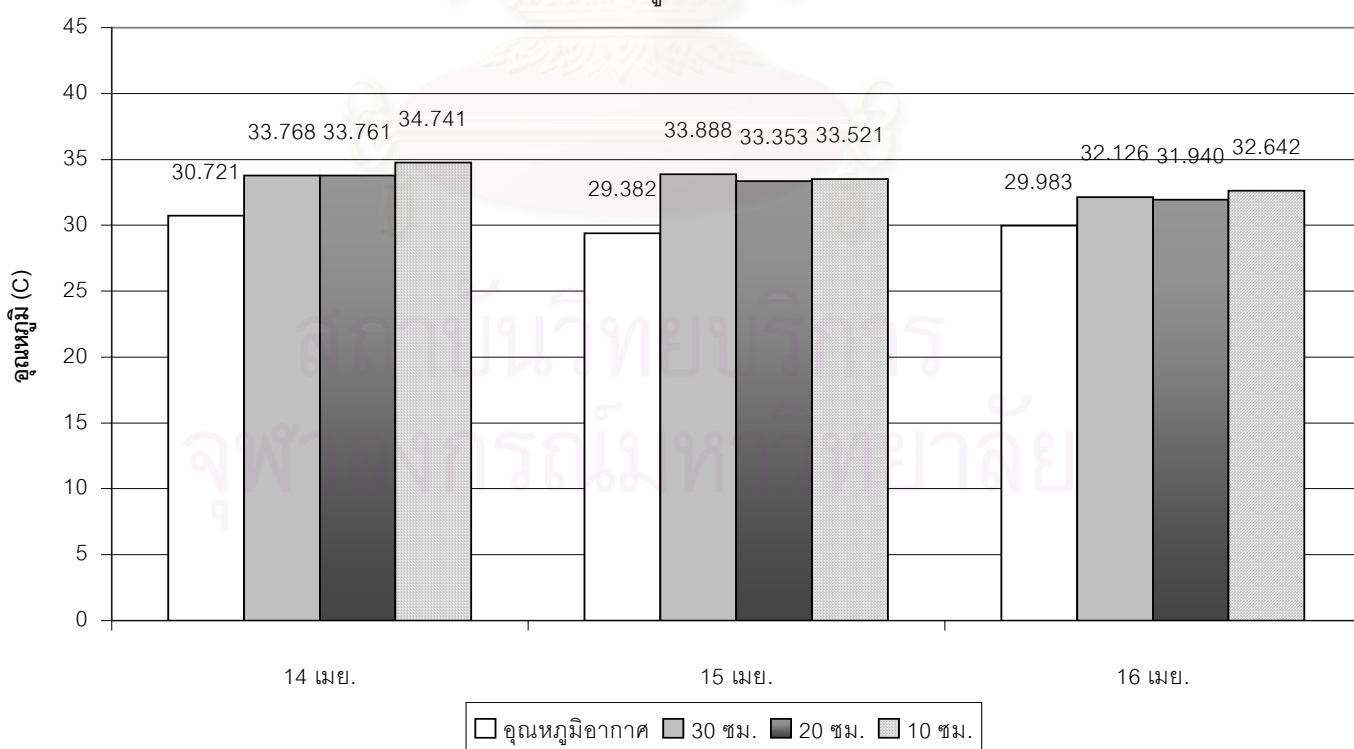
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 31.447 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 6.287 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 10.45 น.

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.614 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 4.454 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 9.45 น.

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 28.796 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 3.636 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 9.45 น.

### 3.3 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยจากการวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 สามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-12 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยในการทดสอบวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยทั้ง 3 กล่องไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถเรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยต่ำสุดไปถึงสูงสุดในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 33.261 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 33.018 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 33.635 องศาเซลเซียส



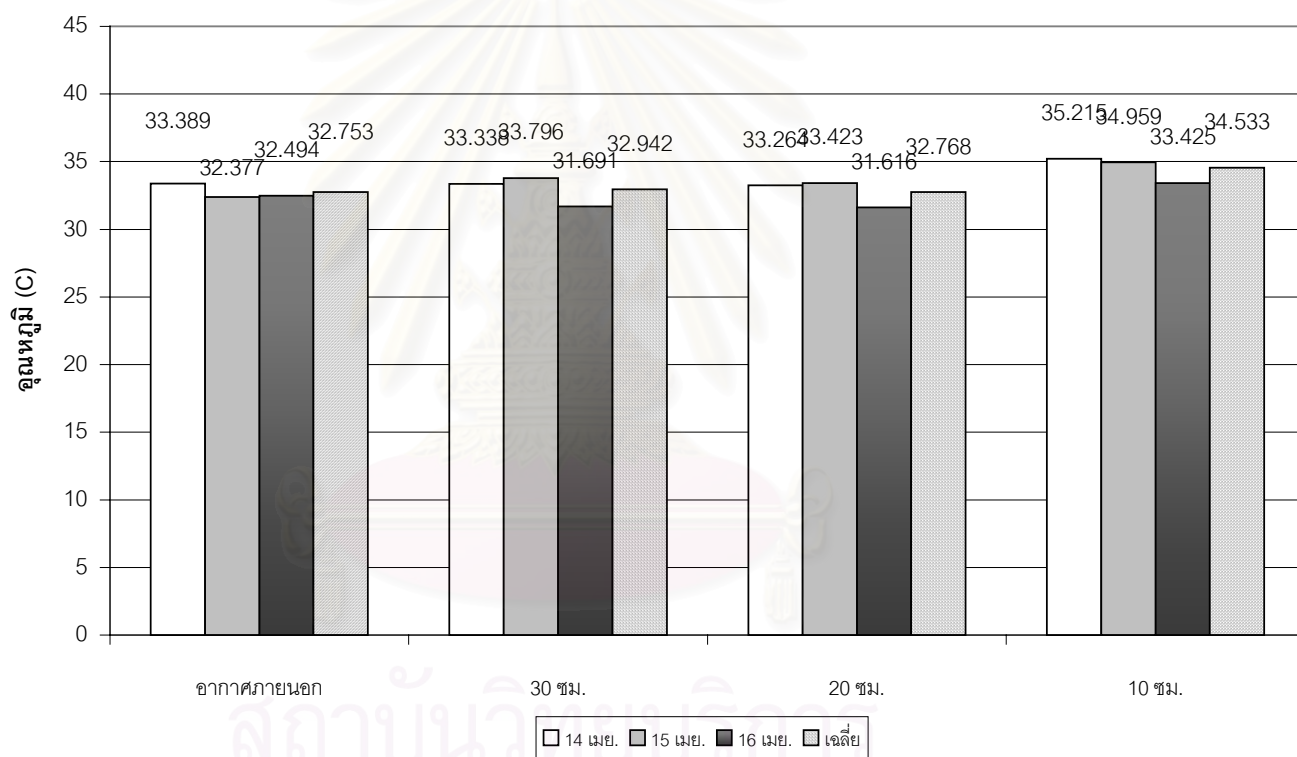
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

#### 3.4.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	30 ซม.	20 ซม.	10 ซม.
14 เมย. 2544	33.389	33.338	33.264	35.215
15 เมย. 2544	32.377	33.796	33.423	34.959
16 เมย. 2544	32.494	31.691	31.616	33.425
เฉลี่ย	32.753	32.942	32.768	34.533

ตารางที่ 4-3 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม.



แผนภูมิที่ 4-13 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม.

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ดังนี้



1. ผงังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 32.942 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0.188 องศาเซลเซียส
2. ผงังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 32.768 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0.014 องศาเซลเซียส
3. ผงังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 34.553 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 1.78 องศาเซลเซียส

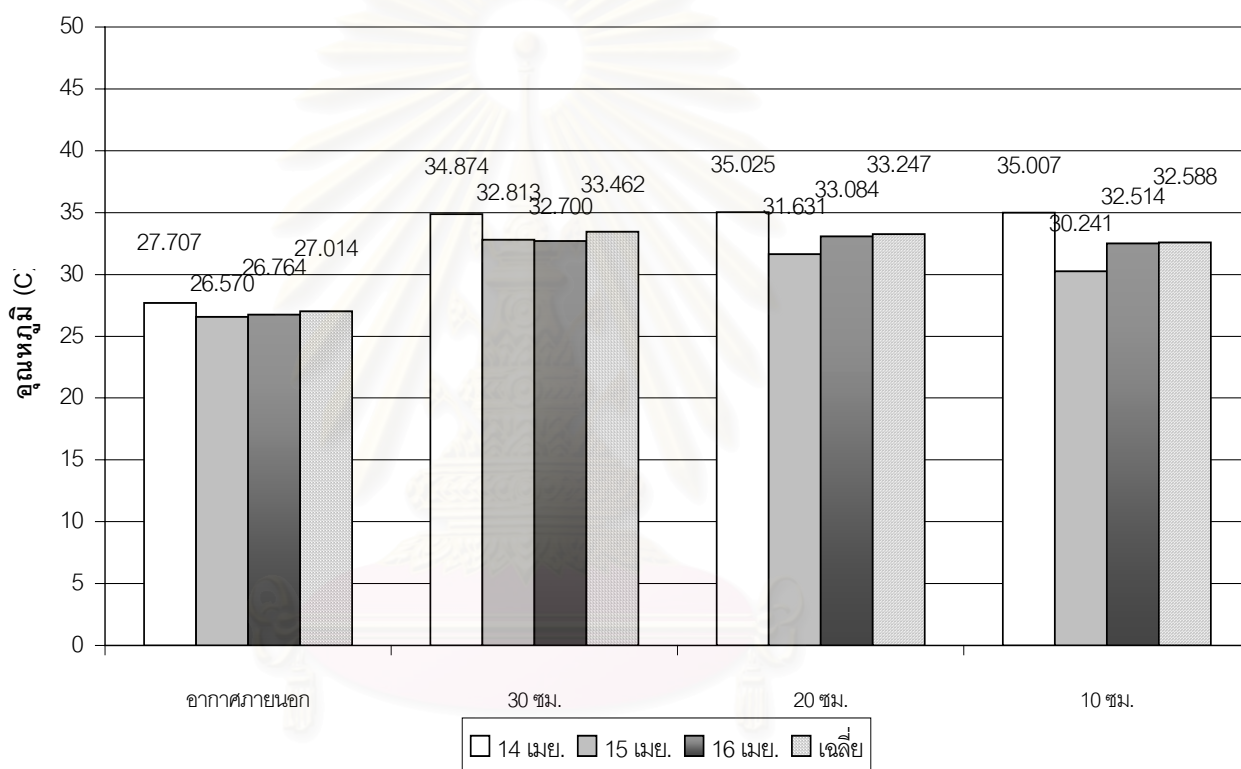


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4.2 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน (18.00-6.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	30 ซม.	20 ซม.	10 ซม.
14 เมย. 2544	27.707	34.874	35.025	35.007
15 เมย. 2544	26.570	32.813	31.631	30.241
16 เมย. 2544	26.764	32.700	33.084	32.514
เฉลี่ย	27.014	33.462	33.247	32.588

ตารางที่ 4-4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม.



แผนภูมิที่ 4-14 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม.

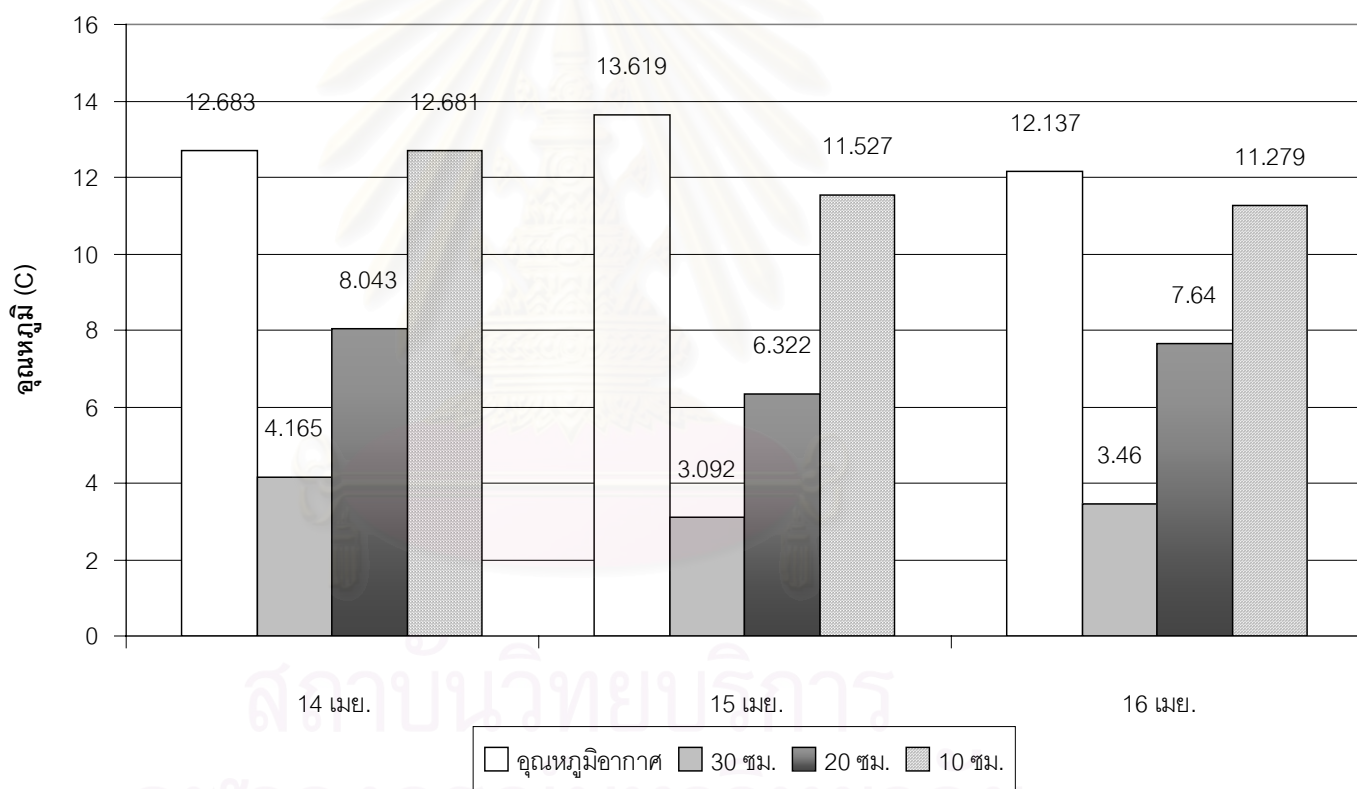
จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล่องทดลองในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 33.462 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 6.449 องศาเซลเซียส

2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 33.247 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 6.233 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 32.588 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 5.574 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั้งหมด จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานตลอดทั้งวัน

### 3.5 การแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันและพิสัย



แผนภูมิที่ 4-15 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในการทดสอบในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544

จะเห็นได้ว่าอิทธิพลจากภูมิอากาศภายนอกจะมีผลโดยตรงกับผนังที่มีความจุความร้อนต่ำสุดคือผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ซึ่งทำให้มีการแปรผันของอุณหภูมิภายในระหว่างวันมากที่สุด เนื่องจากสามารถรับ และเก็บกับความร้อน

ได้น้อยสุด ทำให้มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนมาก และเร็วที่สุด รองลงมาได้แก่ ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. และ 30 ซม.

จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ซึ่งมีค่าความจุความร้อนสูงที่สุดจะมีค่าคงที่ที่สุด อยู่ในช่วงที่มีพิสัยต่างกันไม่เกิน 2.5 องศาเท่านั้น

ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง เรียงลำดับจากกล่องที่มีพิสัยต่ำสุดไปถึงสูงสุดในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

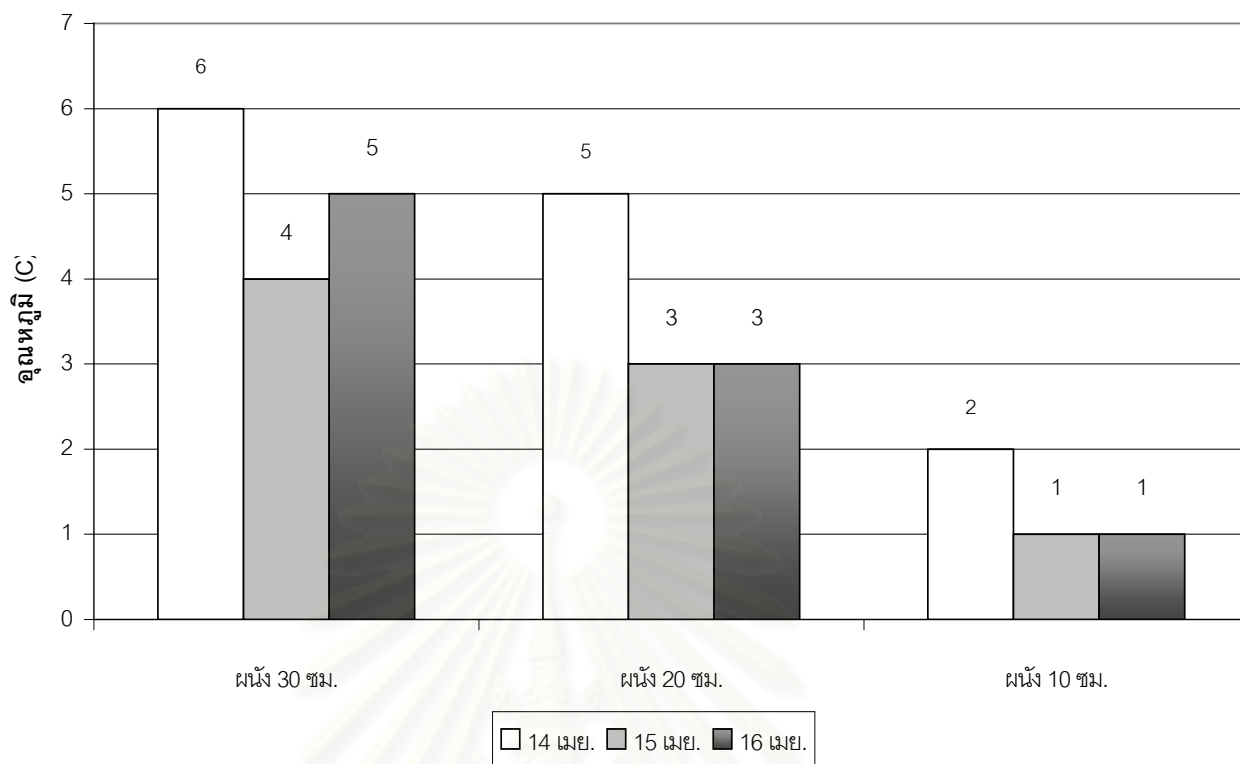
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าพิสัยประมาณ 3.572 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าพิสัยประมาณ 7.335 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าพิสัยประมาณ 9.211 องศาเซลเซียส

### 3.6 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด

ผลของเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

วัน	ผนัง 10 ซม.			ผนัง 20 ซม.			ผนัง 30 ซม.		
	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง
14 เมย.	15:45	17:45	2	14:45	19:45	5	14:45	20:45	6
15 เมย.	14:45	15:45	1	14:45	17:45	3	14:45	18:45	4
16 เมย.	15:45	16:45	1	15:45	18:45	3	15:45	20:45	5

ตารางที่ 4-5 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544



แผนภูมิที่ 4-16 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายใน  
สูงสุดของผนังในวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับ  
อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดตั้งแต่ 4-6 ชั่วโมง

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับ  
อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดตั้งแต่ 3-5 ชั่วโมง

ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับ  
อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดตั้งแต่ 1-2 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยจะสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่ผิว (อุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดลบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด) ได้เท่ากับ

วันที่	ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.	ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.	ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.
14 เมษายน 2544	7.187	3.846	0.883
15 เมษายน 2544	6.457	3.111	0.500
16 เมษายน 2544	7.14	3.323	0.366

ตารางที่ 4-6 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม.

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 6.928 องศาเซลเซียส

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 3.427 องศาเซลเซียส

ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.583 องศาเซลเซียส



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

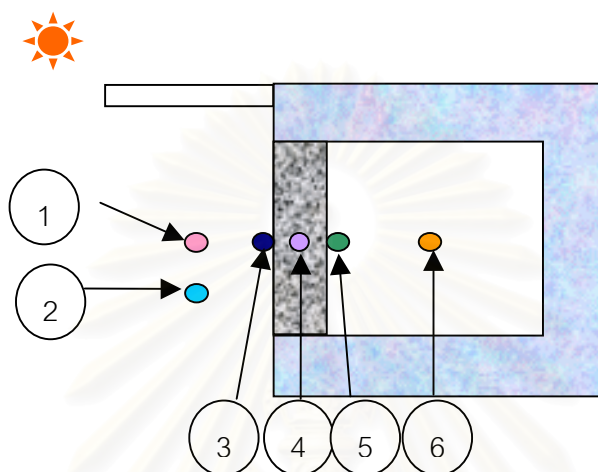


## การทดสอบที่ 2 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง

ทำการทดสอบในวันที่ 13 เมษายนถึงวันที่ 17 เมษายน 2544

กล่องทดลองที่ 4 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังนี้

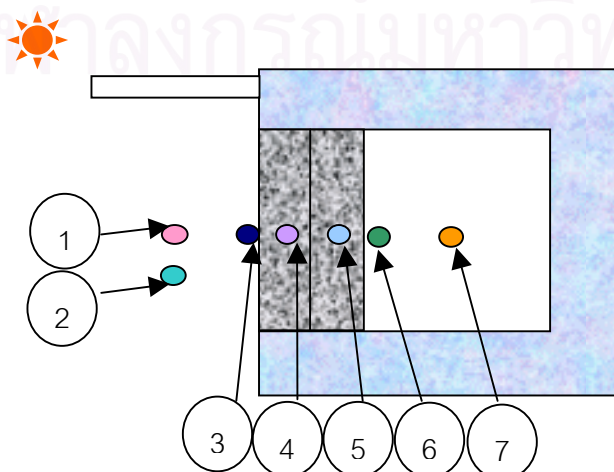


ภาพที่ 4-4 กล่องทดลองที่ 4

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (6) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

กล่องทดลองที่ 5 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่า

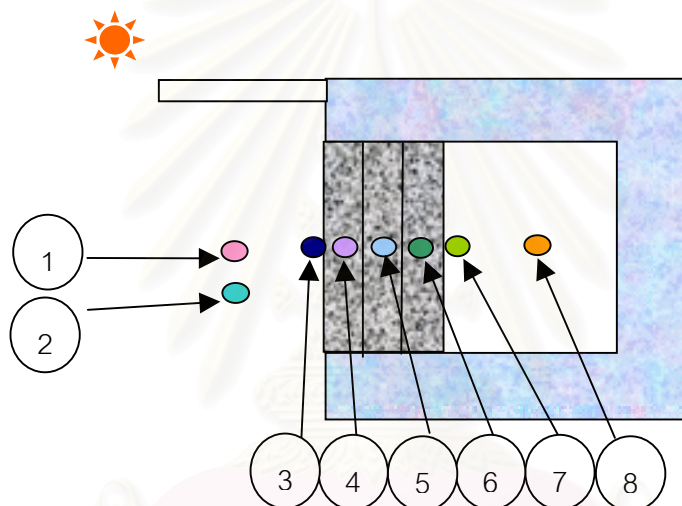
ความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot \text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังนี้



ภาพที่ 4-5 กล่องทดลองที่ 5

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (7) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

กล่องทดลองที่ 6 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังนี้



ภาพที่ 4-6 กล่องทดลองที่ 6

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
- (7) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (8) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง



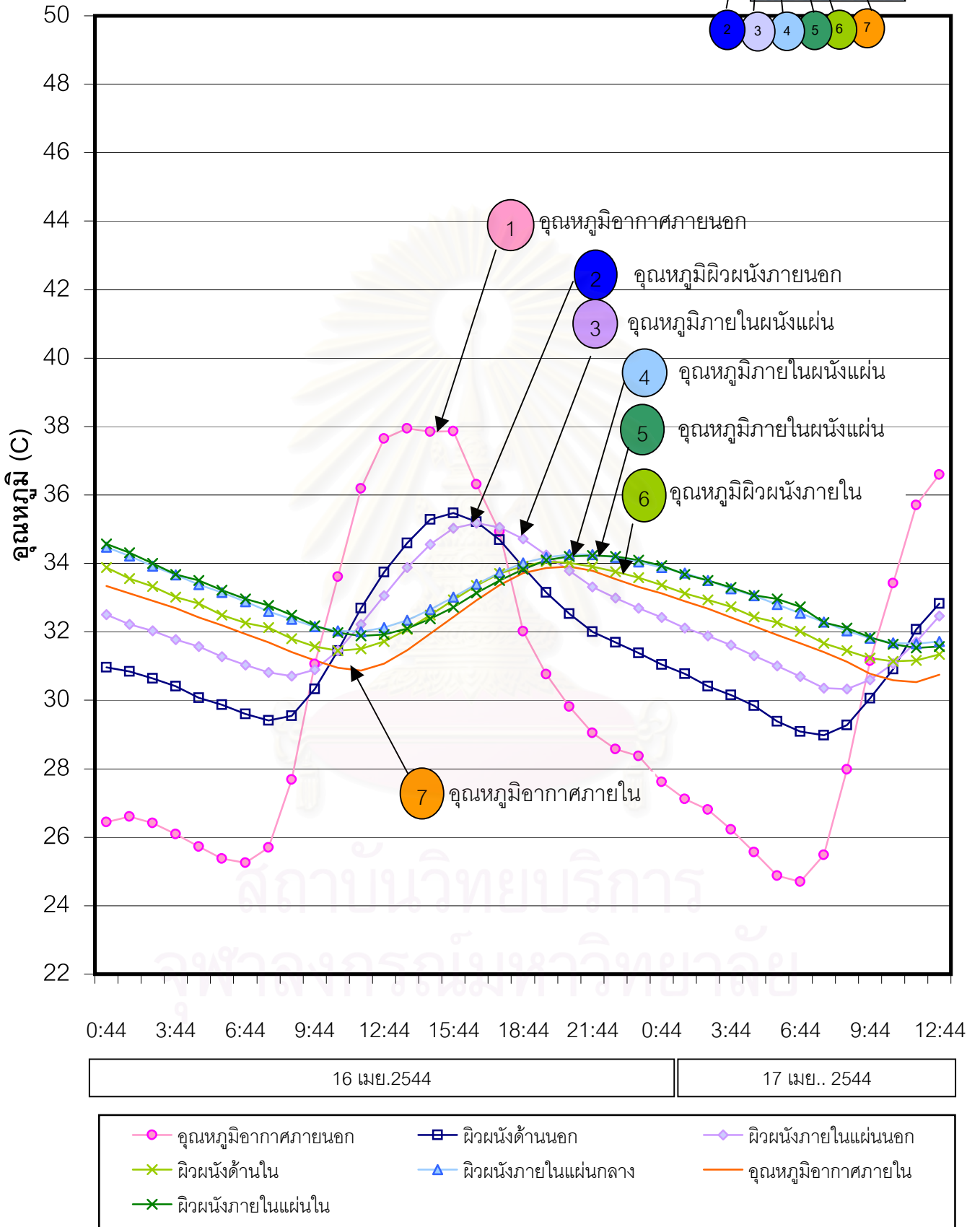
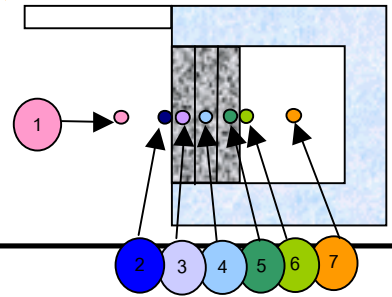
ภาพที่ 4-7 อุปกรณ์บังแดดของกล่องทดลองไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

**1. ผลการทดลองพฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด**

**1.1 กล่องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง**

ทำการทดลองในวันที่ 13 เมษายน ถึงวันที่ 17 เมษายน 2544 ได้ผลการทดลองดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผ่นภูมิที่ 4-17 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ไม่นอนแต่ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศา

จากแผนภูมิที่ 4-17 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีอุณหภูมิเรียงจากอุณหภูมิสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิทุกจุดจากการทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั้งหมด เนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลจากแสงแดดโดยตรง แต่อุณหภูมิผิวภายนอกผนังก็ยังมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน (9.00-18.00 น.) เพราะมีอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนของรังสีกระจาย ทำให้อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงที่สุด และถ่ายเทความร้อนต่อมายังภายในผนัง ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายนอกจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสามารถถ่ายเทความร้อนออกสู่อากาศภายนอกได้ง่ายที่สุดและในช่วงเวลากลางวันรับปริมาณความร้อนไม่มากนัก โดยยิ่งหวััดอุณหภูมิอยู่ลึกเข้าไปภายในกล่องก็ยิ่งมีอุณหภูมิมืดที่มากขึ้น มีช่วงเวลากการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
6. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
7. อุณหภูมิผิวผนังภายใน

### สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 17:45 น. วันที่ 14 เมษายน 2544 เท่ากับ 33.908 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิกอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 9:45 น. วันที่ 16 เมษายน 2544 เท่ากับ 28.469 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 31.306 องศาเซลเซียส

มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ช่วงวันที่หรือพิสัยในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 2.748 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 5-6 ชั่วโมงตามลำดับ

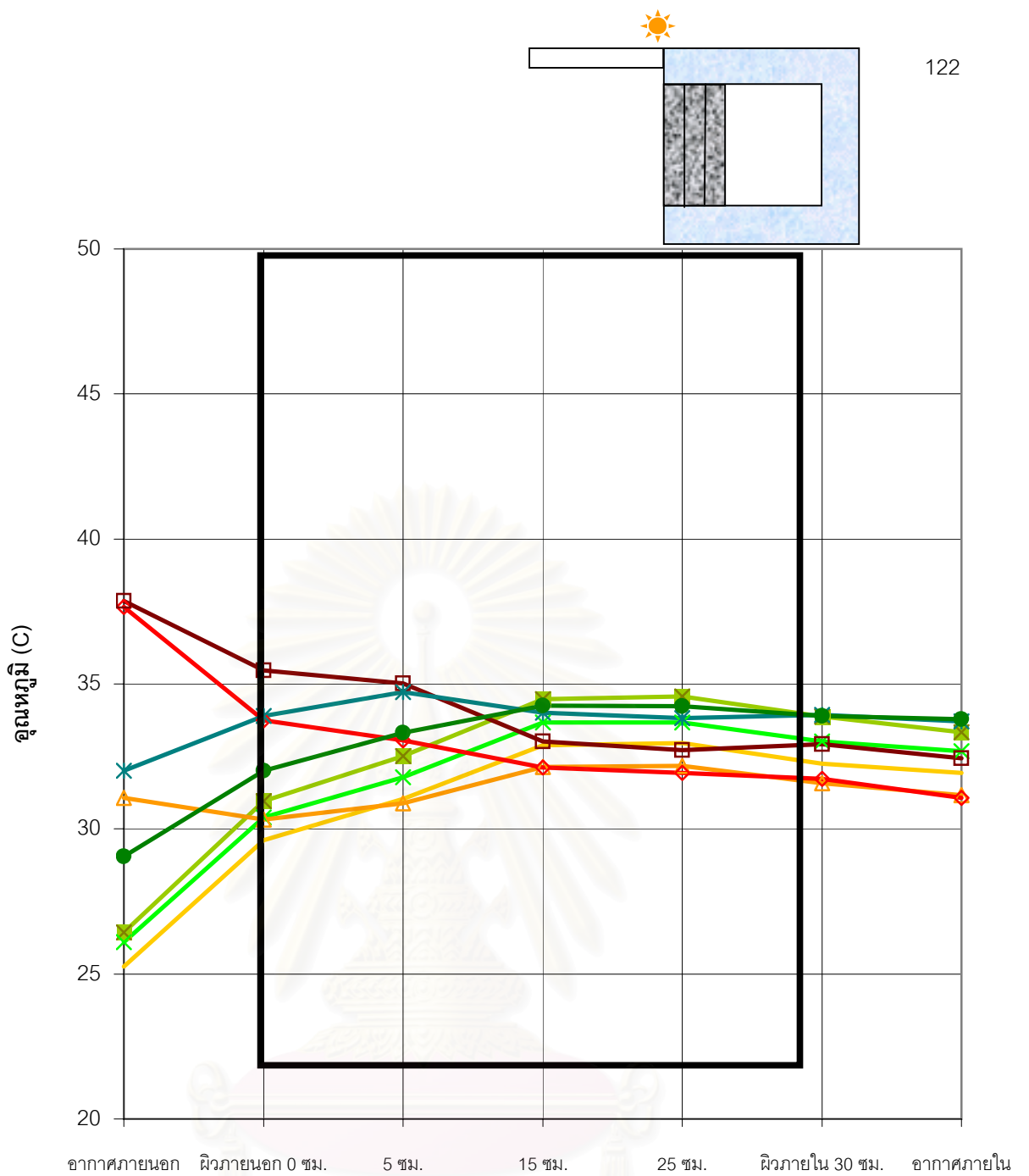
### พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 16 เมษายน 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





แผนภูมิที่ 4-18 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-18 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลาความร้อนค่อย ๆ สูงขึ้น (9.45-15.45 น.) สูงกว่าอุณหภูมิผิวมาก เนื่องจากผิววัสดุไม่ได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง อุณหภูมิในจุดต่าง ๆ จะมีช่วงห่างกันไม่สูงมากเนื่องจากวัสดุมีมวลมาก มีค่าความจุความร้อนสูงจะชะลอการถ่ายเทความร้อนได้ดีโดยเฉพาะในกรณีที่อุณหภูมิผิวภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงเช่นนี้ เมื่ออุณหภูมิภายนอกเริ่มสูงขึ้นพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ผิวผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ตั้งแต่เวลา 12.45-15.45 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.45 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 16.45 น. จากนั้นผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. จะถ่ายเทออกสู่ผนังภายในระยะ 5 ซม. สู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 17.45-7.45 น. อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.45 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.45 น. ต่อไป โดยผนังภายในที่ระยะ 15 , 25 ซม. และผิวผนังภายในถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอก หรือมีอุณหภูมิคงที่ตลอดในช่วงเวลาเดียวกันคงที่เพราะอยู่ลึกเข้าไปภายใน สามารถสรุปได้ดังนี้

#### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 12.45-15.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.45 น.

#### การถ่ายเทความร้อนออก

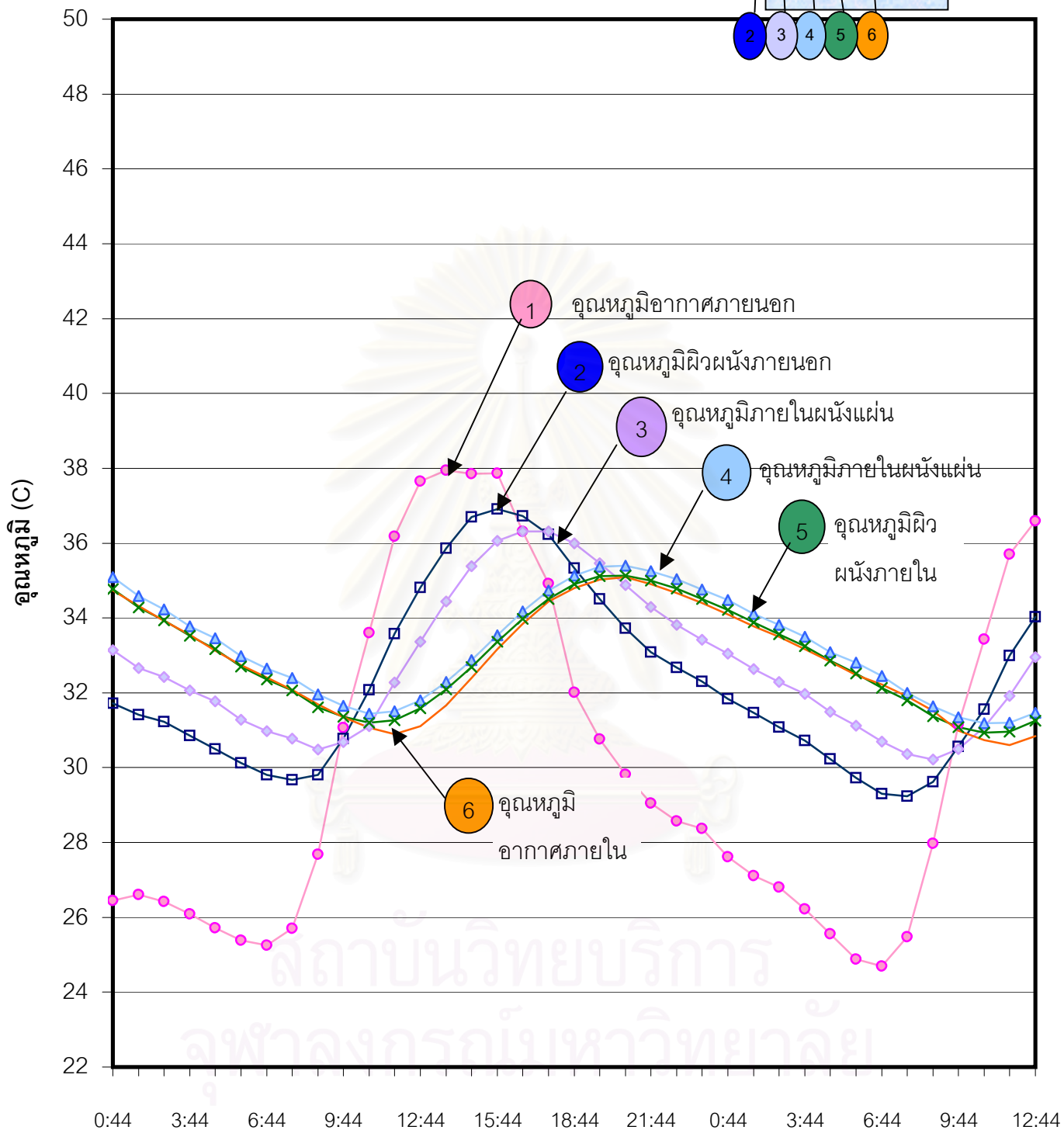
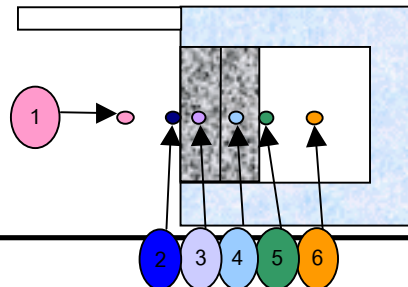
ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. สู่ผิวผนังภายนอก 17.45-7.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.45 น.

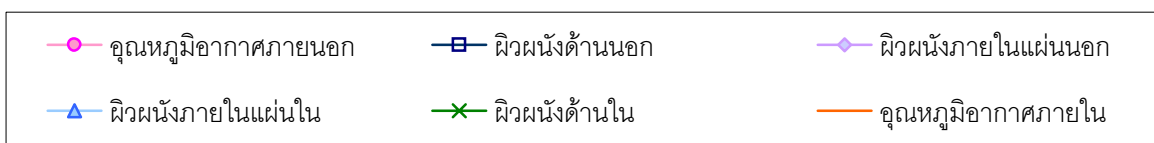
### **1.2 กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง**

อุณหภูมิภายในกล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



16 เมย.2544 | 17 เมย.. 2544



แผนภูมิที่ 4-19 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.ไม่โดนแดดในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161

จากแผนภูมิที่ 4-19 แสดงอุณหภูมิของกล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอก ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีอุณหภูมิเรียงจากอุณหภูมิสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
6. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิผิวภายนอกผนังมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิผิวภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก เนื่องจากเป็นจุดที่อยู่ใกล้กันและได้รับอิทธิพลต่อเนื่องกันมา ส่วนอุณหภูมิจุดอื่น ๆ จะเกาะกลุ่มใกล้เคียงกันต่ำลงมา มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
6. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

อุณหภูมิที่เกิดขึ้นสามารถเรียงได้ตามลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน

### สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 18.45 น. วันที่ 14 เมษายน 2544 เท่ากับ 35.572 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 9.45 วันที่ 16 เมษายน 2544 เท่ากับ 28.569 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 32.132 องศาเซลเซียส

มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่วันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 4.362 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 3-5 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 16 เมษายน 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

จากแผนภูมิที่ 4-20 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลาความร้อนค่อย ๆ สูงขึ้น (9.45-15.45 น.) สูงกว่าอุณหภูมิผิวมาก เนื่องจากผิววัสดุไม่ได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกจะเข้ามาที่ผิวผนังภายนอก ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และจะชะลอการถ่ายเทความร้อนที่ตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ตั้งแต่เวลา 9.45 น. และผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ตั้งแต่เวลา 10.45-18.45 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 16.45 น. และผนังภายในระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทออกสู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 17.45-19.45 น. จากนั้นผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. จะถ่ายเทออกสู่ผนังภายในระยะ 5 ซม. สู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 20.45-7.45 น. อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำในช่วงเวลา กลางคืนที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.45 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.45 น. ต่อไป ผิวผนังภายในกล่องทดลองจะรับการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. แล้วจะพบว่าช่วงของอุณหภูมิผิวผนัง สูงกว่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิห่างกันไปด้วย สามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.45-18.45น.)

### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. 9.45 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 10.45-18.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 16.45 น.

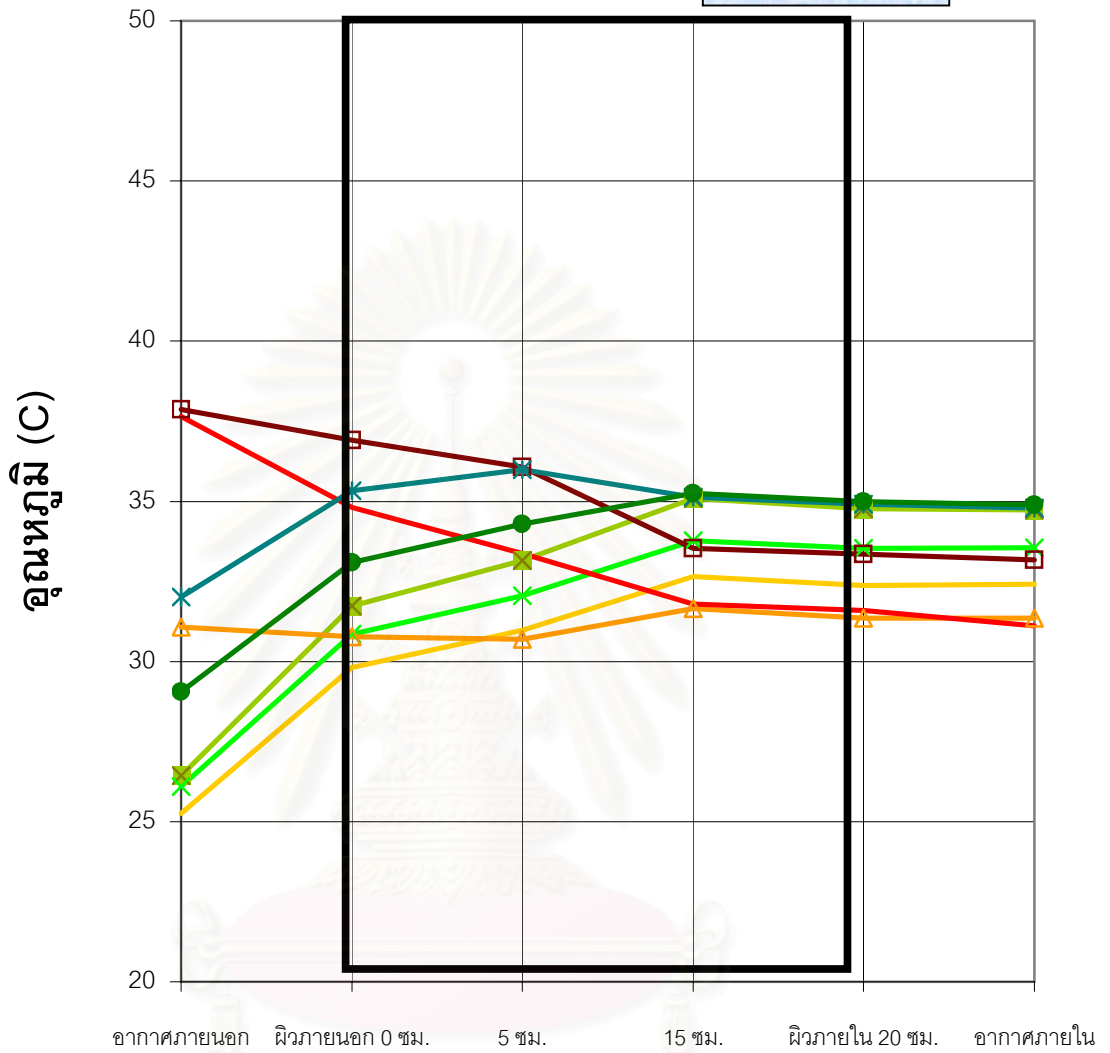
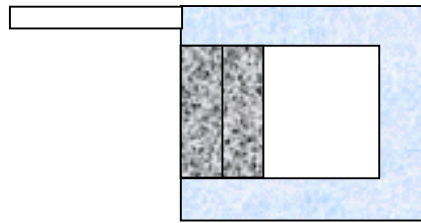
ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก 17.45-23.45 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.45-6.45 น.)

### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลากการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และออกสู่ผิวผนังภายนอก 20.45-7.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.45 น.



แผนภูมิที่ 4-20 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส



### 1.3 กล่องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดย

#### ตรง

จากแผนภูมิที่ 4-21 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิ  
เรียงจากอุณหภูมิสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
2. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

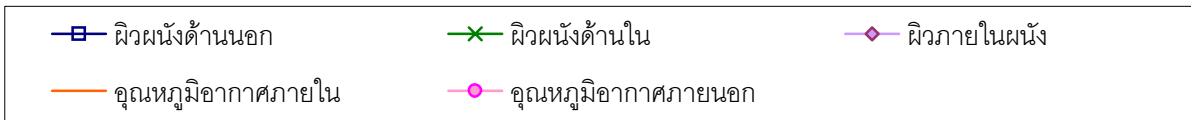
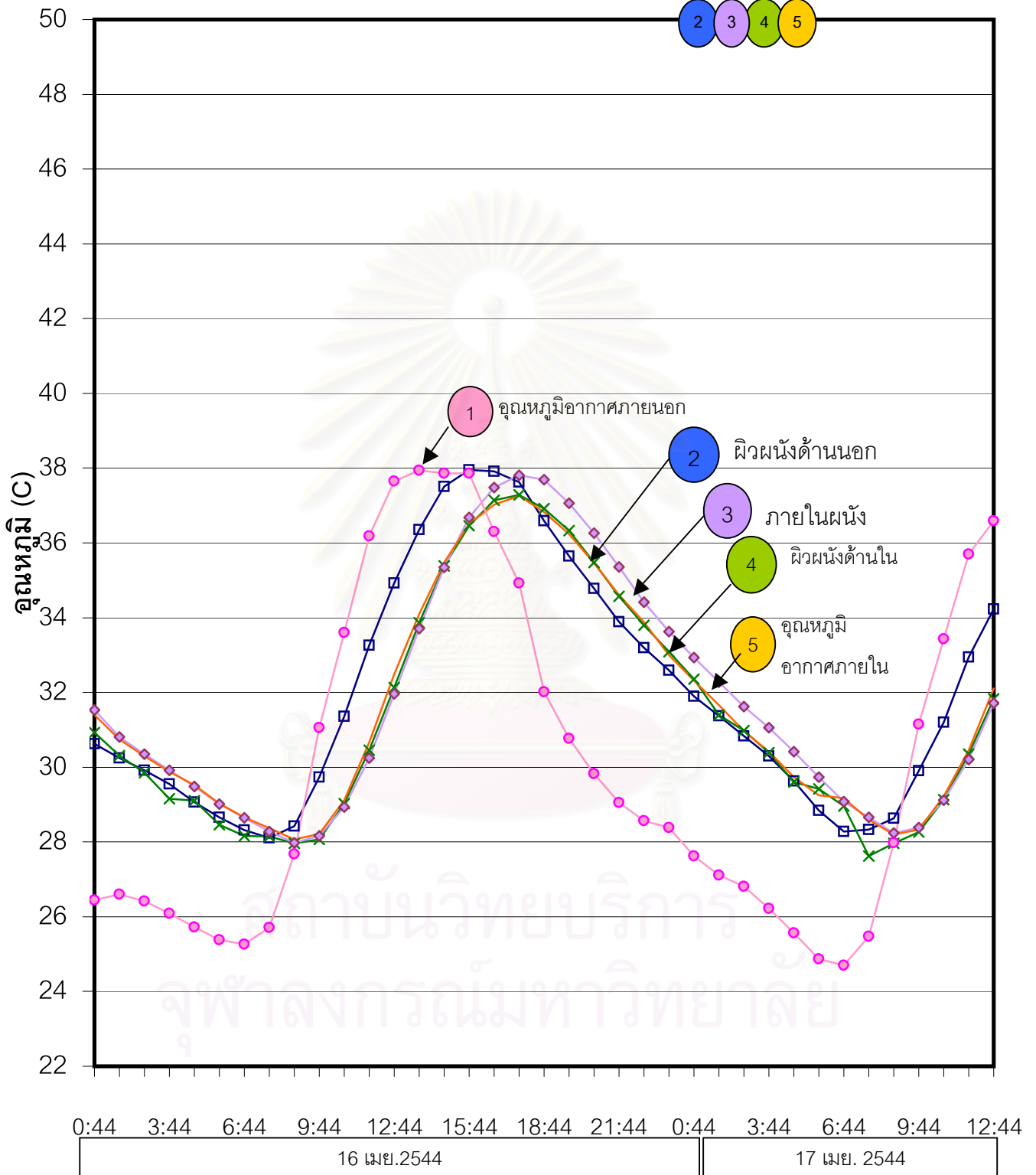
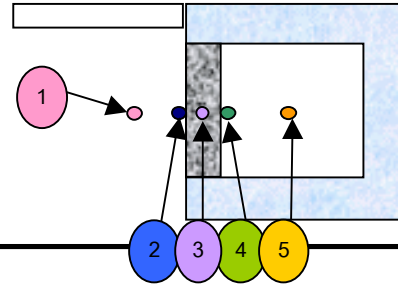
จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ มีการเรียงตัวตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน โดยอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากมีค่าความจุความร้อนต่ำสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าไปในจุดต่าง ๆ ได้ง่าย

มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิมักมีการเรียงตัวของ การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในได้ชัดเจน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-21 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ไมโดนแดดในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศา

## สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงในการทดลองวันที่ 13 เมษายน ถึง 17 เมษายน 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 17:45 น. วันที่ 14 เมษายน 2544 เท่ากับ 38.422 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 8:45 วันที่ 16 เมษายน 2544 เท่ากับ 26.651 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 31.455 องศาเซลเซียส

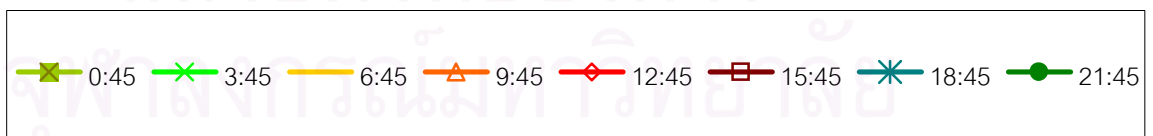
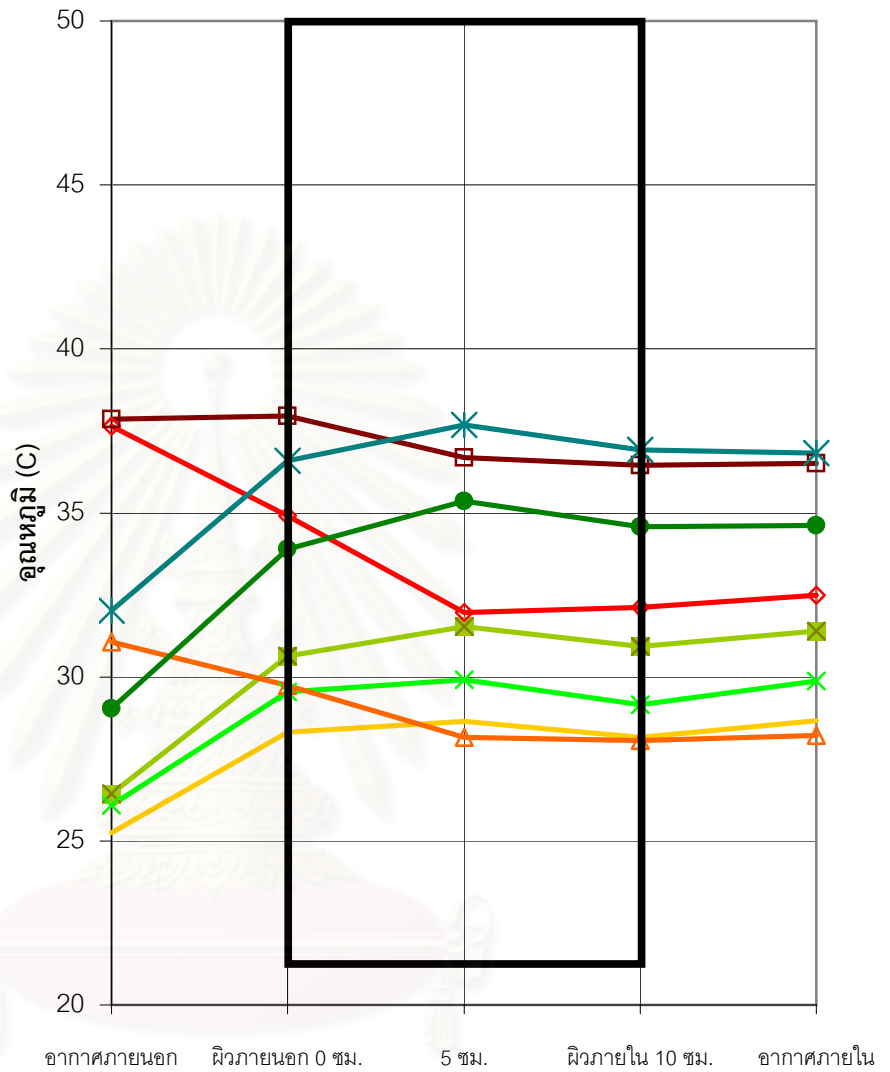
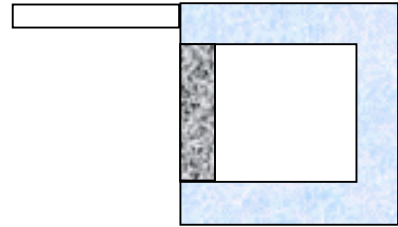
มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างวันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 9.211 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 13 เมษายน – 17 เมษายน 2544 เท่ากับ 2 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 16 เมษายน 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-22 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-22 พบว่าอุณหภูมิอากาศในเวลากลางวัน (9.45-15.45 น.) มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวมาก เนื่องจากผิววัสดุไม่ได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองมีค่าสูงที่สุดด้วยเนื่องจากในช่วงเวลาที่ประกอบกล่องทดลอง อุณหภูมิอากาศภายในยังไม่คงที่และมีความร้อนสูงอยู่ในอากาศระหว่างทำการประกอบซึ่งไม่สามารถถ่ายเทออกไปในเวลากลางวัน ทำให้อุณหภูมิภายในผนังที่ระยะ 5 ซม. ได้รับความร้อนทั้งจากผิวภายนอกและผิวภายใน

โดยในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ต่อไปยังผิวผนังด้านใน และจากอุณหภูมิผิวภายในออกสู่อากาศภายใน และออกสู่อากาศภายนอกที่ระยะ 5 ซม. เกิดขึ้นตั้งแต่เวลา 0.45 -17.45 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.45 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 16.45 น. จากนั้นผิวผนังภายในจะถ่ายเทความร้อนกลับสู่อากาศภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกไปยังผิวผนังภายนอกที่เวลา 18.45-23.45 น. อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.45 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.45 น. ต่อไป เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. และ 20 ซม. แล้วจะพบว่าช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ มีค่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิช่วงห่างกันไปโดยตลอดไม่หยุดที่จุดใดจุดหนึ่งดังเช่นผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. และ 20 ซม. ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.45-18.45น.)

#### การถ่ายเทความร้อนเข้าและออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และผิวผนังภายใน และจากอุณหภูมิผิวภายในออกสู่อากาศภายใน และออกสู่อากาศภายนอกที่ระยะ 5 ซม. 0.45 -17.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.45 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.45-6.45 น.)

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายใน สู่อากาศภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่อากาศผนังภายนอก 18.45-23.45 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.45 น.

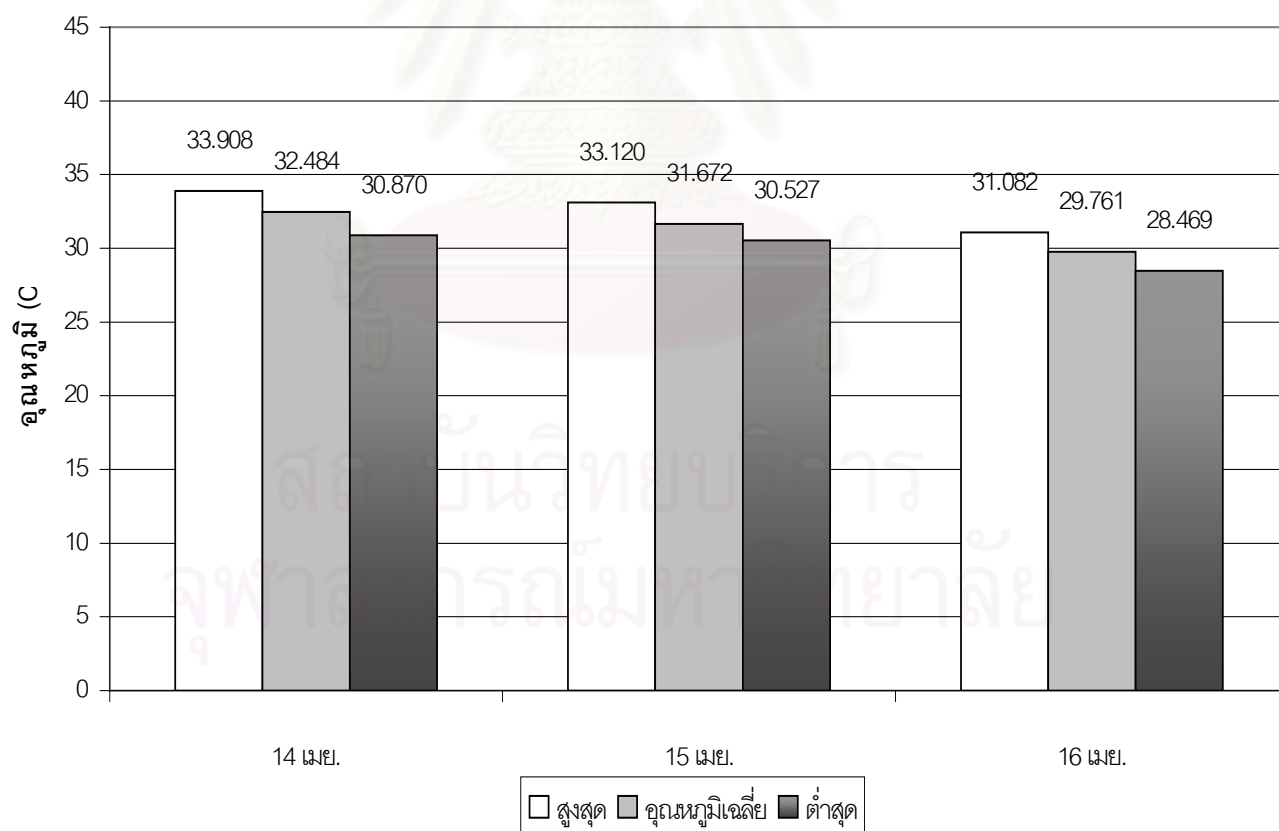
## 2. ผลการทดลองการเปรียบเทียบผนังแต่ละชนิด

### 2.1 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

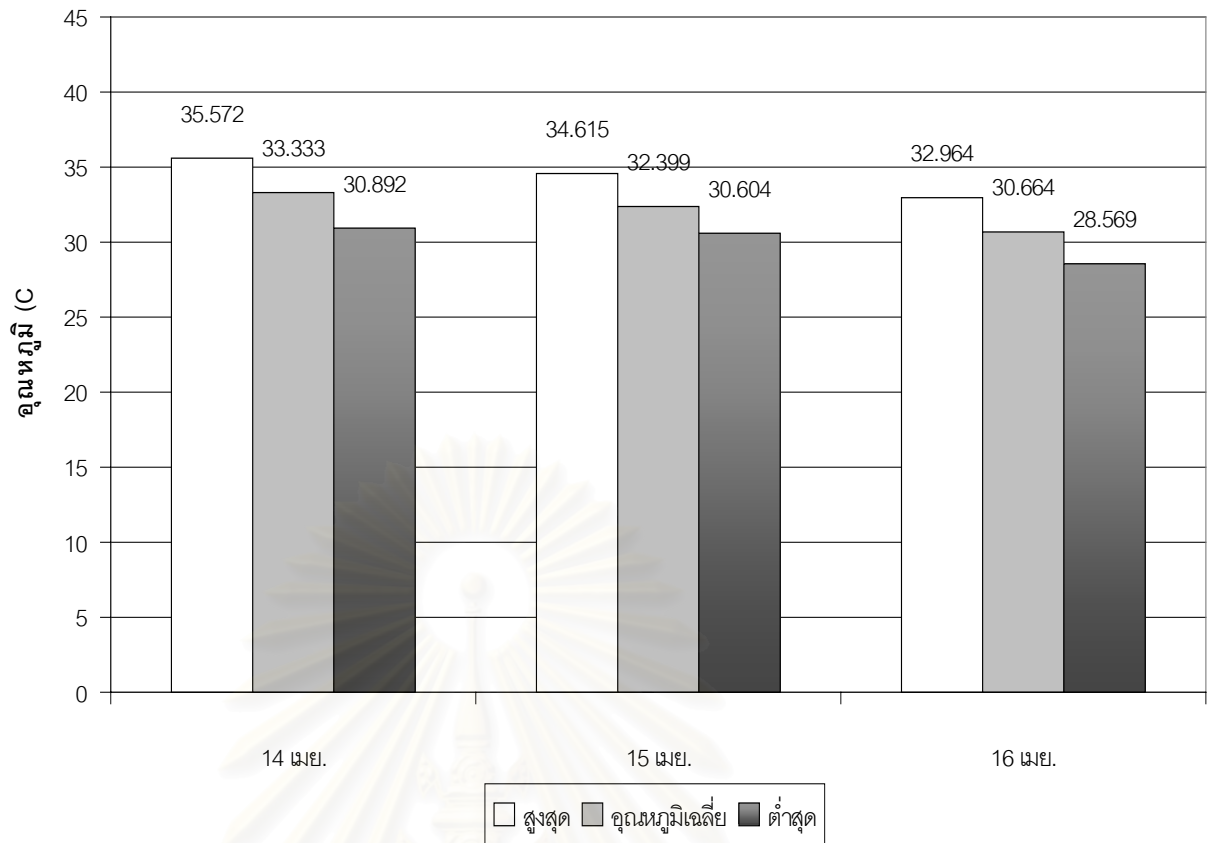
วันที่	ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง				ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง				ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง			
	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย
	14 เมย.	33.908	30.870	3.038	32.484	35.572	30.892	4.680	33.333	38.422	28.064	10.358
เวลา	20.45	11.45			20.45	11.45			17.45	8.45		
15 เมย.	33.120	30.527	2.593	31.672	34.615	30.604	4.011	32.399	37.555	28.204	9.351	31.596
เวลา	19.45	11.45			19.45	11.45			16.45	8.45		
16 เมย.	31.082	28.469	2.613	29.761	32.964	28.569	4.395	30.664	34.575	26.651	7.924	29.956
เวลา	19.45	11.45			19.45	11.45			17.45	8.45		
เฉลี่ย	32.703	29.955	2.748	31.306	34.384	30.022	4.362	32.132	36.851	27.640	9.211	31.445

ตารางที่ 4-7 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง



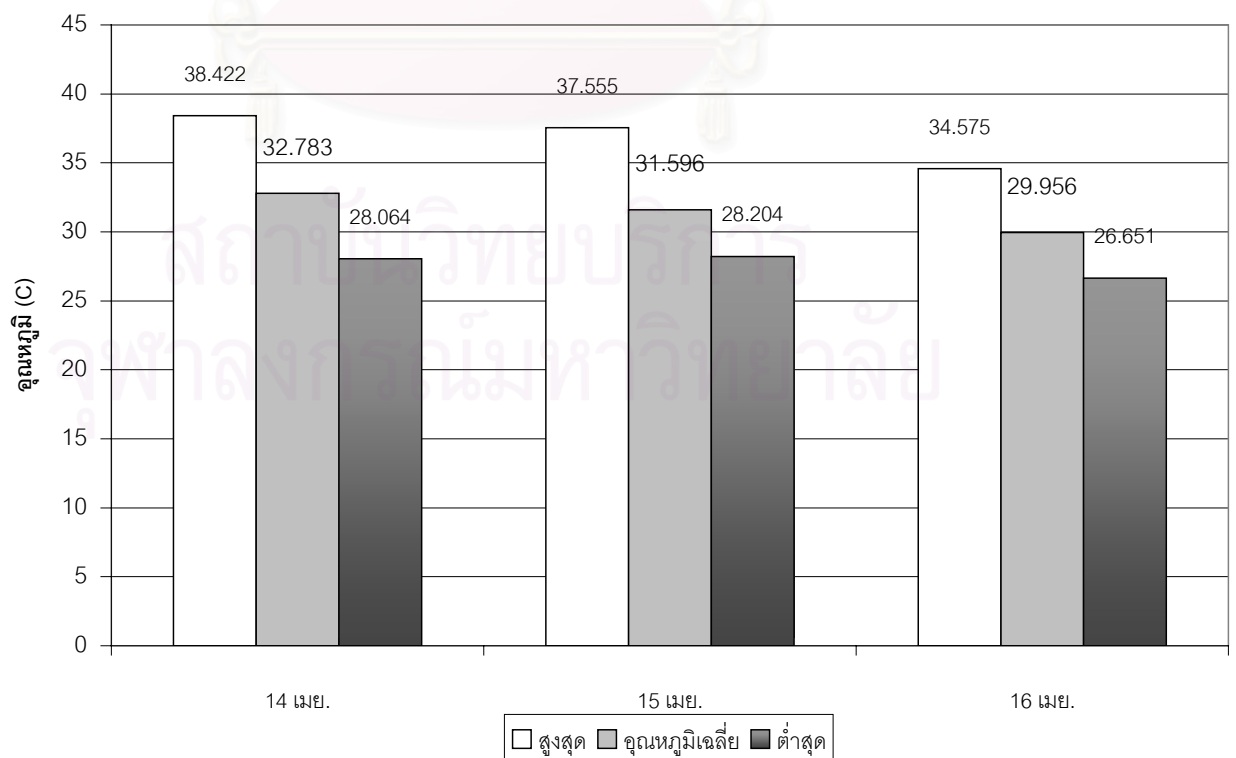
แผนภูมิที่ 4-23 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

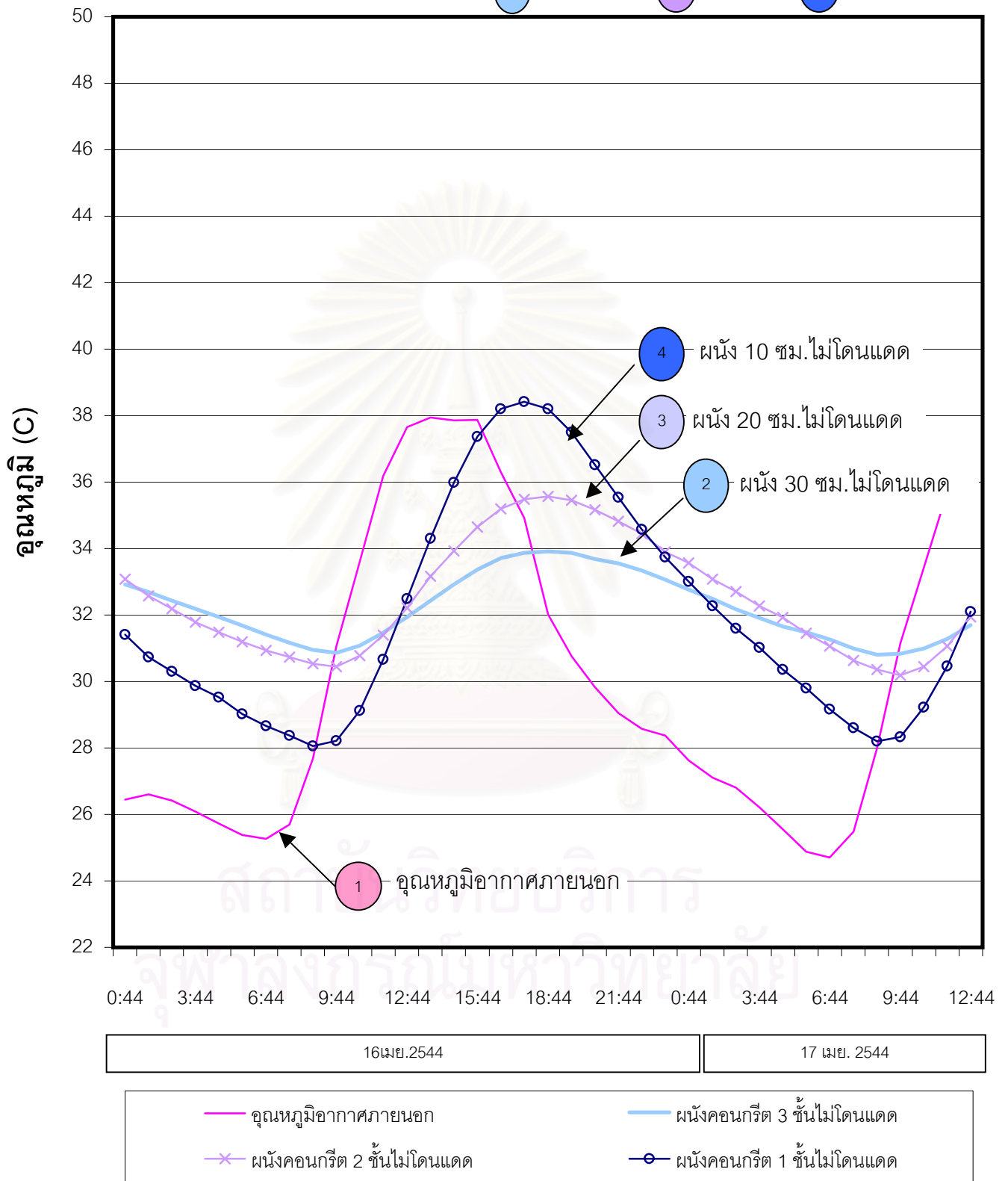
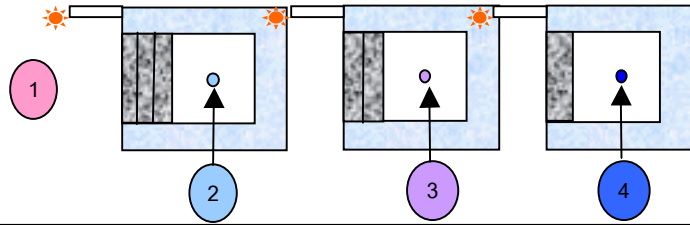




แผนภูมิที่ 4-24 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

แผนภูมิที่ 4-25 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง





แผนภูมิที่ 4-26 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

## 2.2 อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้น (Heat up) นั้น ผนังที่มีความหนา 10 ซม. มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุด สามารถรับปริมาณความร้อนเข้าไปได้เต็มที่ ถึงแม้จะไม่โดดเด่นแต่มีการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์กระจาย (Diffuse light) ส่งผลให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปภายในกล่องทดลองได้เร็ว ปริมาณความร้อนเข้ามาได้มากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายในจึงสูงสุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. จึงมีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยลงมาและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. จะมีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยที่สุด อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 37.97 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.45 และ 14.45 น.

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้น นั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 36.851 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 1.119 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 16.45 และ 17.45 น.

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 34.384 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 3.586 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 19.45-20.45 น.

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 32.703 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 5.267 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 19.45-20.45 น.

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลง (Cool down) นั้น ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุดสามารถถ่ายเทปริมาณความร้อนที่อยู่ภายในกล่อง และเนื้อผนังออกไปสู่อากาศภายนอกที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้ง่ายกว่าและเร็วกว่าผนังที่มีค่าความจุความร้อนสูงกว่าซึ่งยังเก็บกักความร้อนอยู่ภายใน นอกจากนี้ยังไม่ได้รับความร้อนปริมาณมากเนื่องจากผิวไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงด้วย อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนัง 10 ซม. จึงต่ำสุด

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.จึงมีอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่าและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.จะมีอุณหภูมิอากาศภายในมากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 25.16 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6.45 น.อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงนั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

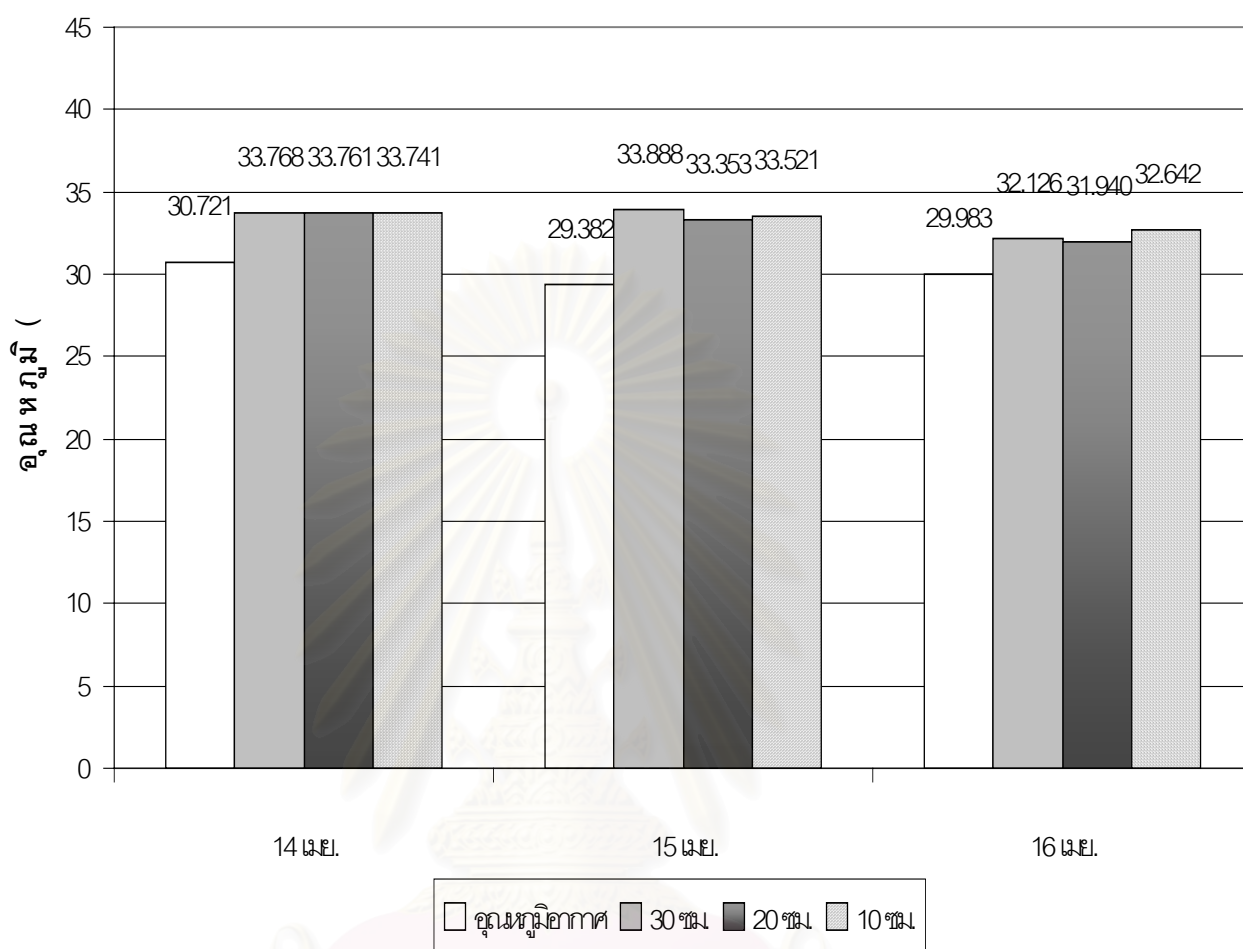
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.995 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 4.835 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 11.45 น.

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 30.022 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 4.862 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 11.45 น.

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 27.640 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 2.48 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 8.45 น.

## 2.3 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-27 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยทั้ง 3 กล่องไม่แตกต่างกันมากนัก

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 31.306 องศาเซลเซียส

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 32.132 องศาเซลเซียส

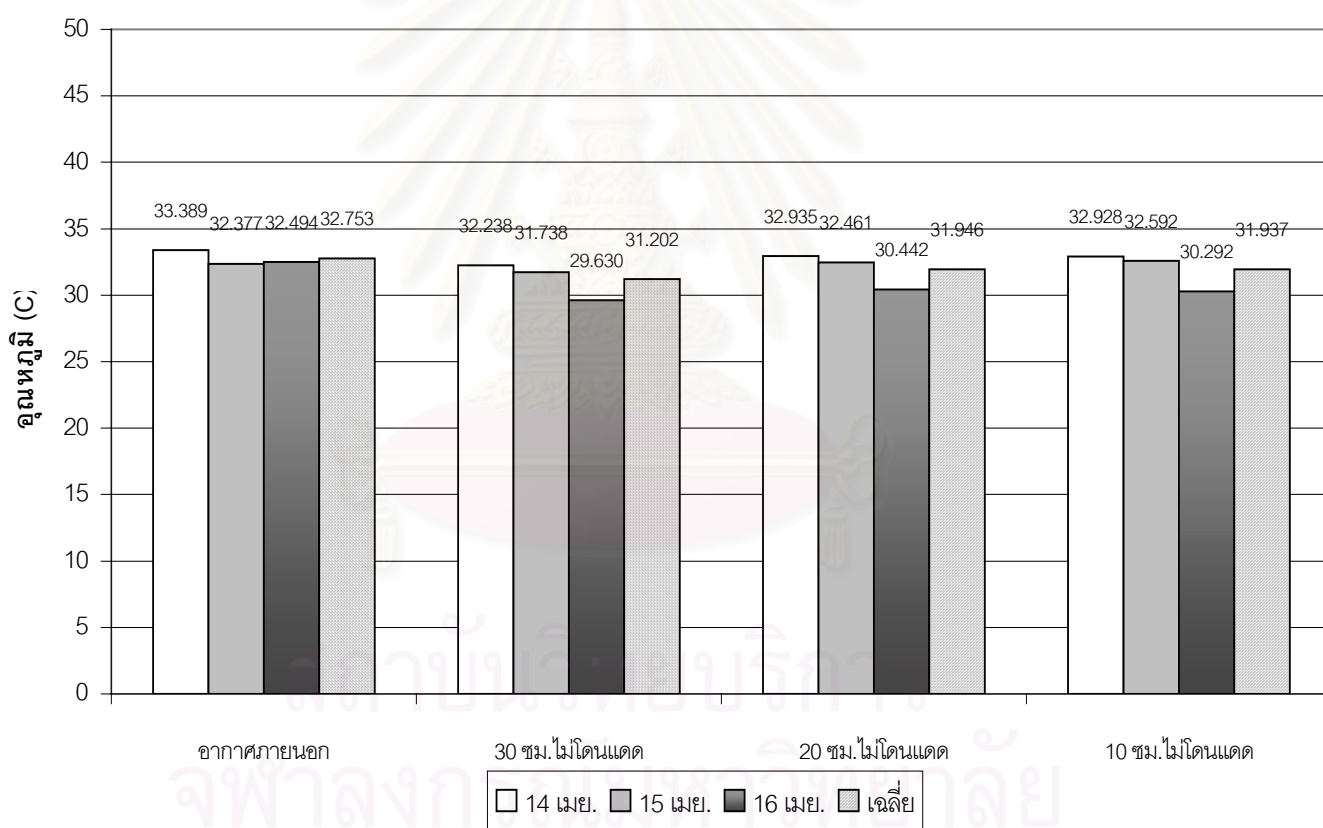
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 31.445 องศาเซลเซียส

## 2.4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

### 2.4.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	30 ซม.	20 ซม.	10 ซม.
14 เมย. 2544	33.389	32.238	32.935	32.928
15 เมย. 2544	32.377	31.738	32.461	32.592
16 เมย. 2544	32.494	29.630	30.442	30.292
เฉลี่ย	32.753	31.202	31.946	31.937

ตารางที่ 4-8 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง



แผนภูมิที่ 4-28 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง



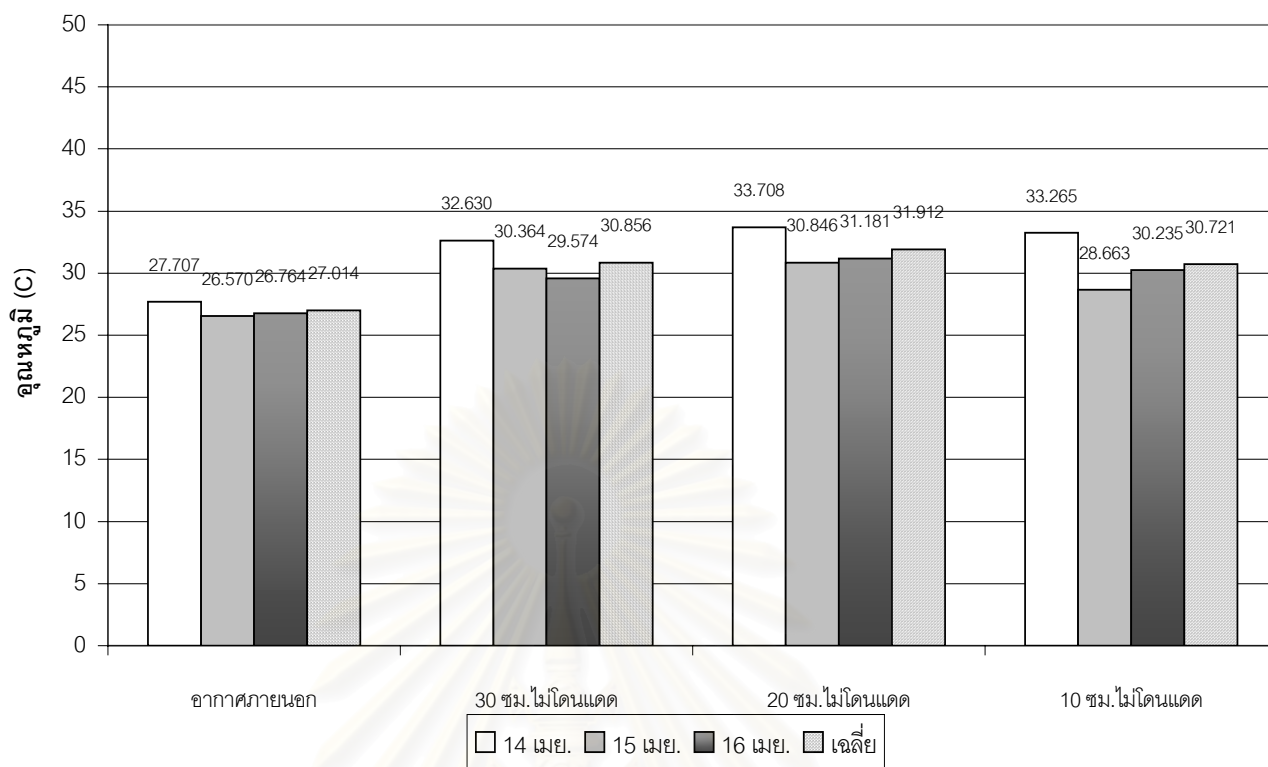
จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 31.202 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 1.551 องศาเซลเซียส
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 31.946 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0.808 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 31.937 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0.816 องศาเซลเซียส

#### 2.4.2 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน (18.00-6.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	30 ซม.	20 ซม.	10 ซม.
14 เมย. 2544	27.707	32.630	33.708	33.265
15 เมย. 2544	26.570	30.364	30.846	28.663
16 เมย. 2544	26.764	29.574	31.181	30.235
เฉลี่ย	27.014	30.856	31.912	30.721

ตารางที่ 4-9 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง



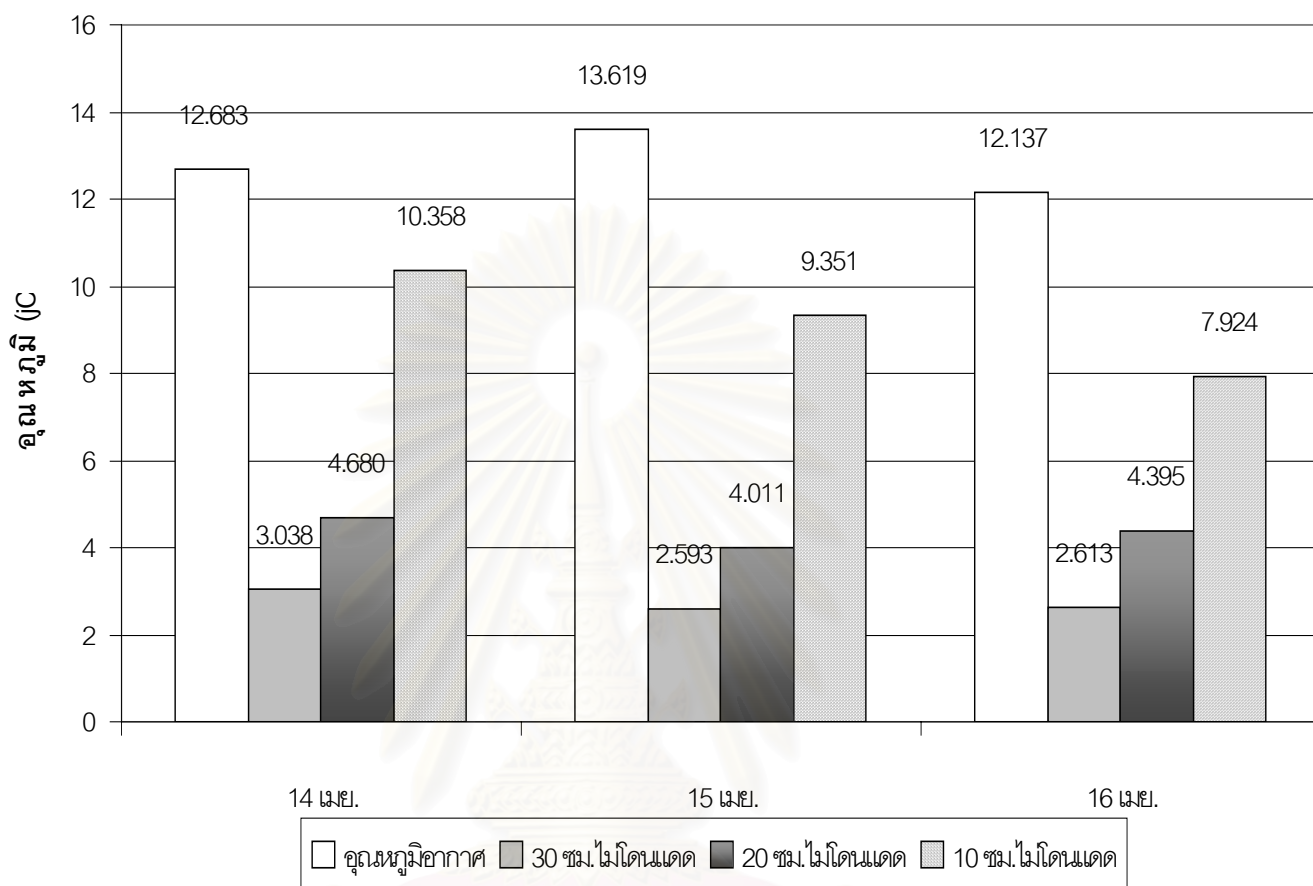
แผนภูมิที่ 4-29 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล่องทดลองในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 30.856 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 3.842 องศาเซลเซียส
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 31.912 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 4.898 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 30.712 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 3.707 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั้งหมด จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานตลอดทั้งวัน

## 2.5 การแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันและพิสัย



แผนภูมิที่ 4-30 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศ

ภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

กล่องทดลองผนังความหนา 30 ซม. 20 ซม. และ 10 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับกล่องทดลองผนังดังกล่าวที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยอิทธิพลจากภูมิอากาศภายนอกจะมีผลโดยตรงกับผนังที่มีค่าความจุความร้อนต่ำสุดคือผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ซึ่งทำให้มีการแปรผันของอุณหภูมิภายในระหว่างวันมากที่สุด เนื่องจากสามารถรับ และเก็บกับความร้อนได้น้อยสุด ทำให้มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนมาก และเร็วที่สุด รองลงมาได้แก่ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. และ 30 ซม. จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ซึ่งมีค่าความจุความร้อนสูงที่สุดจะมีค่าคงที่ที่สุด

ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง เรียงลำดับจากกล่องที่มีพิสัยต่ำสุดไปถึงสูงสุดมีดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีค่าพิสัยประมาณ 2.6 – 3 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีค่าพิสัยประมาณ 4.0 – 4.7 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีค่าพิสัยประมาณ 8 – 10.35 องศาเซลเซียส

นอกจากนั้นผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.จะมีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมากกว่าอุณหภูมิอากาศด้วย เนื่องจากความร้อนที่เข้าไปในกล่องทดลองในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกค่อย ๆ เพิ่มขึ้นนั้น ผนังคอนกรีตจะรับความร้อนเข้าไปเต็มที่และถ่ายเทเข้าไปสู่อากาศภายในกล่องทดลองโดยไม่สามารถถ่ายเทออกจากกล่องทดลองที่ใช้วัสดุเป็นฉนวนได้นั่นเอง

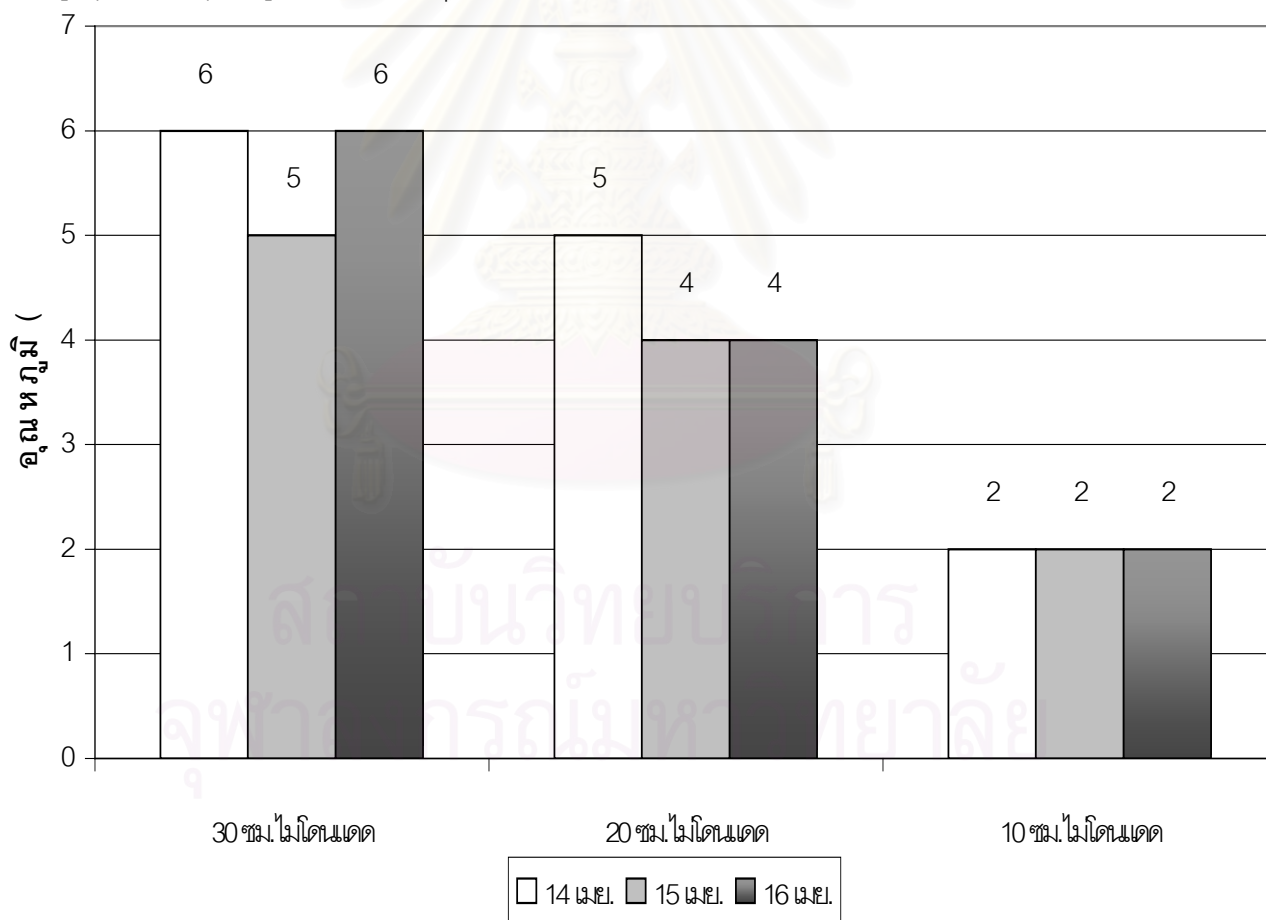
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.5 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด

ผลการทดลองสรุปเป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดดังนี้

วันที่	ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง			ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง			ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง		
	อุณหภูมิสูงสุดที่ ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุด ที่ผิวผนังภายใน	ความ แตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุด ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุด ที่ผิวผนังภายใน	ความ แตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุด ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุด ที่ผิวผนังภายใน	ความ แตกต่าง
	14 เมย.	15:45	17:45	2 ชม.	15:45	20:45	5 ชม.	14:45	20:45
15 เมย.	15:45	17:45	2 ชม.	15:45	19:45	4 ชม.	15:45	20:45	5 ชม.
16 เมย.	15:45	17:45	2 ชม.	15:45	19:45	4 ชม.	15:45	21:45	6 ชม.

ตารางที่ 4-10 เป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น



แผนภูมิที่ 4-31 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับ

### อุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดของกล่องทดลองผนังคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด

ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดประมาณ 4-5 ชั่วโมง

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดประมาณ 5-6 ชั่วโมง

โดยจะสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่ผิว (อุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดลบอุณหภูมิผิวหนังในสูงสุด) ได้เท่ากับ

วันที่	ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.	ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.	ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.
14 เมษายน 2544	1.024	2.322	0.145
15 เมษายน 2544	0.333	1.781	0.483
16 เมษายน 2544	1.373	0.853	0.95

ตารางที่ 4-11 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 1.198 องศาเซลเซียส

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 1.652 องศาเซลเซียส

ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 0.526 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### การทดสอบที่ 3 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง

เปรียบเทียบกล่องทดลองดังต่อไปนี้

1. กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  กับ กล่องทดลองที่ 4 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดดังนี้

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (6) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

2. กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  กับ กล่องทดลองที่ 5 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังนี้

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (7) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

3. กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  กับ กล่องทดลองที่ 6 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังนี้

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก

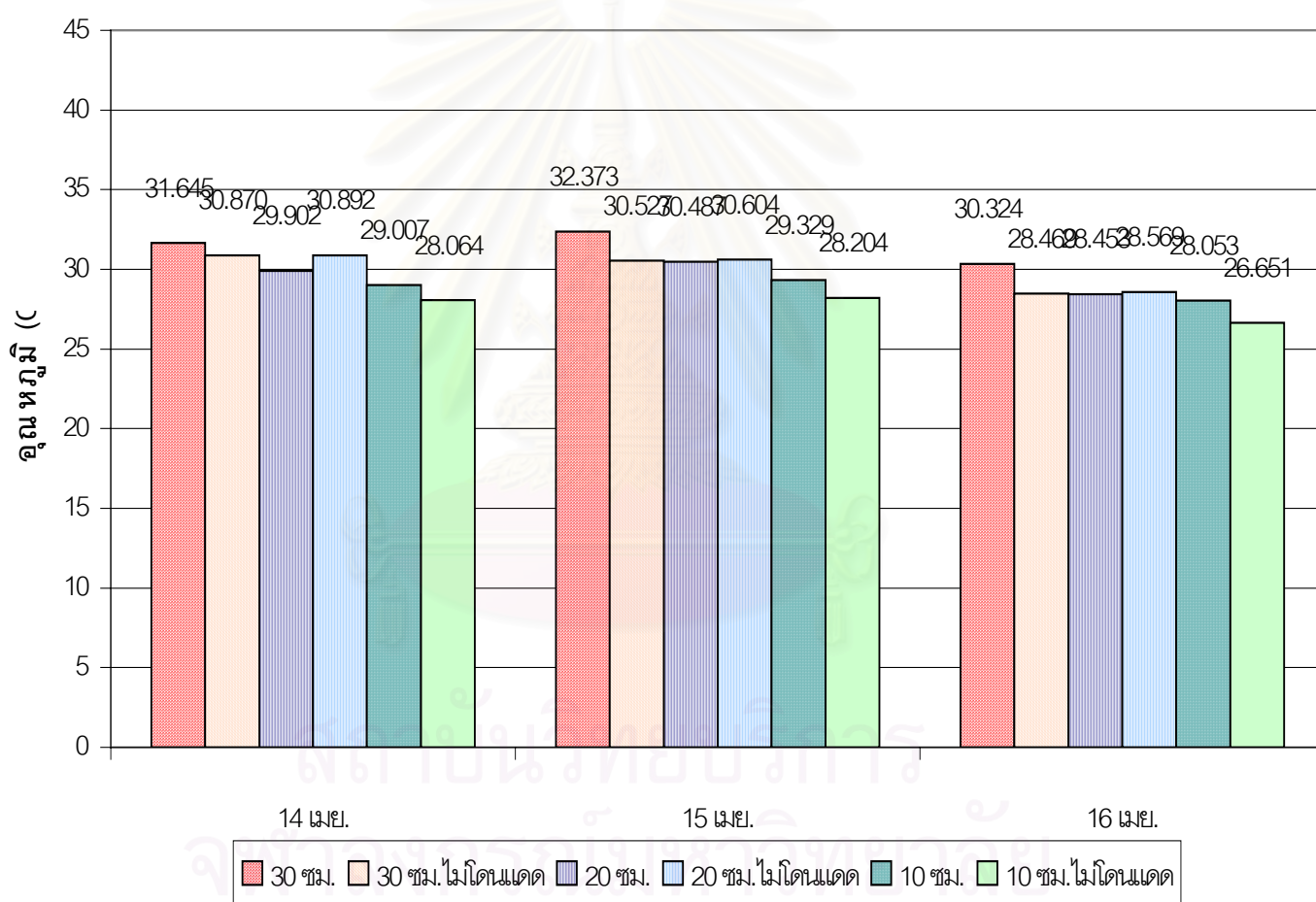
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
- (7) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (8) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

### ผลการทดสอบ

#### 1. อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้

#### อุณหภูมิภายในต่ำสุด



แผนภูมิที่ 4-32 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดในแต่ละวัน ของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดลง กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากมีการแปรผันขึ้นลงของอุณหภูมิต่ำสุด กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิภายในต่ำที่สุดเนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนภายในออกไปได้ง่ายที่สุด สามารถเรียงลำดับอุณหภูมิกายในจากผนังที่มีความหนาสูงสุดจะมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงที่สุด ทั้งที่ ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และผนังที่มีความหนาน้อยสุดจะมีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำที่สุด ทั้งที่ ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงนั้น กล้องทดลองผนังคอนกรีตที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงในช่วงเวลากลางวันรับปริมาณรังสีความร้อนมากกว่า ทำให้การถ่ายเทความร้อนออกยากกว่าและใช้เวลานานกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยกล้องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล้องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงดังนี้

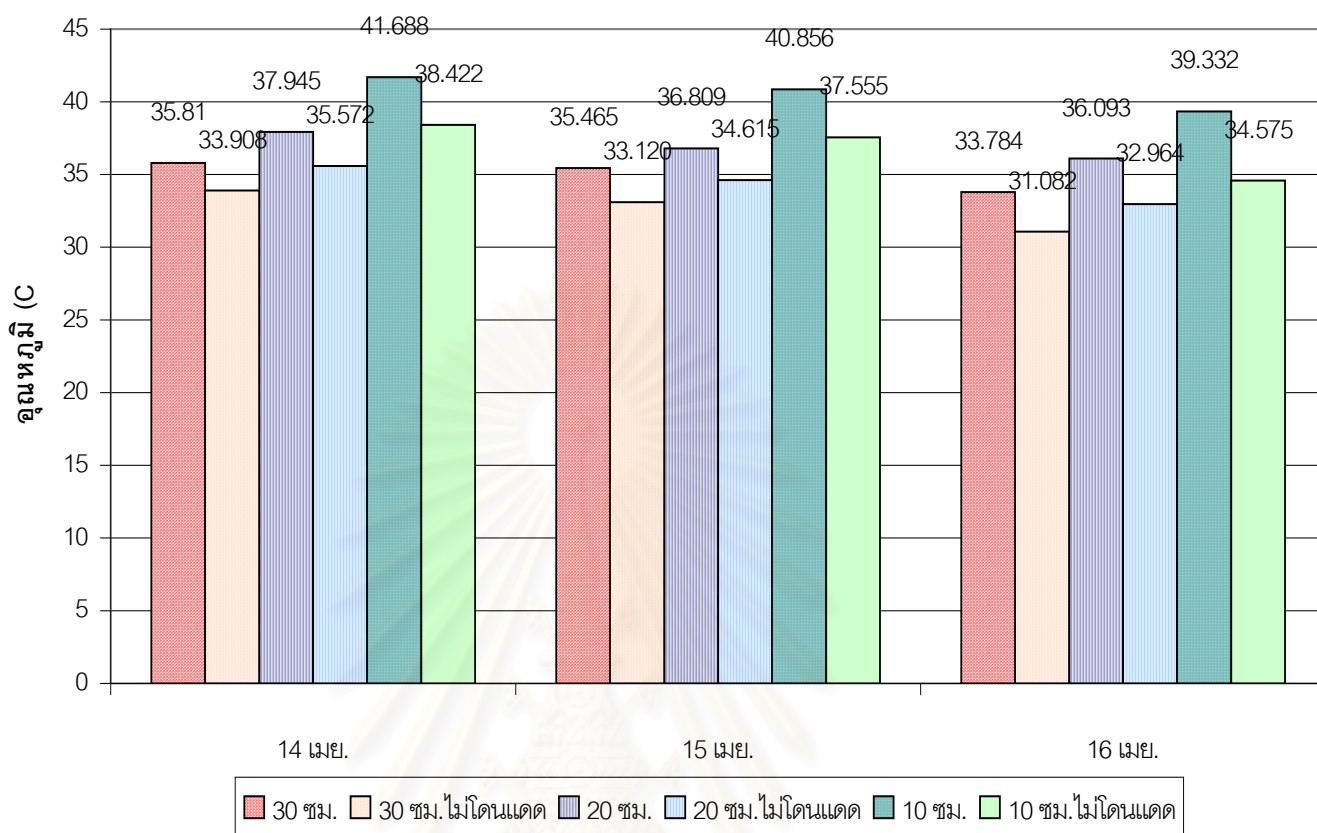
1. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 0.9-1.4 องศาเซลเซียส

2. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 1 องศาเซลเซียส

3. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 0.7-1.9 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### อุณหภูมิภายในสูงสุด



แผนภูมิที่ 4-33 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดในแต่ละวัน ของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากสามารถรับความร้อนเข้าไปได้เร็วและได้ปริมาณมากที่สุด กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิภายในต่ำที่สุดเนื่องจากสามารถกักเก็บความร้อนได้มาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ช้าและมีปริมาณน้อยกว่า สามารถเรียงลำดับอุณหภูมิภายในจากผนังที่มีความหนาต่ำสุดจะมีอุณหภูมิสูงสุดสูงที่สุด ทั้งที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และผนังที่มีความหนาน้อยสุดจะมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำที่สุด ทั้งที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

จากแผนภูมิ พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้น ผนังที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิสูงกว่าผนังที่

ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมาก แสดงว่าอิทธิพลของอุณหภูมิผิวผนังมีผลเป็น  
อย่างมากต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนมาก โดยกล่องทดลองที่ได้รับรังสี  
ความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล่องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อน  
โดยตรงดังนี้

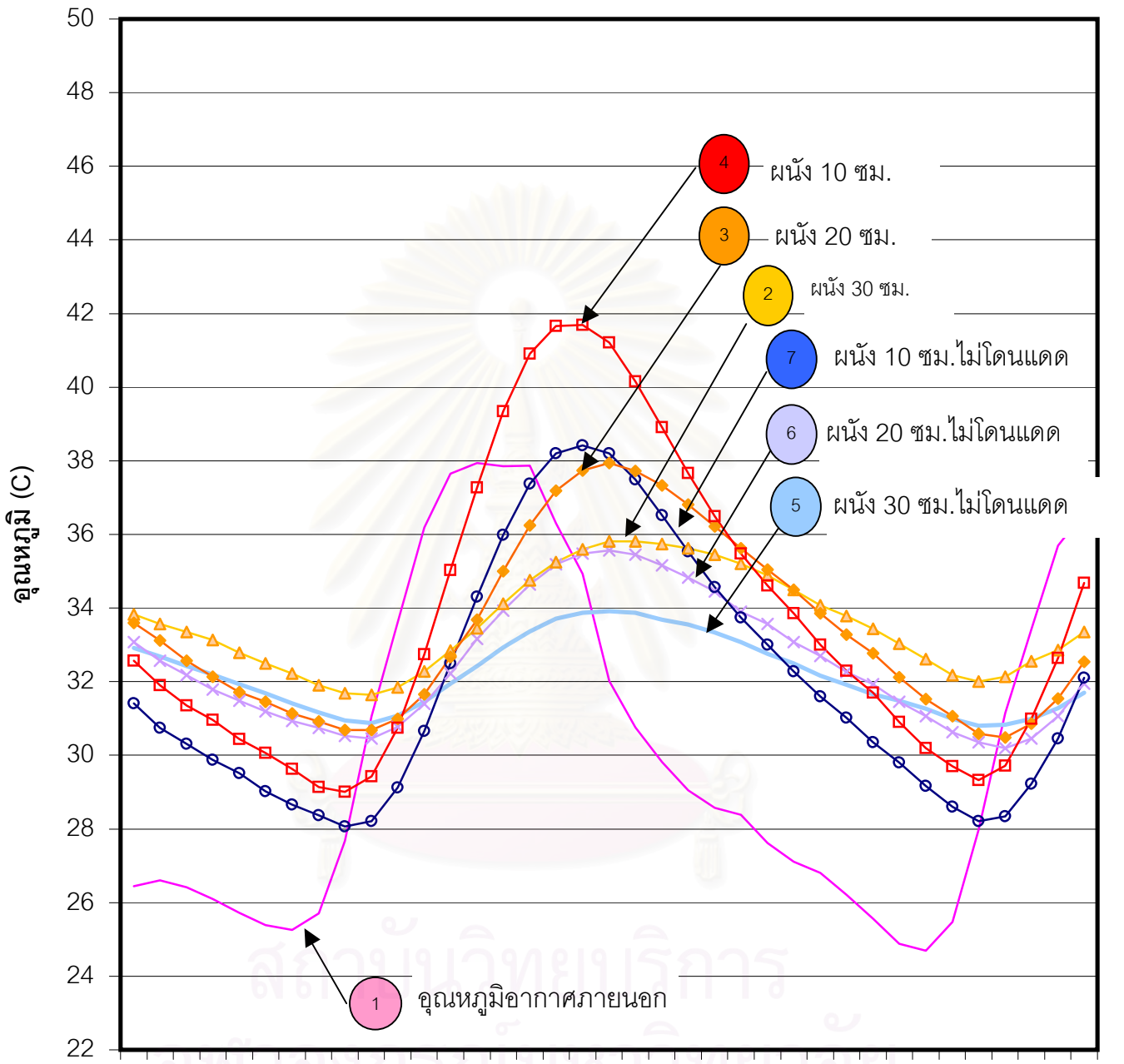
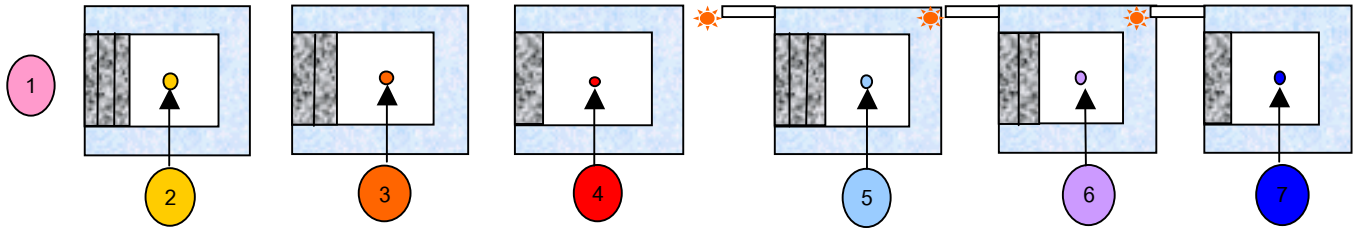
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มี  
อุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความ  
ร้อนโดยตรง 3.3-4.8 องศาเซลเซียส

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มี  
อุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความ  
ร้อนโดยตรง 2.4-3.1 องศาเซลเซียส

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มี  
อุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความ  
ร้อนโดยตรง 1.9-2.7 องศาเซลเซียส



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

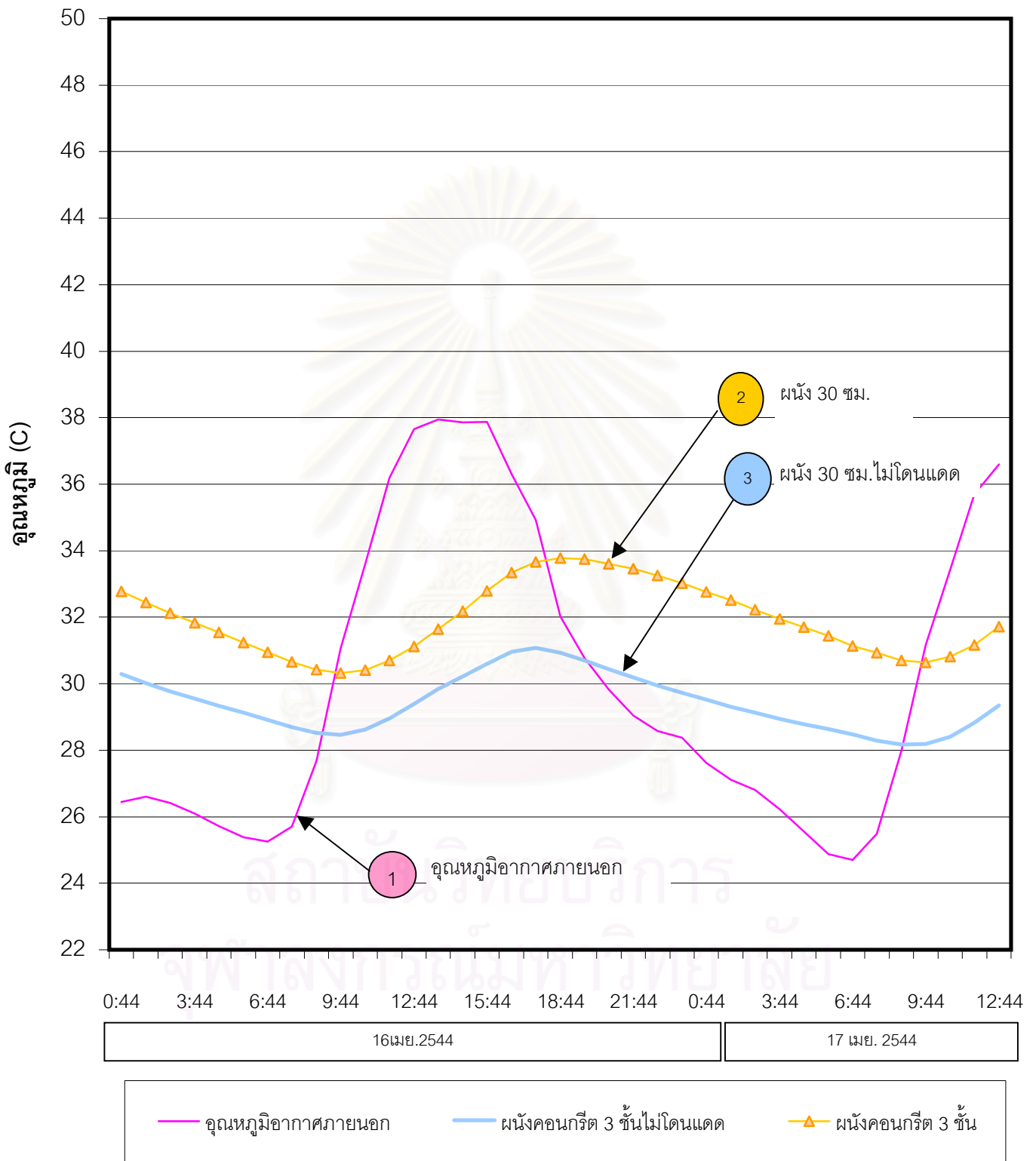
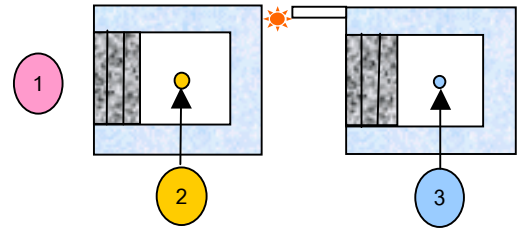


16 เม.ย. 2544 | 17 เม.ย. 2544

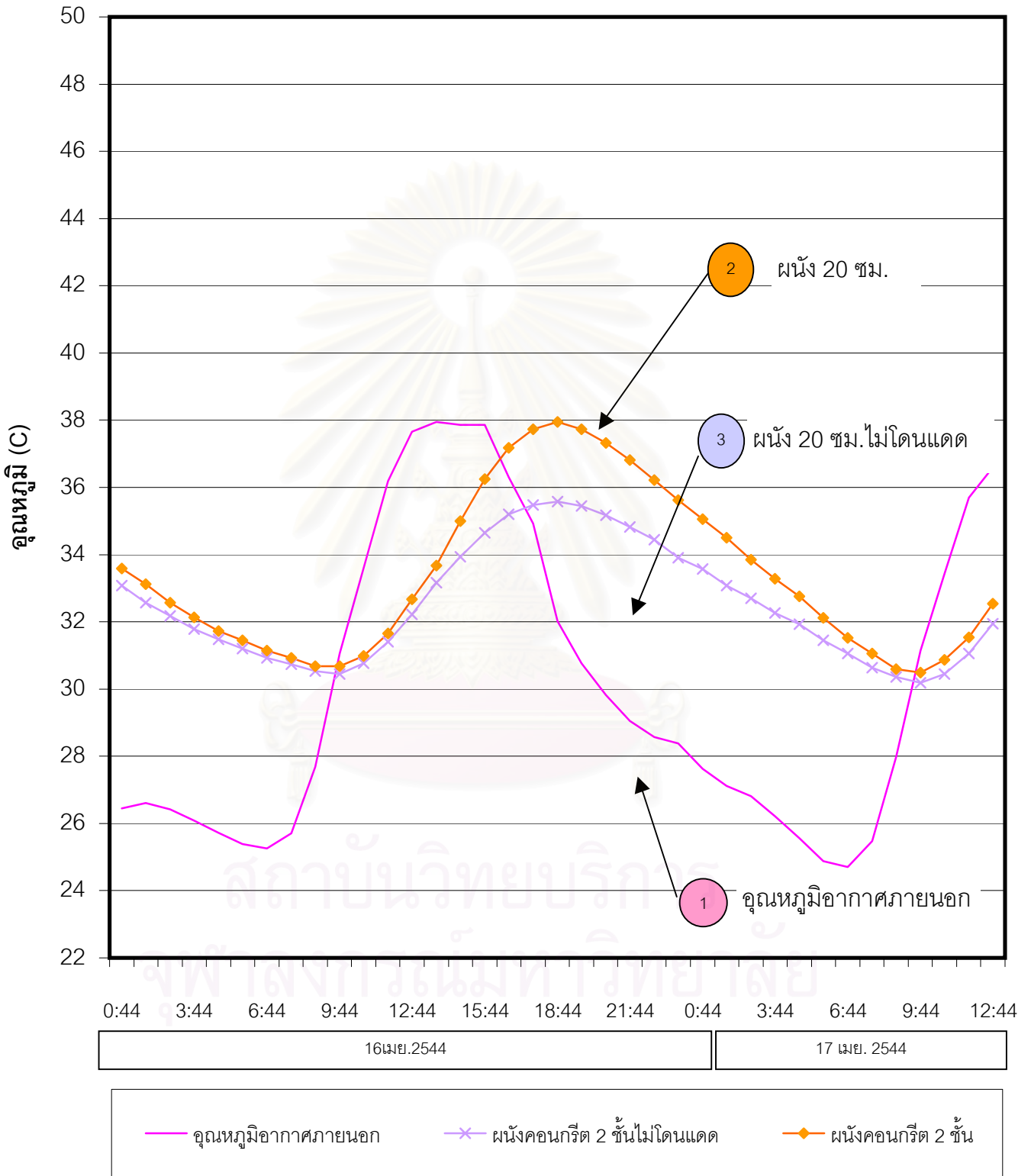
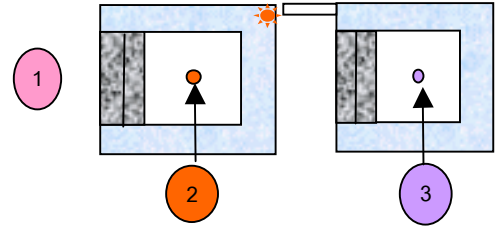
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- ผนังคอนกรีต 3 ชั้นไม่โดนแดด
- ผนังคอนกรีต 2 ชั้นไม่โดนแดด
- ผนังคอนกรีต 1 ชั้นไม่โดนแดด
- ผนังคอนกรีต 3 ชั้น
- ผนังคอนกรีต 2 ชั้น
- ผนังคอนกรีต 1 ชั้น

แผนภูมิที่ 4-34 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

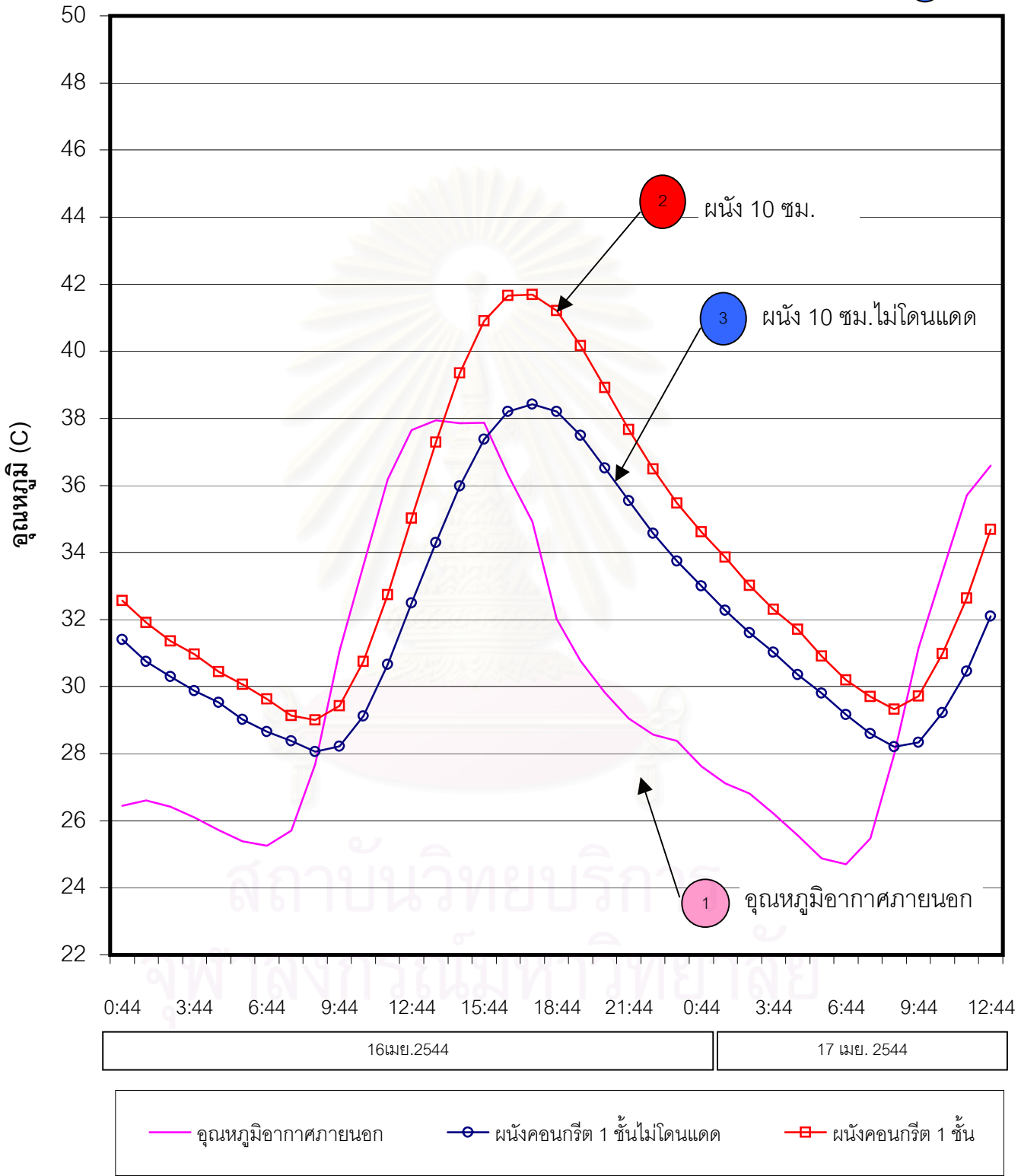
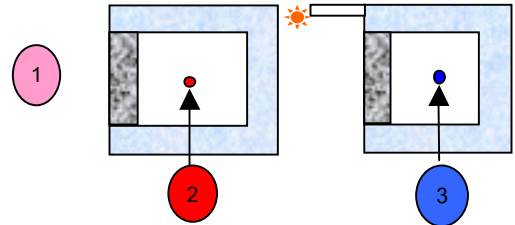




แผนภูมิที่ 4-35 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส



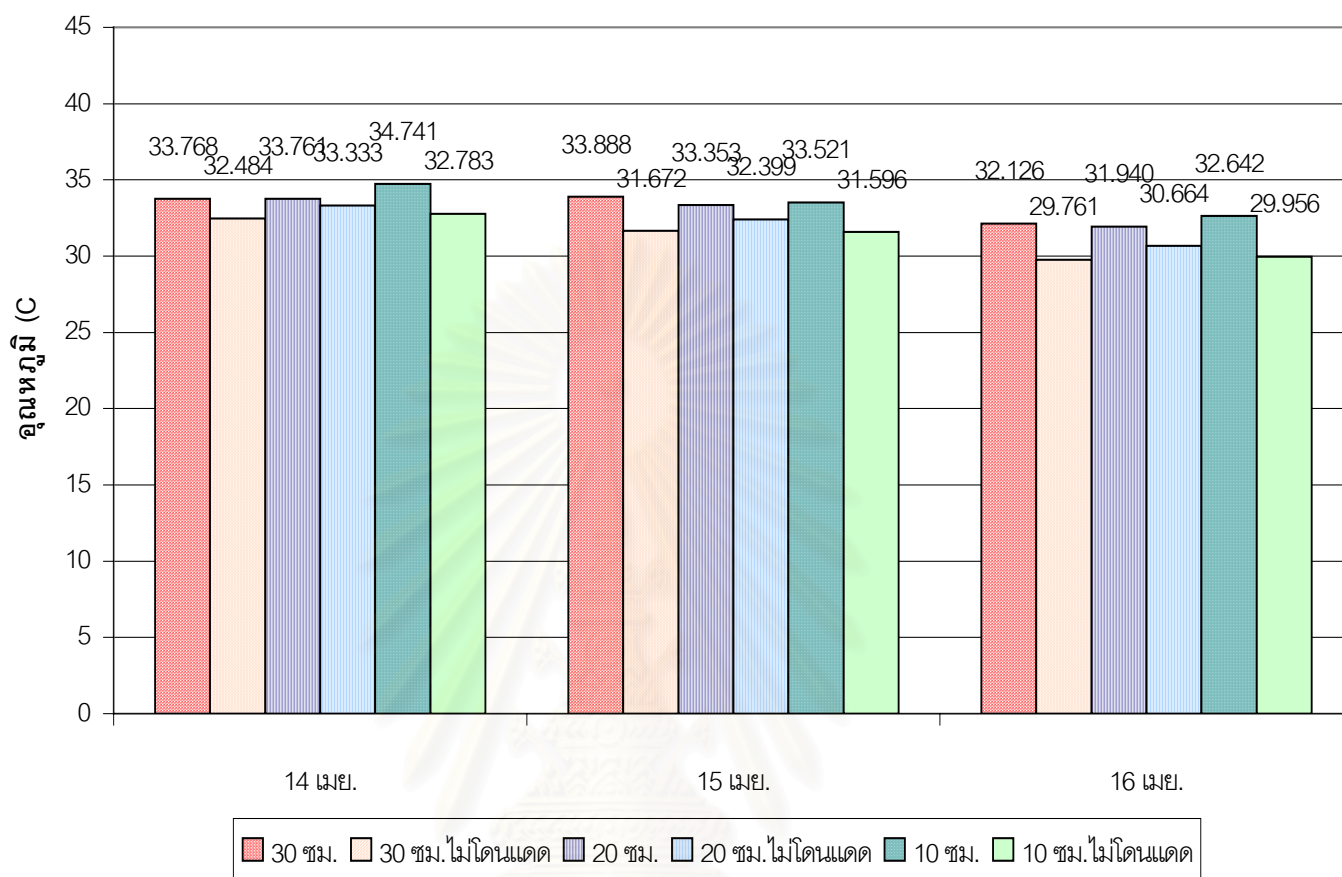
แผนภูมิที่ 4-36 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4-37 อุณหภูมิภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

## 2. อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-38 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยทั้ง 6 กล่องไม่แตกต่างกันมากนัก อุณหภูมิภายในเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส โดยกล่องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิภายในกล่องทดลองต่ำกว่ากล่องทดลองที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงดังนี้

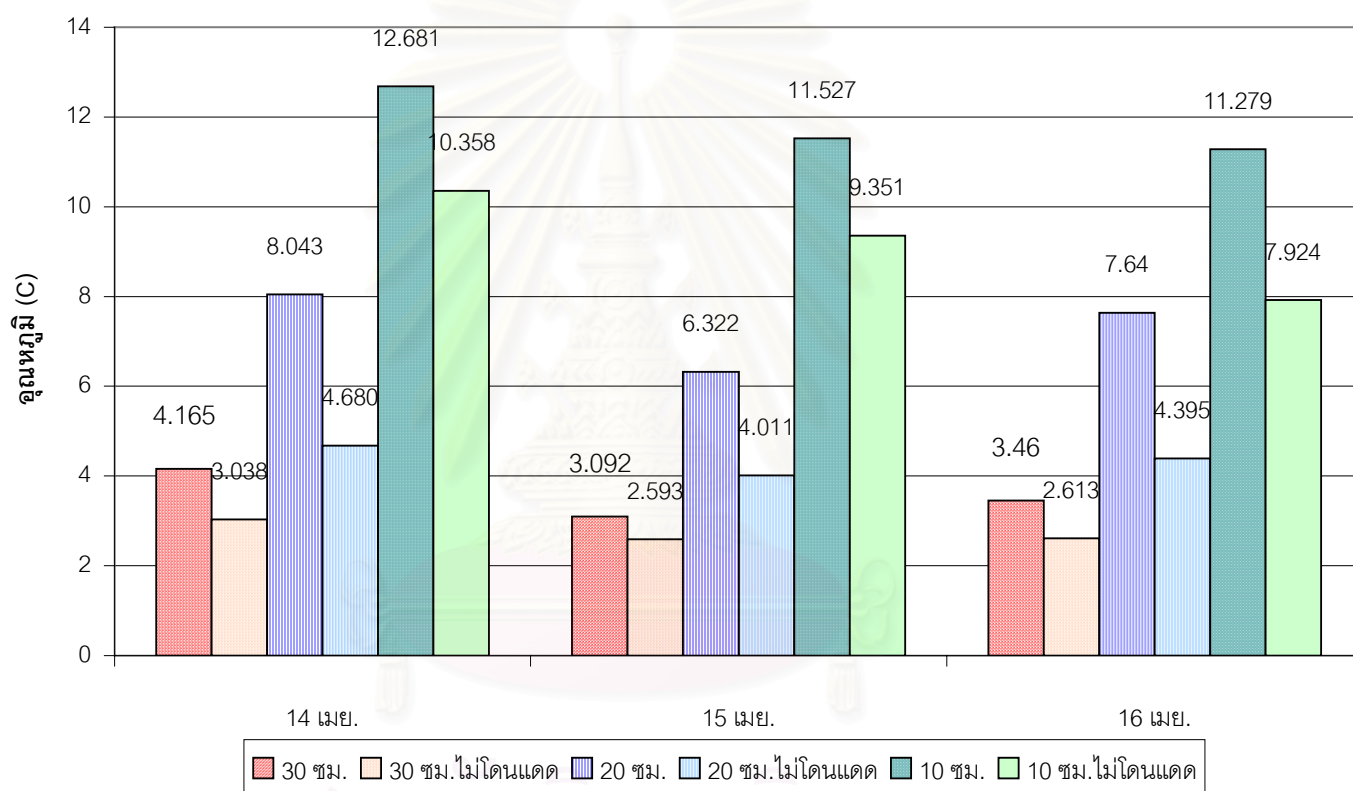
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 1.84 องศาเซลเซียส

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 0.575 องศาเซลเซียส

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 1.599 องศาเซลเซียส

### 3. การแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันและพิสัย

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-39 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองแต่ละวัน ของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

ค่าพิสัยเรียงจากกล่องทดลองที่มีค่าสูงสุดไปจนต่ำสุดมีดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง
4. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง
5. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง
6. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

กล่องทดลองผนังคอนกรีตที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีพิสัยต่ำกว่ากล่องทดลองผนังดังกล่าวที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยกล่องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีพิสัยต่ำกว่ากล่องทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีพิสัยต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 2.2-3.4 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีพิสัยต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 2.3-3.4 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีพิสัยต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 0.5-1.1 องศาเซลเซียส

#### 4. ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 10.45-16.45 น. เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 32.163 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 5.160 องศาเซลเซียส.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.45-15.45 น. เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิ



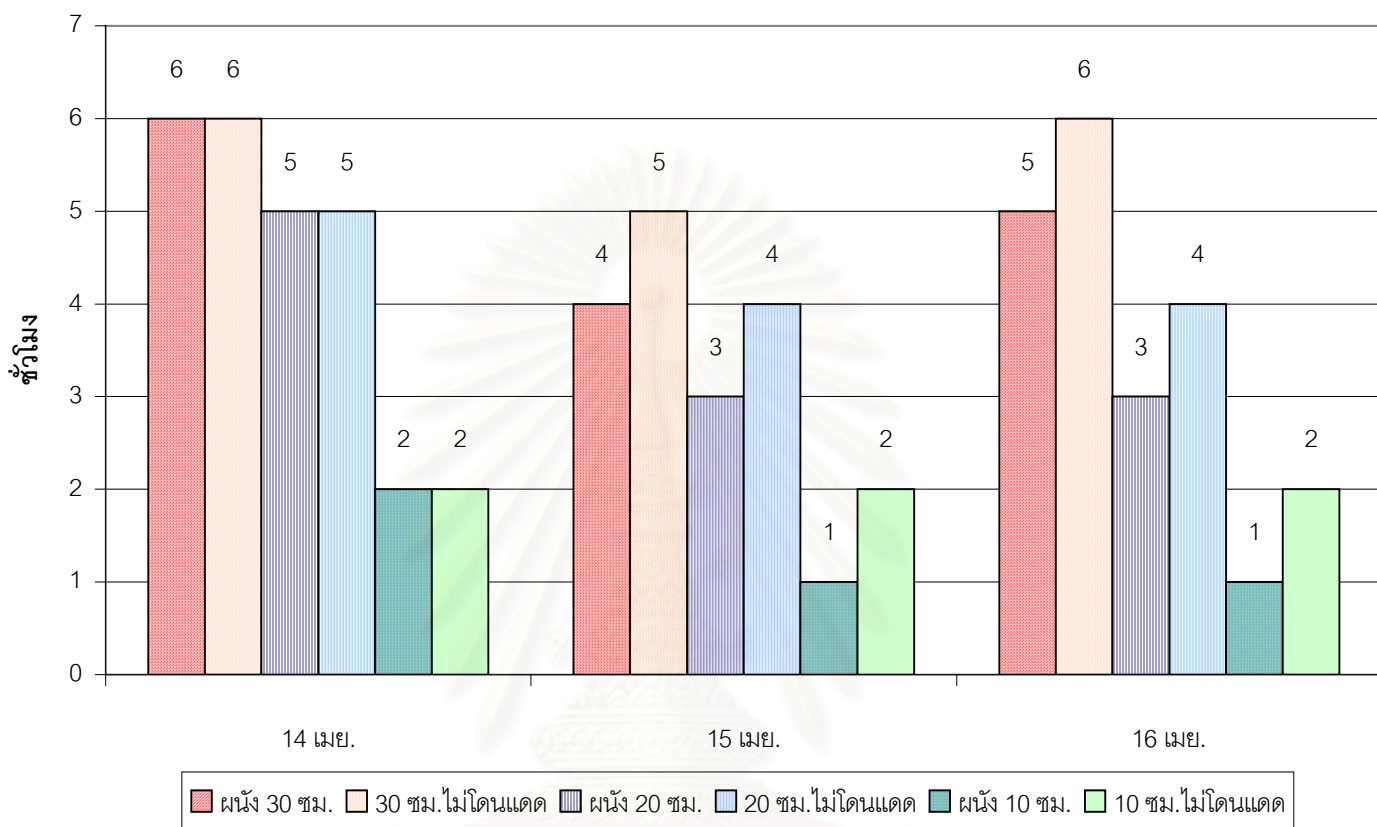
อากาศภายในประมาณ 32.803 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 4.921 องศาเซลเซียส

3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.45-13.45 น. เป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 32.916 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 3.231 องศาเซลเซียส
4. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.45-17.45 น. เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 31.252 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 6.524 องศาเซลเซียส.
5. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.45-16.45 น. เป็นเวลาประมาณ 7 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 31.650 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 5.761 องศาเซลเซียส
6. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.45-15.45 น. เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 31.797 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 5.627 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ช่วงเวลาพบว่าผนังคอนกรีตที่มีช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกมากที่สุดได้แก่ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีช่วงเวลาการปฏิบัติงานได้อยู่ระหว่าง 9.45-17.45 น. ซึ่งจะครอบคลุมถึงช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดด้วย ซึ่งจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับอาคารไม่ปรับอากาศ (อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดในช่วงเวลา 13.45-15.45 น.)

### 6. เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด

ผลการทดลองสรุปเป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดดังนี้



แผนภูมิที่ 4-40 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดแต่ละวันของกลุ่มทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.

ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

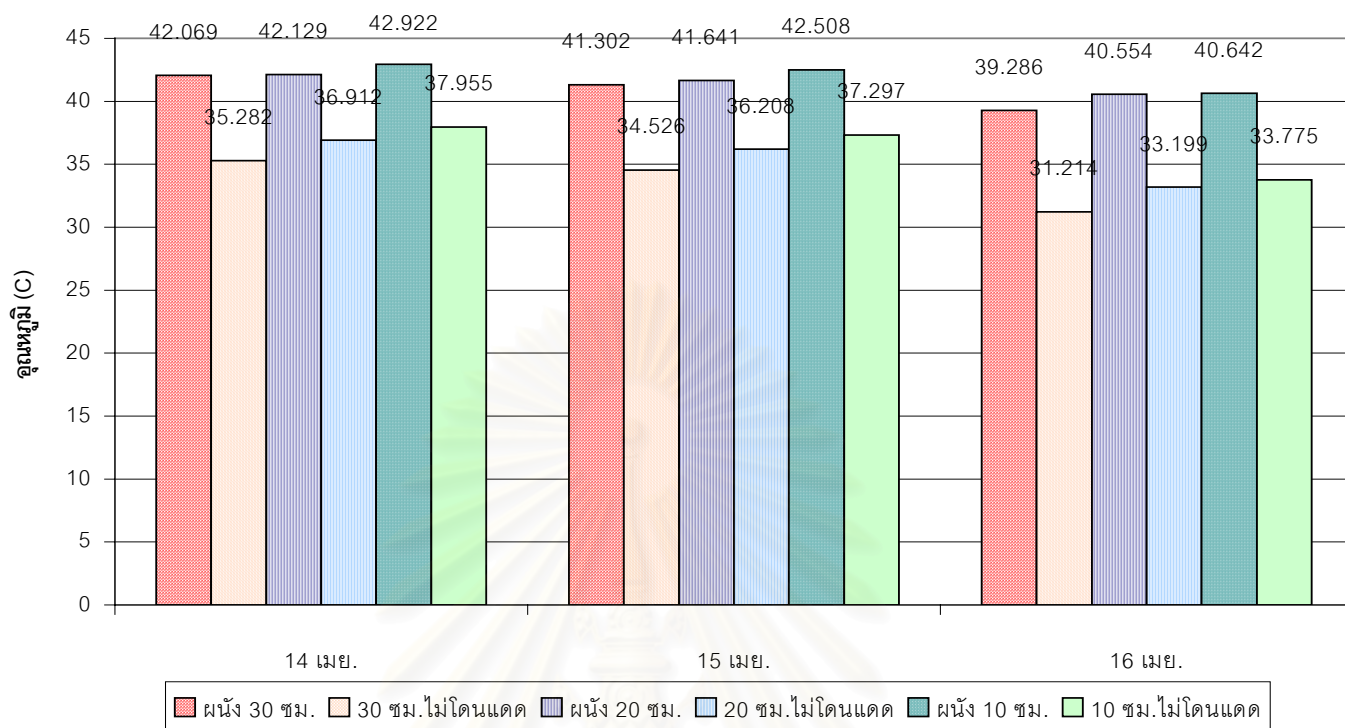
พบว่าผนังคอนกรีตที่มีความหนาหรือมวลสารเท่ากันที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และไม่ได้ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงนั้นจะมีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดต่างกัน เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปมีแตกต่างกัน ผนังคอนกรีตที่มีความหนาเท่ากันแต่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงนั้นจะได้รับการถ่ายเทความร้อนมากกว่า ทำให้มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงุ้ดน้อยกว่า

โดยกลุ่มทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดต่ำกว่ากลุ่มทดลองที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงดังนี้

1. ผืน้งคอนกรีตหนา 10 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมากกว่าผืน้งที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 1 ชั่วโมง
2. ผืน้งคอนกรีตหนา 20 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมากกว่าผืน้งที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 1 ชั่วโมง
3. ผืน้งคอนกรีตหนา 30 ซม.ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมากกว่าผืน้งที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง 1 ชั่วโมง

### 7. อุณหภูมิผิวผืน้งภายนอก

ในช่วงเวลากลางวันผืน้งมวลสารน้อยจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงกว่าผืน้งที่มีมวลสารมาก เนื่องจากผืน้งมวลสารน้อยมีความมึค่าความจุความร้อนต่ำกว่า จึงแผ่รังสีความร้อนออกมามากกว่า ทำให้ผืน้งมวลสารน้อยมีอุณหภูมิผิวผืน้งสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนผืน้งที่มีมวลสารมากกว่าซึ่งสะสมความร้อนมาในเวลากลางวันจะแผ่รังสีความร้อนออกมา ทำให้มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าผืน้งมวลสารน้อย



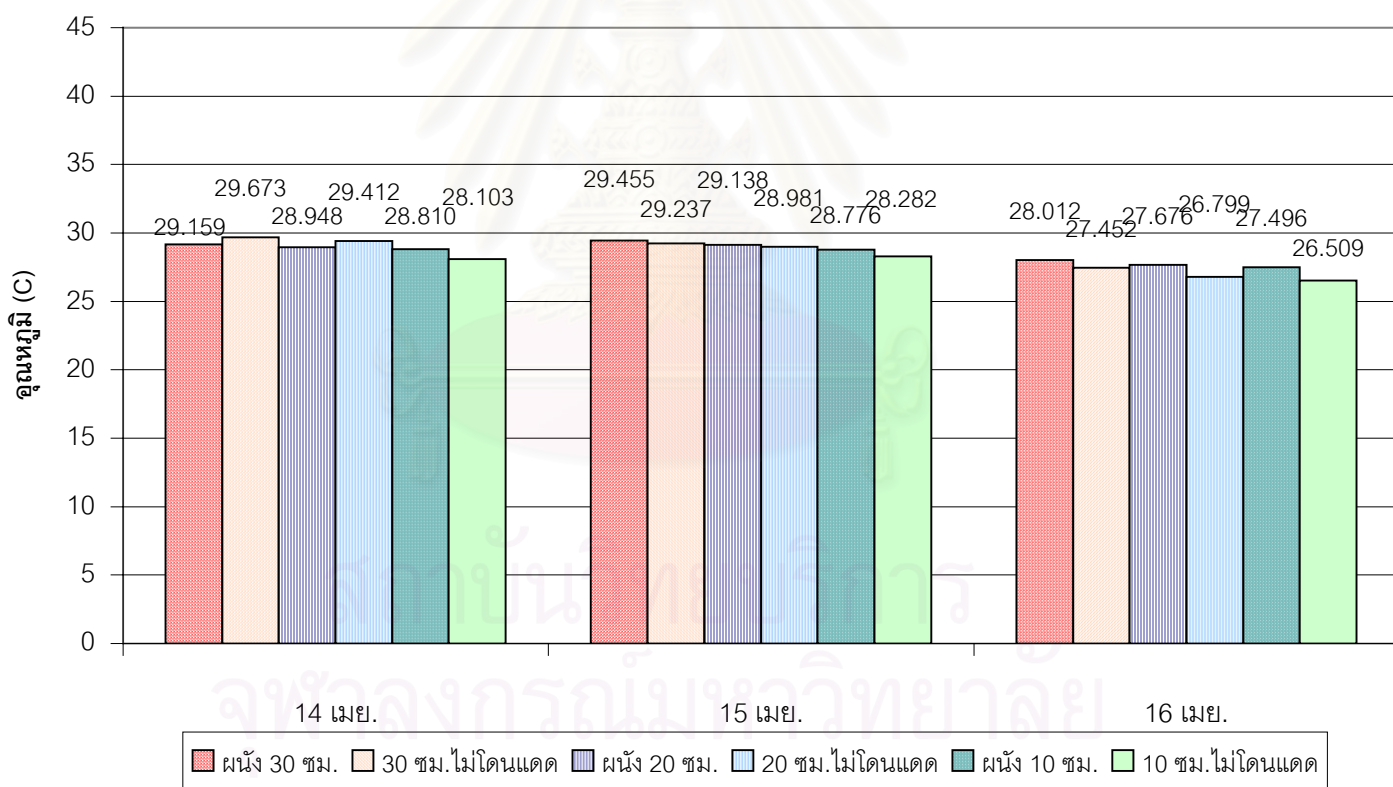
แผนภูมิที่ 4-41 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของกลุ่มทดลองผนังคอนกรีต  
หนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

วัน	ผนัง 30 ซม.	ผนัง 20 ซม.	ผนัง 10 ซม.	30 ซม. ไม่ได้รับ รังสีความร้อน โดยตรง	20 ซม. ไม่ได้รับ รังสีความร้อน โดยตรง	10 ซม. ไม่ได้รับ รังสีความร้อน โดยตรง
14 เมย.	42.069	42.129	42.922	35.282	36.912	37.955
เวลา	15.45	14.45	15.45	14.45	15.45	15.45
15 เมย.	41.302	41.641	42.508	34.526	36.208	37.297
เวลา	14.45	14.45	14.45	15.45	15.45	15.45
16 เมย.	39.286	40.554	40.642	31.214	33.199	33.775
เวลา	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45	15.45

ตารางที่ 4-12 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของผนังแต่ละชนิด

จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน (7.00-18.00 น.) ผิวผนังภายนอกได้รับการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิผิวจะสูงมากแตกต่างกัน โดยผิวผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิ

ต่ำที่สุด เนื่องมาจากค่าความจุความร้อนสูงสุดเมื่อความร้อนผ่านมาที่ผิวแล้วจะค่อย ๆ เข้ามาและใช้เวลาานานกว่าจะกลับออกไป โดยเฉพาะไม่ได้รับอิทธิพลจากแสงแดดโดยตรงซึ่งจะทำให้ปริมาณความร้อนที่เข้ามีน้อย ผิวผนังภายนอกของคอนกรีตที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงทั้งหมดจะสามารถเรียงอุณหภูมิผิวจากมากไปน้อยตามความหนาผนังน้อยไปมาก โดยผิวผนังภายนอกที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงที่มีอุณหภูมิผิวสูงสุดได้แก่ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. เนื่องจากมีค่าความจุความร้อนต่ำที่สุดและได้รับปริมาณความร้อนมาก เมื่อความร้อนผ่านที่ผิวแล้วจะส่งไปยังชั้นต่าง ๆ ภายในแผ่นผนังและถ่ายเทกลับสู่ผิวอีกครั้งได้เร็วกว่าผนังที่มีความจุความร้อนมากกว่าทำให้อุณหภูมิผนังสูงมากกว่า แต่ผิวผนังภายนอกของคอนกรีตที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิสูงที่ใกล้เคียงกัน เวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดได้แก่ 14.45-15.45 น. เท่า ๆ กันทุกชนิดผนังอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุดได้แก่



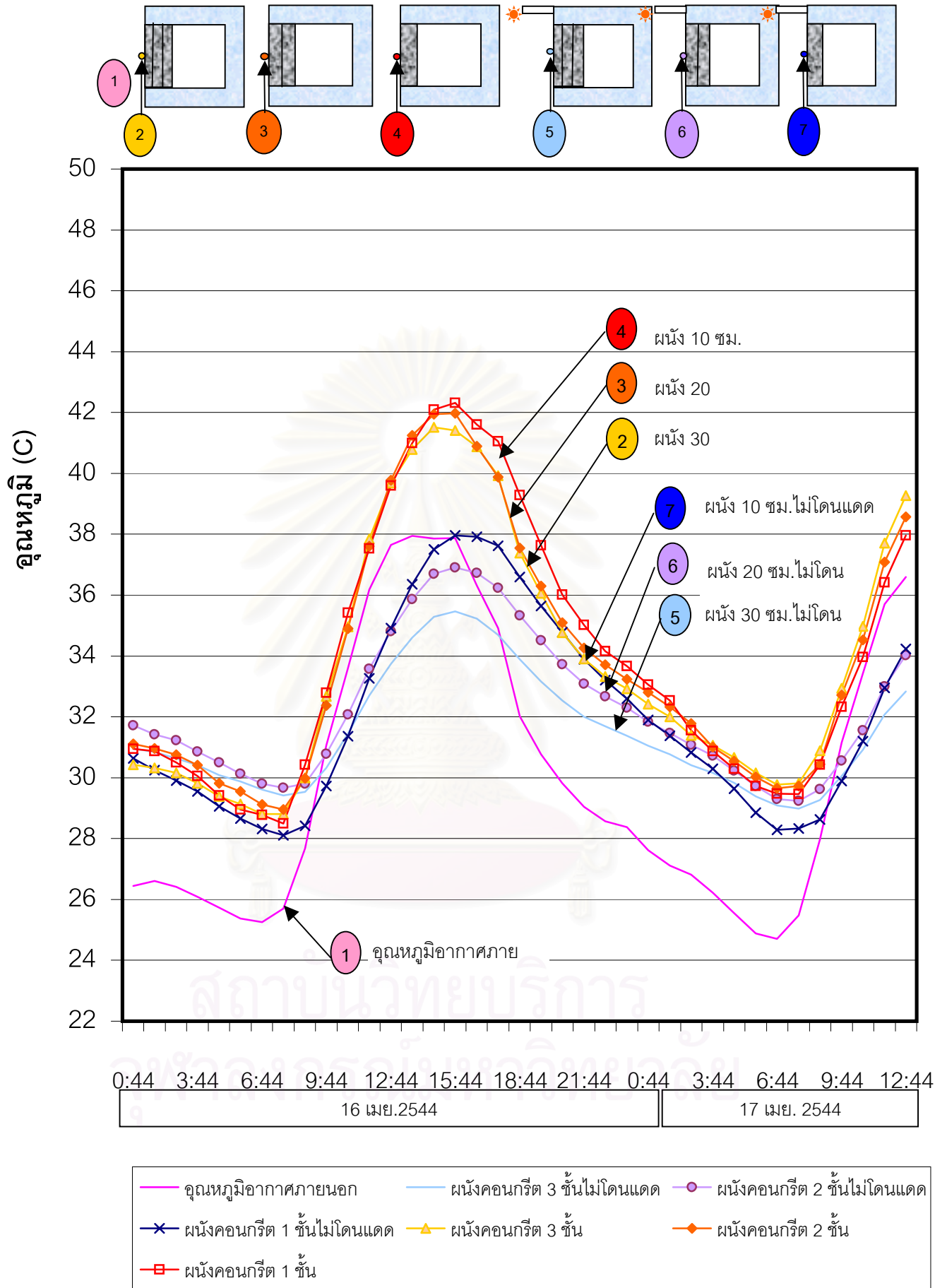
แผนภูมิที่ 4-42 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของกลุ่มทดลองผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง

วัน	ผนัง 30 ซม.	ผนัง 20 ซม.	ผนัง 10 ซม.	30 ซม.ไม่ได้ รับรังสีความ ร้อนโดยตรง	20 ซม.ไม่ได้ รับรังสีความ ร้อนโดยตรง	10 ซม.ไม่ได้ รับรังสีความ ร้อนโดยตรง
14 เมย.	29.159	28.948	28.810	29.673	29.412	28.103
เวลา	6.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45
15 เมย.	29.455	29.138	28.776	29.237	28.981	28.282
เวลา	6.45	6.45	7.45	7.45	7.45	6.45
16 เมย.	28.012	27.676	27.496	27.452	26.799	26.509
เวลา	6.45	6.45	6.45	7.45	7.45	7.45

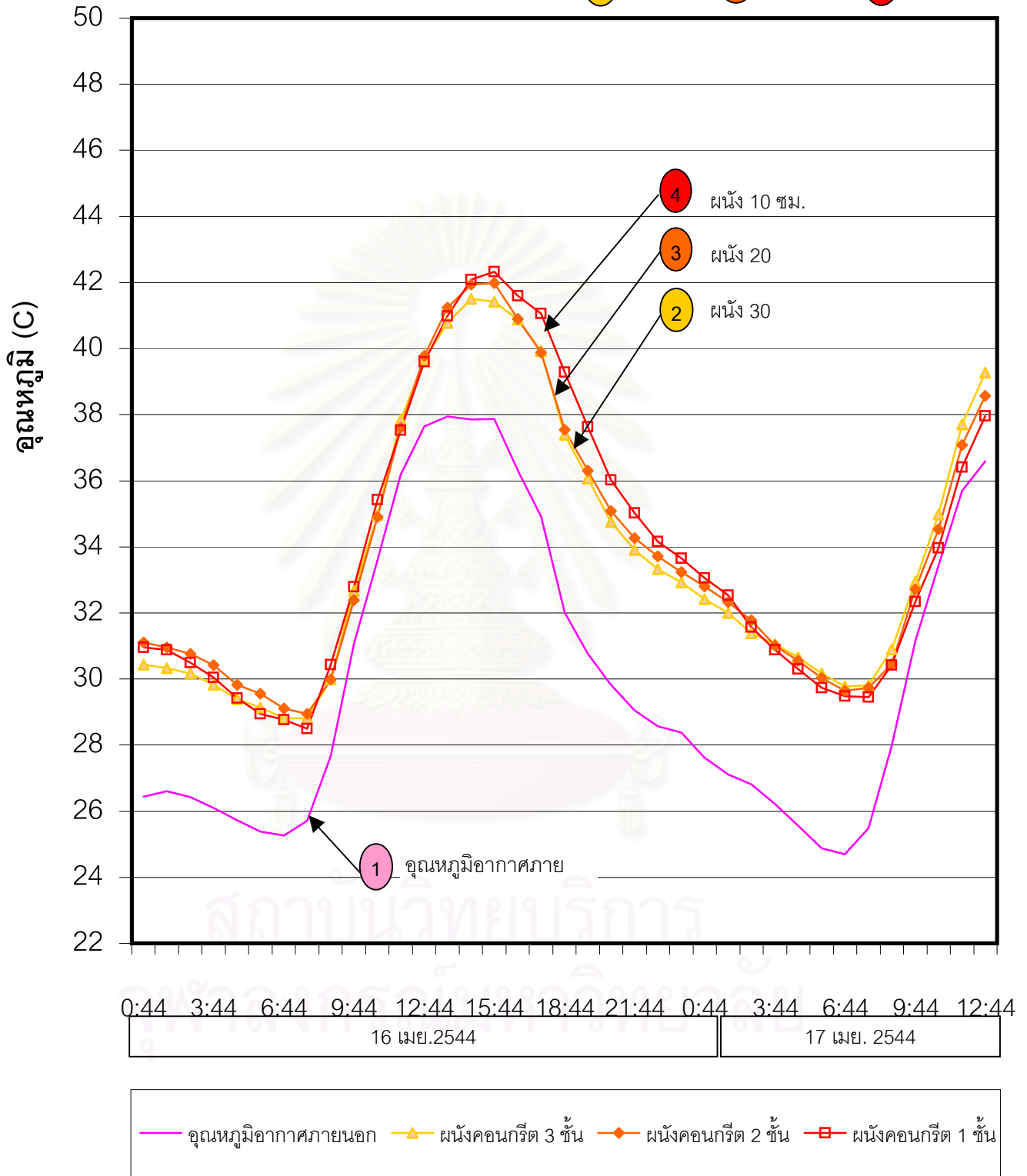
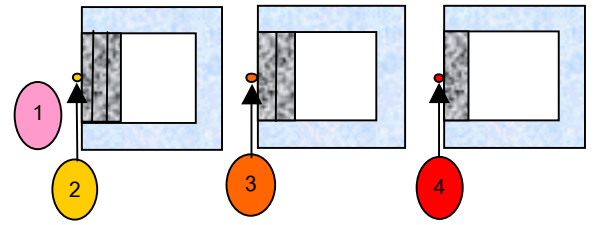
ตารางที่ 4-13 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของผนังแต่ละชนิด

ในช่วงเวลากลางคืน (19.00-6.00 น.) อุณหภูมิผิวผนังจะมีค่าเกือบเท่า ๆ กันในทุกการทดลอง เนื่องจากไม่มีอิทธิพลการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ทั้งรังสีโดยตรงและรังสีกระจาย แต่กลุ่มผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงในเวลากลางวันยังมีความร้อนที่สะสมจากช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ทำให้มีอุณหภูมิผิวสูงกว่ากลุ่มที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง เวลาที่เกิดอุณหภูมิผิวต่ำสุดได้แก่ 6.45-7.45 น. เท่า ๆ กันทุกชนิดผนัง

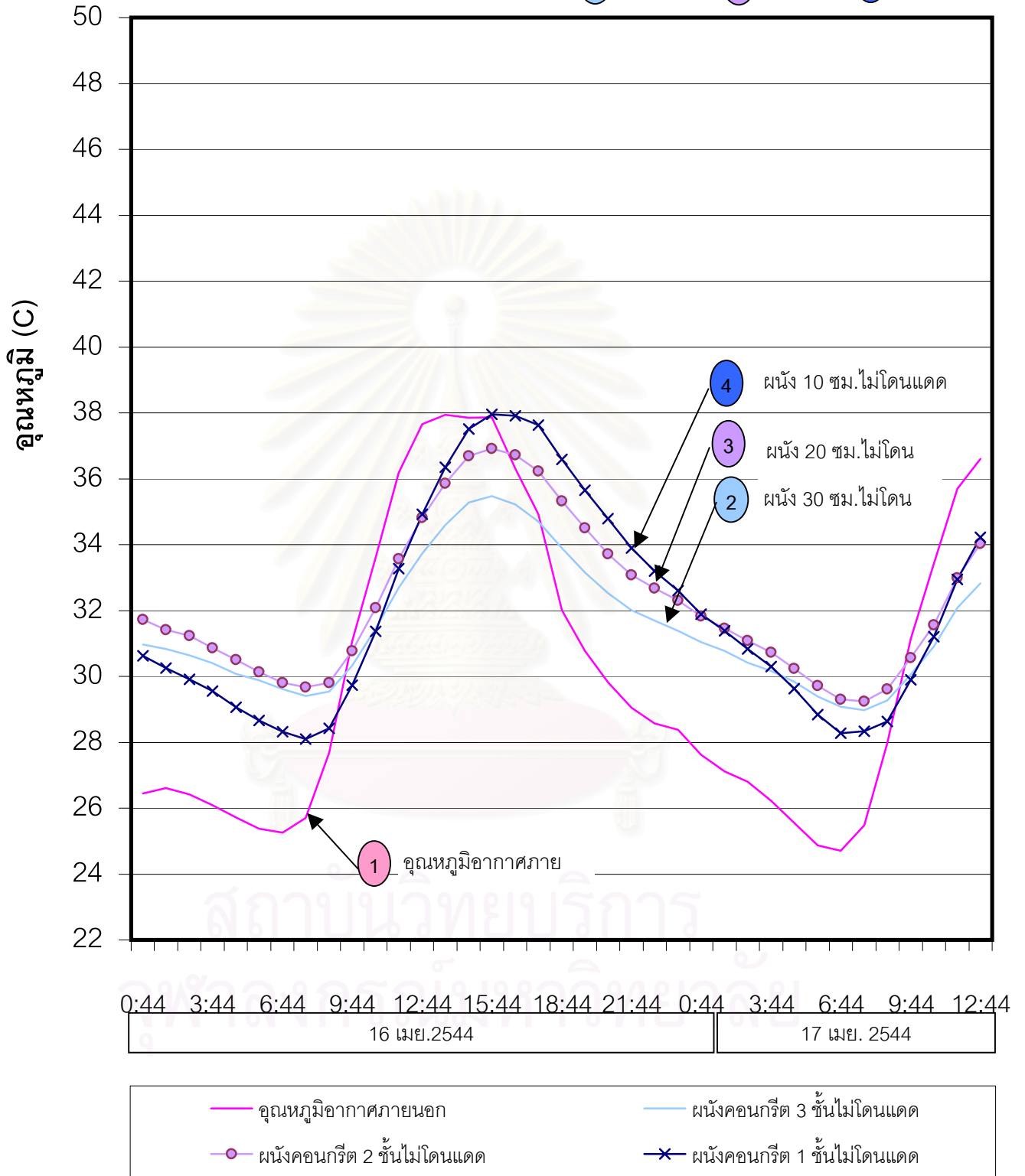
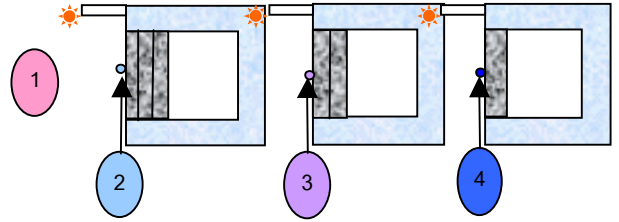




แผนภูมิที่ 4-43 อุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4-44 อุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง  
 ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

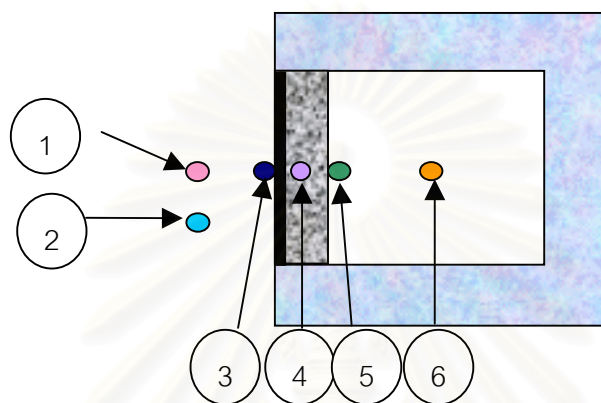


แผนภูมิที่ 4-45 อุณหภูมิผิวภายนอกของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองวันที่ 16-17 เมษายน 2544 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.193 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.161 องศาเซลเซียส

## การทดสอบที่ 4 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ทำการทดสอบในช่วงวันที่ 5-9 มีนาคม 2544

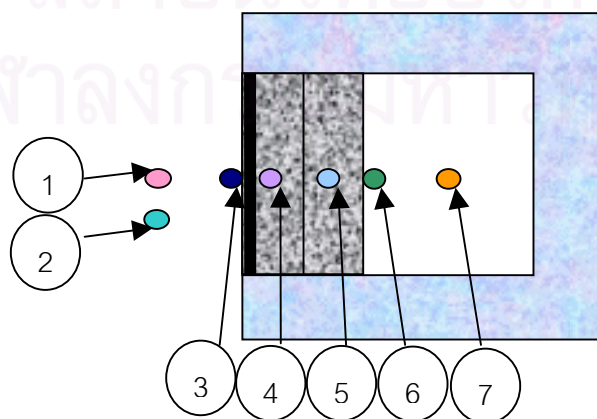
กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{C)}$  มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{°F}$  ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดดังนี้



ภาพที่ 4-8 กล่องทดลองที่ 1

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (6) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

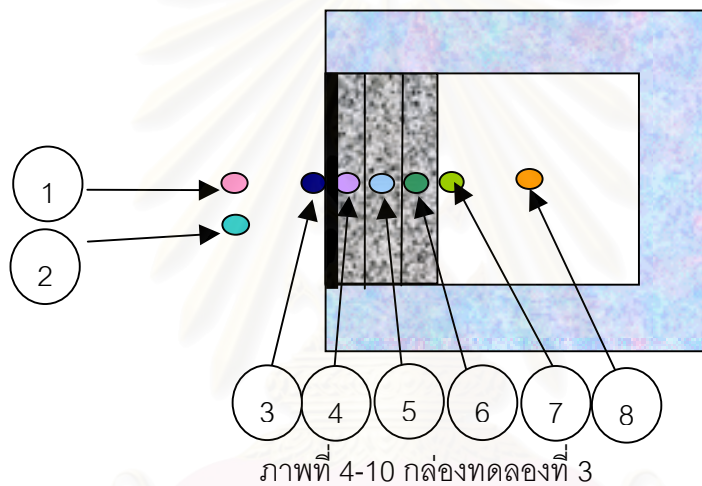
กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu/ft}^3 \cdot \text{°F}$



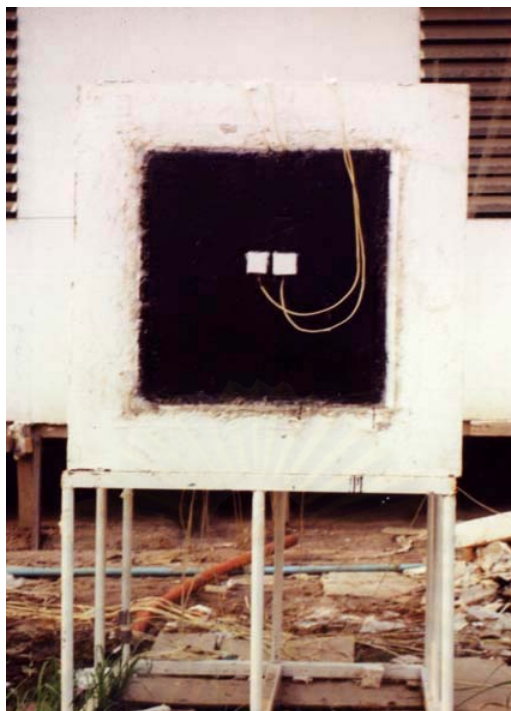
ภาพที่ 4-9 กล่องทดลองที่ 2

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (7) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$



- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
- (7) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (8) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง



ภาพที่ 4-11 กล่องทดลองผนังภายนอกทาสีดำ

### ผลการทดสอบ

#### 1. อุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ต่ำสุด พิสัย และค่าเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีดังนี้

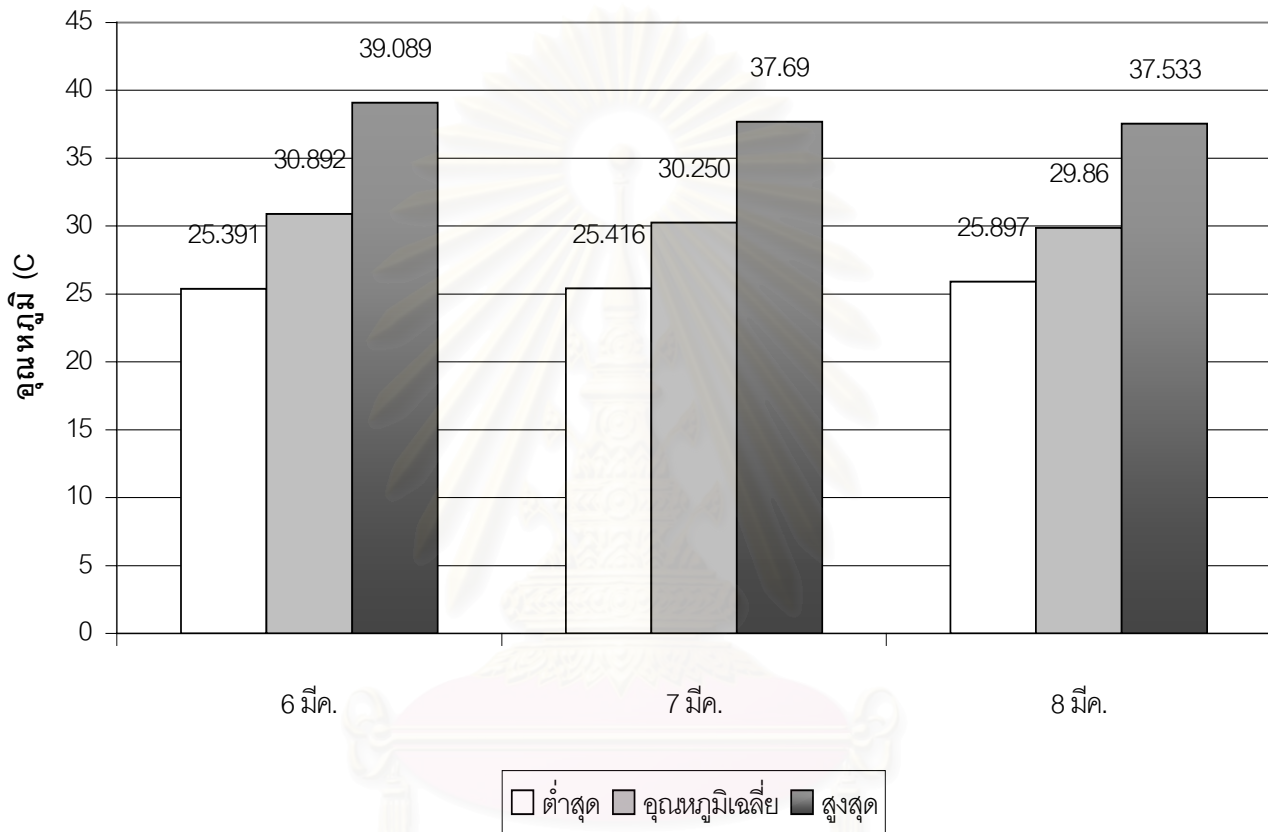
วัน <sup>3</sup>	เวลาสูงสุด	อุณหภูมิ สูงสุด	เวลาดำสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	พิสัย	ค่าเฉลี่ยใน 1 วัน	ฝน
6 มีค. 2544	14:17	39.089	6:47	25.391	13.698	30.892	ไม่มีฝน
7 มีค.2544	13:17	37.69	6:47	25.416	12.274	30.250	ไม่มีฝน
8 มีค.2544	14:17	37.533	6:47	25.897	11.64	29.86	ไม่มีฝน
เฉลี่ย		38.104		25.57	12.54		
อุณหภูมิเฉลี่ยตลอด 3 วันเท่ากับ 30.33 องศาเซลเซียส							

ตารางที่ 4-14 อุณหภูมิอากาศในวันที่ 6-8 มีนาคม 2544

<sup>3</sup> เนื่องจากทำการวัดในช่วงเวลา 16.47น.ของวันที่ 5 มีนาคม และเสร็จในช่วง 12.47 น. ของวันที่ 9 มีนาคม 2544 ทั้งสองวันในวันเริ่มและวันสิ้นสุดการวัดจึงไม่มีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด



อุณหภูมิอยู่ในช่วงกลุ่มร้อนชื้นมาก-ลมใต้ ในประเทศไทย<sup>4</sup> พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส มีพิสัยเฉลี่ยเท่ากับ 12.54 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอด 3 วันเท่ากับ 30.33 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ 14.17 น. ช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิต่ำสุดคือ 6.47 น. สามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



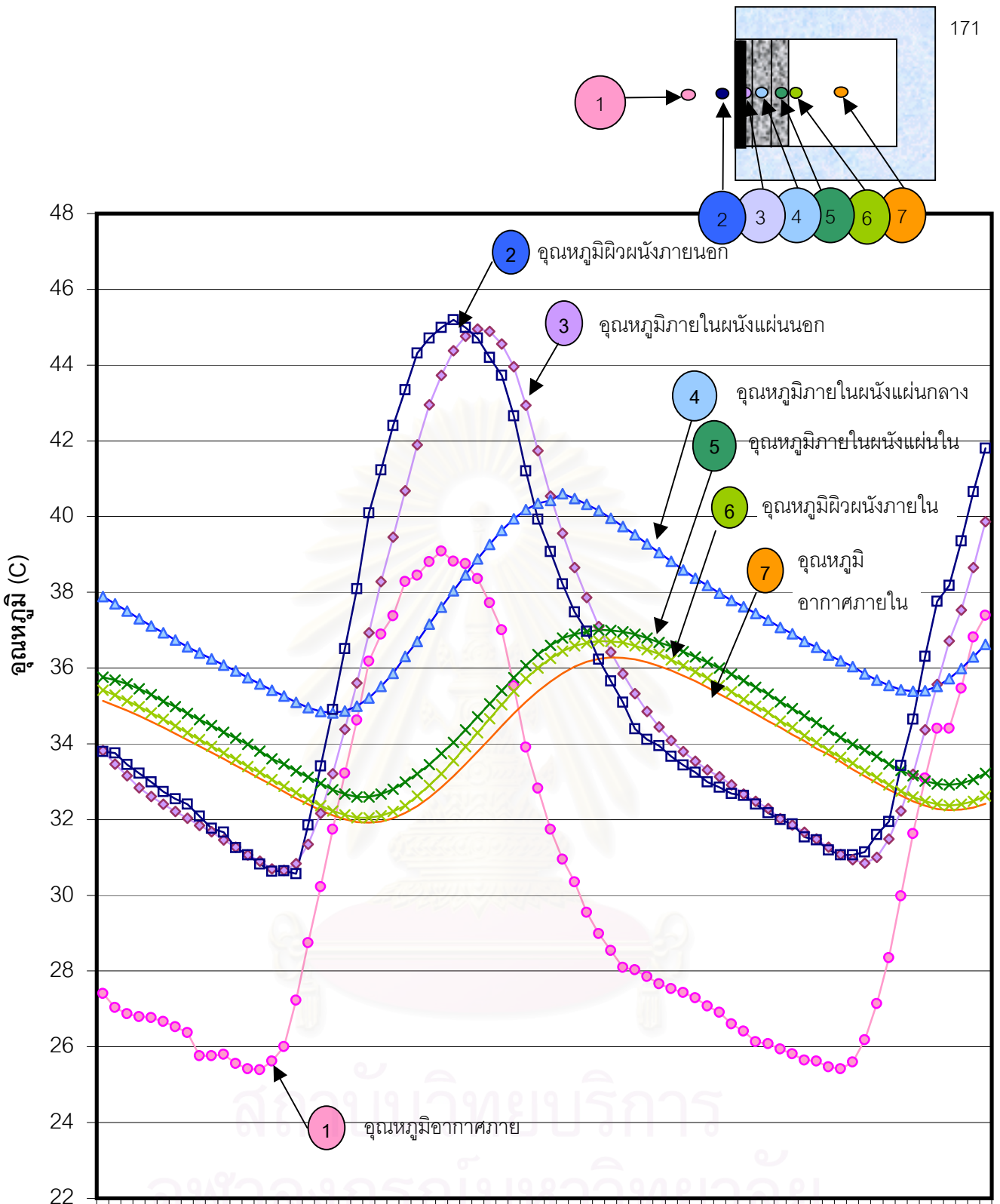
แผนภูมิที่ 4-46 แสดงอุณหภูมิอากาศต่ำสุด เฉลี่ย และสูงสุดตั้งแต่วันที่ 6-8 มีนาคม 2544

## 2. ผลการทดลองพฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด

### 2.1 กล้องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

กล้องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

<sup>4</sup> แบ่งภูมิอากาศในประเทศไทยตามเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า ของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ



0:15 2:45 5:15 7:45 10:15 12:45 15:15 17:45 20:15 22:45 1:15 3:45 6:15 8:45 11:15

6 มีค. 2544 7 มีค. 2544

● อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)	◆ ภายในผนังแผ่นนอก	▲ ภายในผนังแผ่นกลาง
× ผิวผนังด้านใน	— อุณหภูมิอากาศภายใน	× ภายในผนังแผ่นใน
■ ผิวผนังด้านนอก		

แผนภูมิที่ 4-47 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-47 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงที่สุดไปจุดที่อุณหภูมิต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
2. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

จะเห็นได้ว่าการเรียงอุณหภูมิในจุดต่างๆ มีความถูกต้องตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน โดยอุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 ซม. อุณหภูมิผิวผนังภายใน และอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันทั้งหมด เนื่องจากความหนาของผนังและมีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่ามีการเรียงอุณหภูมิในจุดต่างๆ ตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 19:17น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 37.008 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 9:17 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 32.595 องศาเซลเซียส

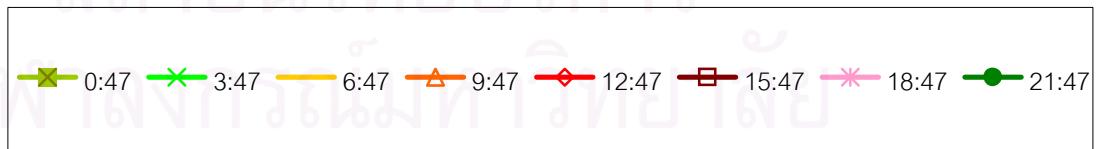
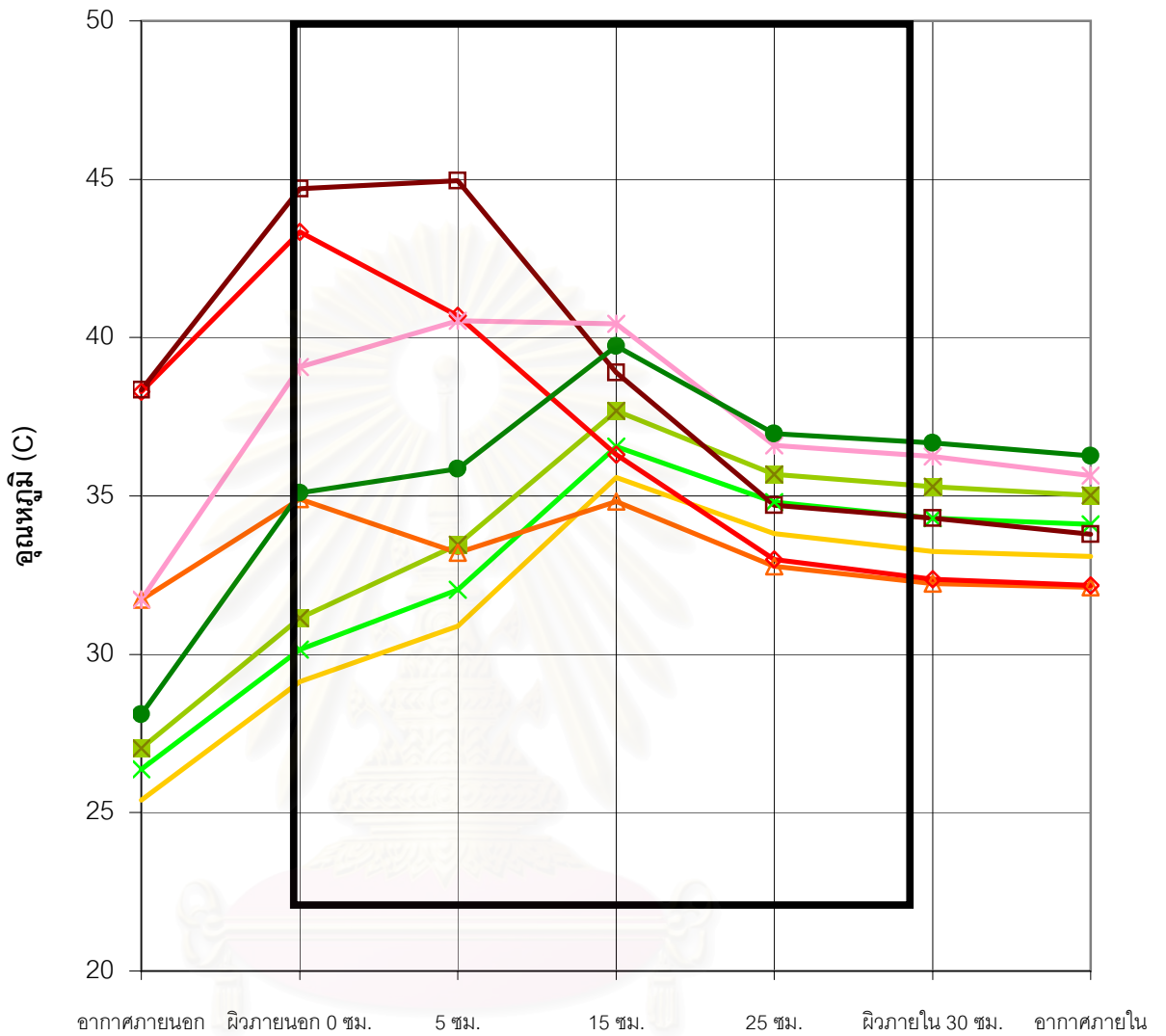
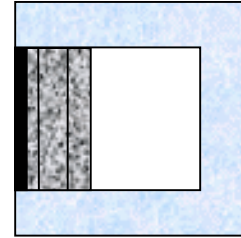
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 34.745 องศาเซลเซียส  
มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 3.791 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 5-6 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 6 มีนาคม 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-48 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสี  
 ดำสภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ  
 เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-48 พบว่าอุณหภูมิผิวภายนอกผนัง มีค่าสูงมากและสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากแสงแดดที่ส่องกระทบผิวผนังโดยตรง ส่งผลให้อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรมีอุณหภูมิสูงขึ้นใกล้เคียงกัน และอุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอกสูงขึ้นตาม และจะชะลอการถ่ายเทความร้อนที่ตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอกเช่นเดียวกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่โดนแดด และไม่โดนแดด เมื่ออุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.47-15.17 น. โดยในช่วงนี้ ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ตั้งแต่เวลา 10.47-18.47 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.17 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 16.17 น. จากนั้นผนังภายในระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทกลับสู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 16.47-6.47 น. ซึ่งเมื่อถึงเวลา 19.47 น. ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. จะถ่ายเทออกมาด้วย อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 6.47 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 7.47 น. ต่อไป ผนังภายในที่ระยะ 25 ซม. และผิวผนังภายในใกล้ช่องทดลองจะรับการถ่ายเทความร้อนเข้าออกในช่วงเวลาเดียวกันคงที่ มีค่าต่ำสุดและสูงสุดห่างกันไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส เพราะอยู่ลึกเข้าไปภายในใกล้ช่องและส่วนใหญ่จะรับการถ่ายเทความร้อนเข้า สามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.17-18.47น.)

#### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม.  
8.17-10.17 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 10.47-18.17 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. และความร้อนออกจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. สู่ผิวผนังภายนอก 17.17-18.17 น.  
เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.17 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.47-6.47 น.)

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลากการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และออกสู่ผิวผนังภายนอก 19.17-6.47 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 6.47 น.



## 2.2 กล้องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

กล้องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

จากแผนภูมิที่ 4-49 แสดงคุณสมบัติของกล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีคุณสมบัติเรียงจากคุณสมบัติสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

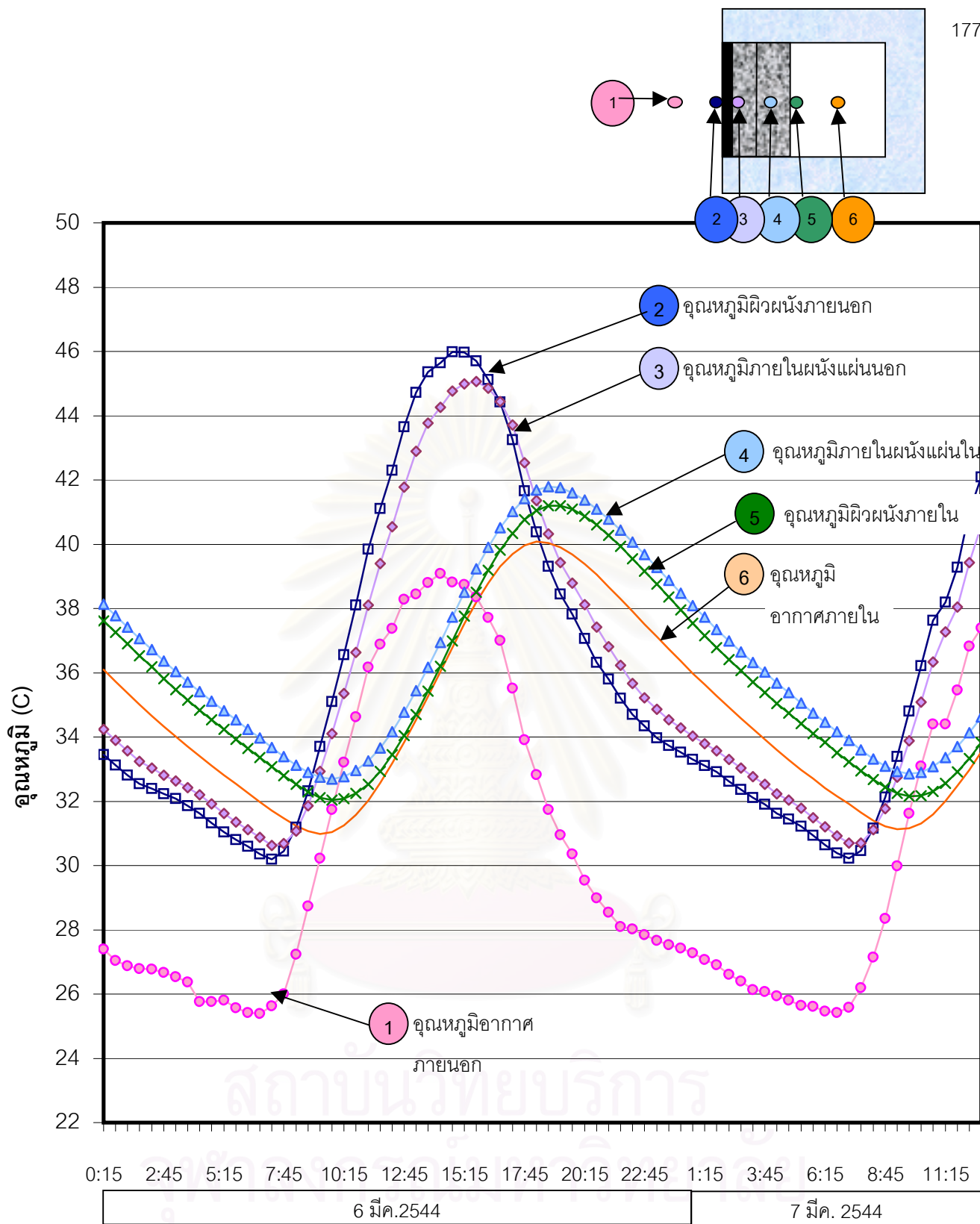
1. คุณสมบัติผิวภายนอกผนัง
2. คุณสมบัติภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
3. คุณสมบัติภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
4. คุณสมบัติผิวผนังภายใน
5. คุณสมบัติภายในกล้องทดลอง
6. คุณสมบัติอากาศภายนอก (DB)

จากแผนภูมิพบว่าคุณสมบัติมีการเรียงตัวกันอย่างถูกต้อง โดยคุณสมบัติผิวภายนอกผนังมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันกับคุณสมบัติผิวภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก เนื่องจากเป็นจุดที่อยู่ใกล้กันและได้รับอิทธิพลต่อเนื่องกันมา ส่วนคุณสมบัติจุดอื่น ๆ จะเกาะกลุ่มใกล้เคียงกันต่ำลงมา

มีช่วงเวลาการเกิดคุณสมบัติสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. คุณสมบัติอากาศภายนอก (DB)
2. คุณสมบัติผิวภายนอกผนัง
3. คุณสมบัติภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. คุณสมบัติอากาศภายในกล้องทดลอง
5. คุณสมบัติภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
6. คุณสมบัติผิวผนังภายใน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผ่นภูมิที่ 4-49 ก่อของทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

## สรุปผลการทดลอง

กลุ่มผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 18.17 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 40.075 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 9.17 น. วันที่ 8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 30.913 องศาเซลเซียส

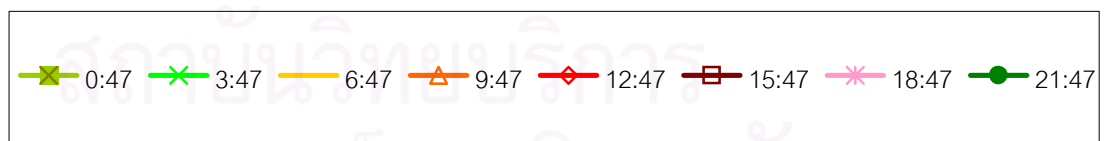
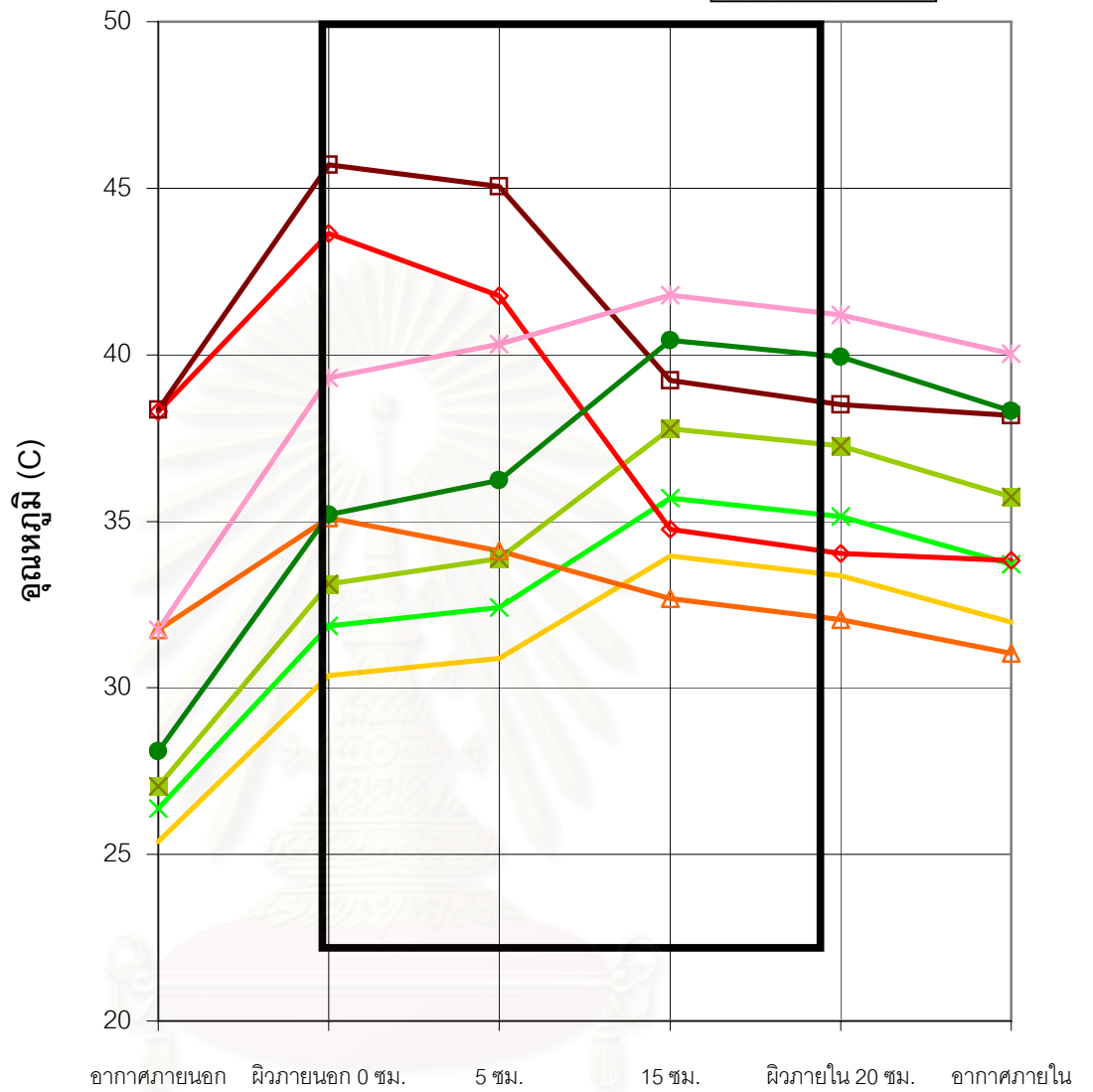
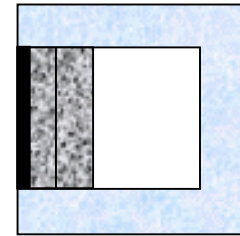
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 34.913 องศาเซลเซียส  
มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างวันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 7.951 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 4-4.5 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 6 มีนาคม 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-50 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสี  
 ดำสภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ  
 เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-50 พบว่าการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกจะเข้ามาที่ผิวหนังภายนอก สู่ผิวหนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และจะชะลอการถ่ายเทความร้อนที่ตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก เช่นเดียวกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ เมื่ออุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวหนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.17-8.47 น. และผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.47-17.47 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.17 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 15.47 น. จากนั้นผนังภายในระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทกลับสู่ผิวหนังภายนอกที่เวลา 16.47-17.47 น. ซึ่งหลังจากนี้จนกระทั่ง 7.17 น. ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. จะถ่ายเทออกมาด้วย อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.17 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.17 น. ต่อไป ผิวภายในที่ระยะ 15 ซม. จะได้รับการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกด้วยช่วงอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดห่างกันไม่เกิน 9 องศาเซลเซียส เพราะมีตำแหน่งที่อยู่ลึกเข้าไปข้างใน ส่วนผิวหนังภายในจะรับการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำแล้ว จะพบว่าช่วงของอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิห่างกันไปด้วย สามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.17-18.47น.)

#### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม.

8.17-8.47 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 8.47-17.47 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. และความร้อนออกจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. สู่ผิวหนังภายนอกผนัง 16.47-17.47 น. เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.17 น.

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวหนังภายนอก 1.47-17.47 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.47-6.47 น.)

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลากการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และออกสู่ผิวผนังภายนอก 17.47-7.17 น. เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.17 น.

### 2.3 กล่องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

กล่องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

จากแผนภูมิที่ 4-51 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิเรียงจากอุณหภูมิสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
2. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
3. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
4. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
5. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)

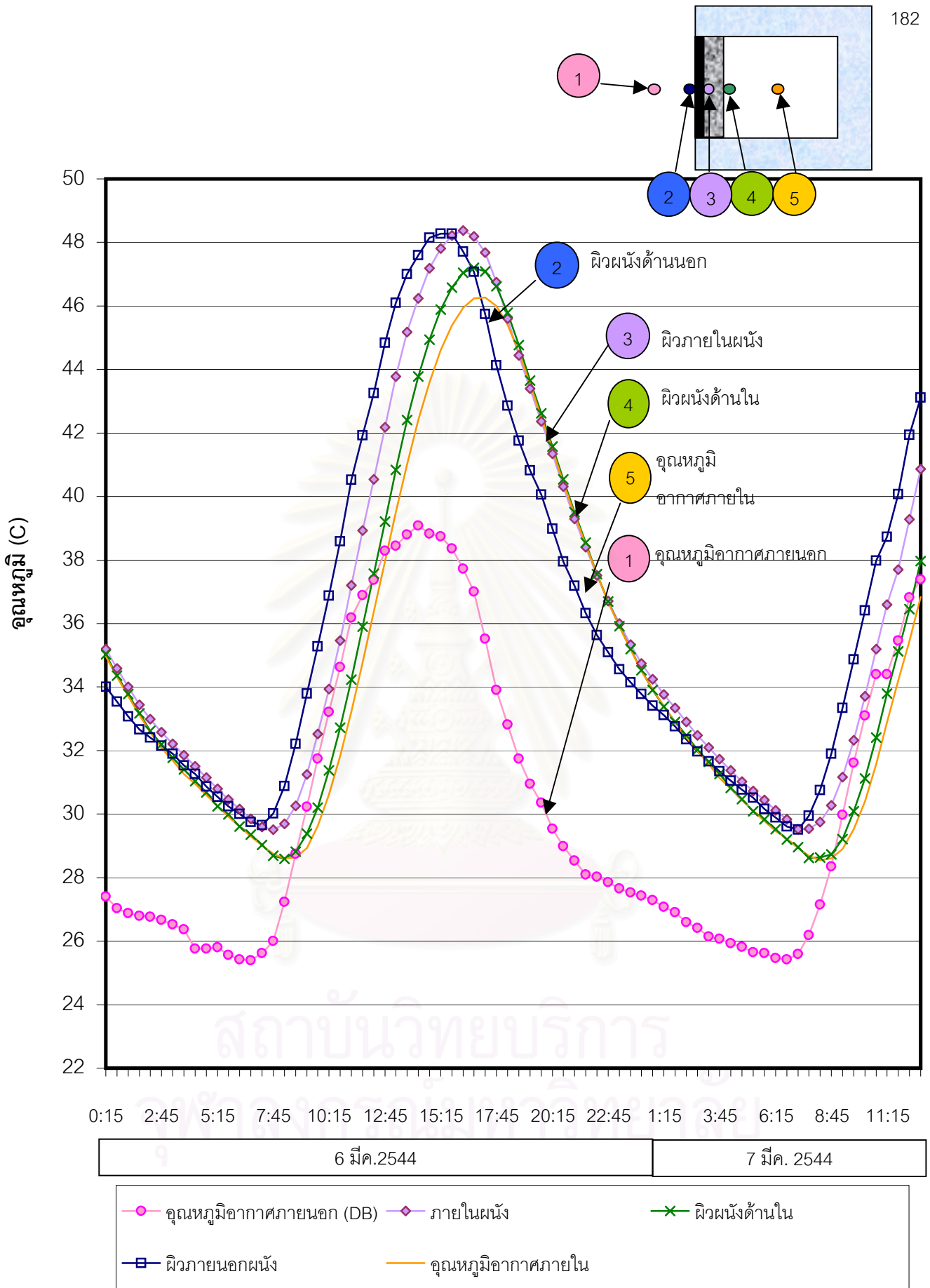
จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิทุกจุดจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกหมด และเกาะกลุ่มกันหมด เนื่องจากผนังคอนกรีตหนา 10 เซนติเมตรนี้มีค่าความจุความร้อนน้อยที่สุดทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้ามาสู่ทุกจุดได้ง่ายและเร็ว ส่งผลให้อุณหภูมิใกล้เคียงกัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกทั้งหมด

มีช่วงเวลากการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิมักมีการเรียงตัวของกการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในได้





แผนภูมิที่ 4-51 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

## สรุปผลการทดลอง

กลุ่มผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 17.17 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 45.273 องศาเซลเซียส

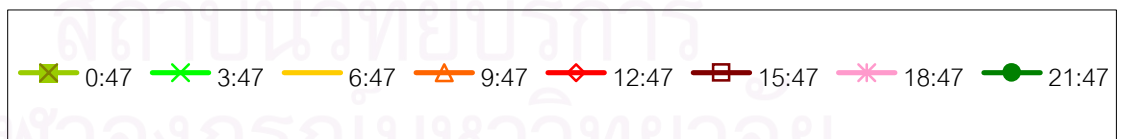
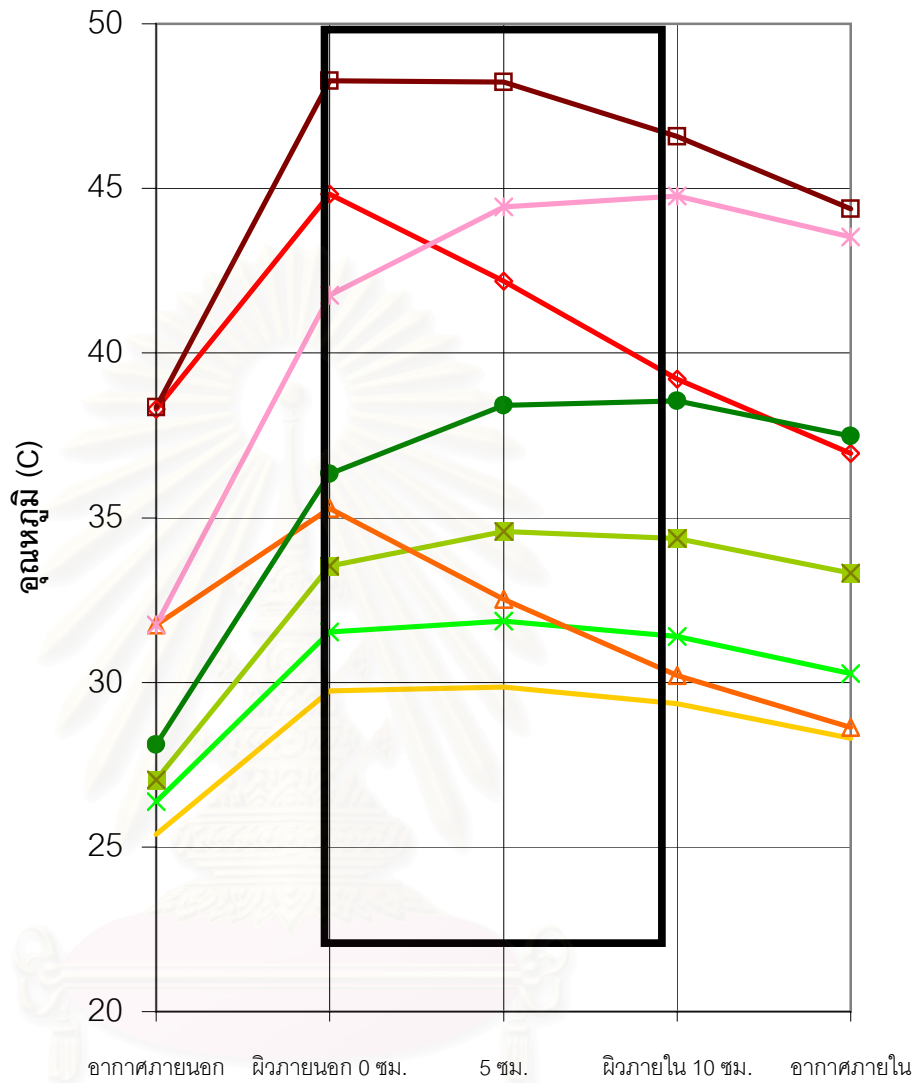
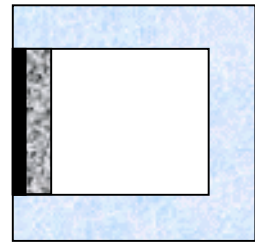
อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 8.17 น. วันที่ 8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 27.744 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 34.528 องศาเซลเซียส  
มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างวันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 15.245 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 1-1.5 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 6 มีนาคม 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ



แผนภูมิที่ 4-52 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสี  
 ดำสภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ  
 เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-52 พบว่าความร้อนจากภายนอกจะสามารถถ่ายเทเข้าไปภายในผนังได้โดยง่าย ทำให้อุณหภูมิในจุดต่าง ๆ มีค่าเท่า ๆ กันในเวลาเดียวกัน โดยในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ต่อไปยังผิวผนังด้านในเกิดขึ้นตั้งแต่เวลา 8.17 -15.47 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.47 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 16.47-17.17 น. ซึ่งภายในผนังที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทออกสู่ผิวภายนอก จากนั้นผิวผนังภายในจะถ่ายเทความร้อนกลับสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกไปยังผิวผนังภายนอกไปด้วยที่เวลา 17.47-1.47 น. จากนั้นผิวภายในที่ระยะ 5 ซม. จะเริ่มถ่ายเทกลับไปยังผิวผนังภายในอีกครั้งที่เวลา 1.47-7.17 น. อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.17 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.17 น. ต่อ เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. และ 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำแล้ว จะพบว่าช่วงของอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิต่างกันมากกว่า 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ที่ถ่ายเทกลับไปมาจะใกล้เคียงกันซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.17-18.47 น.)

การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และผิวผนังภายใน 8.17 -15.47 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.47 น.

การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทออกสู่ผิวภายนอก 16.47-17.17 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.47-6.47 น.)

การถ่ายเทความร้อนเข้า

ผิวภายในที่ระยะ 5 ซม. ถ่ายเทความร้อนไปยังผิวผนังภายในอีกเวลา 1.47-7.17 น.

การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายใน สู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก 17.47-1.47 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.17 น.

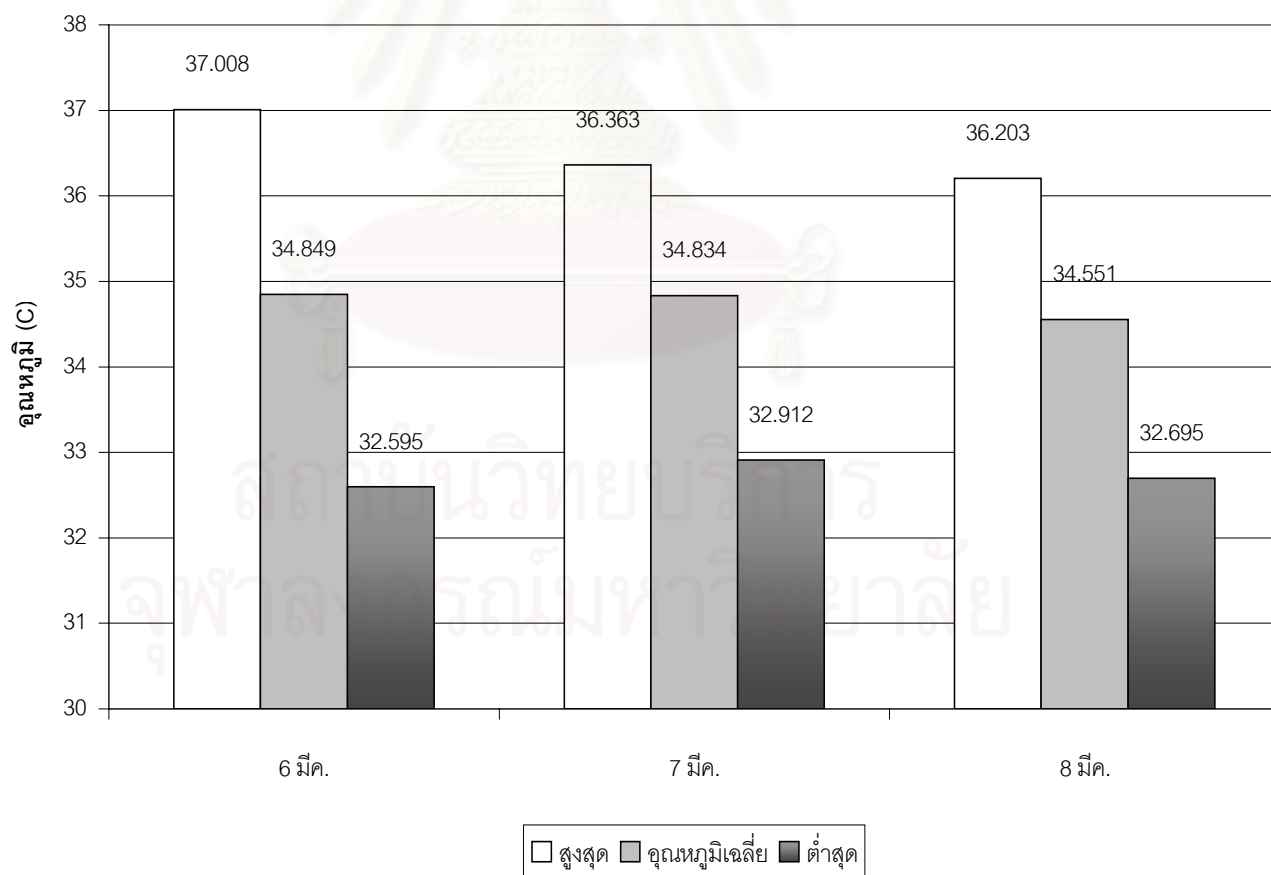
## 2. ผลการทดลองการเปรียบเทียบผนังแต่ละชนิด

### 2.1 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

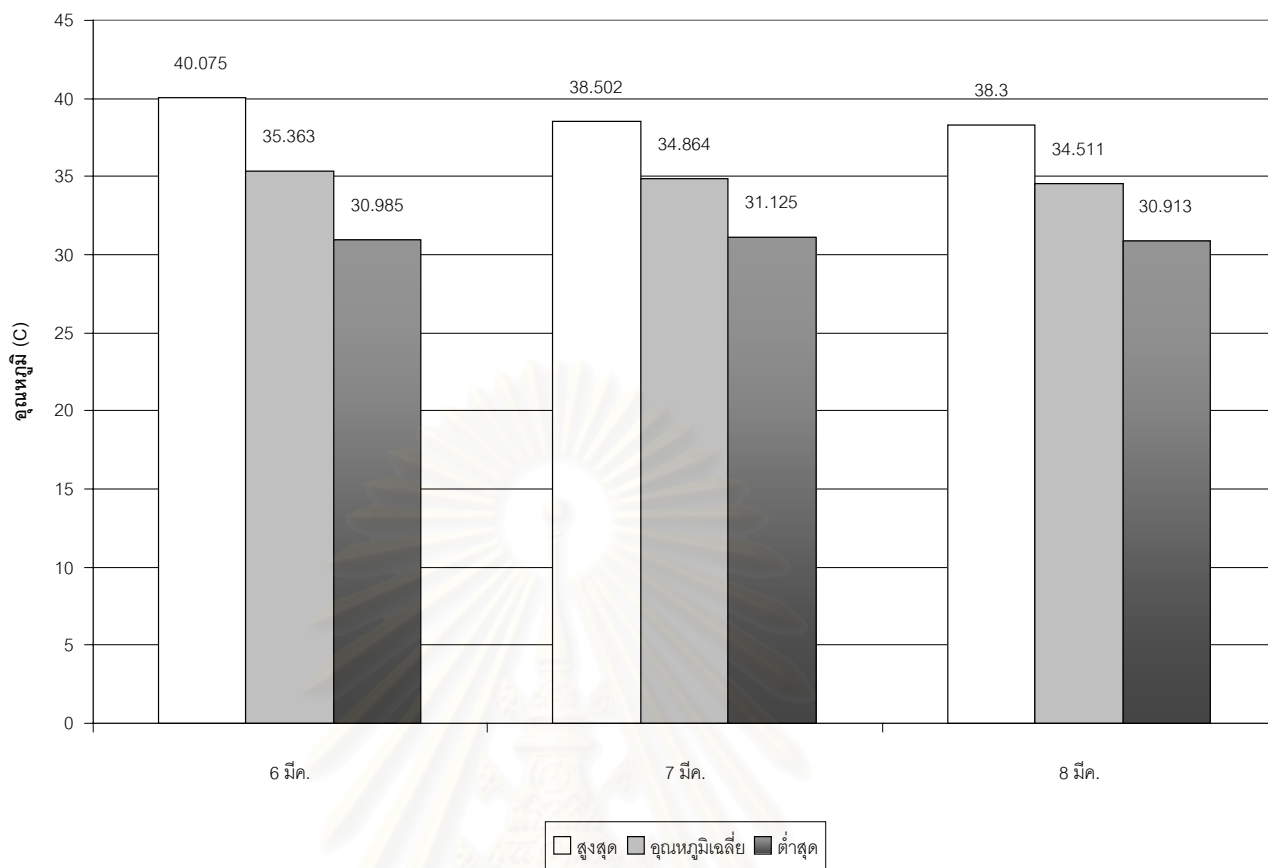
ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

วันที่	30 ซม. ทาสีดำ				20 ซม. ทาสีดำ				10 ซม. ทาสีดำ			
	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย
6 มี.ค.	37.008	32.595	4.413	34.849	40.075	30.985	9.090	35.363	45.273	27.75	17.523	35.350
เวลา	21.15	11.15			18.15	9.15			17.15	8.15		
7 มี.ค.	36.363	32.912	3.451	34.834	38.502	31.125	7.377	34.864	42.382	28.518	13.864	34.199
เวลา	20.45	11.15			18.15	9.15			16.45	8.15		
8 มี.ค.	36.203	32.695	3.508	34.551	38.3	30.913	7.387	34.511	42.091	27.744	14.347	34.036
เวลา	20.45	10.45			18.15	9.15			16.15	8.15		
เฉลี่ย	36.525	32.734	3.791	34.745	38.959	31.008	7.951	34.913	43.249	28.004	15.245	34.528

ตารางที่ 4-15 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผิวผนังภายนอกทาสีดำ

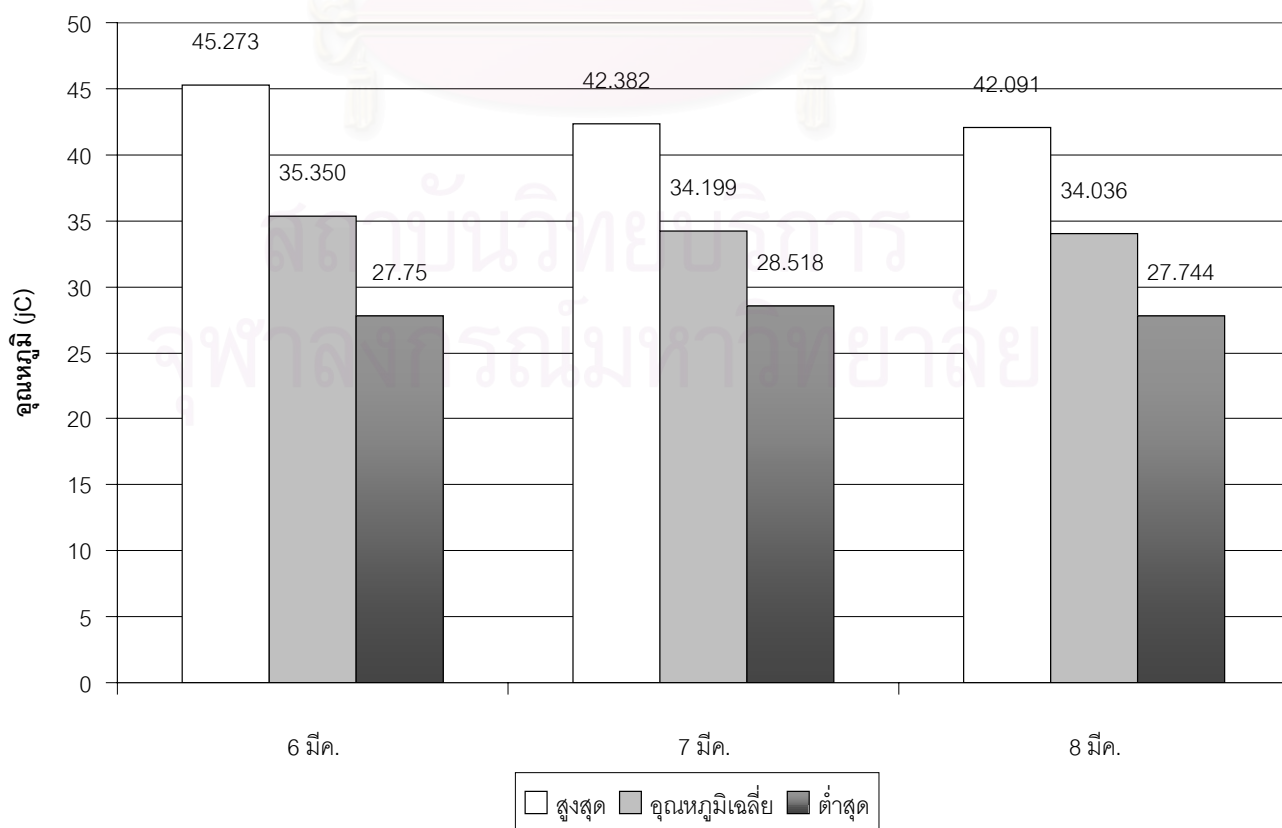


แผนภูมิที่ 4-53 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ทาสีดำ

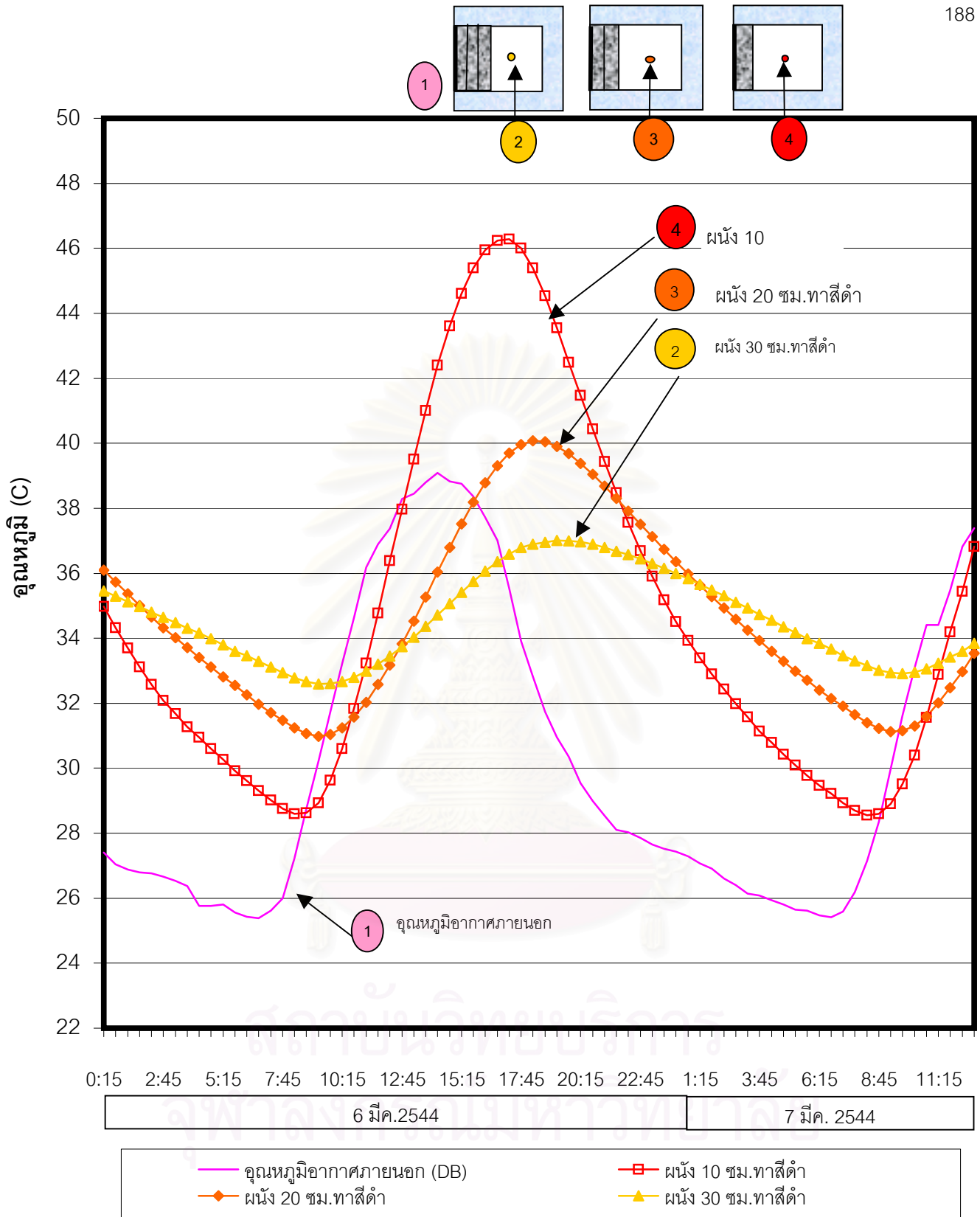


แผนภูมิที่ 4-54 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ทาสีดำ

แผนภูมิที่ 4-55 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ทาสีดำ







แผนภูมิที่ 4-56 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

## 2.2 อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้นนั้น ผนังที่มีความหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุดสามารถรับปริมาณความร้อนเข้าไปได้เต็มที่ และมีอุณหภูมิผิวสูงจากการที่ทาสีดำภายนอก ส่งผลให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปภายในกล่องทดลองได้เร็ว ปริมาณความร้อนเข้ามาได้มากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายในจึงสูงสุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำจึงมีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยลงมาและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิอากาศภายในน้อยที่สุด อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 38.10 องศาเซลเซียสที่เวลา 13.15 และ 14.15 น.

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้นนั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 43.249 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 5.149 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 16.15-17.15 น.

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 38.959 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 0.859 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 18.15 น.

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 36.525 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 1.575 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 20.45-21.15 น.

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงซึ่งเป็นช่วงเวลากลางคืนนั้น สีทาผิวผนังภายนอกจะไม่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ผิว ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำที่มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุดสามารถถ่ายเทปริมาณความร้อนที่อยู่ภายในกล่อง และเนื้อผนังออกไปสู่อากาศภายนอกที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้ง่ายกว่าและเร็วกว่าผนังที่มีค่าความจุความร้อนสูงกว่าซึ่งยังเก็บกักความร้อนอยู่ภายใน อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนัง 10

ชม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำจิ้งจอกดำสุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำจิ้งมีอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่าและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิอากาศภายในมากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6.45 น.

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงนั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

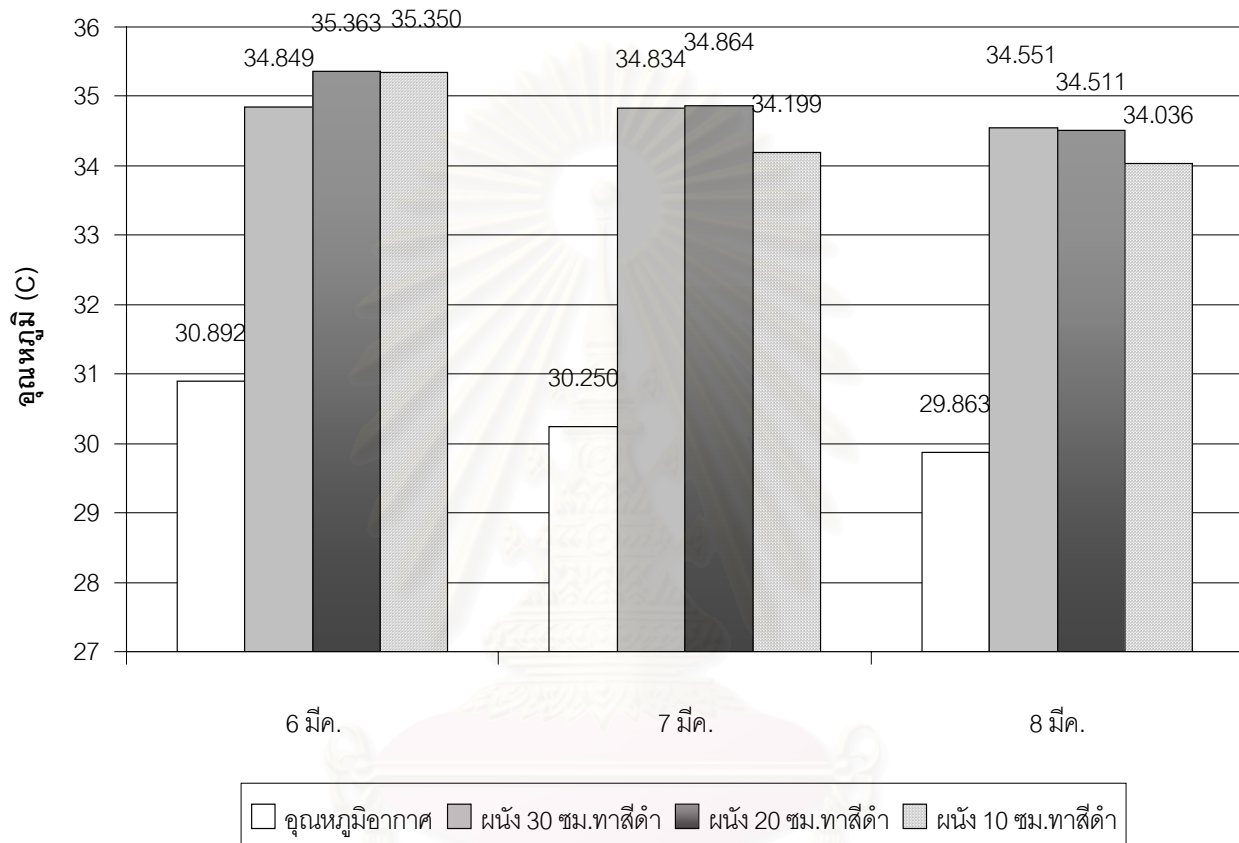
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 32.734 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 7.164 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 10.45-11.15 น.

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 31.008 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 5.438 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 9.15 น.

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 28.004 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 2.434 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 8.15 น.

## 2.3 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-57 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย  
อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยทั้ง 3 กล่องไม่แตกต่างกันมาก  
นัก ดังนี้

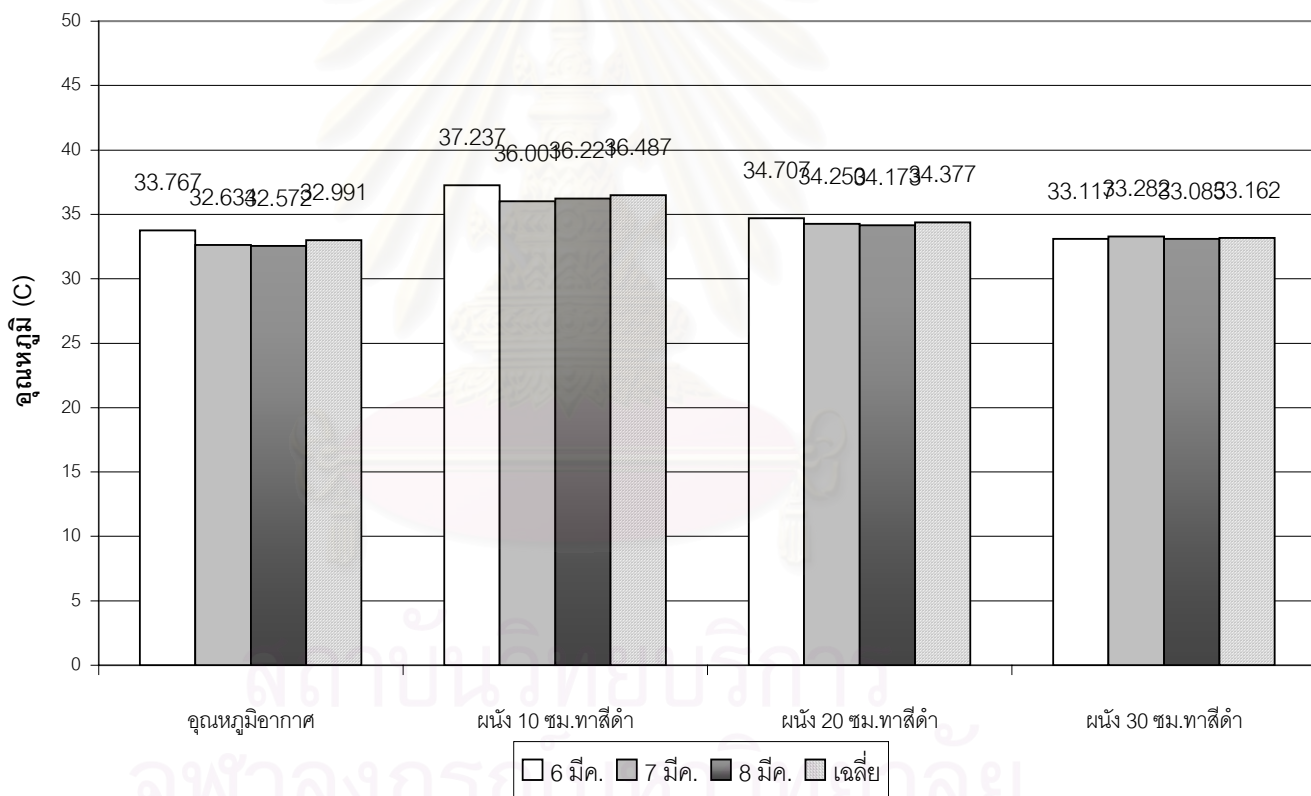
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 34.745 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 34.913 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 34.528 องศาเซลเซียส

2.4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

2.4.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ	20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ	30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ
6 มีค.2544	33.767	37.237	34.707	33.117
7 มีค.2544	32.634	36.001	34.250	33.282
8 มีค.2544	32.572	36.221	34.173	33.085
เฉลี่ย	32.991	36.487	34.377	33.162

ตารางที่ 4-16 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ



แผนภูมิที่ 4-58 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล่องทดลองในช่วงเวลากลางวันมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ดังนี้

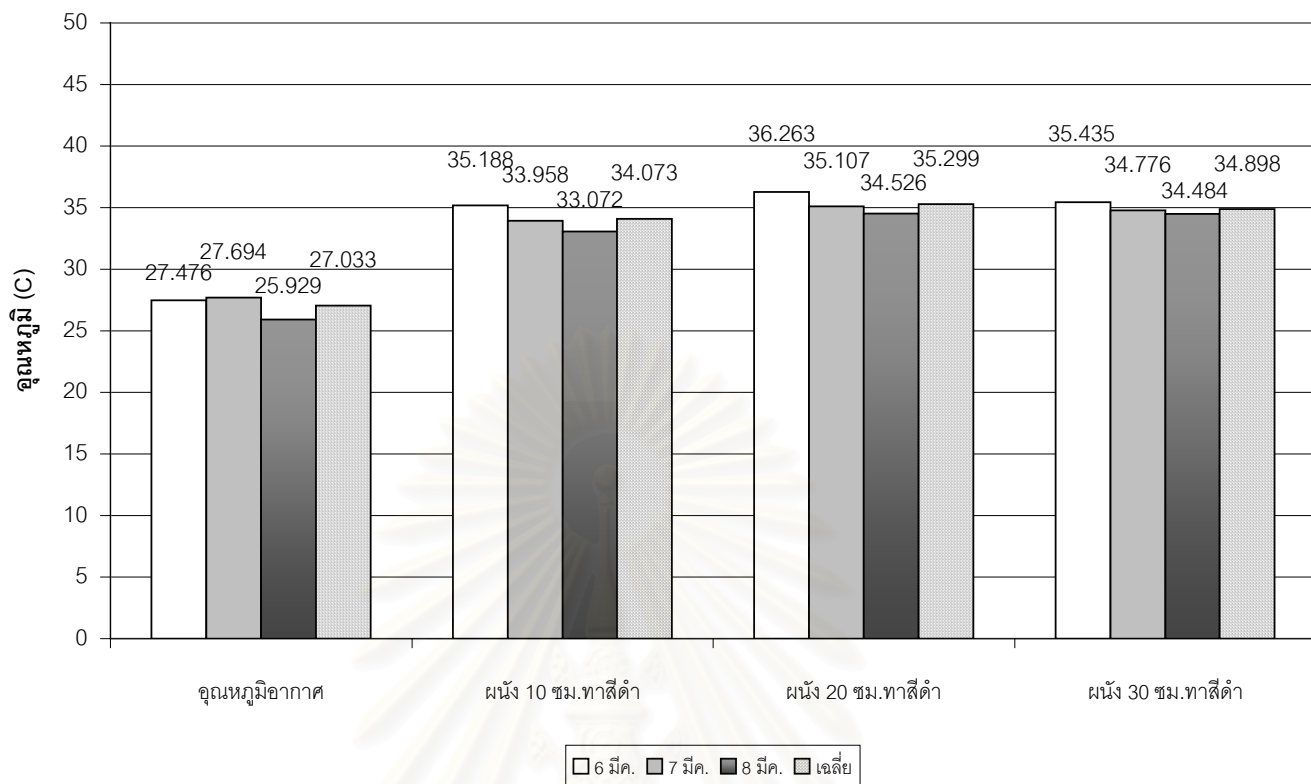
1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 33.162 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 องศาเซลเซียส
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 34.377 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 1.39 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 36.487 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 3.495 องศาเซลเซียส

#### 2.4.2 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน (18.00-6.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ	20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ	30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ
6 มีค.2544	27.476	35.188	36.263	35.435
7 มีค.2544	27.694	33.958	35.107	34.776
8 มีค.2544	25.929	33.072	34.526	34.484
เฉลี่ย	27.033	34.073	35.299	34.898

ตารางที่ 4-17 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ





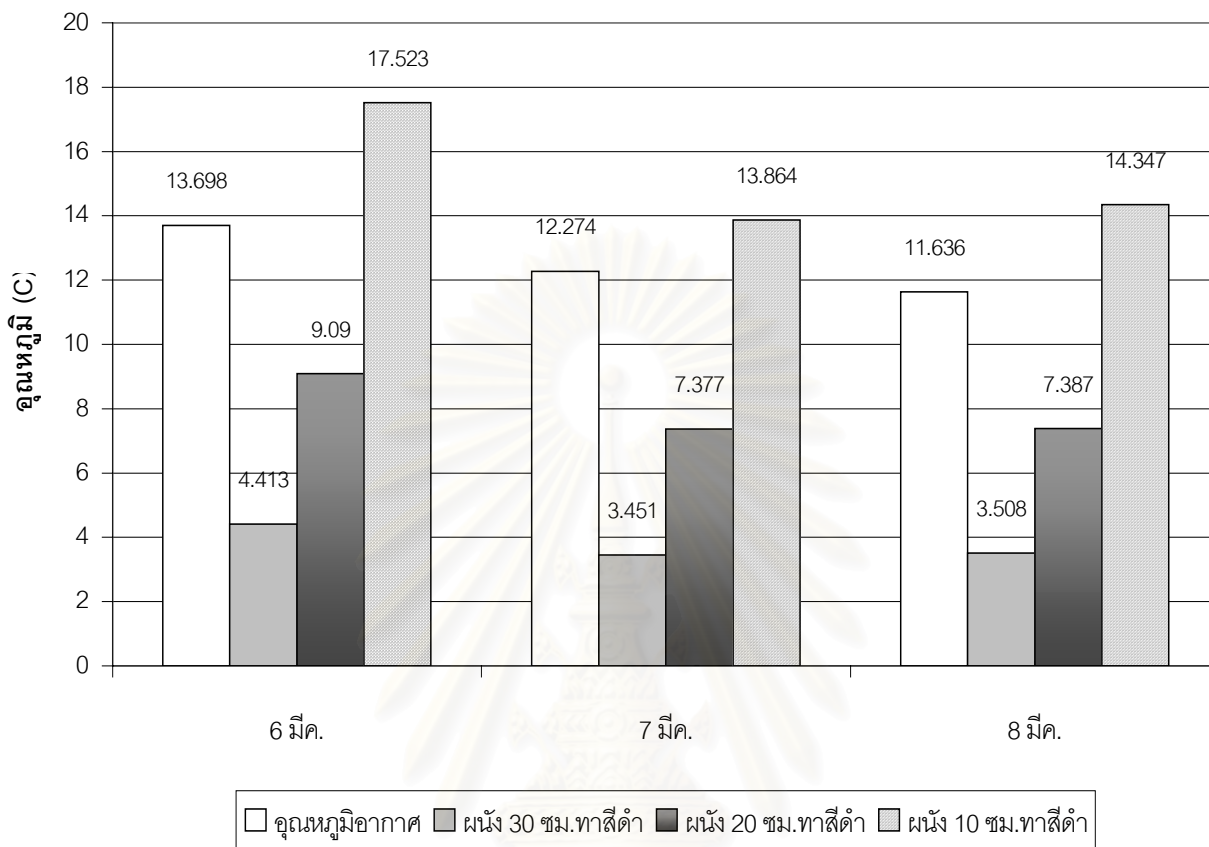
แผนภูมิที่ 4-59 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล่องทดลองในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 34.898 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 7.865 องศาเซลเซียส
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 35.299 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 8.266 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 34.073 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 7.040 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั้งหมด จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานตลอดทั้งวัน

### 2.5 การแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันและพิสัย



แผนภูมิที่ 4-60 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

อิทธิพลจากภูมิอากาศภายนอกจะมีผลโดยตรงกับผนังที่มีค่าความจุความร้อนต่ำสุดคือผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำซึ่งทำให้มีการแปรผันของอุณหภูมิภายในระหว่างวันมากที่สุด เนื่องจากสามารถรับ และเก็บกับความร้อนได้น้อยสุด ทำให้มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนมาก และเร็วที่สุด รองลงมาได้แก่ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. และ 30 ซม. จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ซึ่งมีค่าความจุความร้อนสูงที่สุดจะมีค่าคงที่ที่สุด

ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง เรียงลำดับจากกล่องที่มีพิสัยต่ำสุดไปถึงสูงสุดมีดังนี้

1. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีค่าพิสัยประมาณ 3.45-4.41 องศาเซลเซียส
2. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีค่าพิสัยประมาณ 7.37-9.09 องศาเซลเซียส
3. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีค่าพิสัยประมาณ 13.86-14.52 องศาเซลเซียส

## 2.6 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด

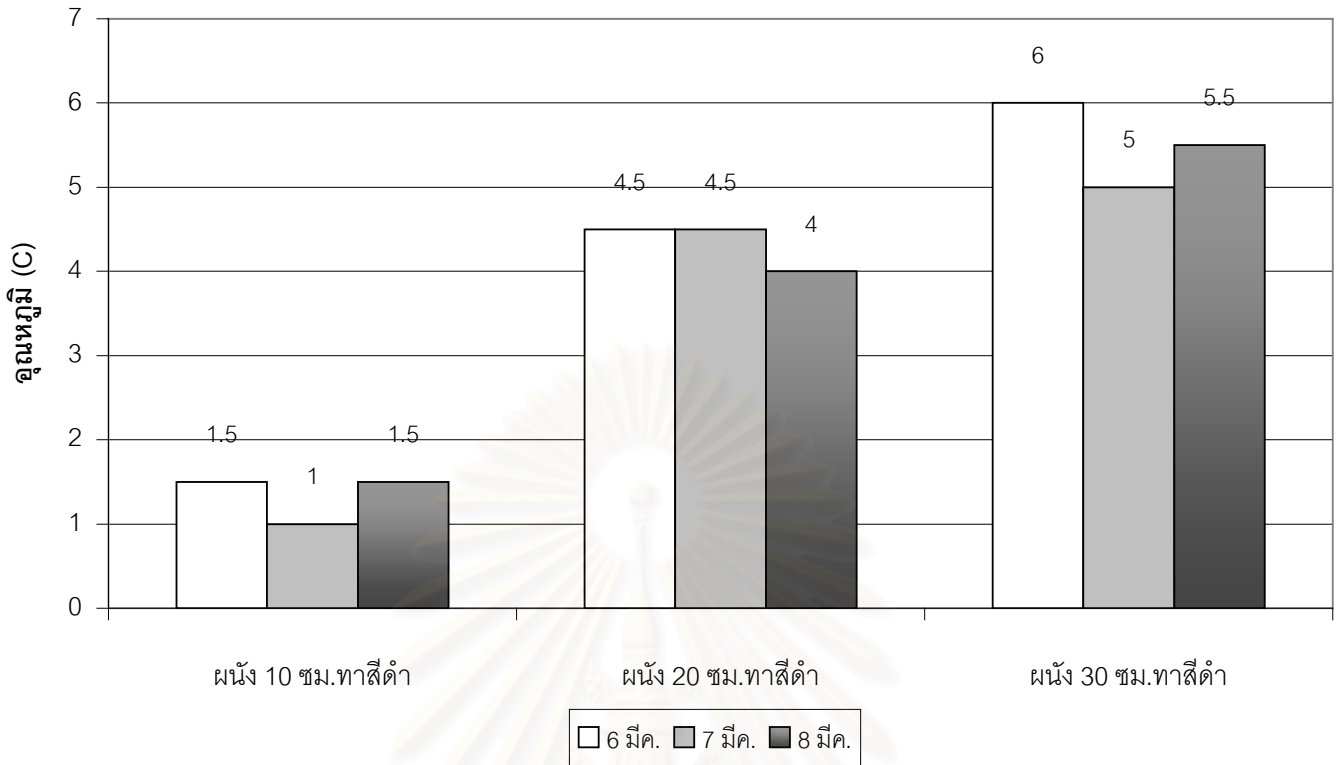
ผลการทดลองสรุปเป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดดังนี้

วันที่	ผนัง 10 ซม.ทาสีดำ			ผนัง 20 ซม.ทาสีดำ			ผนัง 30 ซม.ทาสีดำ		
	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง
6 มีค.	15:15	16:45	1.5	14:45	19:15	4.5	14:45	20:45	6
7 มีค.	15:15	16:15	1	13:45	18:15	4.5	15:45	20:45	5
8 มีค.	14:45	16:15	1.5	14:45	18:45	4	14:45	20:15	5.5

ตารางที่ 4-18 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับ

อุณหภูมิผิวภายในสูงสุดขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-61 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังในสูงสุดของกล่องทดลองผนังคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีค่าความจุความร้อนสูงสุด และมีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด ทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาช้าที่สุดส่งผลให้มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังในสูงสุดสูงที่สุดสามารถเรียงลำดับกล่องทดลองที่มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังในสูงสุดจากมากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังในสูงสุดประมาณ 5-6 ชั่วโมง
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังในสูงสุดประมาณ 4-4.5 ชั่วโมง
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังในสูงสุดประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง

โดยจะสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่ผิว (อุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดลบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด) ได้เท่ากับ

วันที่	ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ	ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ	ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ
6 มีนาคม 2544	8.924	4.777	1.083
7 มีนาคม 2544	6.212	4.045	0.696
8 มีนาคม 2544	8.013	3.311	2.067

ตารางที่ 4-19 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 7.716 องศาเซลเซียส

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 4.044 องศาเซลเซียส

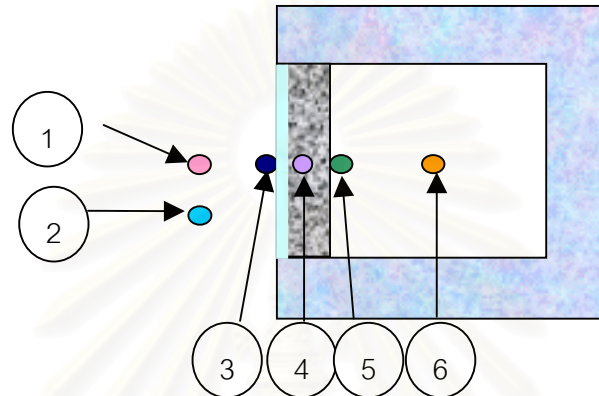
ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 1.282 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การทดสอบที่ 5 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ทำการทดสอบในช่วงวันที่ 5-9 มีนาคม 2544

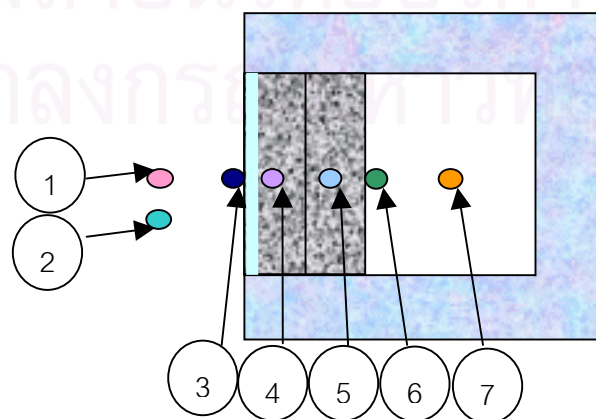
กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดดังนี้



ภาพที่ 4-12 กล่องทดลองที่ 1

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (6) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$

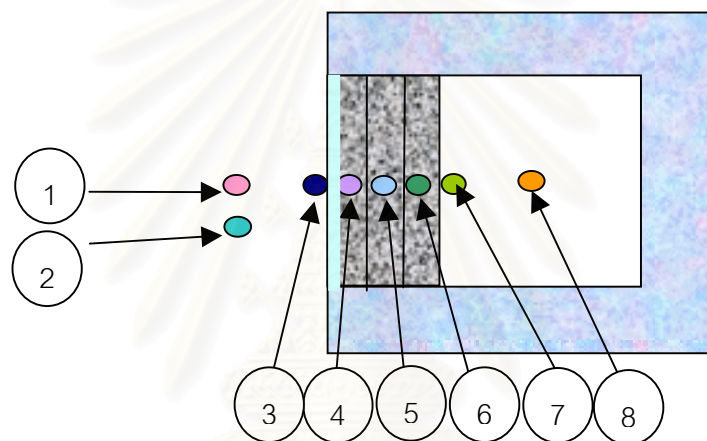


ภาพที่ 4-13 กล่องทดลองที่ 2



- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (7) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$



ภาพที่ 4-14 กล่องทดลองที่ 3

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
- (7) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (8) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง



ภาพที่ 4-15 กล่องทดลองผนังภายนอกทาสีขาว

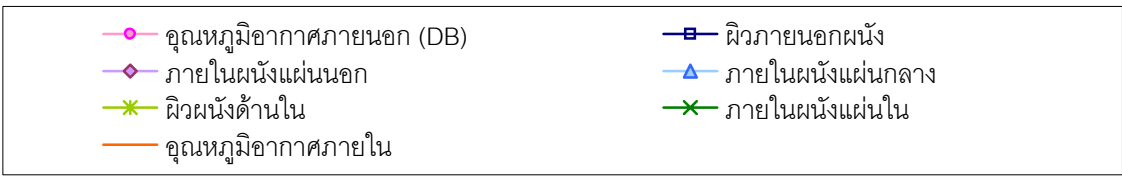
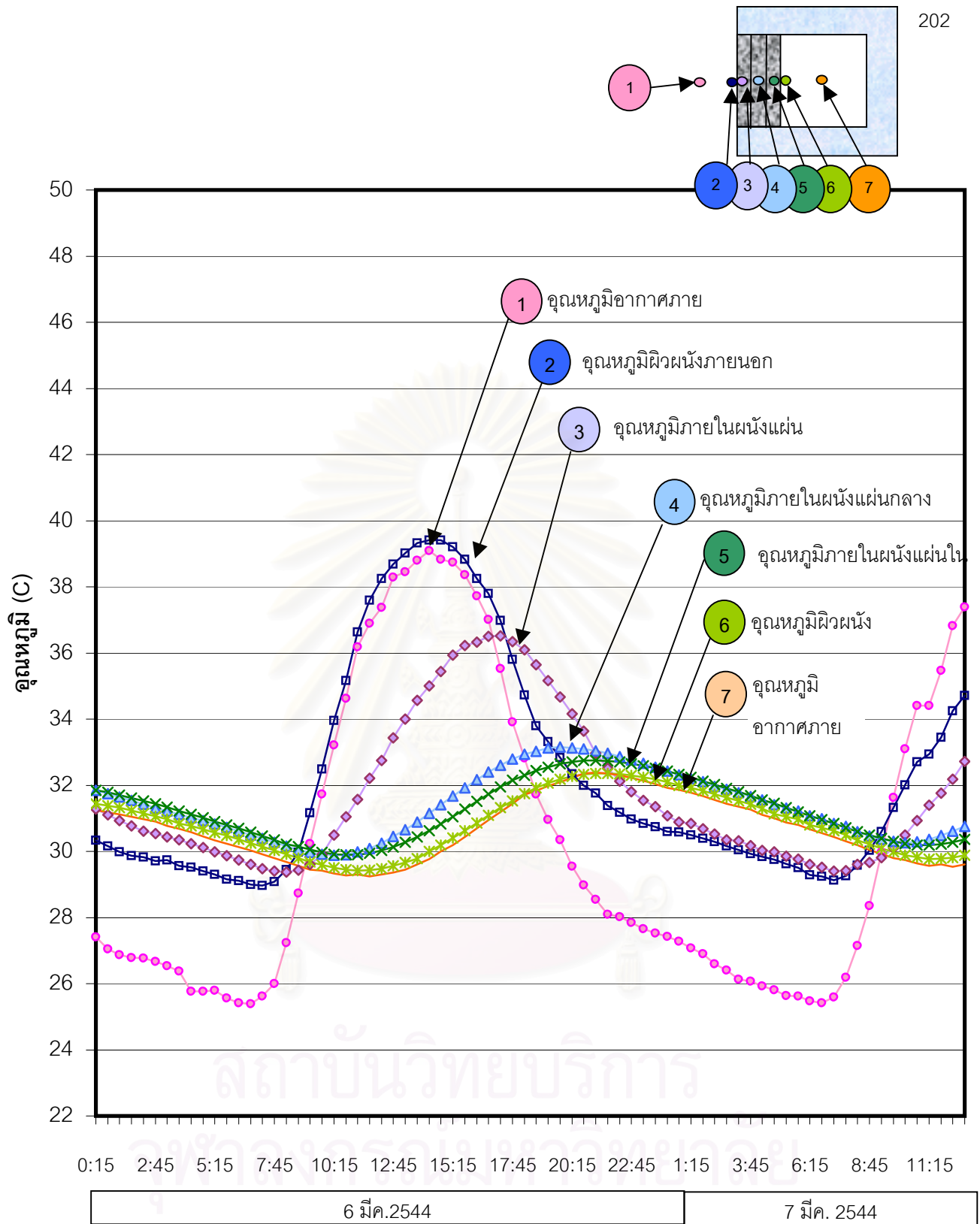
#### ผลการทดสอบ

##### 1. ผลการทดลองพฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด

##### 1.1 กล่องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว

กล่องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-62 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-62 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ผนังภายนอกทาสีขาว มีอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงที่สุดไปจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทุก ๆ จุดจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมาก เนื่องจากอิทธิพลของผิวผนังภายนอกทาสีขาวซึ่งจะเกิดในช่วงเวลากลางวัน (หรือช่วงเวลาที่ความร้อนค่อย ๆ สูงขึ้น) การเรียงอุณหภูมิจากจุดต่างๆ มีความถูกต้องตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน และมีช่วงเวลากการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

### สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 18:17น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 32.384 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 10:17 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 29.044 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 30.682 องศาเซลเซียส

มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 2.996 องศาเซลเซียส

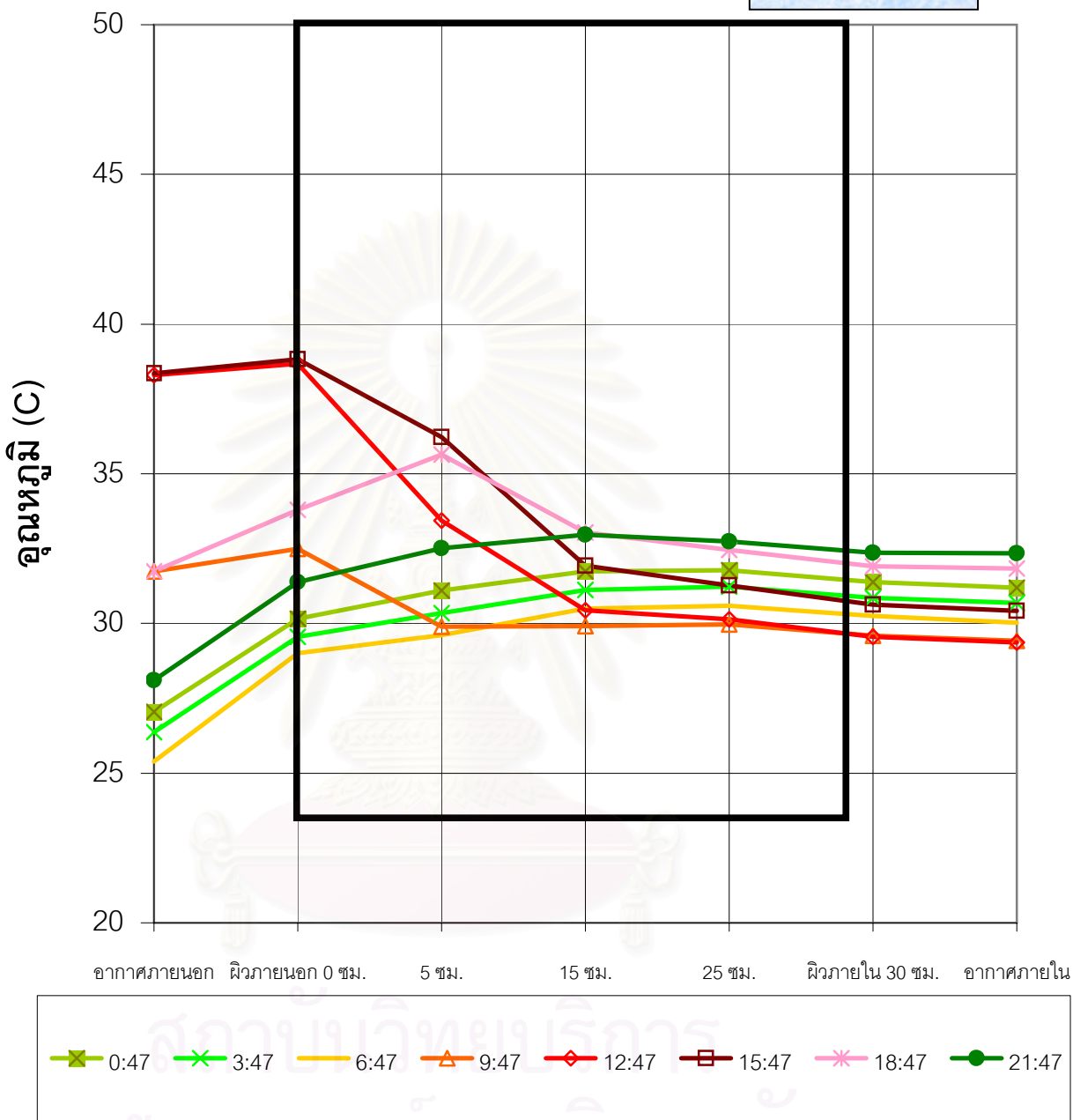
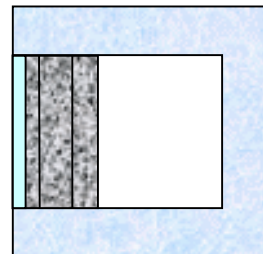
มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 5.5-6.5 ชั่วโมง

### พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 6 มีนาคม 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนัง คอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-63 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสี  
 ขาวสภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ  
 เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส



จากแผนภูมิที่ 4-63 พบว่าอุณหภูมิผิวภายนอกผนัง มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ไม่มากนักเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิผิวผนังต่ำจากการทาสีขาว อุณหภูมิในจุดต่าง ๆ จะเกาะเป็นกลุ่ม ณ เวลาเดียวกันทำให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน และอุณหภูมิในจุดหนึ่ง ๆ มีค่าสูงสุดต่ำสุดห่างกันไม่เกิน 5 องศาเซลเซียสเท่านั้น โดยในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น ผิวผนังจะถ่ายเทความร้อนไปยังอุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรให้อุณหภูมิสูงขึ้นตาม และจะชะลอการถ่ายเทความร้อนที่ตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอกเช่นเดียวกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกไม่โดนแดดเมื่ออุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.17-15.17 น. โดยในช่วงนี้ ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ตั้งแต่เวลา 10.17-15.17 น. ด้วย อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.17 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 15.47 น. จากนั้นผนังภายในระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทกลับสู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 17.17-6.47 ซึ่งเมื่อถึงเวลา 20.17 น. ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. จะถ่ายเทออกมาด้วย อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 6.47 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.17 น. ต่อไป ผนังภายในที่ระยะ 15, 25 ซม. และผิวผนังภายในกล่องทดลองจะรับการถ่ายเทความร้อนเข้าออกในช่วงเวลาเดียวกันคงที่ มีช่วงอุณหภูมิที่จุดนี้ห่างกันไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส เพราะอยู่ลึกเข้าไปภายในกล่องและส่วนใหญ่จะรับการถ่ายเทความร้อนเข้า สามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.17-18.47น.)

#### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม.  
8.17-15.17 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 10.17-15.17 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. และความร้อนออกจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. สู่ผิวผนังภายนอกผนัง 17.47-19.17 น.  
เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.17 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.47-6.47 น.)

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลากการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และออกสู่ผิวผนังภายนอก 19.47-6.47 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 6.47 น.

## 1.2 กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว

กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

จากแผนภูมิที่ 4-64 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีอุณหภูมิเรียงจากอุณหภูมิสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

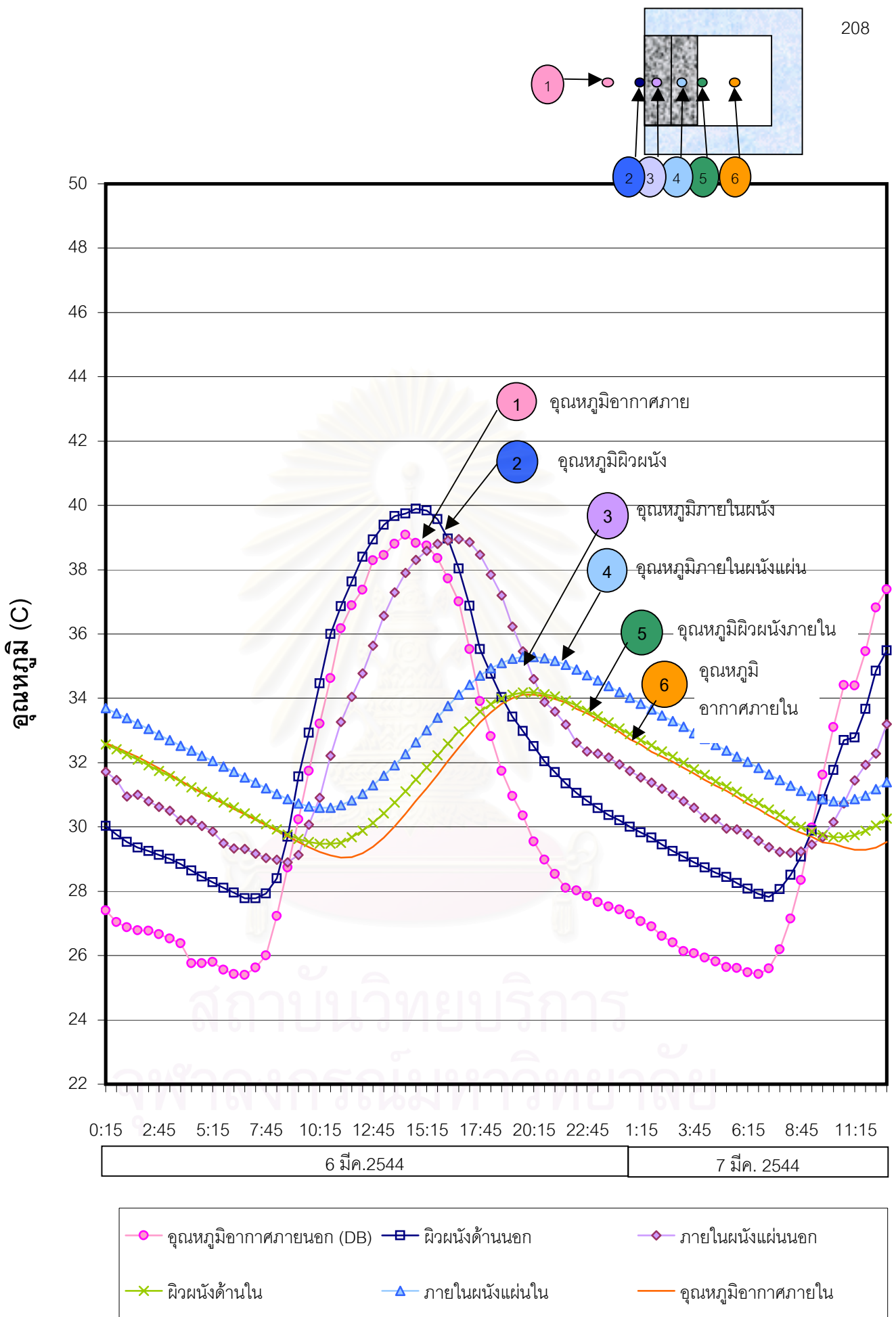
1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
6. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิมักมีการเรียงตัวกันตามลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน

มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-64 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

## สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 18.17 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 34.369 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 9.17 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 29.047 องศาเซลเซียส

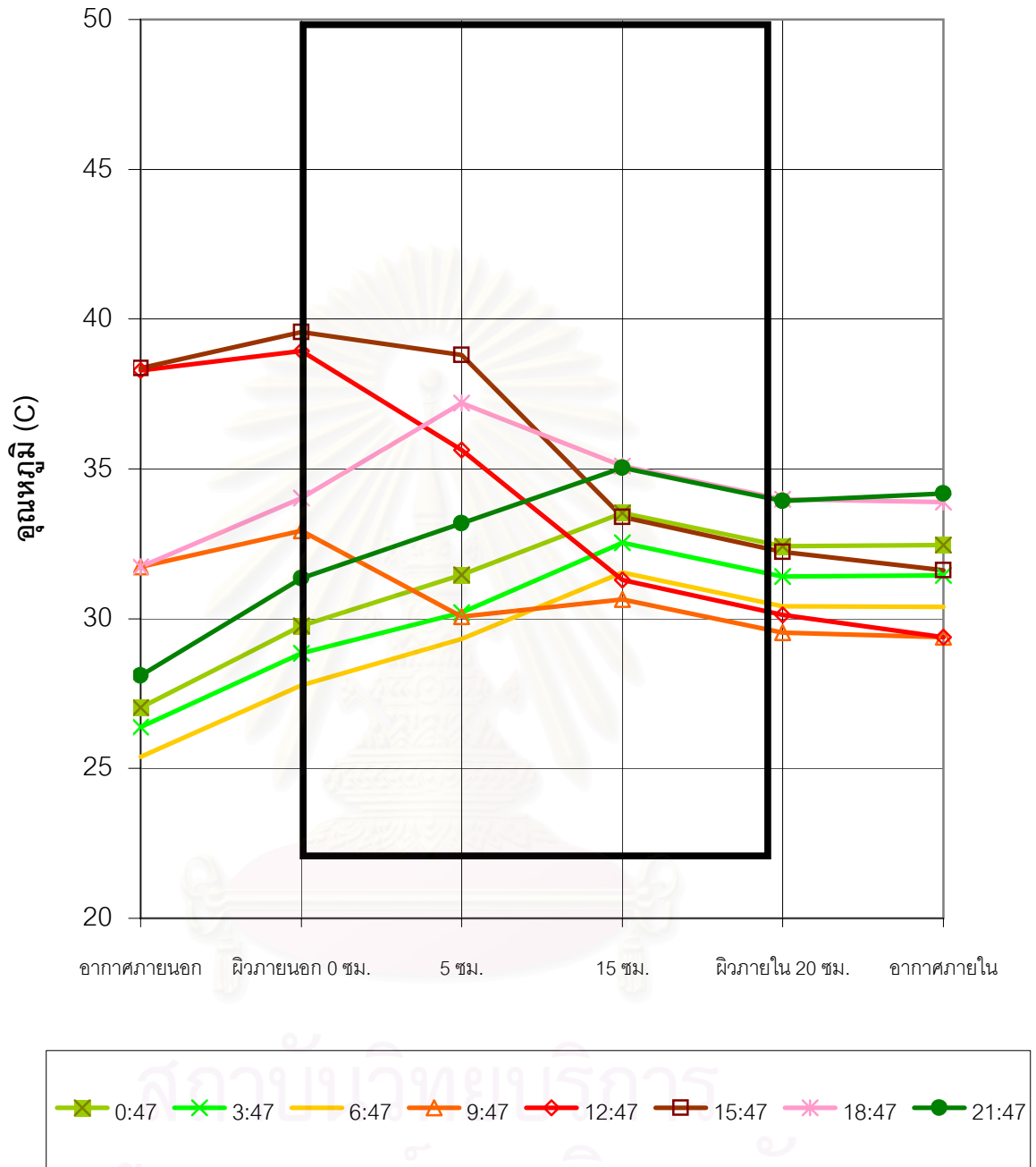
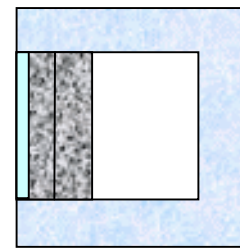
อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 31.610 องศาเซลเซียส  
มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างวันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 4.768 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 5 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 6 มีนาคม 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-65 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวสภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-65 พบว่าการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกจะเข้ามาที่ผิวหนังภายนอก สู้ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และจะชะลอการถ่ายเทความร้อนที่ตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก เช่นเดียวกับผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ เมื่ออุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวหนังภายนอก เข้าสู่ภายในที่ระยะ 5 ซม. ตั้งแต่เวลา 8.47-9.47 น. และผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ตั้งแต่เวลา 9.47-16.17 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.17 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 16.47 น. จากนั้นผนังภายในระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทกลับสู่ผิวผนังภายนอกที่เวลา 17.17-19.47 น. ซึ่งหลังจากนี้จนกระทั่ง 7.17 น. ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. จะถ่ายเทออกมาด้วย อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.17 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.47 น. ต่อไป ผิวภายในที่ระยะ 15 ซม. จะได้รับการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกด้วยช่วงอุณหภูมิห่างกันไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส เพราะมีตำแหน่งที่อยู่ลึกเข้าไปข้างใน เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวแล้ว จะพบว่าช่วงของอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิห่างกันไปด้วย สามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.17-18.47น.)

#### การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม.  
8.47-9.47 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. 9.47-16.47 น.

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. เข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. และความร้อนออกจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. สู่ผิวภายนอกผนัง 17.17-19.17 น.  
เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.17 น.

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก  
17.17-19.47 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.47-6.47 น.)

#### การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลากการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายในที่ระยะ 15 ซม. ออกสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และออกสู่ผิวผนังภายนอก 19.47-7.17 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.17 น.



### 1.3 กล้องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว

กล้องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีผลการทดลองดังนี้

จากแผนภูมิที่ 4-66 แสดงอุณหภูมิของกล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีอุณหภูมิเรียงจากอุณหภูมิสูงสุดไปต่ำสุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิภายในกล้องทดลอง

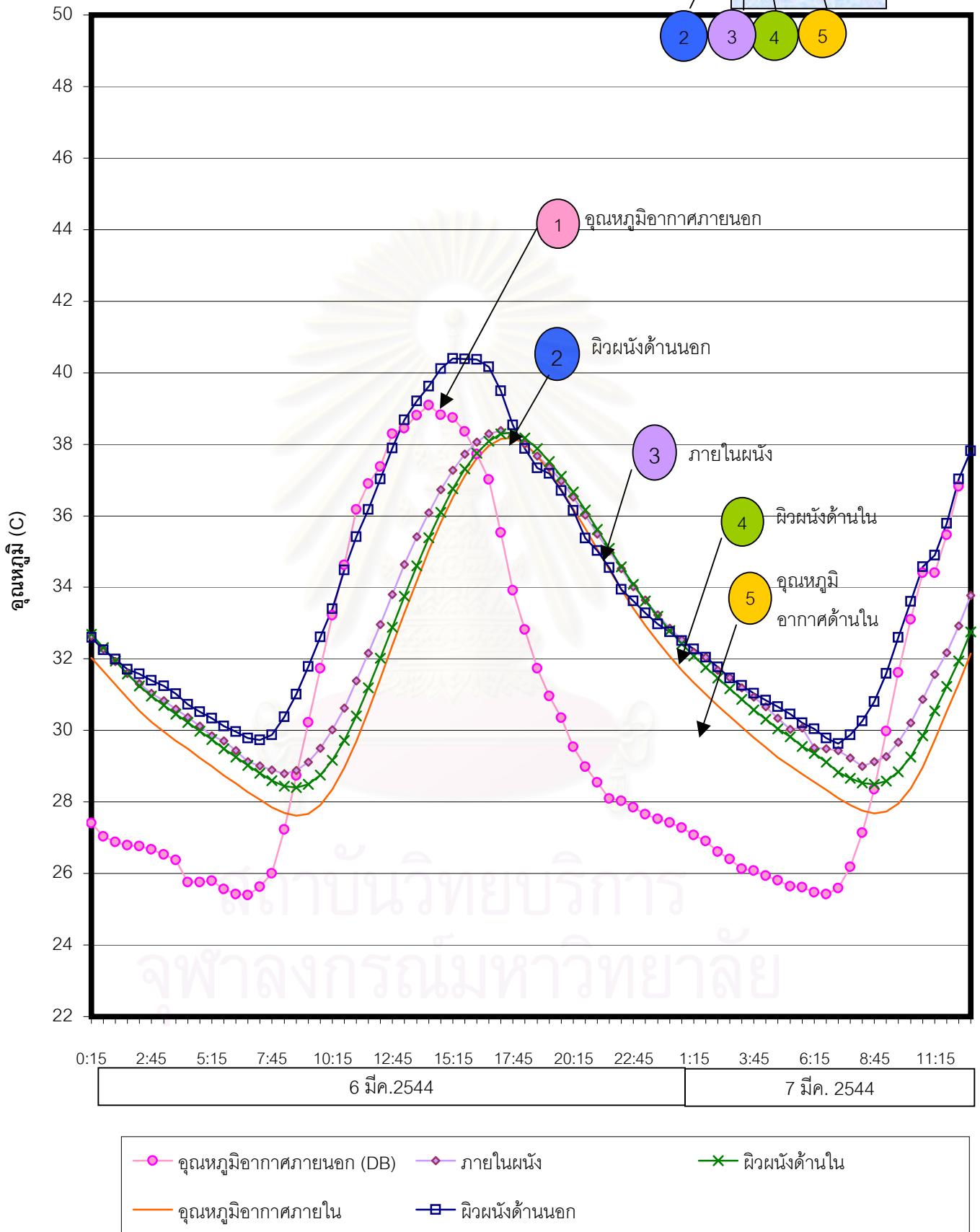
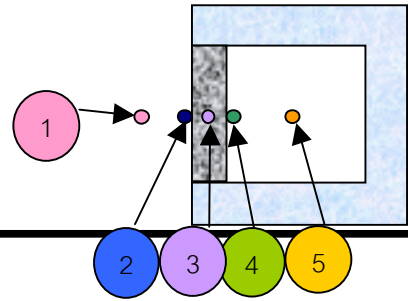
จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิทุกจุดจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และมีอุณหภูมิภายในแผ่นที่ระยะ 5 ซม. อุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากผนังมีค่าความจุความร้อนต่ำและมีปริมาณความร้อนเข้ามาน้อย

มีช่วงเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิภายในกล้องทดลอง

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิมักมีการเรียงตัวของการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-66 กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผนังภายนอกทาสีขาว สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

## สรุปผลการทดลอง

กล่องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวในการทดลองวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 มีดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ณ เวลา 17.47 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 37.68 องศาเซลเซียส

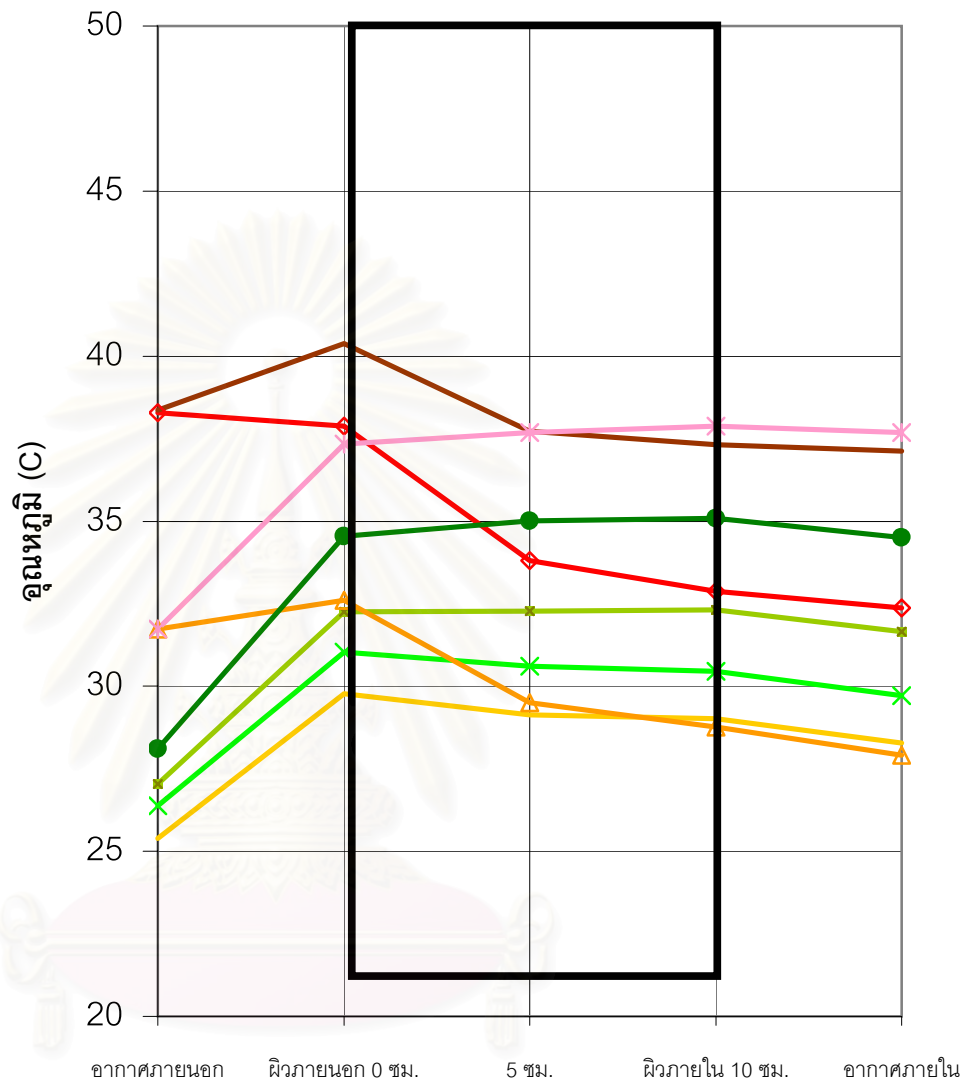
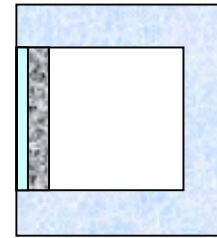
อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด ณ เวลา 8.47 น. วันที่ 6 มีนาคม 2544 เท่ากับ 27.11 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 31.691 องศาเซลเซียส มีค่าการแปรผันของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างวันหรือพิสัยในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 9.708 องศาเซลเซียส

มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในช่วงวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 เท่ากับ 1.5-2.5 ชั่วโมง

## พฤติกรรมภายในผนัง

ใช้การทดลอง ณ วันที่ 6 มีนาคม 2544 เป็นตัวแทนการถ่ายเทความร้อนของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-67 พฤติกรรมภายในผนังของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว  
 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด  
 เท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

จากแผนภูมิที่ 4-67 พบว่าความร้อนจากภายนอกจะสามารถถ่ายเทเข้าไปภายในผนังได้โดยง่าย ทำให้อุณหภูมิในจุดต่าง ๆ มีค่าเท่า ๆ กันในเวลาเดียวกัน โดยในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกค่อย ๆ สูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนจะเข้ามาจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ต่อไปยังผิวผนังด้านในเกิดขึ้นตั้งแต่เวลา 8.17 -16.47 น. อุณหภูมิผิวจะสูงที่สุดที่เวลา 15.17 น. และค่อย ๆ ลดลงที่เวลา 17.17-18.17 น. ซึ่งภายในผนังที่ระยะ 5 ซม. จะถ่ายเทออกสู่ผิวภายนอก จากนั้นผิวผนังภายในจะถ่ายเทความร้อนกลับสู่ผนังภายในระยะ 5 ซม. ออกไปยังผิวผนังภายนอกไปด้วยที่เวลา 18.47-7.17 น. อุณหภูมิผิวผนังจะต่ำสุดที่เวลา 7.17 น. และเริ่มรับความร้อนจากภายนอกที่เวลา 8.17 น. ต่อไป เมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. และ 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวแล้ว จะพบว่าช่วงของอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่ามากทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าไปยังจุดต่าง ๆ ภายในผนังมีช่วงของอุณหภูมิห่างกันมากกว่า 15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ที่ถ่ายเทกลับไปมาจะใกล้เคียงกันซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเวลากลางวัน (7.17-18.47 น.)

การถ่ายเทความร้อนเข้า

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. และผิวผนังภายใน 8.17 -16.47 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุด 15.17 น.

การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายในสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก 17.17-18.17 น.

- ในช่วงเวลากลางคืน (18.47-6.47 น.)

การถ่ายเทความร้อนออก

ช่วงเวลาที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายในสู่ผนังภายในที่ระยะ 5 ซม. ออกสู่ผิวผนังภายนอก 18.47-7.17 น.

เวลาที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุด 7.17 น.

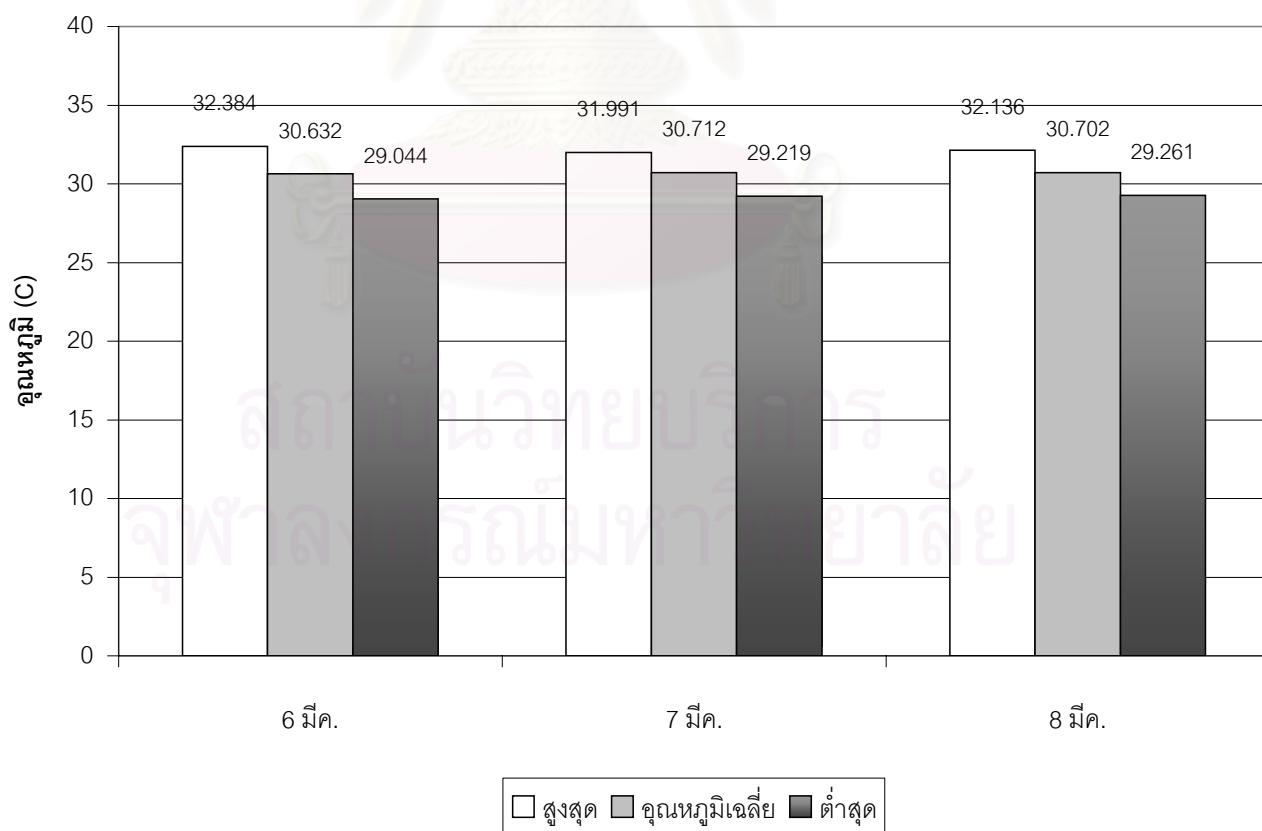
## 2. ผลการทดลองการเปรียบเทียบผนังแต่ละชนิด

### 2.1 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

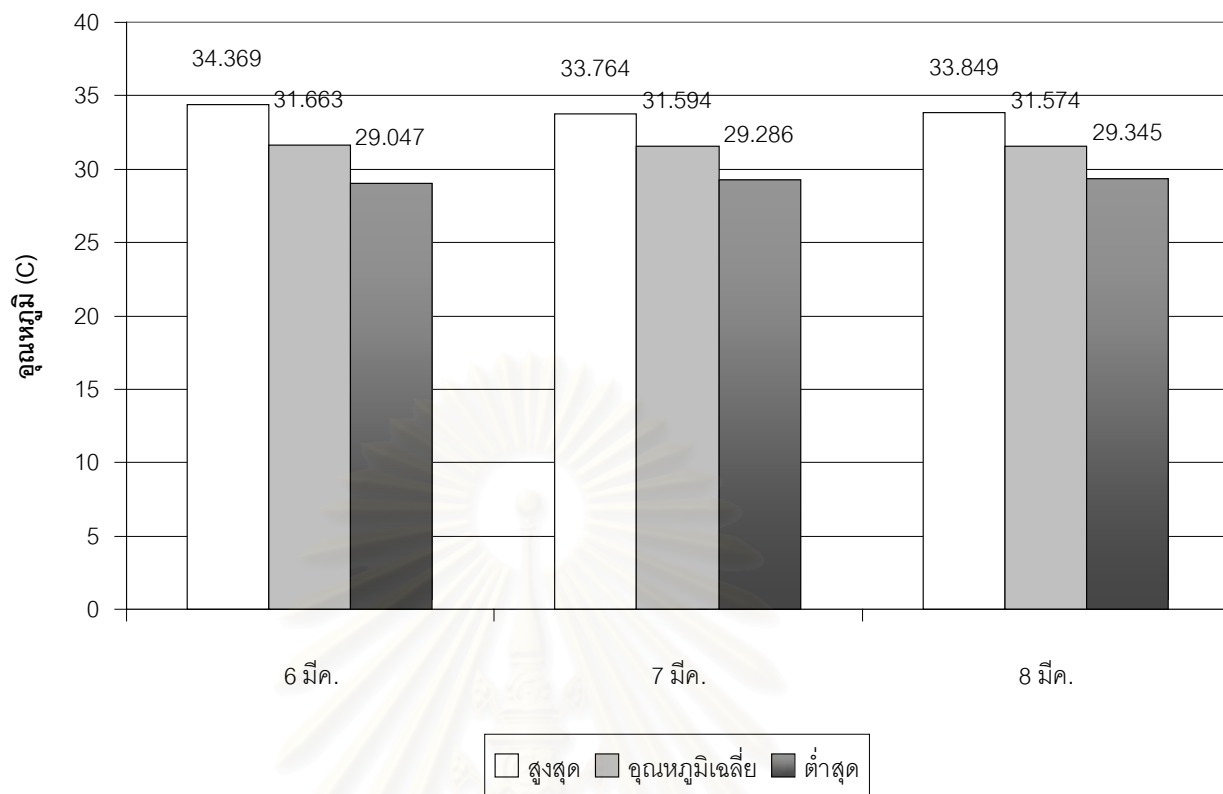
วันที่	30 ซม. ทาสีขาว				20 ซม. ทาสีขาว				10 ซม. ทาสีขาว			
	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย
6 มี.ค.	32.384	29.044	3.340	30.632	34.369	29.047	5.322	31.663	37.68	27.11	10.570	31.905
เวลา	21.15	11.45			20.45	11.15			17.45	8.45		
7 มี.ค.	31.991	29.219	2.772	30.712	33.764	29.286	4.478	31.594	36.628	27.176	9.452	31.539
เวลา	21.15	11.15			20.15	11.45			17.15	8.45		
8 มี.ค.	32.136	29.261	2.875	30.702	33.849	29.345	4.504	31.574	36.654	27.551	9.103	31.629
เวลา	21.15	11.45			20.15	11.15			17.15	8.45		
เฉลี่ย	32.170	29.175	2.996	30.682	33.994	29.226	4.768	31.610	36.99	27.28	9.708	31.691

ตารางที่ 4-20 อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

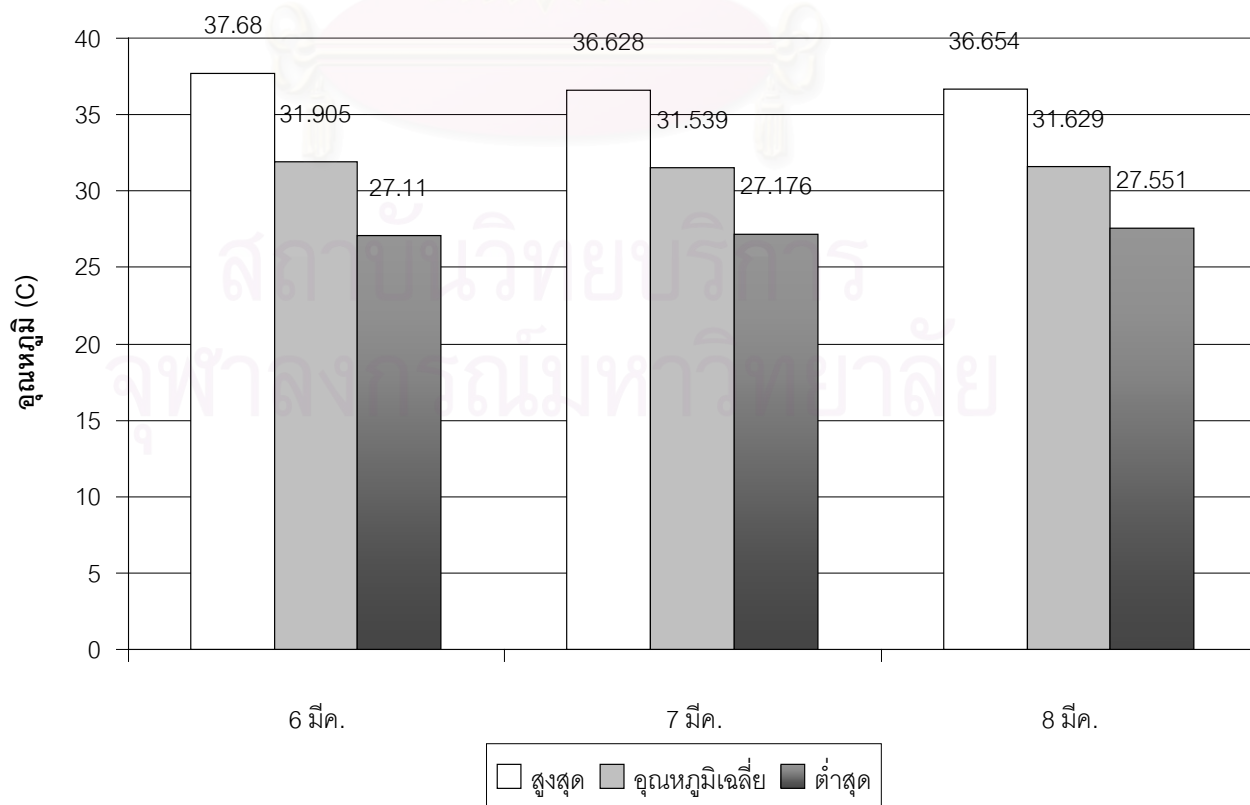


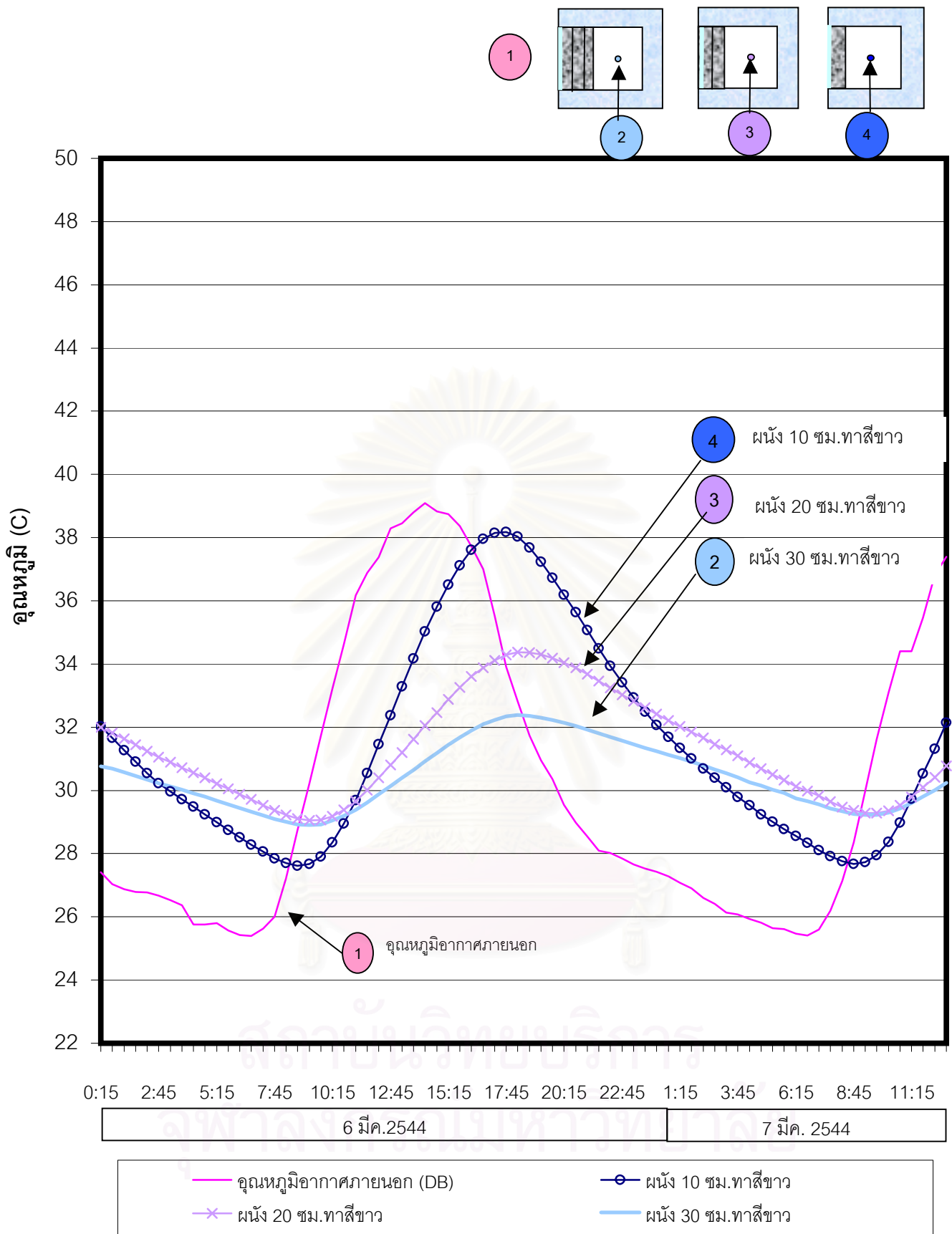
แผนภูมิที่ 4-68 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ทาสีขาว





แผนภูมิที่ 4-69 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ทาสีขาว  
 แผนภูมิที่ 4-70 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ทาสีขาว





แผนภูมิที่ 4-71 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

## 2.2 อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้นนั้น ผนังที่มีความหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุดสามารถรับปริมาณความร้อนเข้าไปได้เต็มที่ถึงแม้จะทาสีขาวภายนอก ส่งผลให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปภายในกล่องทดลองได้เร็ว ปริมาณความร้อนเข้ามาได้มากที่สุด อุณหภูมิอากาศภายในจึงสูงสุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจึงมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำลงมาและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุด โดยช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิภายในสูงสุดได้แก่ช่วงเวลา 17.15-18.15 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 38.10 องศาเซลเซียสที่เวลา 13.15 และ 14.15 น.

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้นนั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 36.99 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 1.11 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 17.15-17.45 น.
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 33.994 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 4.106 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 20.15-20.45 น.
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 32.170 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดเท่ากับ 5.993 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 21.15 น.

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงซึ่งเป็นช่วงเวลากลางคืนนั้น สีทาผิวผนังภายนอกจะไม่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนที่ผิว ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวที่มีค่าความจุความร้อนต่ำสุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำสุด ทำให้มีการกักเก็บความร้อนได้น้อยที่สุดสามารถถ่ายเทปริมาณความร้อนที่อยู่ภายในกล่อง และเนื้อผนังออกไปสู่อากาศภายนอกที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้ง่ายกว่าและเร็วกว่าผนังที่มีค่าความจุความร้อนสูง

กว่าซึ่งยังเก็บกักความร้อนอยู่ภายใน อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนัง 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจึงต่ำสุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจึงมีอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่าและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีอุณหภูมิอากาศภายในมากที่สุดโดยช่วงเวลาที่มียุณหภูมิต่ำสุดได้แก่ 8.45-9.45 น. อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส ที่เวลา 6.45 น.

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงนั้น เรียงลำดับจากกล่องที่มีอุณหภูมิสูงสุดลงมาจนต่ำสุดมีดังนี้

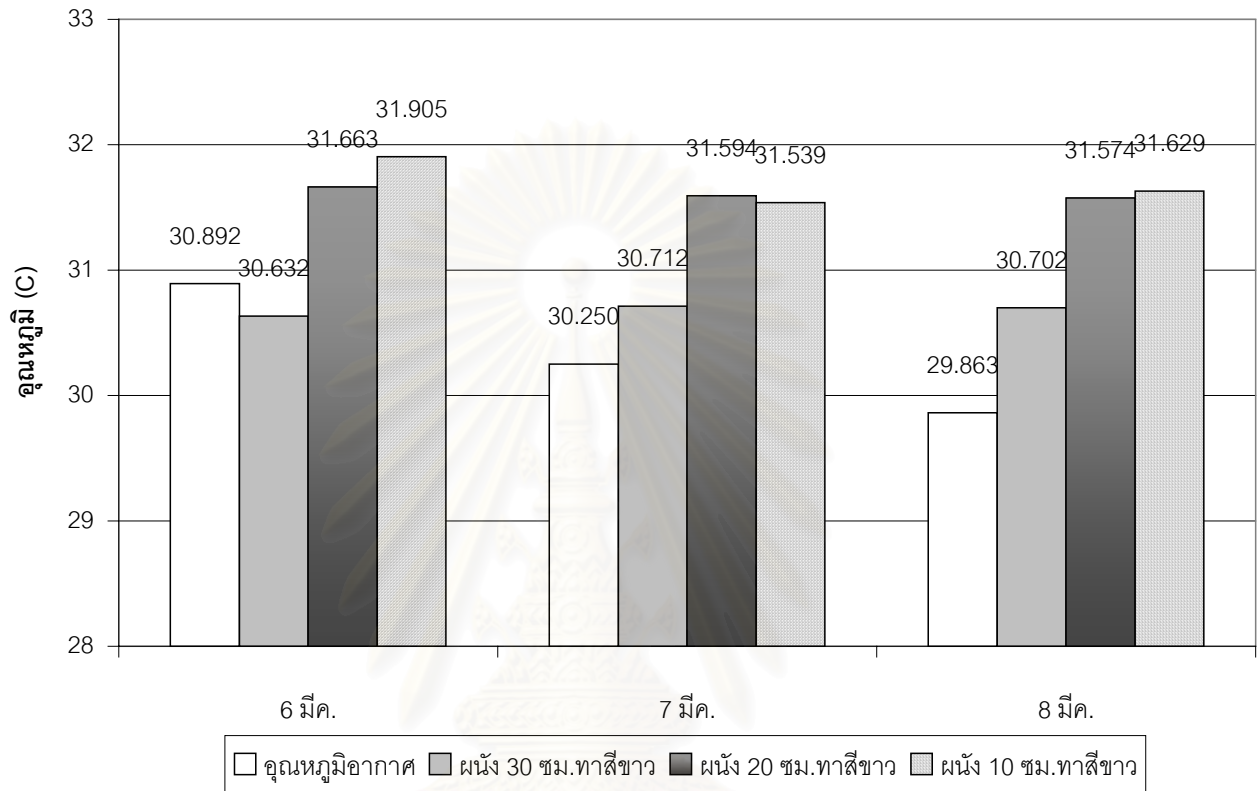
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.175 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 3.605 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 11.15-11.45 น.

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 29.226 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 3.656 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 11.15-11.45 น.

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 27.28 องศาเซลเซียส สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุดเท่ากับ 1.71 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดเท่ากับ 8.45 น.

### 2.3 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-72 อุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยทั้ง 3 กล่องไม่แตกต่างกันมากนัก สามารถเรียงลำดับกล่องทดลองที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดไปจนถึงสูงสุดได้ดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว  
อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 30.682 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว  
อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 31.610 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว  
อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 31.691 องศาเซลเซียส

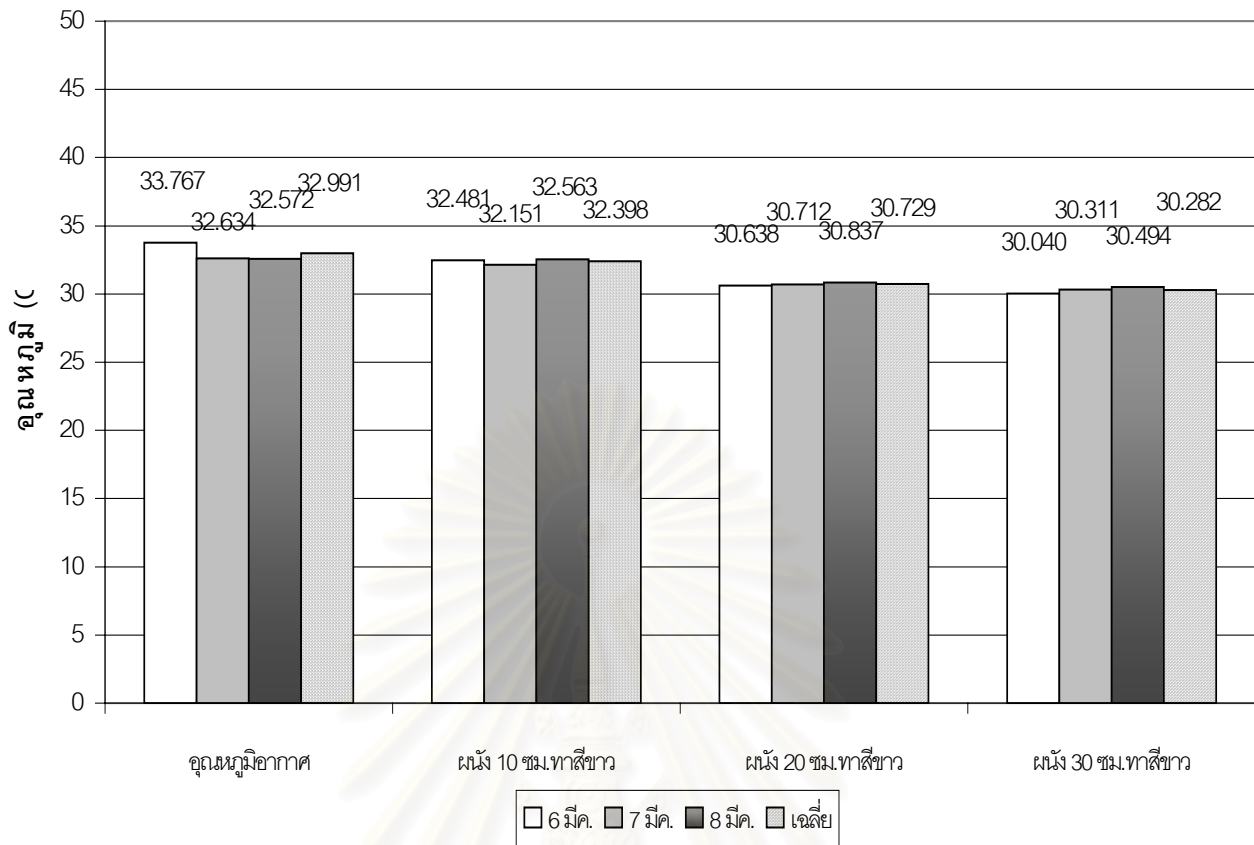
## 2.4 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

### 2.4.1 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน ( 6.00-18.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว	20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว	30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว
6 มีค.2544	33.767	32.481	30.638	30.040
7 มีค.2544	32.634	32.151	30.712	30.311
8 มีค.2544	32.572	32.563	30.837	30.494
เฉลี่ย	32.991	32.398	30.729	30.282

ตารางที่ 4-21 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว





แผนภูมิที่ 4-73 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว

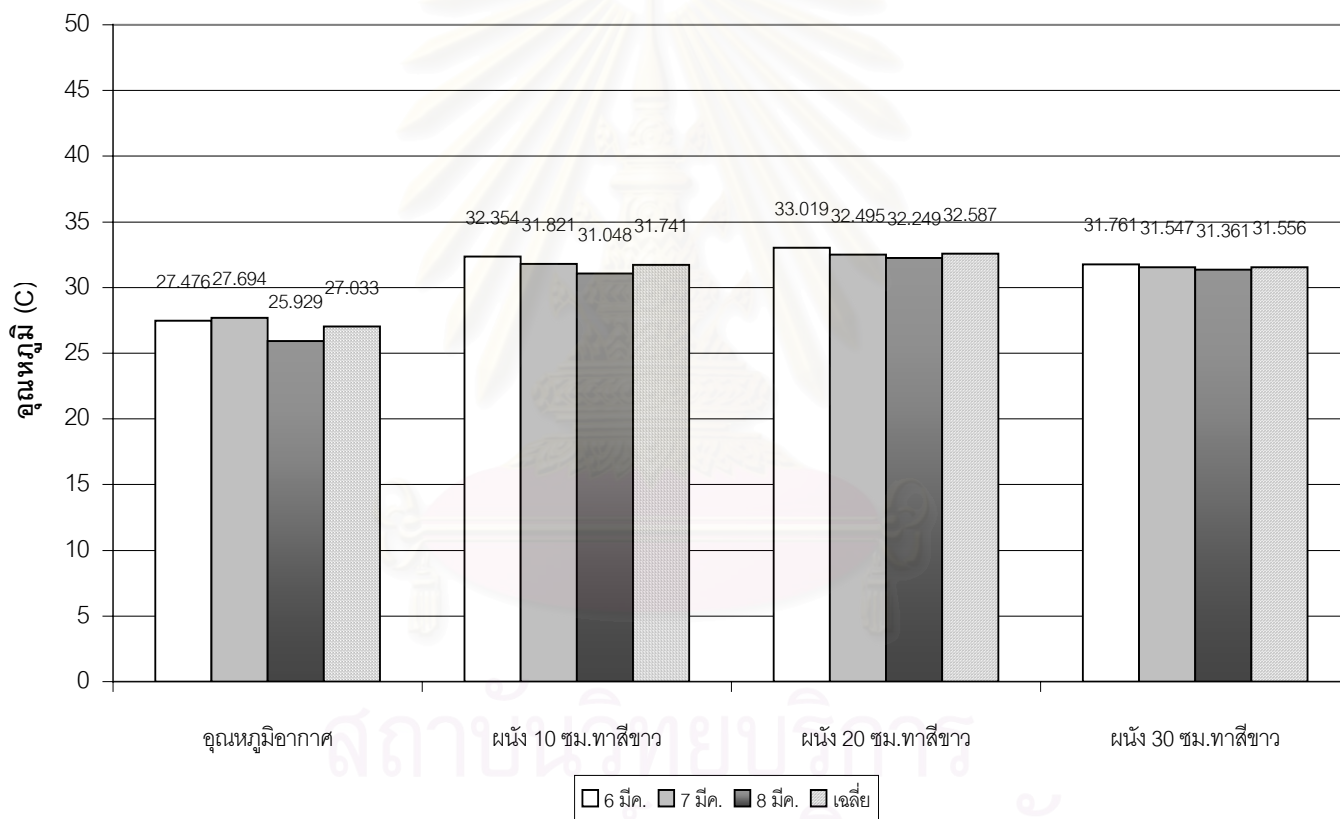
จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล้องทดลองในช่วงเวลากลางวันมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 32.398 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0.593 องศาเซลเซียส
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 30.729 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 2.262 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางวันตลอด 3 วันเท่ากับ 30.282 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 2.710 องศาเซลเซียส

### 2.4.2 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน (18.00-6.00 น.)

วันที่	อากาศภายนอก	10 ซม. ผิวผนังภายใน นอกทาสีขาว	20 ซม. ผิวผนัง ภายนอกทาสีขาว	30 ซม. ผิวผนัง ภายนอกทาสีขาว
6 มีค.2544	27.476	32.354	33.019	31.761
7 มีค.2544	27.694	31.821	32.495	31.547
8 มีค.2544	25.929	31.048	32.249	31.361
เฉลี่ย	27.033	31.741	32.587	31.556

ตารางที่ 4-22 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว



แผนภูมิที่ 4-74 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนของผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว

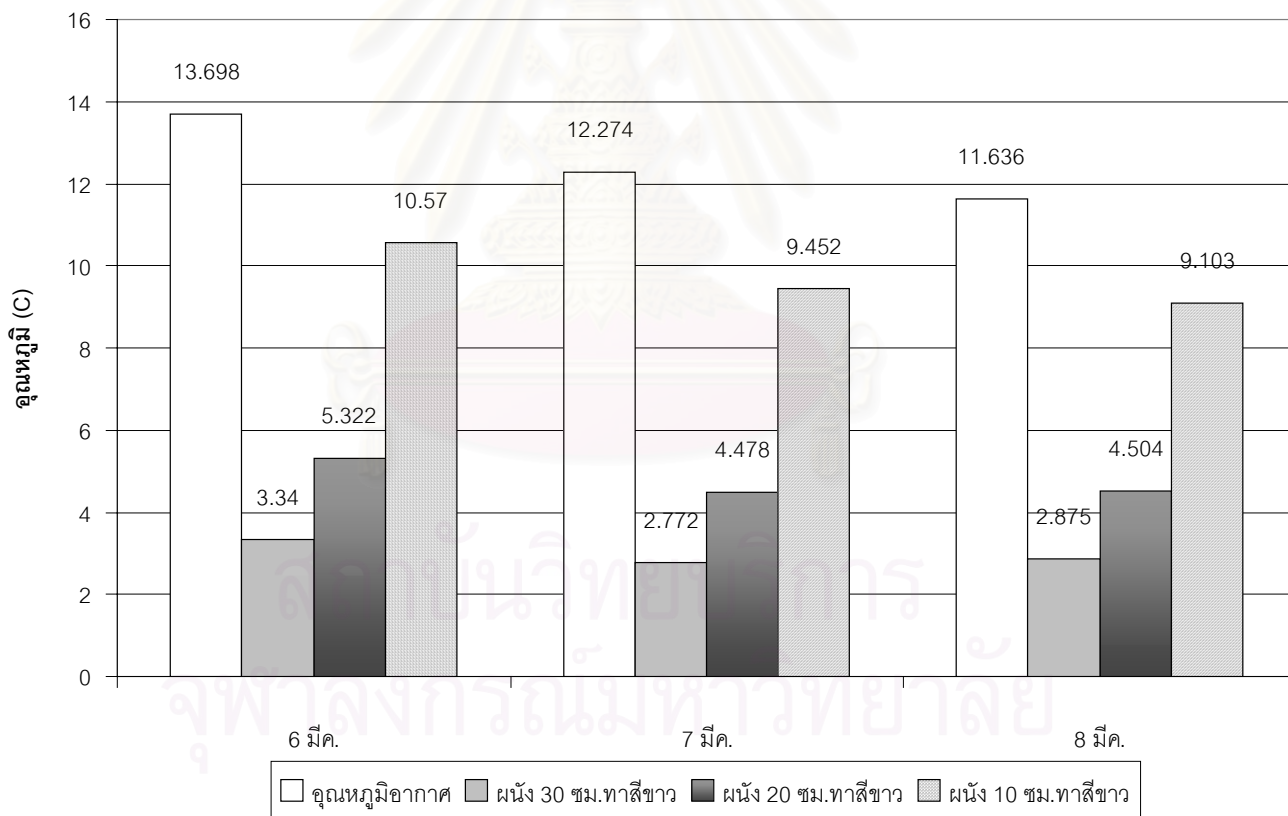
จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 กล่องทดลองในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 31.741 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 4.708 องศาเซลเซียส

2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 32.587 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 5.555 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเวลากลางคืนตลอด 3 วันเท่ากับ 31.556 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 4.523 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวันแต่ยังไม่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย ในช่วงเวลากลางคืนมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 4-5 องศาเซลเซียส จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานตลอดทั้งวัน

### 2.5 การแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันและพิสัย



แผนภูมิที่ 4-75 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง

อิทธิพลจากภูมิอากาศภายนอกจะมีผลโดยตรงกับผนังที่มีค่าความจุความร้อนต่ำสุดคือผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวซึ่งทำให้มีการแปรผันของอุณหภูมิภายในระหว่างวันมากที่สุด เนื่องจากสามารถรับ และเก็บกับความร้อนได้น้อยสุด ทำให้มีปริมาณการถ่ายเทความร้อนมาก และเร็วที่สุด รองลงมาได้แก่ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. และ 30 ซม. จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ซึ่งมีค่าความจุความร้อนสูงที่สุดจะมีค่าคงที่ที่สุด

ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลอง เรียงลำดับจากกล่องที่มีพิสัยต่ำสุดไปถึงสูงสุดมีดังนี้

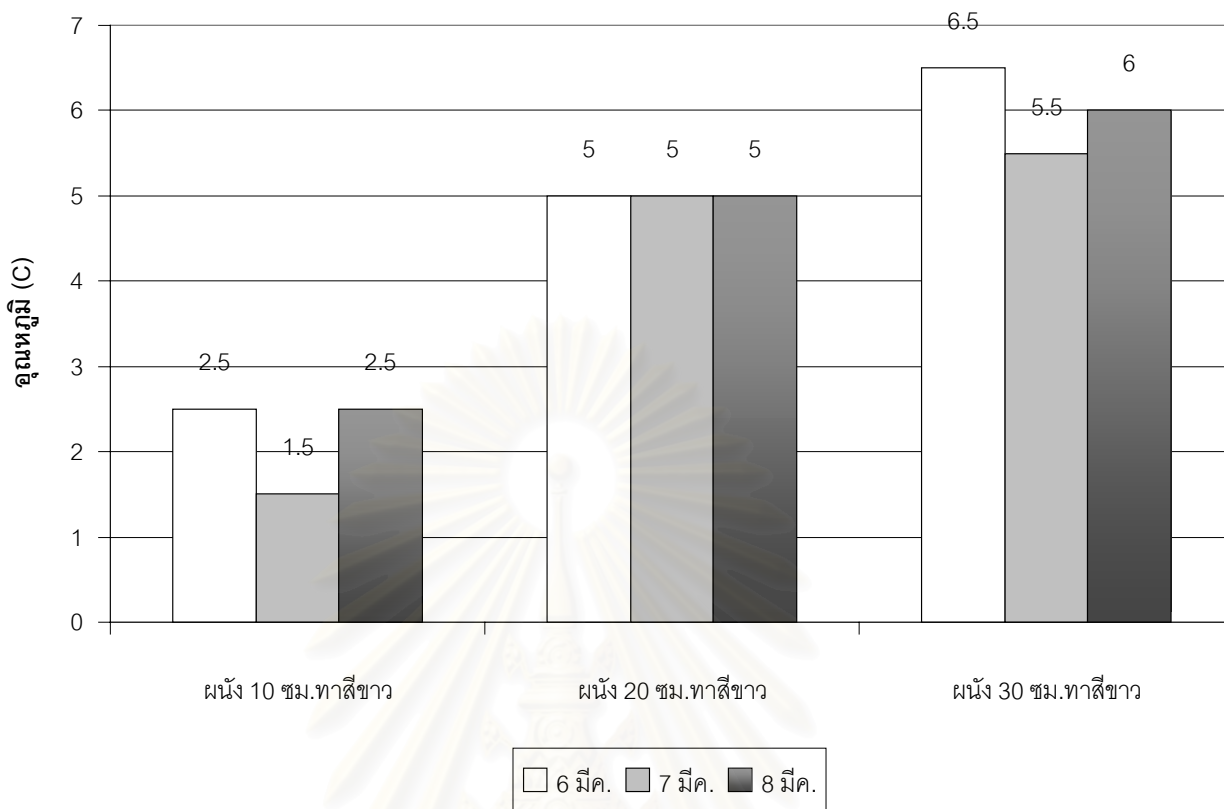
1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีค่าพิสัยเฉลี่ย 2.996 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีค่าพิสัยเฉลี่ย 4.768 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีค่าพิสัยเฉลี่ย 9.708 องศาเซลเซียส

## 2.5 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด

ผลการทดลองสรุปเป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดดังนี้

วันที่	ผนัง 10 ซม.ทาสีขาว			ผนัง 20 ซม.ทาสีขาว			ผนัง 30 ซม.ทาสีขาว		
	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง
6 มีค.	15:15	17:45	2:30	15:15	20:15	5:00	15:15	21:45	6:30
7 มีค.	15:45	17:15	1:30	15:45	20:45	5:00	15:45	21:15	5:30
8 มีค.	14:45	17:15	2:30	14:15	19:15	5:00	14:45	20:45	6:00

ตารางที่ 4-23 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น



แผนภูมิที่ 4-76 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดของกล่องทดลองผนังคอนกรีตทั้ง 3 ชนิด

เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดของผนังที่มีความจุความร้อนสูงที่สุดจะมีช่วงเวลามากที่สุดเช่นเดียวกับการทดลอง 1, 2 และ 4 โดยสามารถเรียงลำดับกล่องทดลองผนังคอนกรีตที่มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุดจากมากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุด ประมาณ 5.5-6.5 ชั่วโมง
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุด ประมาณ 5 ชั่วโมง
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวหนังภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวหนังภายในสูงสุด ประมาณ 1.5-2.5 ชั่วโมง

โดยจะสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดที่ผิว (อุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดลบอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด) ได้เท่ากับ

วันที่	ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว	ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว	ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว
6 มีนาคม 2544	4.12	3.149	1.247
7 มีนาคม 2544	2.92	2.751	1.063
8 มีนาคม 2544	3.166	2.986	1.454

ตารางที่ 4-24 ช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงของการทดลองผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 3.402 องศาเซลเซียส

ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 2.962 องศาเซลเซียส

ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 1.255 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## การทดสอบที่ 6 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง

เปรียบเทียบกล่องทดลองดังต่อไปนี้

1. กล่องทดลองที่ 7 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกทาสีดำกับ กล่องทดลองที่ 10 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกทาสีขาว โดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดดังนี้

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (6) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

2. กล่องทดลองที่ 8 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกทาสีดำกับ กล่องทดลองที่ 11 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกทาสีขาว โดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังนี้

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (7) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง

3. กล่องทดลองที่ 9 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกทาสีดำกับ กล่องทดลองที่ 12 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ผิวผนังภายนอกทาสีขาว โดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิดังนี้

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก

- (4) คุณหมุมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) คุณหมุมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) คุณหมุมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
- (7) คุณหมุมิผิวผนังภายใน
- (8) คุณหมุมิภายในกล่องทดลอง



ภาพที่ 4-16 การทดลองที่ 6

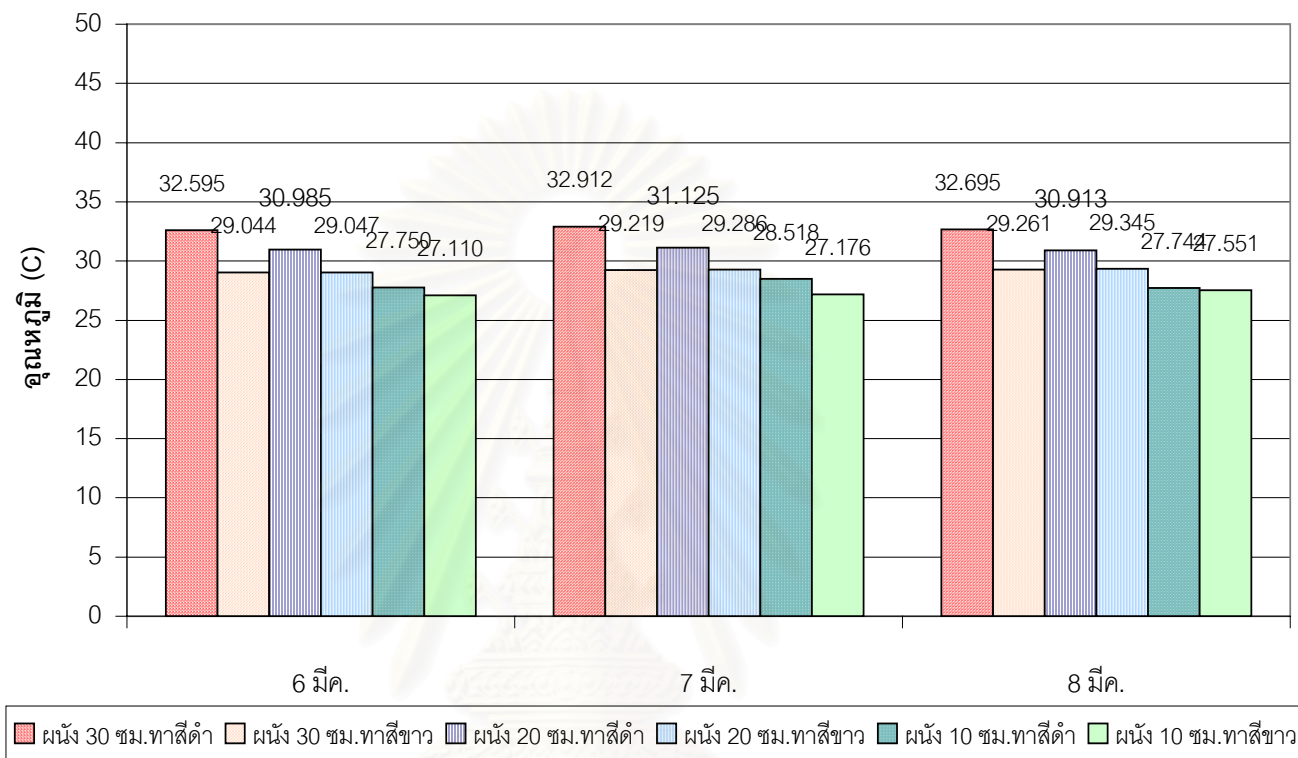
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ผลการทดสอบ

### 1. อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้

#### อุณหภูมิภายในต่ำสุด



แผนภูมิที่ 4-77 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดในแต่ละวัน ของกล่องทดลอง

ผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดลง กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิสูงสุด เนื่องจากมีการแปรผันชั้นลงของอุณหภูมิต่ำสุด กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีอุณหภูมิภายในต่ำที่สุดเนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนภายในออกไปได้ง่ายที่สุด สามารถเรียงลำดับอุณหภูมิภายในจากผนังที่มีความหนาสูงสุดจะมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงที่สุด ทั้งที่ทาสีดำและสีขาว และผนังที่มีความหนาน้อยสุดจะมีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำที่สุด ทั้งที่ทาสีดำและสีขาว

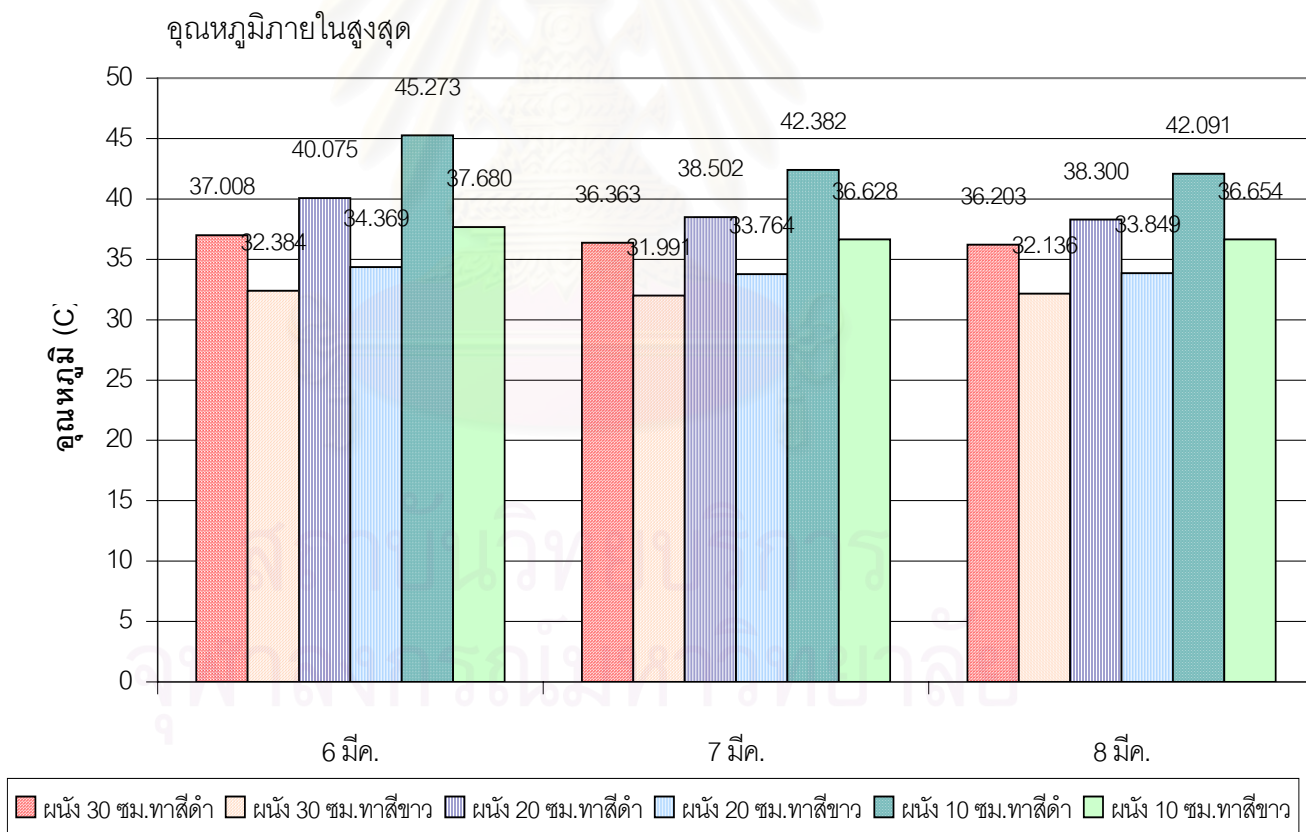
ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ ลดต่ำลงนั้น กล่องทดลองผนังคอนกรีต ผิวผนังภายนอกทาสีดำในช่วงเวลากลางวันจะมีอุณหภูมิผิวสูงกว่ากล่องทดลอง

ผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีขาว และถ่ายเทความร้อนเข้าไปมากกว่า การถ่ายเทความร้อนออกจึงใช้เวลานานกว่าทำให้มีอุณหภูมิภายในต่ำสุดสูงกว่า โดยกล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีดำดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ 0.2-1.3 องศาเซลเซียส

2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ 1.6-1.9 องศาเซลเซียส

3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวมีอุณหภูมิต่ำสุดต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ 3.4-3.7 องศาเซลเซียส

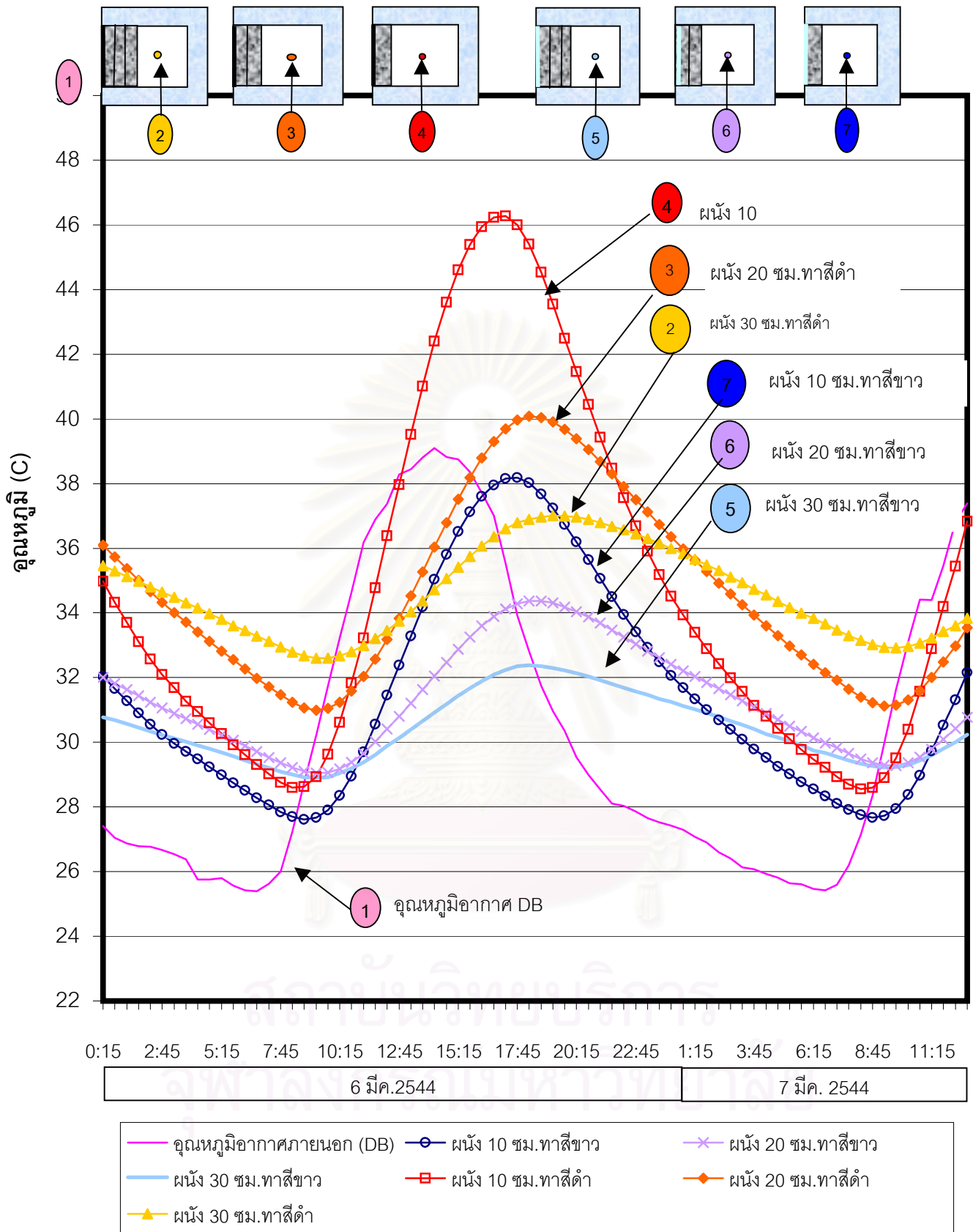


แผนภูมิที่ 4-78 เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดในแต่ละวัน  
ของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ,20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว

ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังทาสีดำจะมีอุณหภูมิผิวสูงสุด ซึ่งจะถ่ายเทความร้อนเข้าไปได้เร็ว และได้ปริมาณมากที่สุด กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีอุณหภูมิภายในต่ำที่สุดเนื่องจากสามารถกักเก็บความร้อนได้มาก ทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ช้าและมีปริมาณน้อยกว่า สามารถเรียงลำดับอุณหภูมิภายในจากผนังที่มีความหนาต่ำสุดจะมีอุณหภูมิสูงสุดสูงที่สุด ทั้งที่ทาสีดำและสีขาว และผนังที่มีความหนาน้อยสุดจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด ทั้งที่ทาสีดำและสีขาว

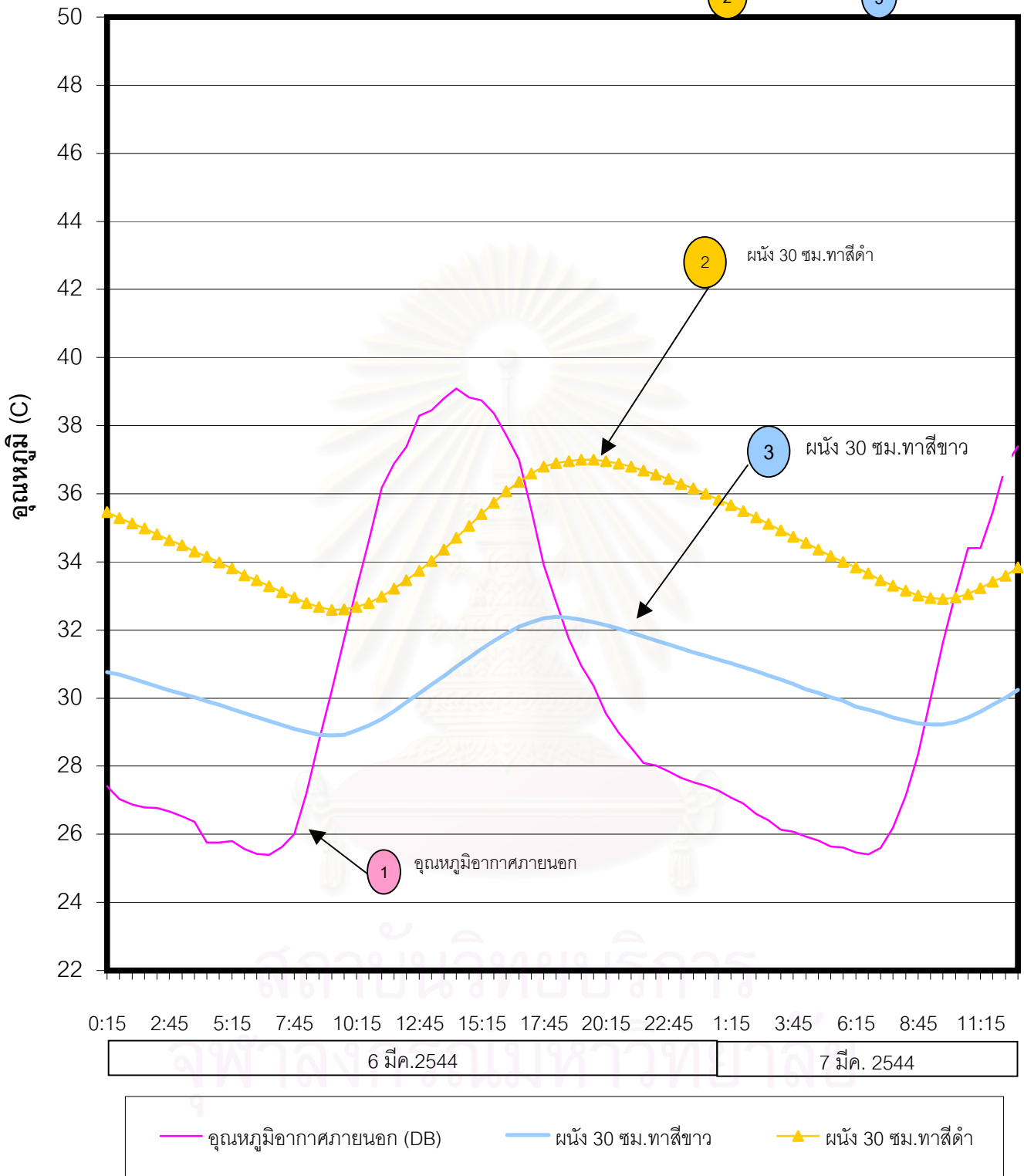
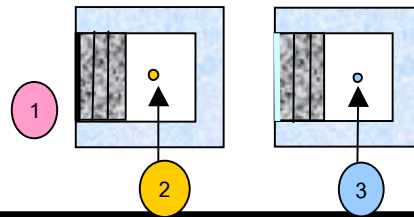
จากแผนภูมิ พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในกล้องทดลองในช่วงอุณหภูมิอากาศค่อย ๆ สูงขึ้น ผนังคอนกรีตผิวผนังทาสีดำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าผนังที่ไม่โดนแดดมาก แสดงว่าอิทธิพลของอุณหภูมิผิวผนังมีผลเป็นอย่างมากต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนมาก โดยกล้องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังทาสีดำจะมีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังทาสีขาวดังนี้

1. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว 5.4-7.6 องศาเซลเซียส
2. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว 4.45-5.7 องศาเซลเซียส
3. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว 4-4.6 องศาเซลเซียส

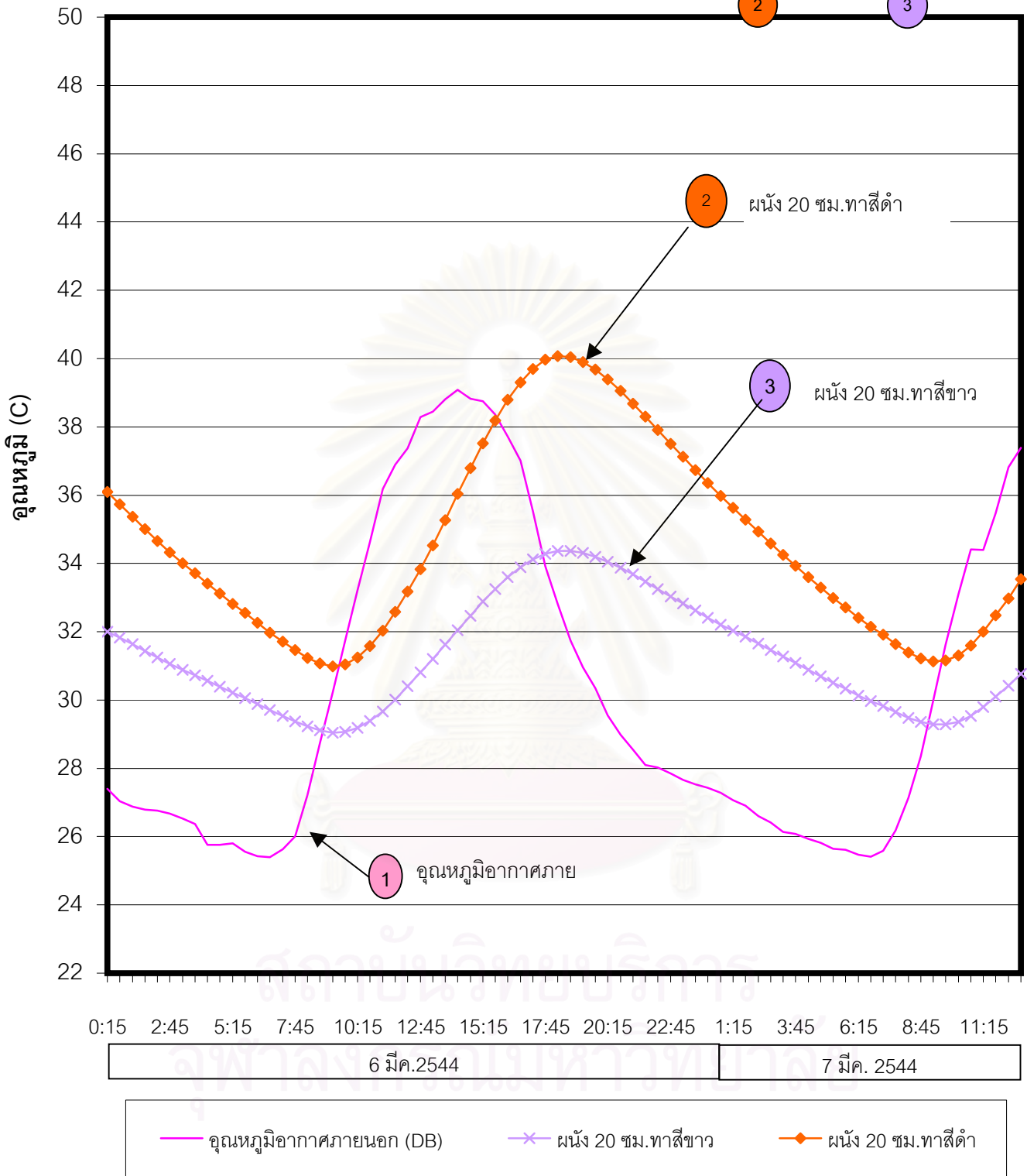
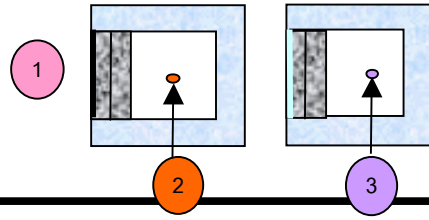


แผนภูมิที่ 4-79 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.ผิวผนังภายนอกทาสีขาวและสีดำ สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.04 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

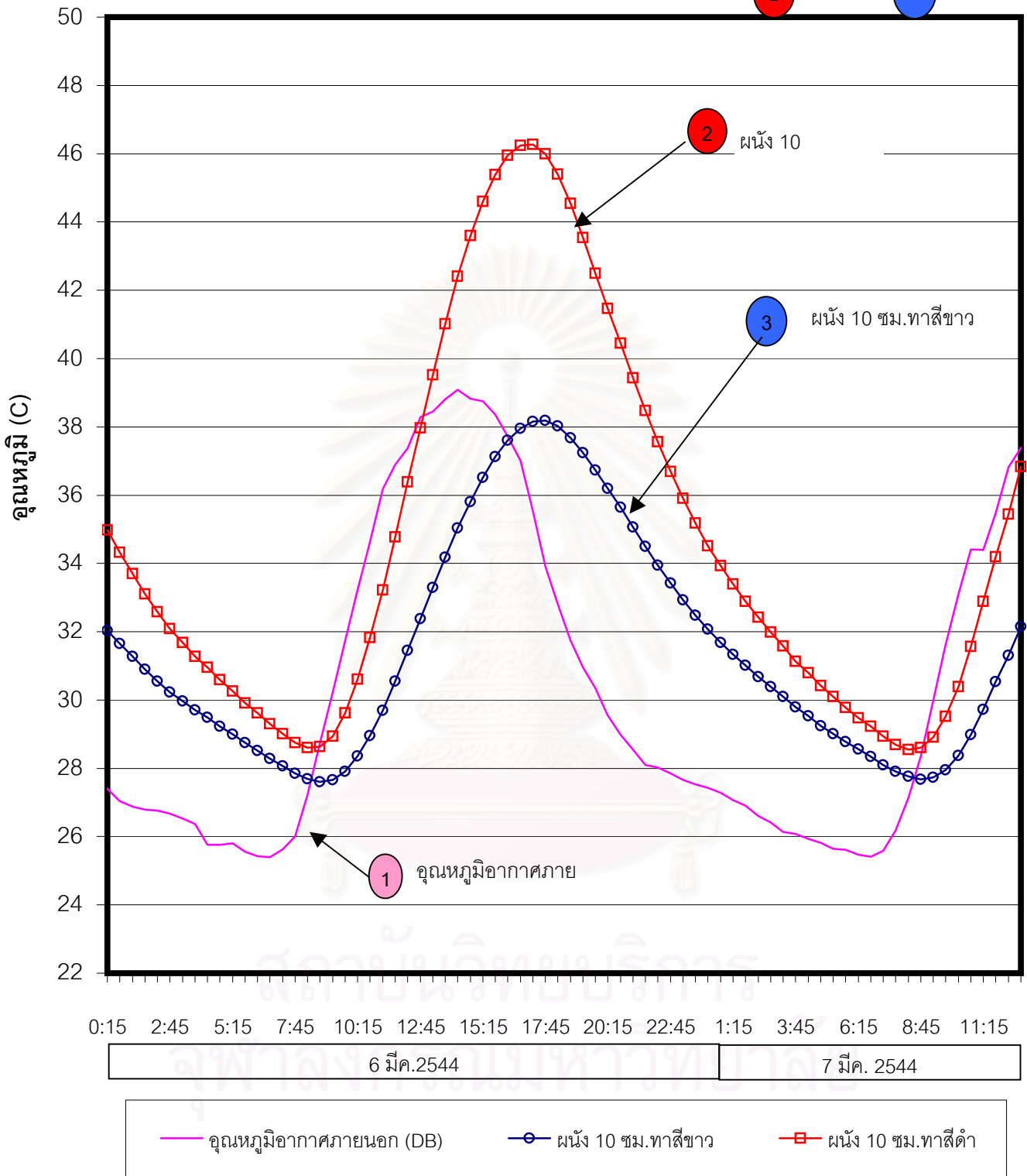
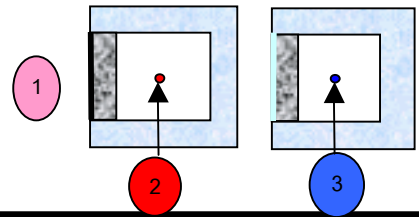




แผนภูมิที่ 4-80 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวและสีดำ  
 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส



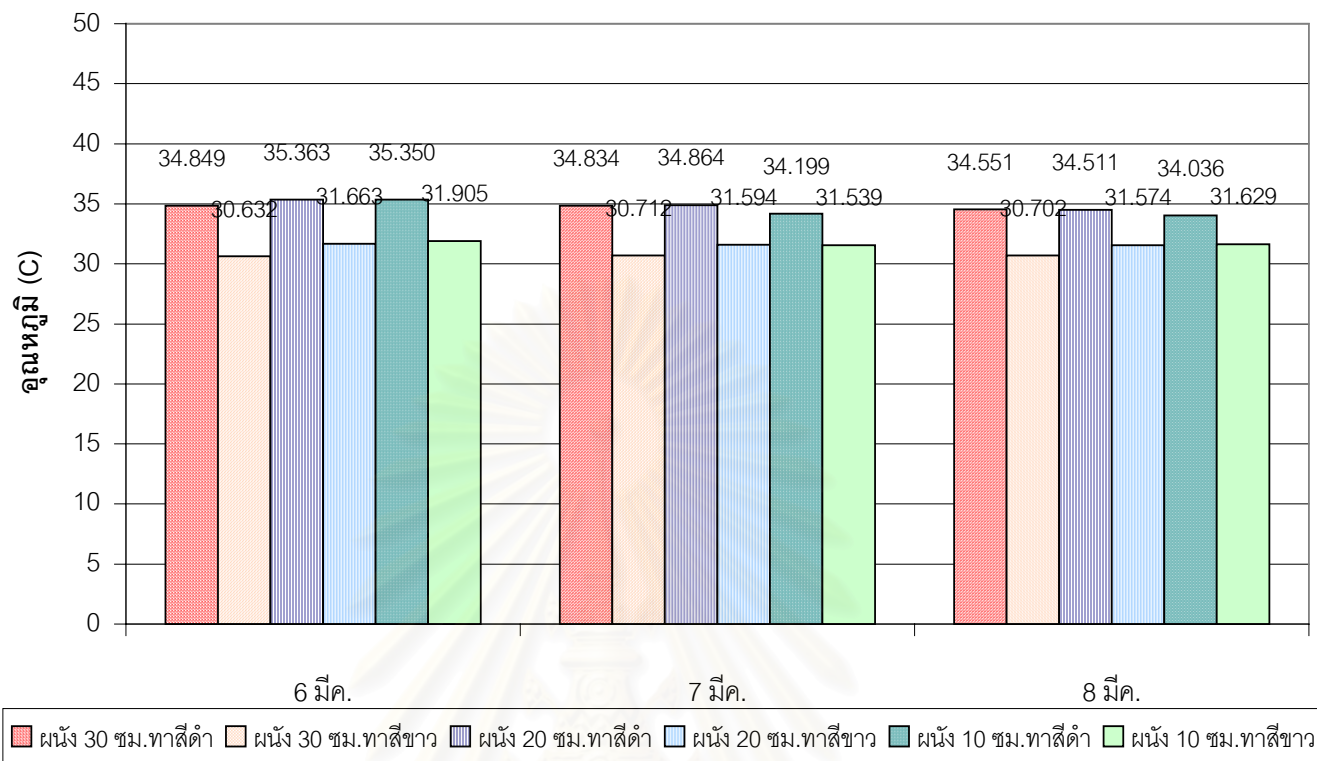
แผนภูมิที่ 4-81 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวและสีดำ  
 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4-82 อุณหภูมิอากาศภายในของผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาวและสีดำ  
 สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

## 2. อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



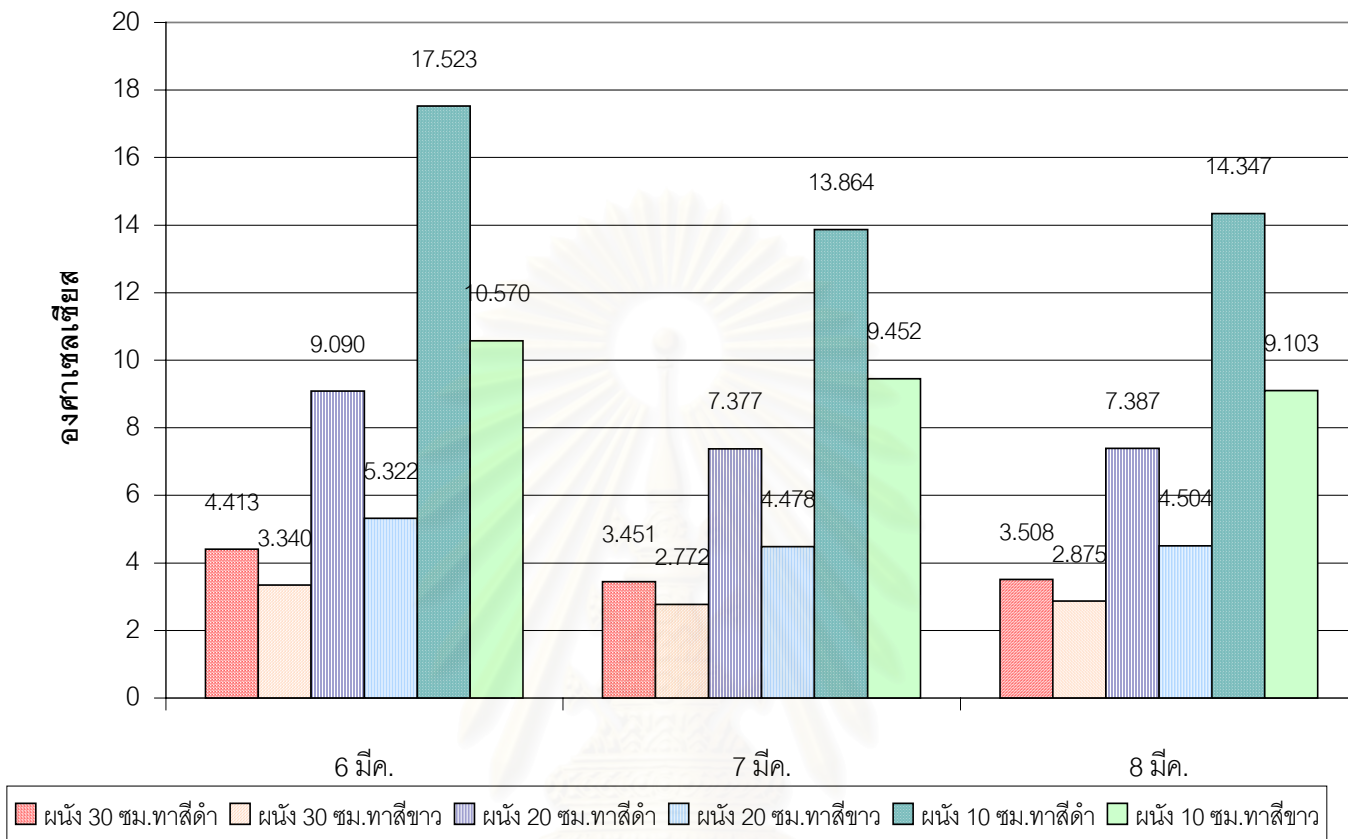
แผนภูมิที่ 4-83 อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลอง  
ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว

จากแผนภูมิพบว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตในประเภทเดียวกันจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังทาสีดำดังนี้

1. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ 2.4-3.4 องศาเซลเซียส
2. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ 2.9-3.7 องศาเซลเซียส
3. กล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ย ต่ำกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ 3.8-4.2 องศาเซลเซียส

### 3. การแปรผันของอุณหภูมิระหว่างวันและพิสัย

จากผลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4-84 ค่าพิสัยเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองแต่ละวันของกล่องทดลองผ้งคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผ้งภายนอกทาสีดำและสีขาว ค่าพิสัยเรียงจากกล่องทดลองที่มีค่าสูงสุดไปจนต่ำสุดมีดังนี้

1. กล่องทดลองผ้งคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผ้งภายนอกทาสีดำ
2. กล่องทดลองผ้งคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผ้งภายนอกทาสีขาว
3. กล่องทดลองผ้งคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผ้งภายนอกทาสีดำ
4. กล่องทดลองผ้งคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผ้งภายนอกทาสีขาว
5. กล่องทดลองผ้งคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผ้งภายนอกทาสีดำ
6. กล่องทดลองผ้งคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผ้งภายนอกทาสีขาว

กล่องทดลองผ้งคอนกรีตผิวผ้งภายนอกทาสีขาว มีพิสัยต่ำกว่ากล่องทดลองผ้งดังกล่าวผิวผ้งภายนอกทาสีดำ โดยกล่องทดลองผิวผ้งภายนอกทาสีขาว จะมีพิสัยต่ำกว่ากล่องทดลองผิวผ้งภายนอกทาสีดำ ดังนี้

1. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีพิสัยต่ำกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่โดนแดด 4.4-6.9 องศาเซลเซียส
2. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีพิสัยต่ำกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ที่โดนแดด 2.88-3.77 องศาเซลเซียส
3. กล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีพิสัยต่ำกว่ากล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่โดนแดด 0.63-1.07 องศาเซลเซียส

#### 4. ช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 10.15-16.45 น. เป็นเวลาประมาณ 6.5 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 31.29 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 5.4 องศาเซลเซียส.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.45-14.45 น. เป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 32.84 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 3.82 องศาเซลเซียส
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ ช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 8.45-12.45 น. เป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 33.5 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 3.8 องศาเซลเซียส
4. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.15-17.45 น. เป็นเวลาประมาณ 8.5 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 30.15 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 8.22 องศาเซลเซียส.

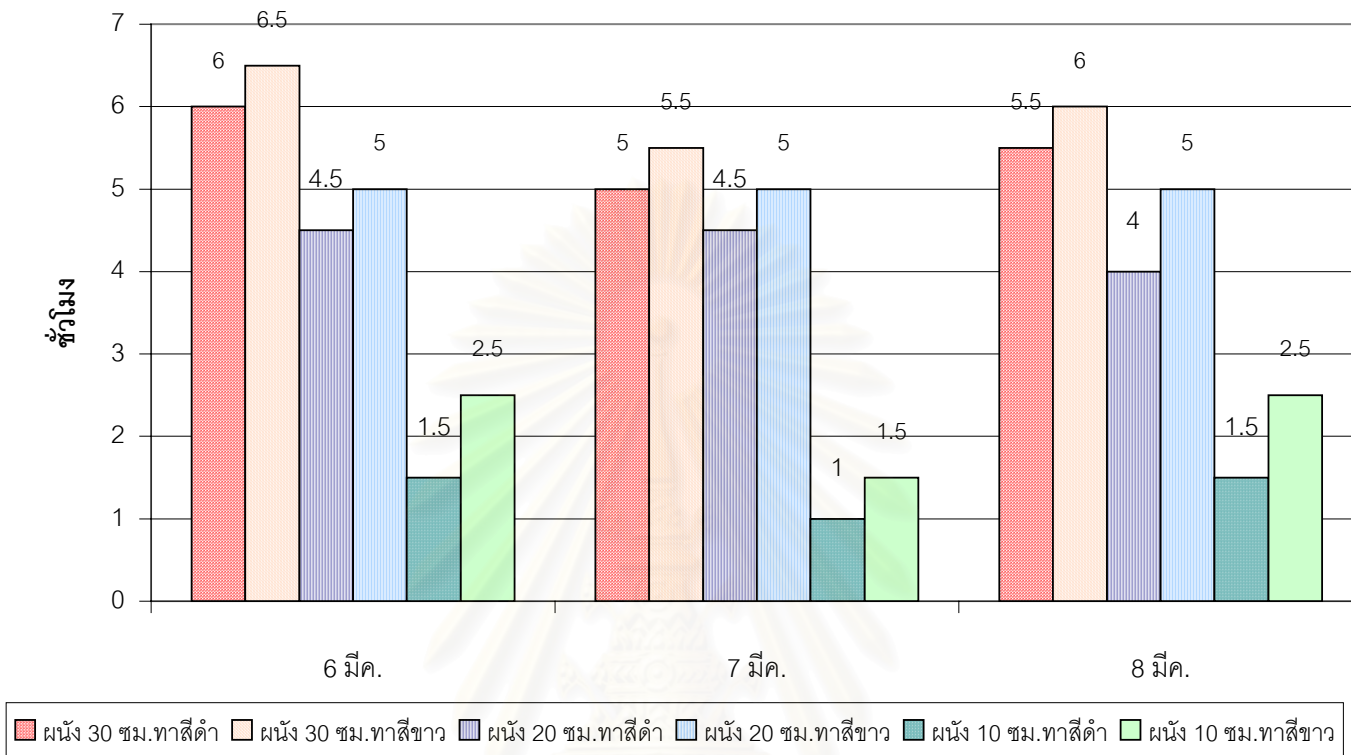


5. ผนักคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 9.15-17.45 น. เป็นเวลาประมาณ 8.5 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 30.26 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 8.02 องศาเซลเซียส
6. ผนักคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกได้แก่เวลาประมาณ 8.15-16.15 น. เป็นเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 30.42 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 7.24 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ช่วงเวลาพบว่าผนักคอนกรีตที่มีช่วงเวลาที่ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกมากที่สุดได้แก่ผนักคอนกรีตหนา 20 ซม. และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีช่วงเวลาการใช้งานได้อยู่ระหว่าง 9.15-17.45 น. ซึ่งจะครอบคลุมถึงช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดด้วย ซึ่งจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับอาคารไม่ปรับอากาศ (อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดในช่วงเวลา 13.45-15.45 น.)

### 5. เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด

ผลการทดลองสรุปเป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดดังนี้



แผนภูมิที่ 4-85 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดแต่ละวันของกล่องทดลองผืนคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.

ผิวผืนภายนอกทาสีดำและสีขาว

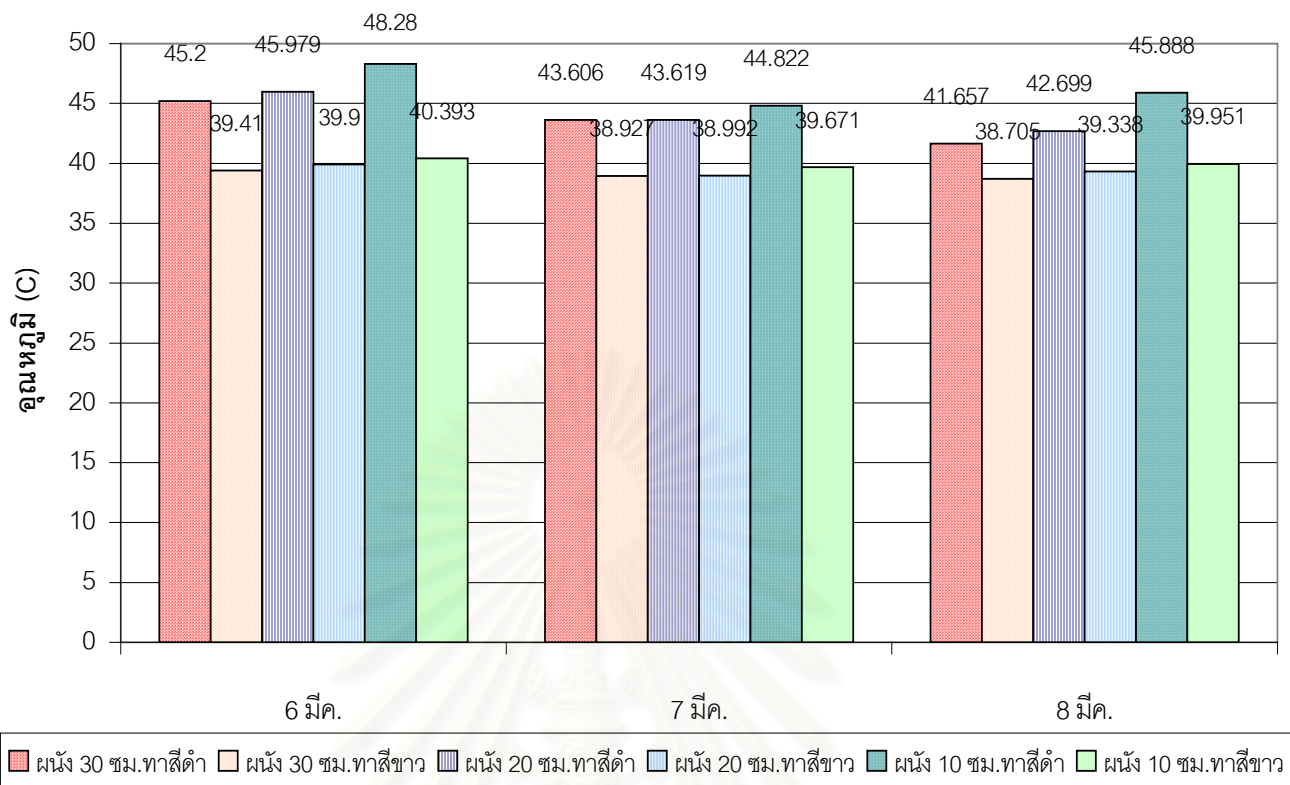
พบว่าผืนคอนกรีตที่มีความหนาเท่ากันที่ผิวผืนภายนอกทาสีดำ และทาสีขาวนั้นจะมีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดต่างกัน เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าไปมีแตกต่างกัน ผืนคอนกรีตที่มีความหนาเท่ากันแต่ผิวผืนภายนอกทาสีดำนั้นจะได้รับการถ่ายเทความร้อนมากกว่า ทำให้มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดน้อยกว่า

โดยกล่องทดลองผิวผืนภายนอกทาสีดำ จะมีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดต่ำกว่ากล่องทดลองที่ทาสีขาวดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมากกว่าผิวผนังภายนอกทาสีดำ 0.5-1 ชั่วโมง
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมากกว่าผิวผนังภายนอกทาสีดำ 0.5-1 ชั่วโมง
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมากกว่าผิวผนังภายนอกทาสีขาว 0.5 ชั่วโมง

## 6. อุณหภูมิผิวผนังภายนอก

ในช่วงเวลากลางวันผนังมวลสารน้อยจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงกว่าผนังที่มีมวลสารมาก เนื่องจากผนังมวลสารน้อยมีความมีความจุความร้อนต่ำกว่า จึงแผ่รังสีความร้อนออกมามากกว่า ทำให้ผนังมวลสารน้อยมีอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนผนังที่มีมวลสารมากกว่าซึ่งสะสมความร้อนมาในเวลากลางวันจะแผ่รังสีความร้อนออกมา ทำให้มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าผนังมวลสารน้อย



แผนภูมิที่ 4-86 อุณหภูมิผิวผืนนึ่งภายนอกสูงสุดของกล่องทดลองผืนคอนกรีต  
หนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผืนนึ่งภายนอกทาสีดำและสีขาว

วัน	ผืน 30 ซม. ทาสีดำ	ผืน 20 ซม. ทาสีดำ	ผืน 10 ซม. ทาสีดำ	ผืน 30 ซม. ทาสีขาว	ผืน 20 ซม. ทาสีขาว	ผืน 10 ซม. ทาสีขาว
6 มีค.	45.20	45.979	48.28	39.41	39.9	40.393
เวลา	14:45	14:45	15:15	15:15	15:15	15:15
7 มีค.	43.606	43.619	44.822	38.927	38.992	39.671
เวลา	15:45	13:45	15:15	15:45	15:45	15:45
8 มีค.	41.657	42.699	45.888	38.705	39.338	39.951
เวลา	14:45	14:45	14:45	14:45	14:15	14:45

ตารางที่ 4-25 อุณหภูมิผิวผืนนึ่งภายนอกสูงสุดของผืนแต่ละชนิด

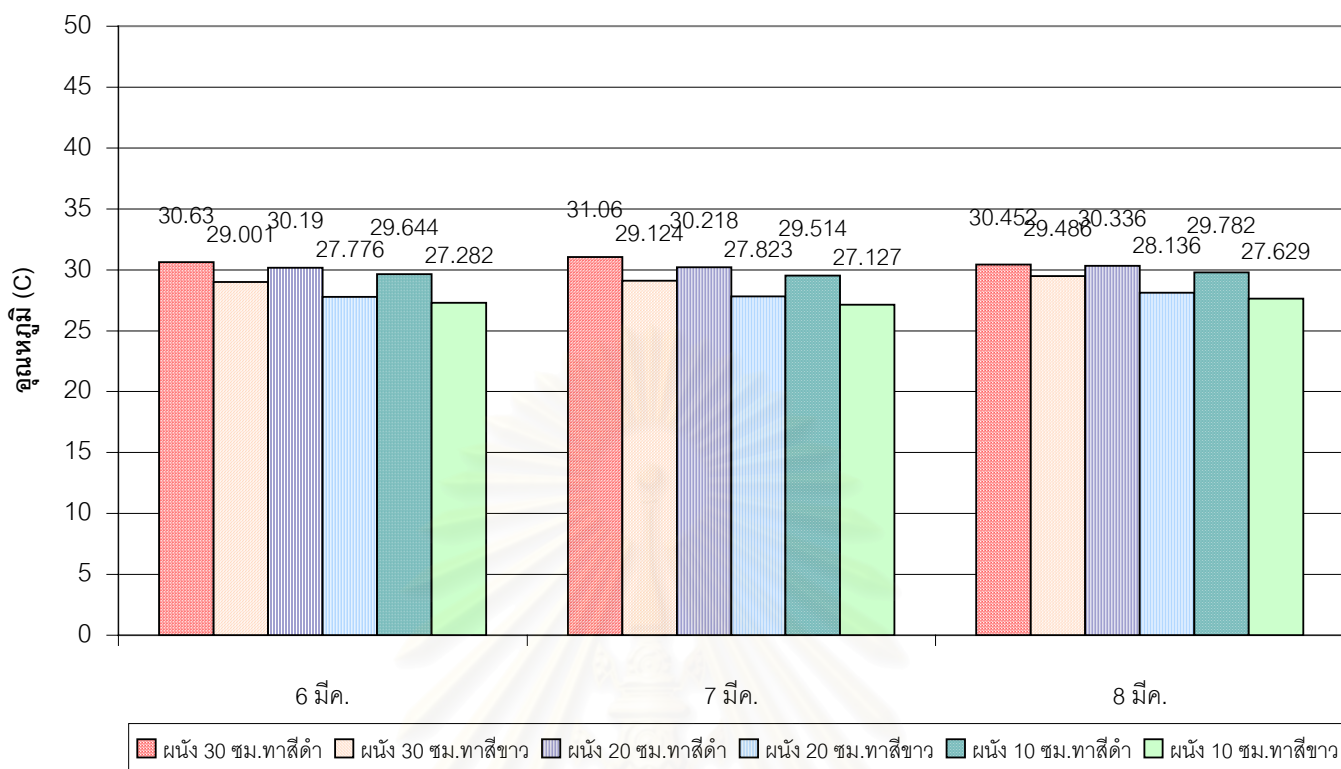
จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน (7.00-18.00 น.) ผืนสีเข้มหรือสีดำ จะมีอุณหภูมิผืนนึ่งภายนอกสูงกว่าผืนสีอ่อนหรือสีขาวเนื่องจากมีค่า  $\alpha/\epsilon$  สูงกว่าผืนสีอ่อน ซึ่งจะมีคุณสมบัติของการดูดกลืนรังสีความร้อนได้มากแต่กระจายรังสีความร้อนได้น้อย และผิวผืนนึ่งนอกได้รับการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ โดยผิว

ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ผนังภายนอกทาสีขาวจะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด เนื่องมาจากค่าความจุความร้อนสูงสุดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด มีปริมาณความร้อนที่เข้ามาน้อยจากการที่อุณหภูมิผิวภายนอกต่ำ เมื่อความร้อนผ่านมาที่ผิวแล้วจะค่อย ๆ เข้ามาและใช้เวลานานกว่าจะกลับออกไป ผิวผนังภายนอกของคอนกรีตที่ทาสีขาวทั้งหมดจะสามารถเรียงอุณหภูมิผิวจากมากไปน้อยตามความหนาผนังน้อยไปมาก โดยผิวผนังภายนอกที่ทาสีขาวที่มีอุณหภูมิผิวสูงที่สุดได้แก่ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. เนื่องจากมีค่าความจุความร้อนต่ำที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง และได้รับปริมาณความร้อนมาก เมื่อความร้อนผ่านที่ผิวแล้วจะส่งไปยังชั้นต่าง ๆ ภายในแผ่นผนังและถ่ายเทกลับสู่ผิวอีกครั้ง ได้เร็วกว่าผนังที่มีความจุความร้อนมากกว่าทำให้อุณหภูมิผิวผนังสูงมากกว่า แต่ผิวผนังภายนอกของคอนกรีตทาสีดำจะมีอุณหภูมิสูงที่ใกล้เคียงกัน เวลาการเกิดอุณหภูมิสูงสุดได้แก่ 14.45-15.45 น. เท่า ๆ กันทุกชนิดผนัง อุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุดได้แก่

วัน	ผนัง 30 ซม. ทาสีดำ	ผนัง 20 ซม. ทาสีดำ	ผนัง 10 ซม. ทาสีดำ	ผนัง 30 ซม. ทาสีขาว	ผนัง 20 ซม. ทาสีขาว	ผนัง 10 ซม. ทาสีขาว
6 มี.ค.	30.63	30.19	29.644	29.001	27.776	27.282
เวลา	6.45	7.15	7.15	6.45	7.15	7:15
7 มี.ค.	31.06	30.218	29.514	29.124	27.823	27.127
เวลา	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15
8 มี.ค.	30.452	30.336	29.782	29.486	28.136	27.629
เวลา	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15	7.15

ตารางที่ 4-26 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของผนังแต่ละชนิด

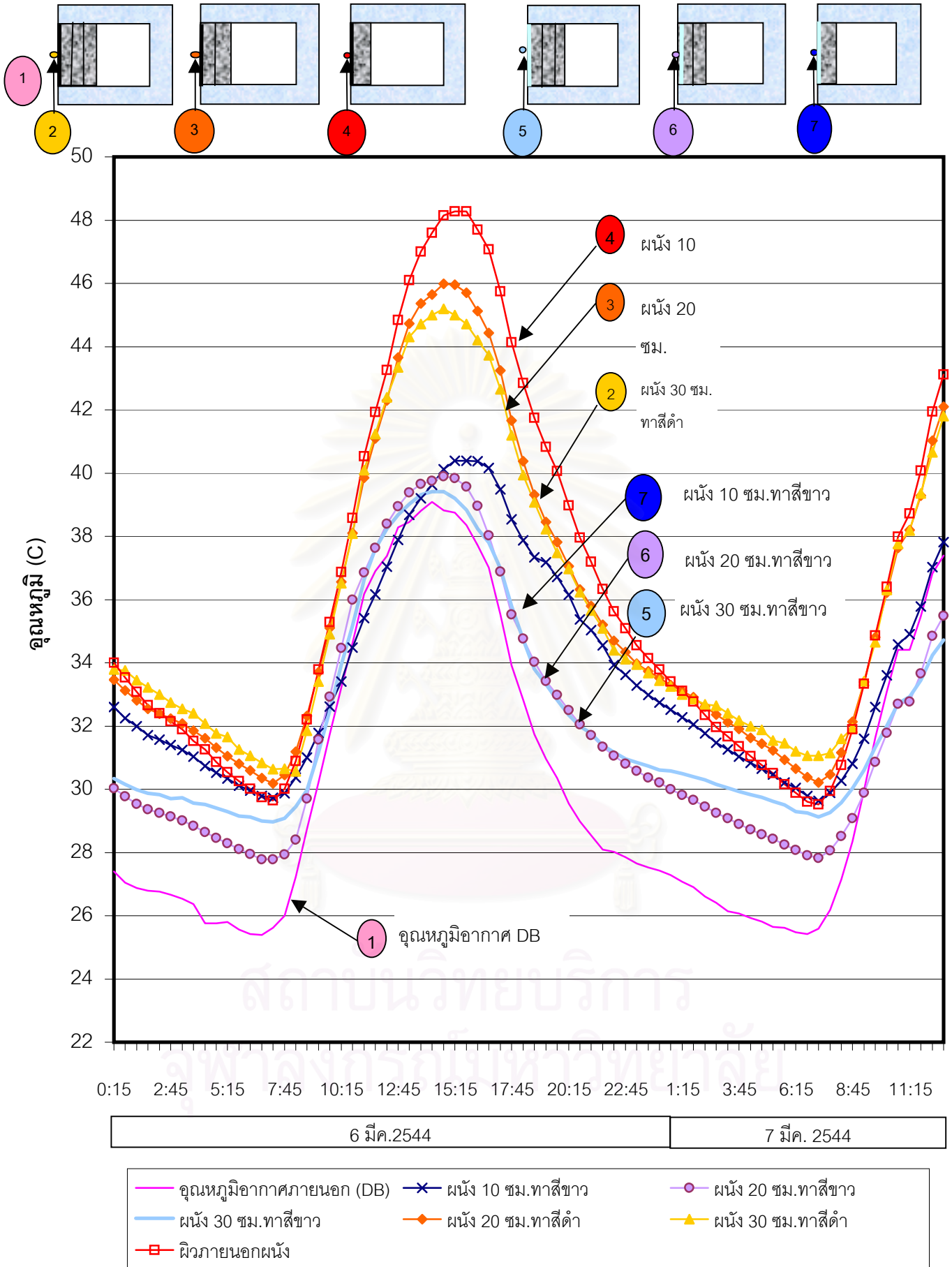
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



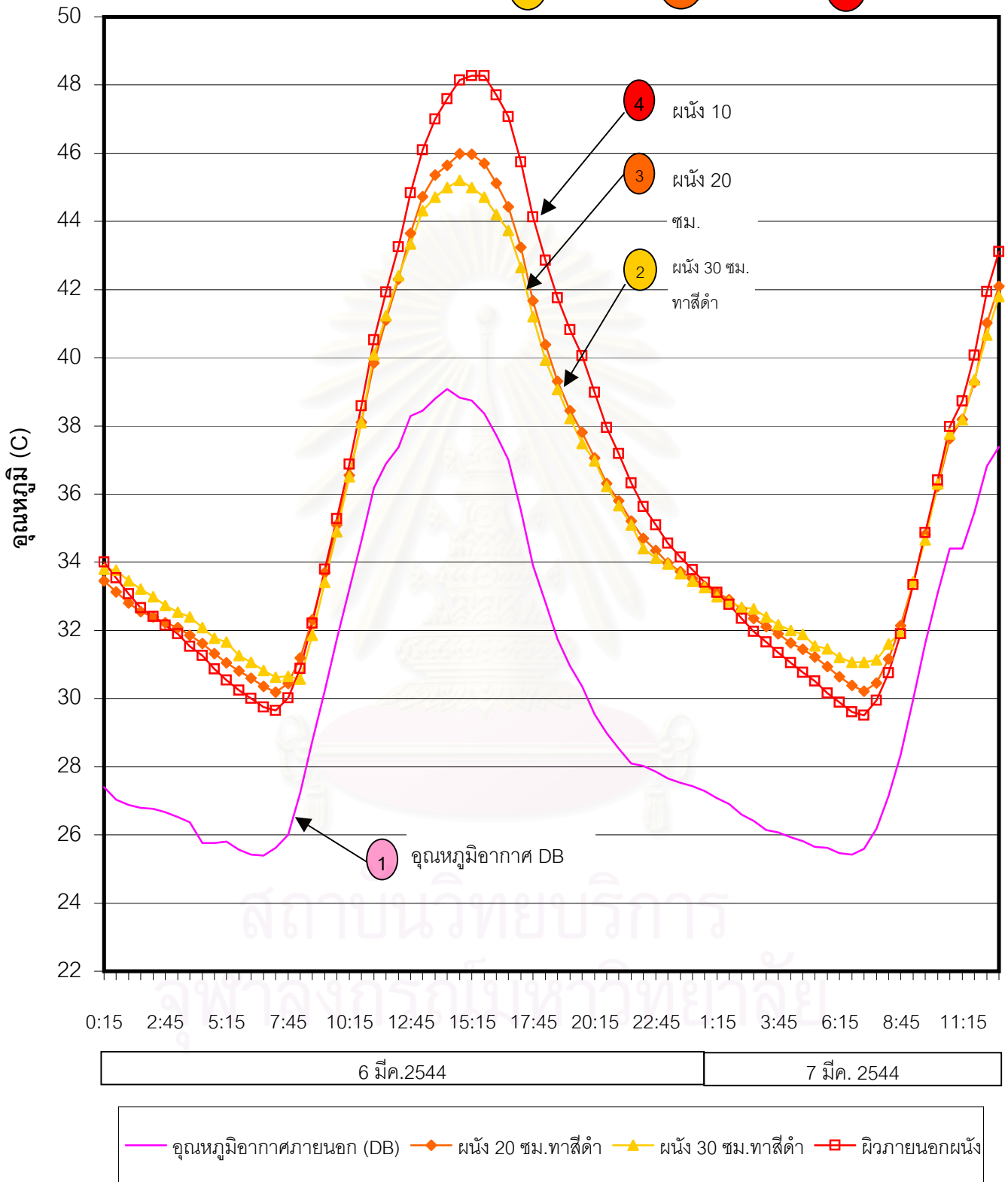
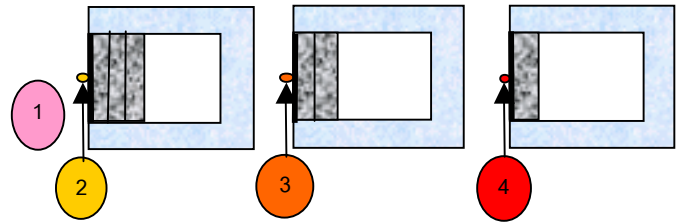
แผนภูมิที่ 4-87 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของกลุ่มทดลอง  
ผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำและสีขาว

ในช่วงเวลากลางคืน (19.00-6.00 น.) อุณหภูมิผิวผนังที่มีมวลสารเท่ากัน แต่ทาสีต่างกันควรจะมีค่าเท่า ๆ กันในทุกการทดลอง เนื่องจากไม่มีอิทธิพลการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ทั้งรังสีโดยตรงและรังสีกระจาย แต่กลุ่มผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำในเวลากลางวันยังมีความร้อนที่สะสมจากช่วงเวลาดังกล่าว อยู่ทำให้มีอุณหภูมิผิวสูงกว่ากลุ่มที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาวเรียงมาตั้งแต่ผนังมวลสารมากไปมวลสารน้อย อุณหภูมิต่ำสุดของกลุ่มผนังที่ผิวภายนอกทาสีดำจะสูงกว่ากลุ่มผนังที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาวประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส และในผนังชนิดเดียวกันผนังที่มีความหนาสูงกว่าจะมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่าผนังที่มีความหนาน้อยกว่า เนื่องจากมีความร้อนที่สะสมจากช่วงเวลากลางวัน เวลาที่เกิดอุณหภูมิต่ำสุดได้แก่ 6.45-7.15 น. เท่า ๆ กันทุกชนิดผนัง

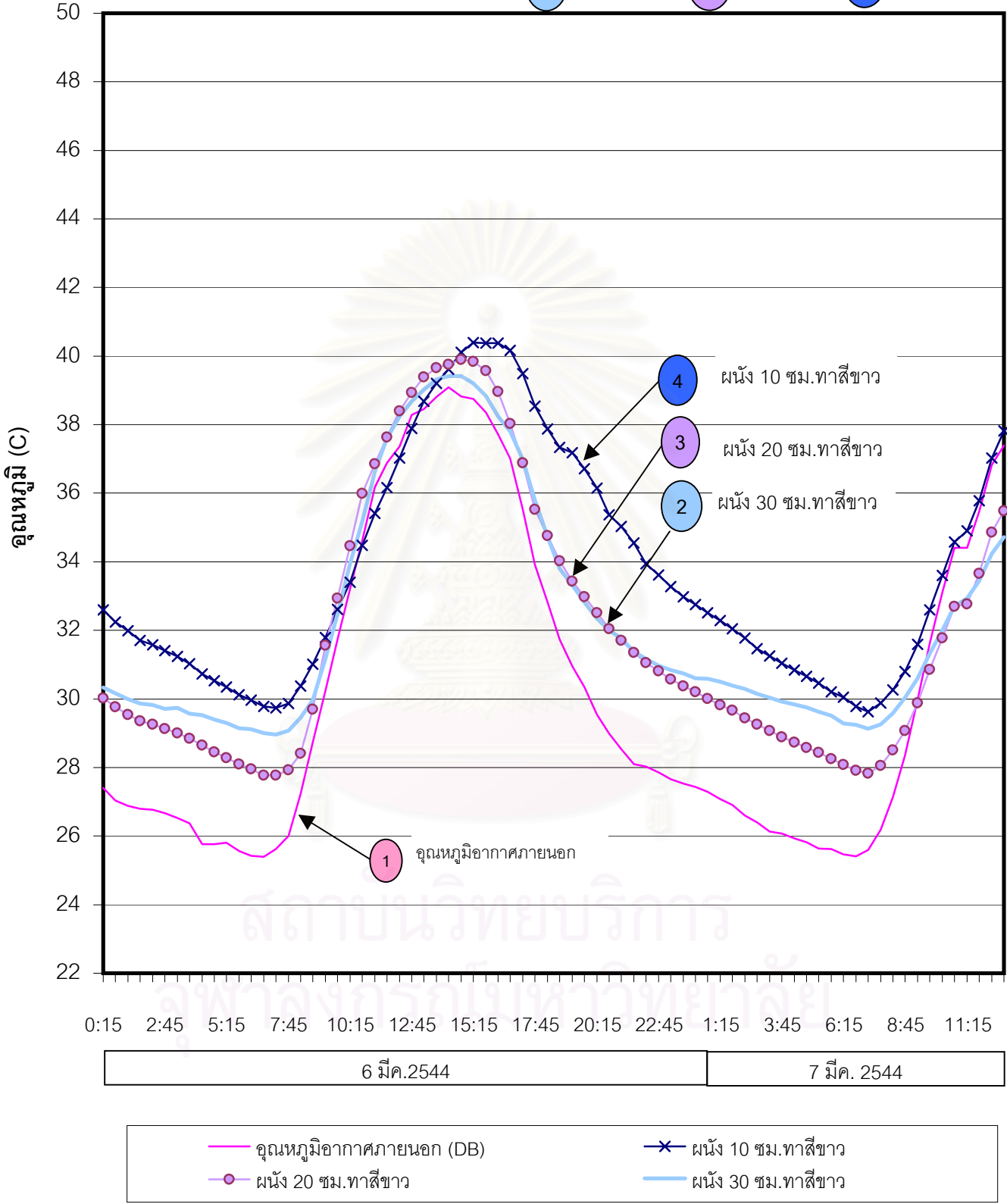
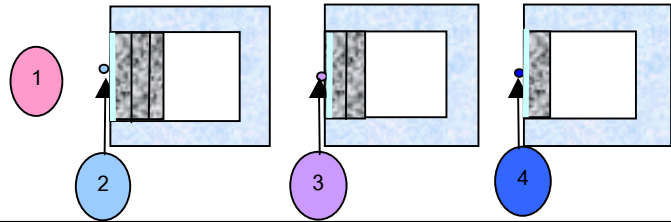




แผนภูมิที่ 4-88 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกในของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีขาว และสีดำ สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4-89 อุณหภูมิผิวผนังภายนอกในของผนังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม. ผิวผนังภายนอกทาสีดำ สภาพอากาศไม่มีฝน มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4-90 อุณหภูมิผิวผับังภายนอกในของผับังคอนกรีตหนา 10, 20 และ 30 ซม.ผิวผับังภายนอกทาศีขาวและสี  
 ดำ สภาพอากาศไม่มีผับัง มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 38.104 องศาเซลเซียส  
 อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.57 องศาเซลเซียส

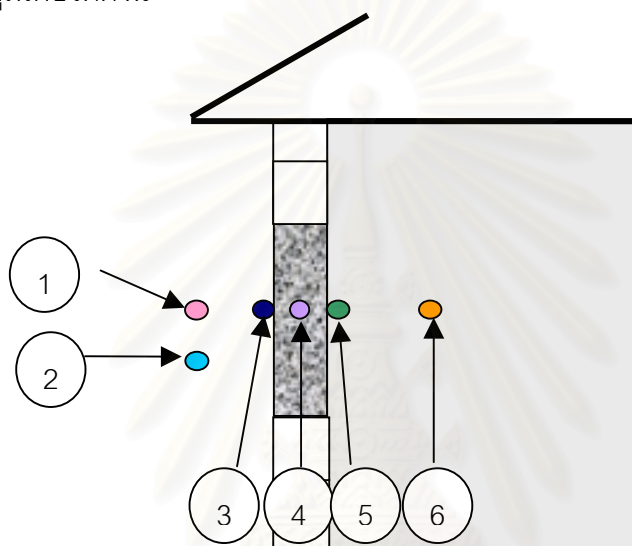
## 4.2 การทดสอบในสภาวะปรับอากาศ

### การทดสอบที่ 7 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในสภาวะปรับอากาศ

การทดสอบในวันที่ 15 –17 เมษายน 2544 และวันที่ 5-9 พฤษภาคม 2544

กล่องทดลองที่ 1 ผนังคอนกรีตหนา 0.10 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $4.291 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$

มีค่าความจุความร้อน  $1.121 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ภายในควบคุมสภาวะปรับอากาศ ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดดังนี้

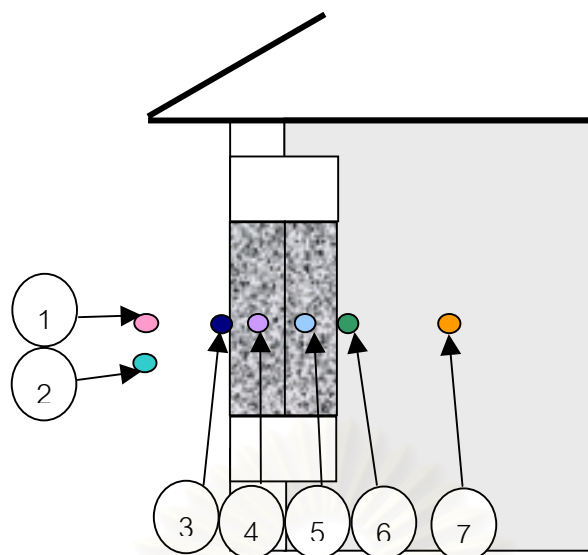


ภาพที่ 4-17 แผ่นผนังทดลองที่ 1

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (6) อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ

กล่องทดลองที่ 2 ผนังคอนกรีตหนา 0.20 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $3.304 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

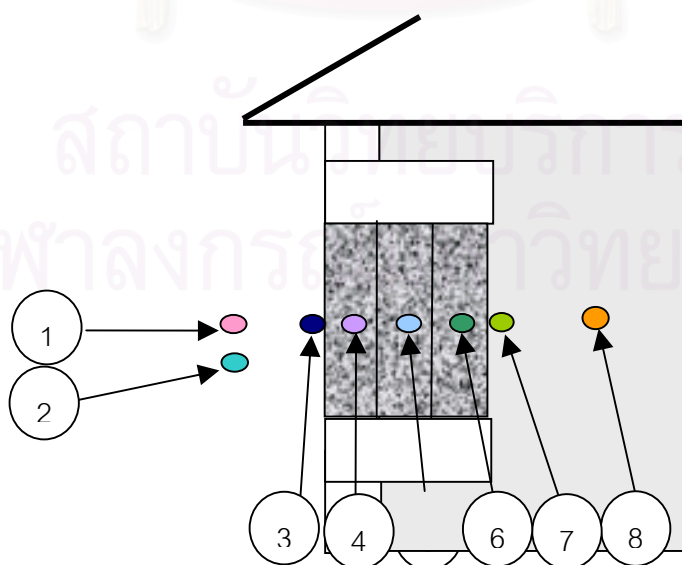
มีค่าความจุความร้อน  $2.243 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ภายในควบคุมสภาวะปรับอากาศ



ภาพที่ 4-18 แผ่นผนังทดลองที่ 2

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
- (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) อุณหภูมิผิวภายนอก
- (4) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) อุณหภูมิผิวผนังภายใน
- (7) อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ

กล่องทดลองที่ 3 ผนังคอนกรีตหนา 0.30 เมตร มีค่าการถ่ายเทความร้อน  $2.69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  มีค่าความจุความร้อน  $3.364 \text{ Btu}/\text{ft}^3 \cdot ^\circ\text{F}$  ภายในควบคุมสภาวะปรับอากาศ



ภาพที่ 4-19 แผ่นผนังทดลองที่ 3

- (1) คุณหม้ออากาศภายนอก (DB)
- (2) คุณหม้อมีกระเปาะเปียกภายนอก (WB)
- (3) คุณหม้อมีผิวภายนอก
- (4) คุณหม้อมีภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
- (5) คุณหม้อมีภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
- (6) คุณหม้อมีภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
- (7) คุณหม้อมีผิวผนังภายใน
- (8) คุณหม้ออากาศภายในห้องปรับอากาศ



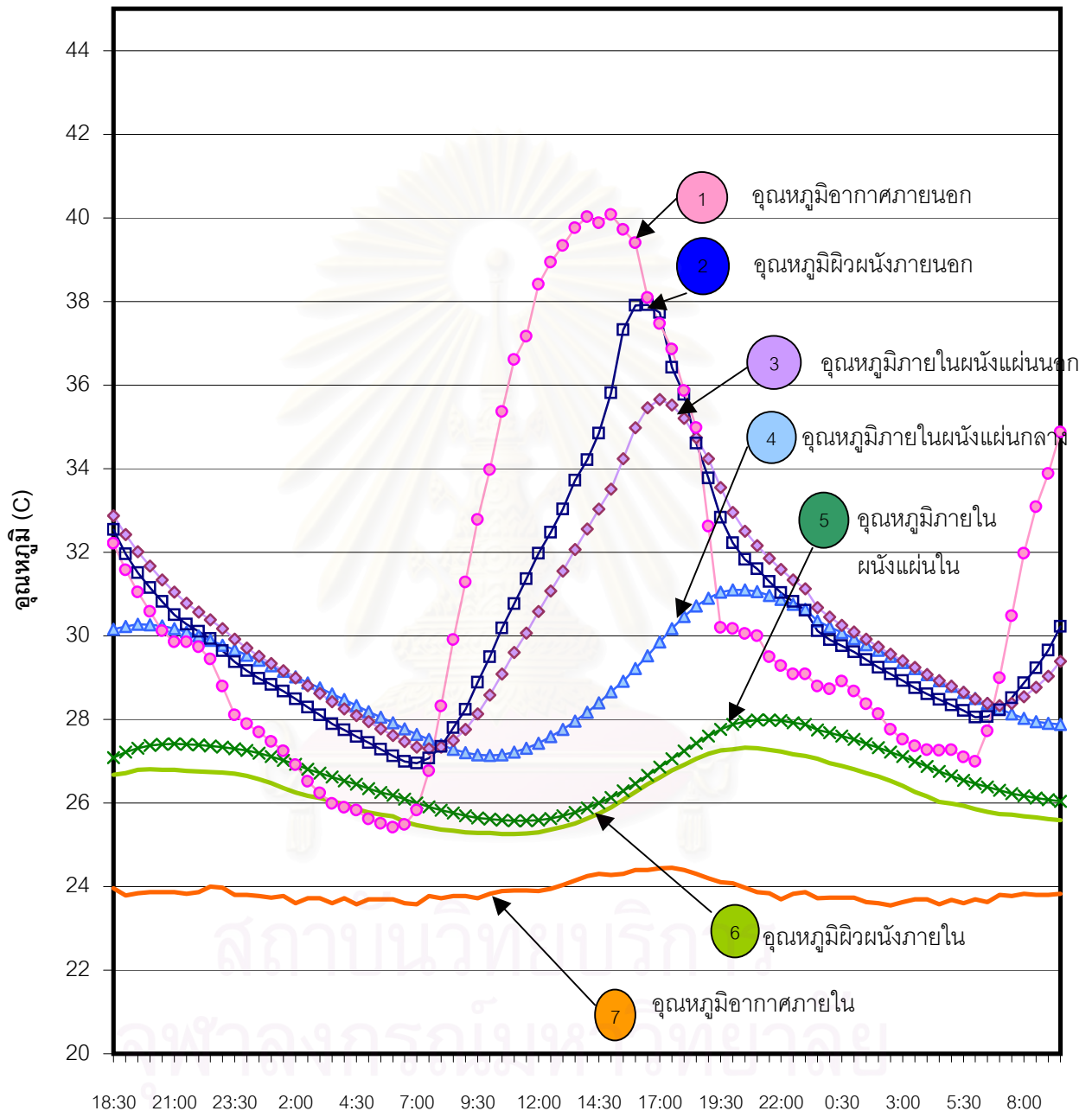
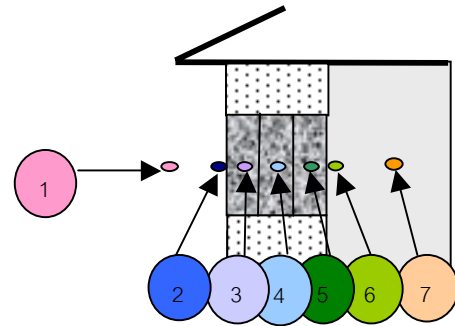
ภาพที่ 4-20 อาคารทดลองปรับอากาศ

## **1. ผลการทดลองพฤติกรรมของผนังแต่ละชนิด**

### **1.1 ก่อผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมง**

ก่อก่อผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมง โดยมีการควบคุม คุณหม้อมีภายในห้องปรับอากาศให้อยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส การทดลองในวันที่ 15-17 เมษายน 2544 มีดังนี้





12 เมษายน	13 เมษายน	14 เมษายน
-----------	-----------	-----------

- อุณหภูมิอากาศภายใน39
- ผิวผนังด้านใน29
- x— ภายในผนังชั้นที่3/61
- ▲— ภายในผนังชั้นที่ 2/60
- ◇— ภายในผนังชั้นที่ 1/40
- ผิวผนังภายนอก10
- อุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิที่ 4-91 ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ  
สภาพอากาศไม่มีฝน

จากแผนภูมิที่ 4-91 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงที่สุดไปจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ

การเรียงอุณหภูมิจากจุดต่าง ๆ มีความถูกต้องตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน มีช่วงเวลากการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 25 เซนติเมตรจากภายนอก
6. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
7. อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ

## 1.2 กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมง

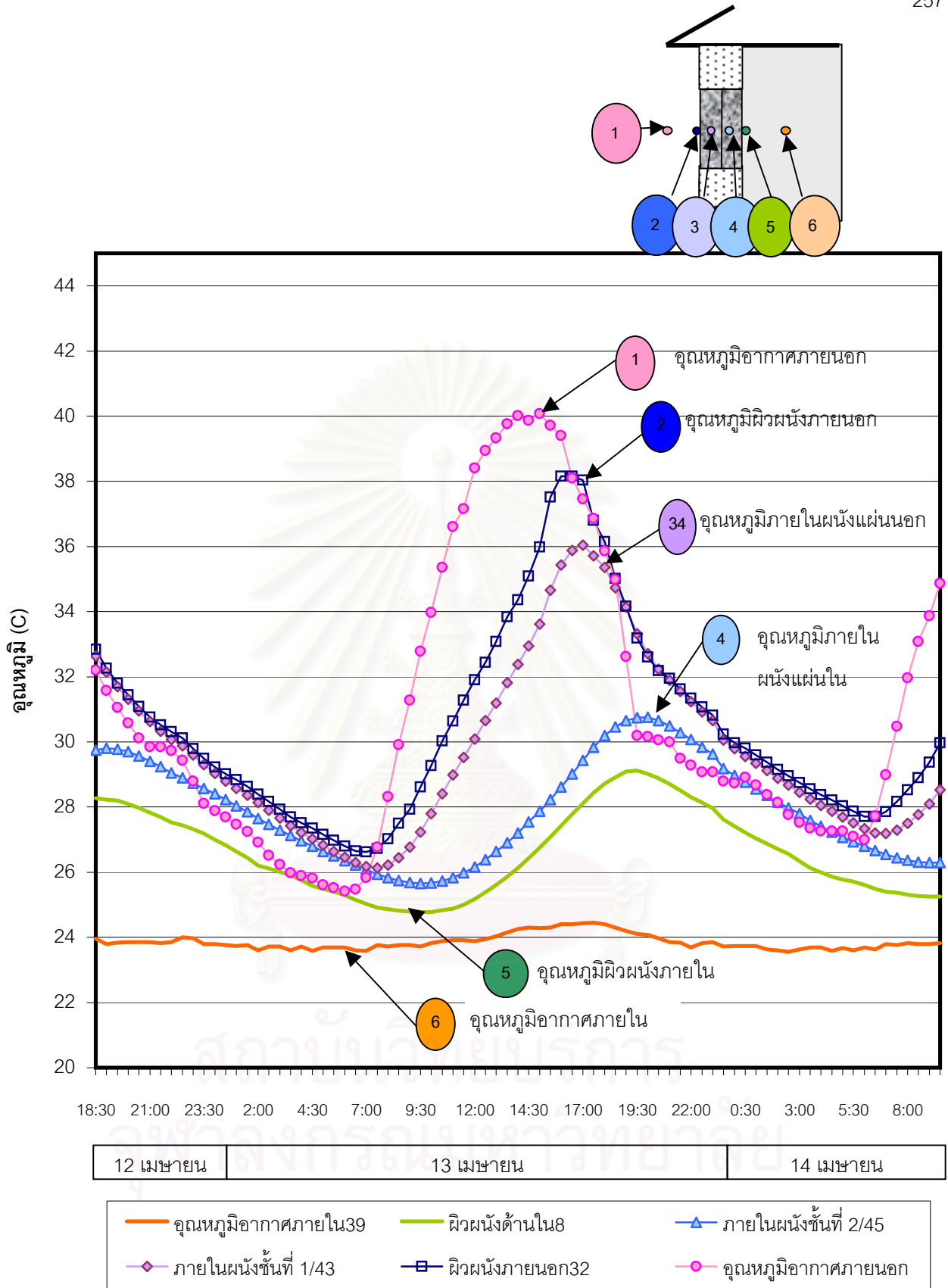
กล่องผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมง ในการทดลองในวันที่ 15-17 เมษายน 2544 มีดังนี้

จากแผนภูมิที่ 4-92 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดลองผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงที่สุดไปจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
6. อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ

การเรียงอุณหภูมิจากจุดต่าง ๆ มีความถูกต้องตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน มีช่วงเวลาก่อเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 15 เซนติเมตรจากภายนอก
5. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
6. อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 4-92 ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ  
 สภาพอากาศไม่มีฝน

### 1.3 กล้องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมง

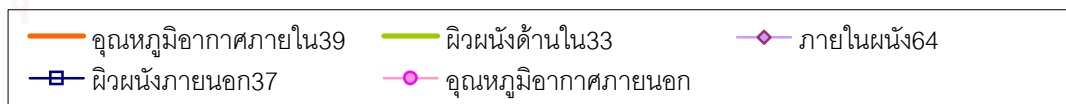
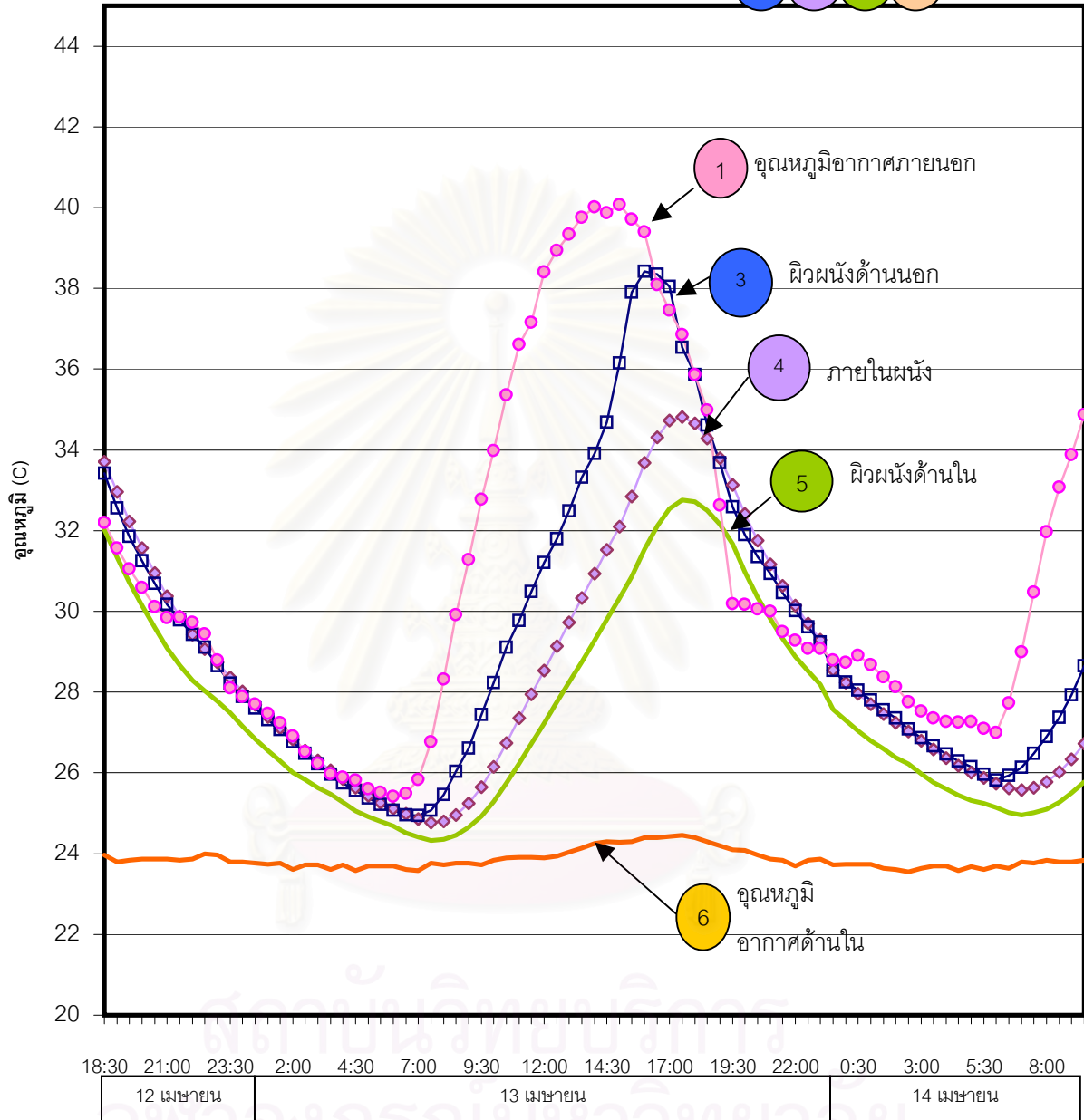
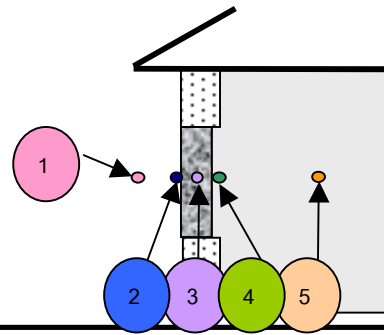
กล้องผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมง ในการทดลองในวันที่ 15-17 เมษายน 2544 มีดังนี้

จากแผนภูมิที่ 4-93 แสดงอุณหภูมิของกล้องทดลองผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าสูงที่สุดไปจุดที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำที่สุดได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ

การเรียงอุณหภูมิจากจุดต่าง ๆ มีความถูกต้องตามการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายใน มีช่วงเวลากการเกิดอุณหภูมิสูงสุดเรียงจากจุดที่เกิดก่อนไปจนสุดท้ายดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก (DB)
2. อุณหภูมิผิวภายนอกผนัง
3. อุณหภูมิภายในตัวแผ่นผนังที่ระยะ 5 เซนติเมตรจากภายนอก
4. อุณหภูมิผิวผนังภายใน
5. อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 4-93 ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ  
สภาพอากาศไม่มีฝน



## 2. การหน่วงเหนี่ยวความร้อน

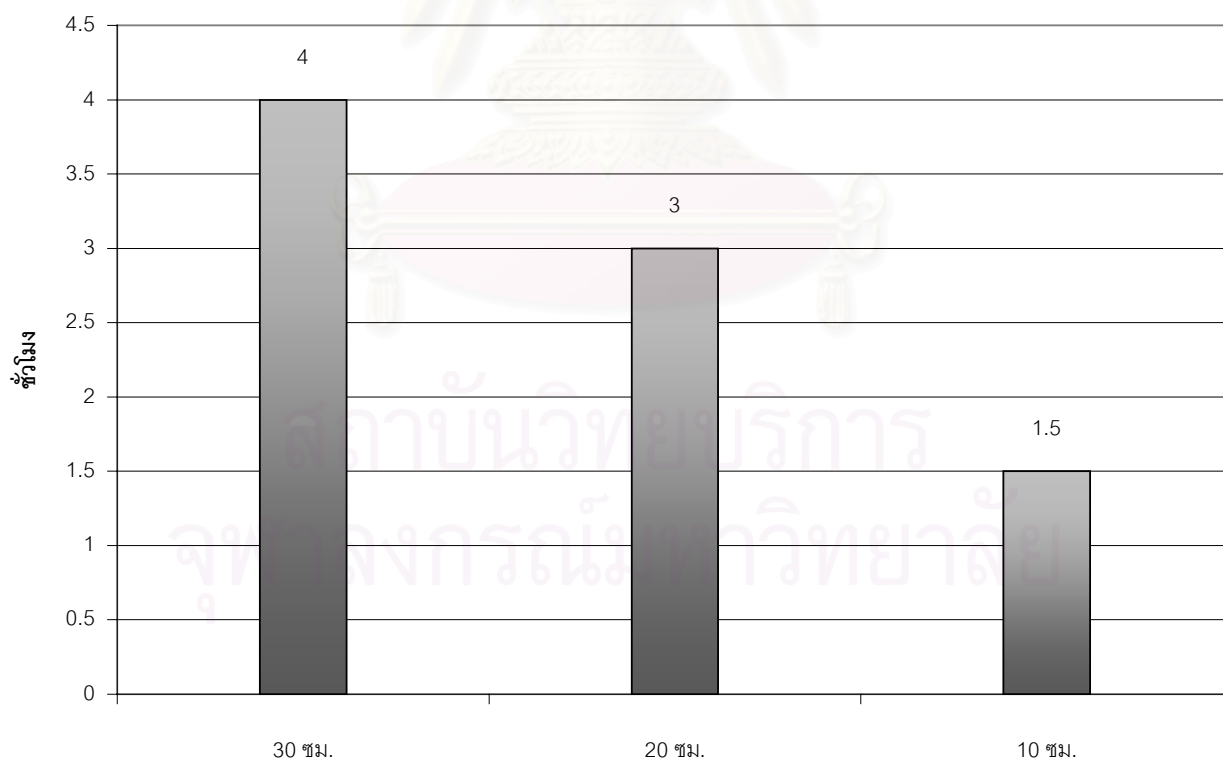
การหน่วงเหนี่ยวความร้อนผ่านผนังที่มีการปรับอากาศอย่างคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง มีดังนี้

	30 ชม.			20 ชม.			10 ชม.		
	อุณหภูมิผิว ภายนอก สูงสุด	อุณหภูมิผิว ภายใน สูงสุด	Lag	อุณหภูมิผิว ภายนอก สูงสุด	อุณหภูมิผิว ภายใน สูงสุด	Lag	อุณหภูมิผิว ภายนอก สูงสุด	อุณหภูมิผิว ภายใน สูงสุด	Lag
อุณหภูมิ	37.919	27.318	10.601	38.161	29.125	9.036	38.421	32.760	5.660
เวลา	16:34	20:34	4	16:34	19:34	3	16:04	17:34	1.5

ตารางที่ 4-27 การหน่วงเหนี่ยวความร้อนผนังคอนกรีตหนา 30,20 และ 10 ซม.

ในสภาวะปรับอากาศ

จากตารางที่ 4-27 พบว่าผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.มีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงที่สุดได้แก่ 4 ชั่วโมง โดยสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดได้ 10.6 องศาเซลเซียส ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.มีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 3 ชั่วโมงโดยสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดได้ 9.036 องศาเซลเซียส และผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.มีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 1.5 ชั่วโมง โดยสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดได้ 5.66 องศาเซลเซียส



แผนภูมิที่ 4-94 ช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนผนังคอนกรีตหนา 30, 20 และ 10 ซม.

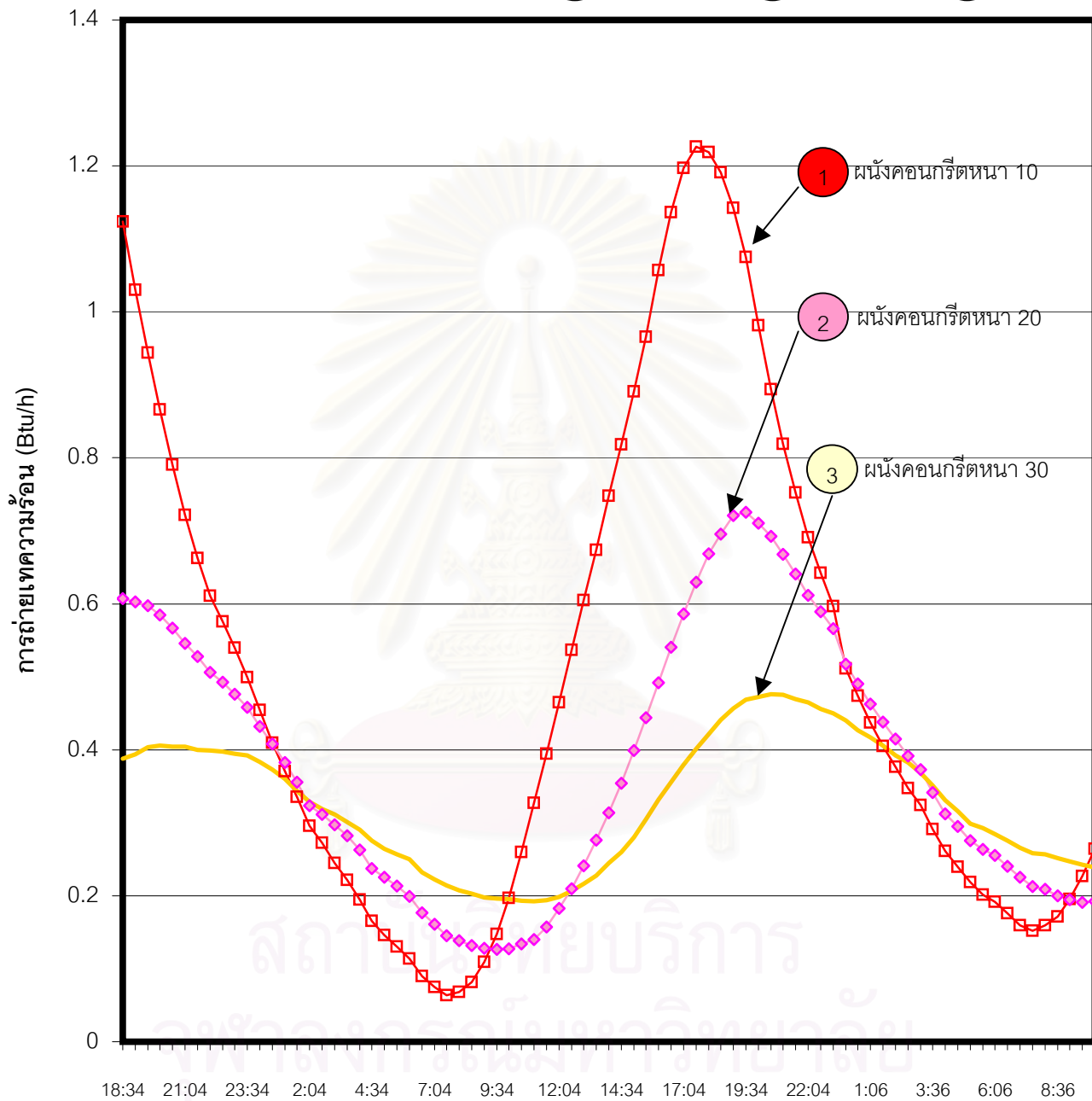
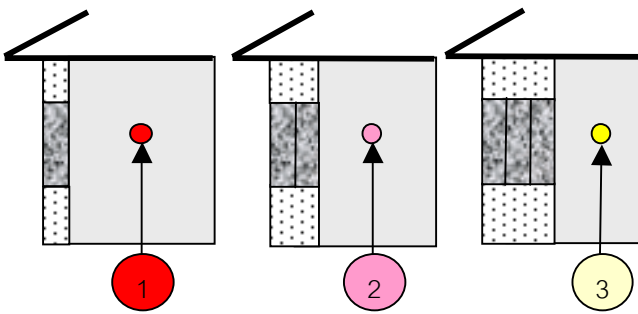
ในสภาวะปรับอากาศ

### 3. การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

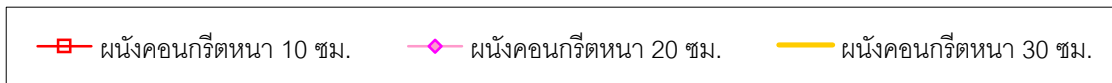
การทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง 10, 20 และ 30 ซม.ในห้องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ในวันที่ 13-14 เมษายน 2544 โดยควบคุมอุณหภูมิภายในประมาณ 23-24 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของฟิล์มอากาศภายในห้องเท่ากับ 0.12 Watt/sq.m.C.พื้นที่ (A) เท่ากับ 0.58\*0.58 ตารางเมตร ใช้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศของอุณหภูมิผิวภายในกับอุณหภูมิอากาศภายในห้อง มีผลการทดลองดังนี้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



12 เมษายน	13 เมษายน	14 เมษายน
-----------	-----------	-----------



แผนภูมิที่ 4-95 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศ สภาพอากาศภายนอก

### 3.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

จากแผนภูมิที่ 4- 95 พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. สูงสุดมีค่าสูงสุด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดทำให้ความร้อนเข้ามาภายในได้มากที่สุด ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. จะมีค่าต่ำรองลงมาและผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.226 Btu/h ณ เวลา 17.30 น.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.725 Btu/h ณ เวลา 19.30 น.
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.476 Btu/h ณ เวลา 20.30 น.

### 3.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด

สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดจากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.192 Btu/h ณ เวลา 11.00 น.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.126 Btu/h ณ เวลา 9.30 น.
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.063 Btu/h ณ เวลา 7.30 น.

### 3.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมใน 1 วัน

ผนังที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม. ได้แก่ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมใน 1 วันต่ำที่สุด โดยสามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันจากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 25.49 Btu/h
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 17.46 Btu/h
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 14.76 Btu/h

#### 4. การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 8.00-18.00 น.

ทดลองในช่วงเวลา 5-9 พฤษภาคม 2544 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 8.00-18.00 น. เทียบกับสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 8.00-18.00 น. มีดังนี้

##### 4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

การถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงก่อนการปิดเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นช่วงที่ผนังคายความร้อนออกมาสู่ภายใน สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.523 Btu/h ณ เวลา 18.00 น.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.995 Btu/h ณ เวลา 18.00 น.
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.74 Btu/h ณ เวลา 18.00 น.

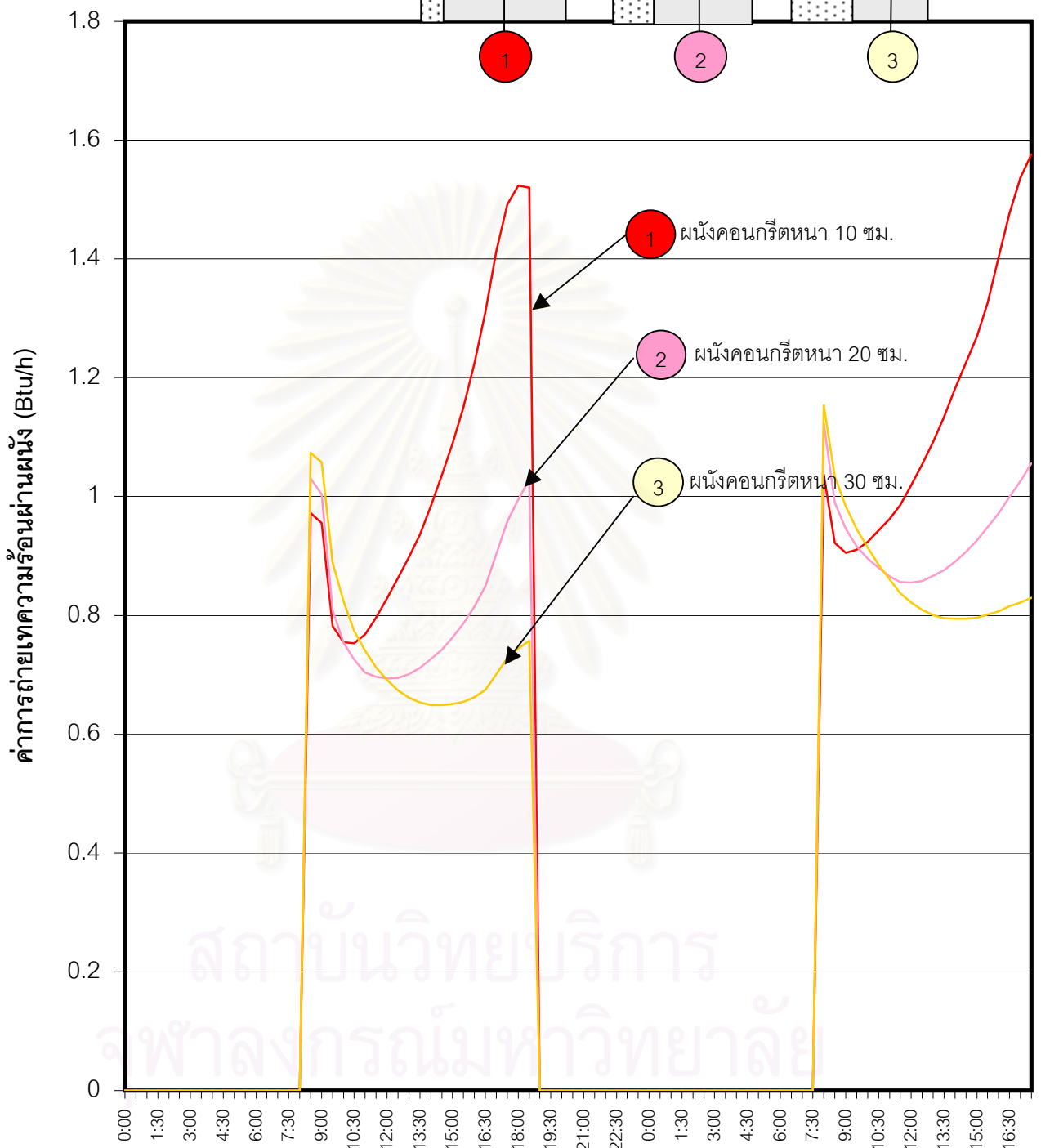
เมื่อเทียบกับสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.จะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน 18.00, 22.00 และ 0.30 น.ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 8.00-18.00 น.ประมาณ 0.1-0.2 Btu/h

##### 4.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด

สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดจากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.65 Btu/h ณ เวลา 14.00 น.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.69 Btu/h ณ เวลา 12.00 น.
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.75 Btu/h ณ เวลา 10.30 น.

เมื่อเทียบกับสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.จะเกิดขึ้นในช่วงเช้า 7.30-8.00 น.และจะมีค่าต่ำกว่าสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 8.00-18.00 น.ประมาณ 0.4-0.56 Btu/h



— ผนัง10ซม.ปรับอากาศ8.00-18.00 น.    — ผนัง20ซม.ปรับอากาศ8.00-18.00 น.    — ผนัง30ซม.ปรับอากาศ8.00-18.00 น.

แผนภูมิที่ 4-96 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 10,20 และ 30 ซม.

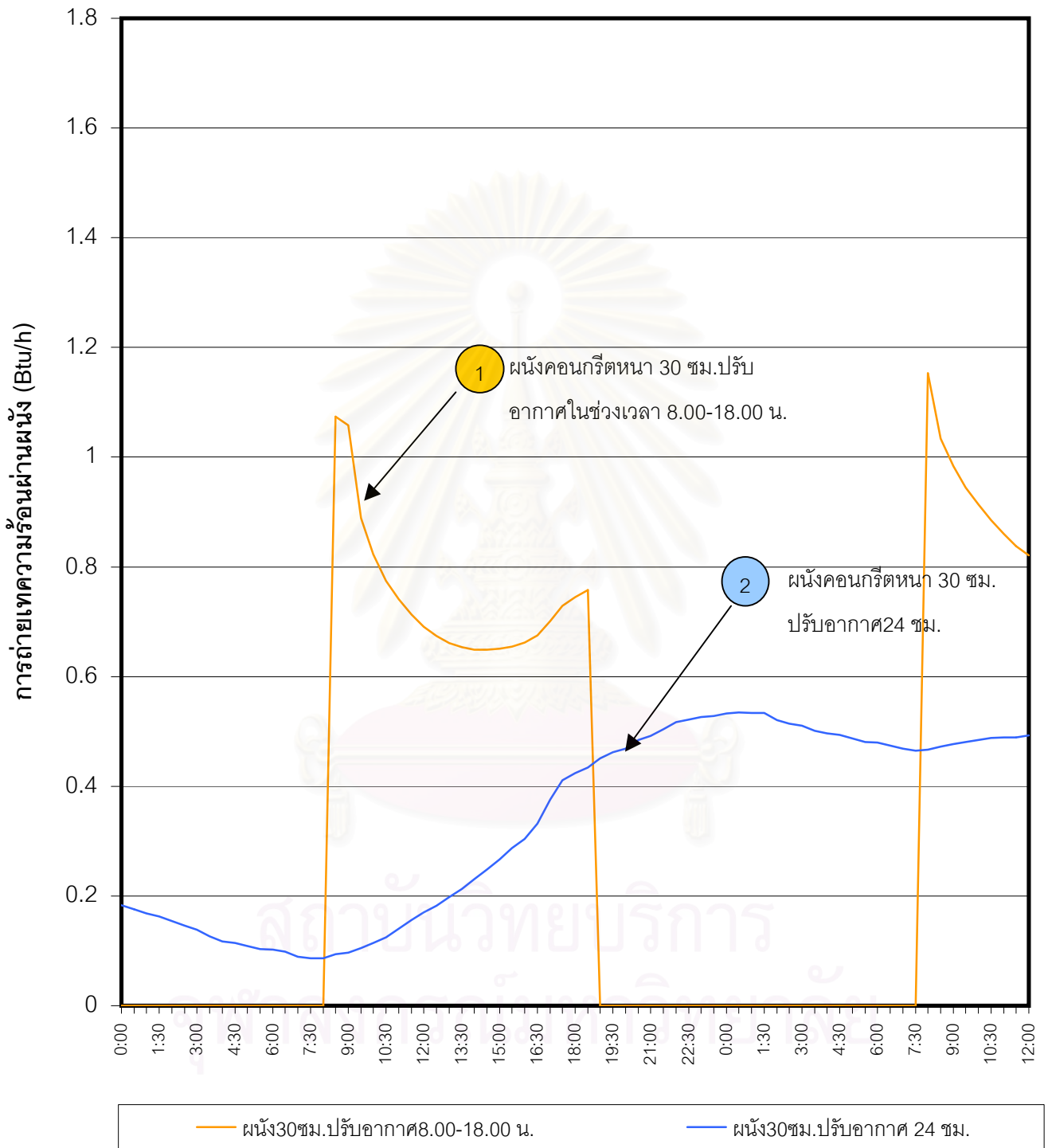
สภาวะปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น.



#### 4.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

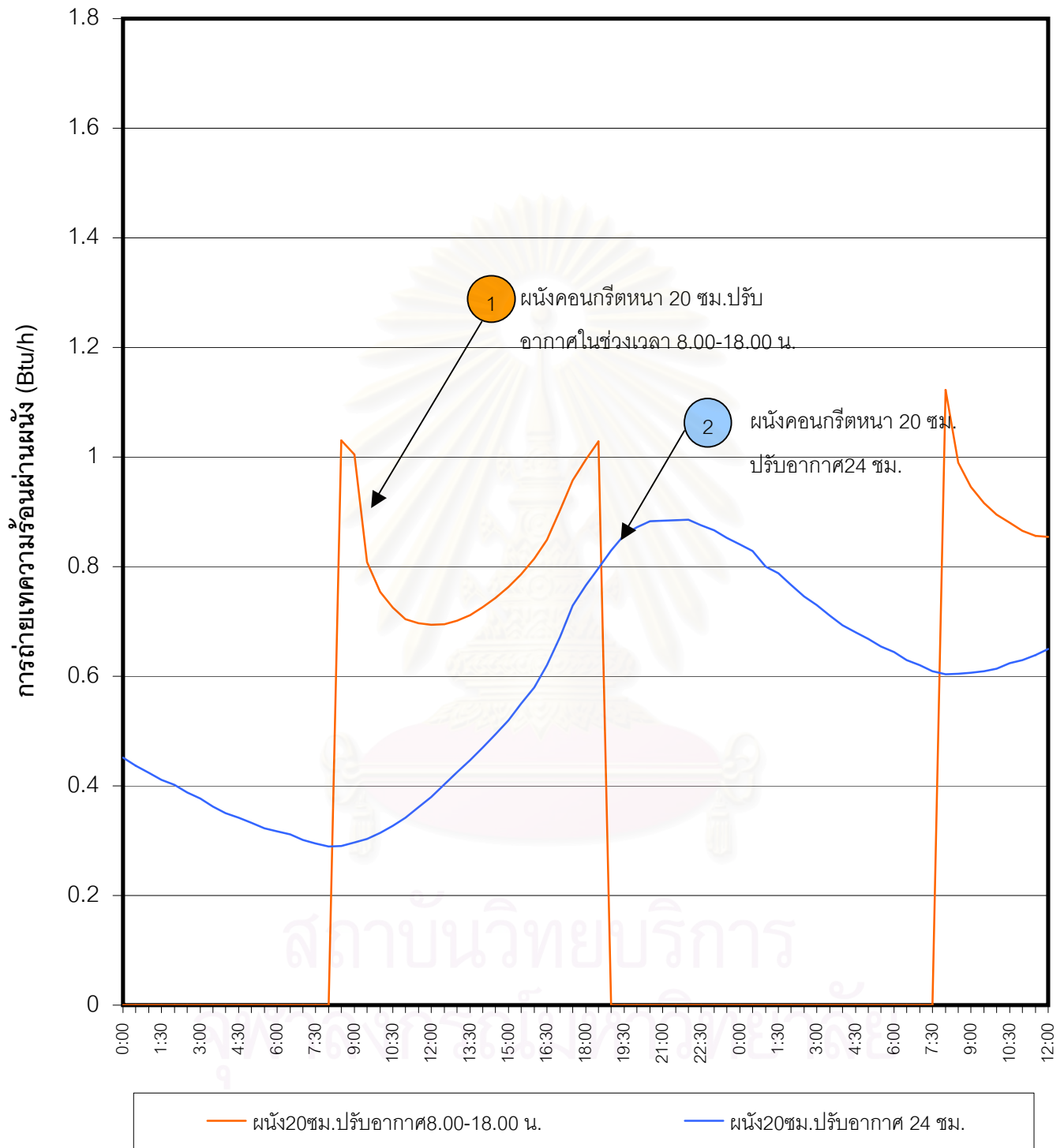
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเมื่อคิดเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงแล้วพบว่าสูงกว่าในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง นั่นคือค่าพลังงานความร้อนที่เก็บสะสมในวัสดุในช่วงเวลาที่ไม่ปรับอากาศในเวลากลางวันจะทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเฉพาะช่วงเวลาที่ปรับอากาศ 8.00-18.00 น. จากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 30.66 Btu/h คิดเป็นการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.29 Btu/h
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 25.42 Btu/h คิดเป็นการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.3 Btu/h
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 24.06 Btu/h คิดเป็นการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 0.74 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.49 Btu/h



แผนภูมิที่ 4-97 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.

ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม.และปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น.



แผนภูมิที่ 4-98 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม..และปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น.



## 5. การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 20.00-6.00 น.

ทดลองในช่วงเวลา 5-9 พฤษภาคม 2544 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 20.00-6.00 น. เทียบกับสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ในสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 20.00-6.00 น. มีดังนี้

### 5.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

การถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเริ่มการเปิดเครื่องปรับอากาศในทันที ซึ่งเป็นช่วงที่ผนังคายความร้อนออกมาสู่ภายใน สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.79 Btu/h ณ เวลา 20.00 น.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.73 Btu/h ณ เวลา 20.00 น.
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.45 Btu/h ณ เวลา 20.00 น.

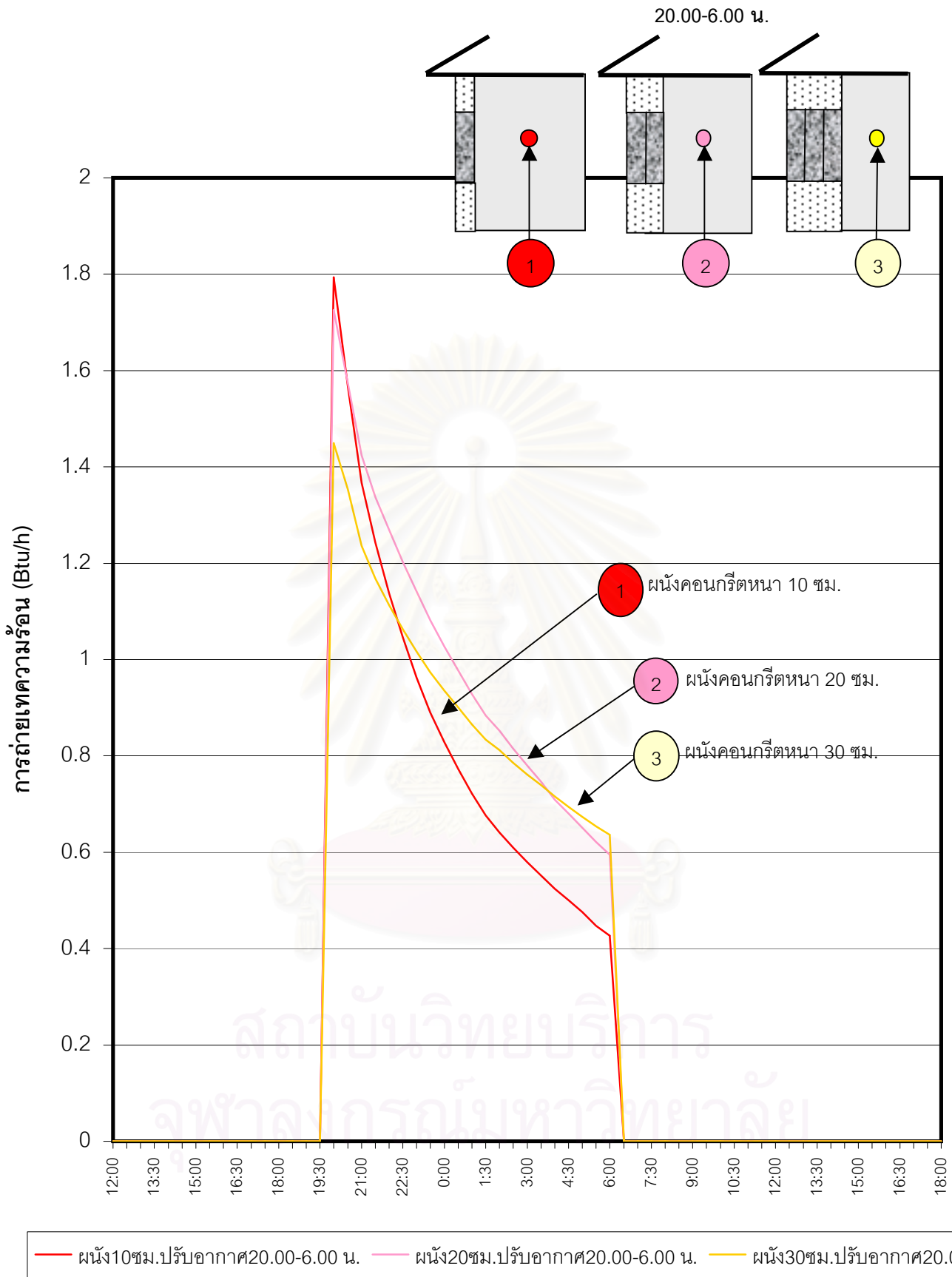
เมื่อเทียบกับสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเย็นถึงกลางคืน 17.00, 19.30 และ 21.00 น.ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 20.00-6.00 น.ประมาณ 0.23-1.01 Btu/h

### 5.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด

ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำสุดเกิดในช่วงเวลาที่ปิดเครื่องปรับอากาศ สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดจากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.64 Btu/h ณ เวลา 6.00 น.
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.59 Btu/h ณ เวลา 6.00 น.
3. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.43 Btu/h ณ เวลา 6.00 น.

เมื่อเทียบกับสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำสุดในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.จะเกิดขึ้นในช่วงเช้า 7.30-10.30 น.และจะมีค่าต่ำกว่าสภาวะปรับอากาศช่วงเวลา 20.00-6.00 น.ประมาณ 0.08-0.4 Btu/h



แผนภูมิที่ 4-100 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 10,20 และ 30 ซม.

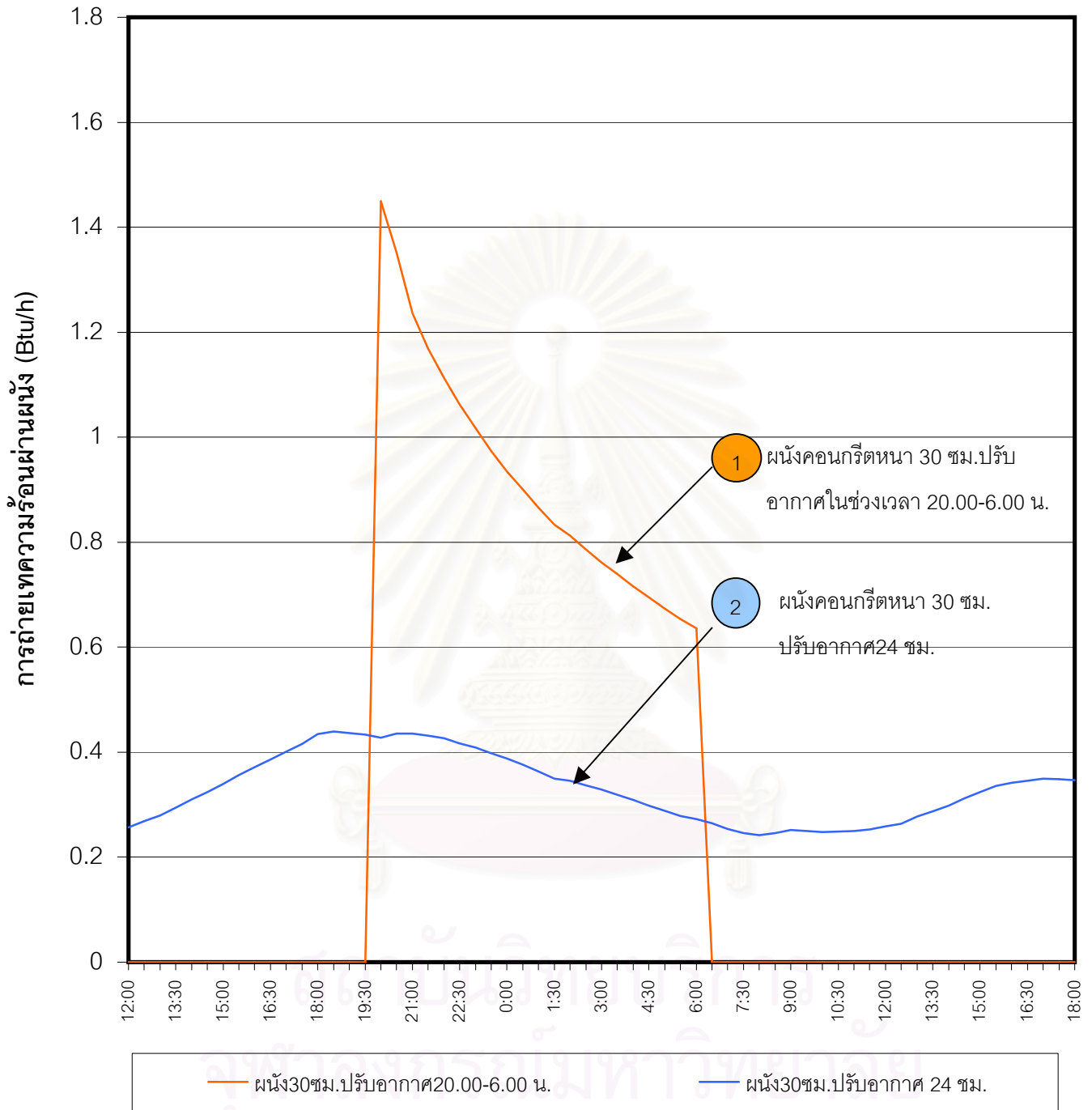
สภาวะปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.



### 5.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

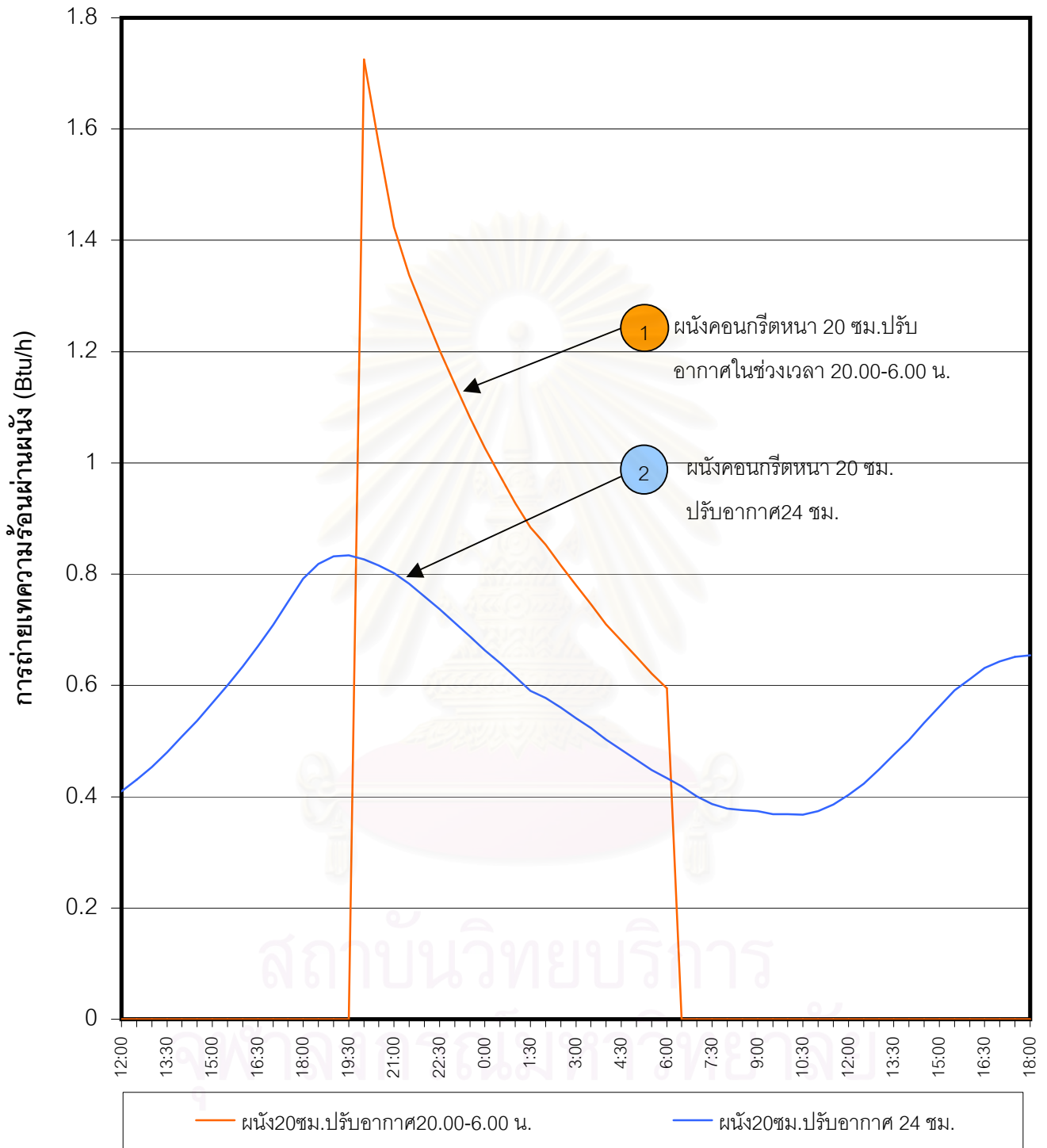
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเมื่อคิดเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงแล้วพบว่าสูงกว่าในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง นั่นคือค่าพลังงานความร้อนที่เก็บสะสมในวัสดุในช่วงเวลาที่ไม่ปรับอากาศในเวลากลางวันจะทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ สามารถเรียงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเฉพาะช่วงเวลาที่ปรับอากาศ 20.00-6.00 น. จากค่ามากไปน้อยได้ดังนี้

1. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 17.76 Btu/h คิดเป็นการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 0.85 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.065 Btu/h
2. ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 21.02 Btu/h คิดเป็นการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.43 Btu/h
3. ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 1 วันเท่ากับ 19.38 Btu/h คิดเป็นการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.59 Btu/h



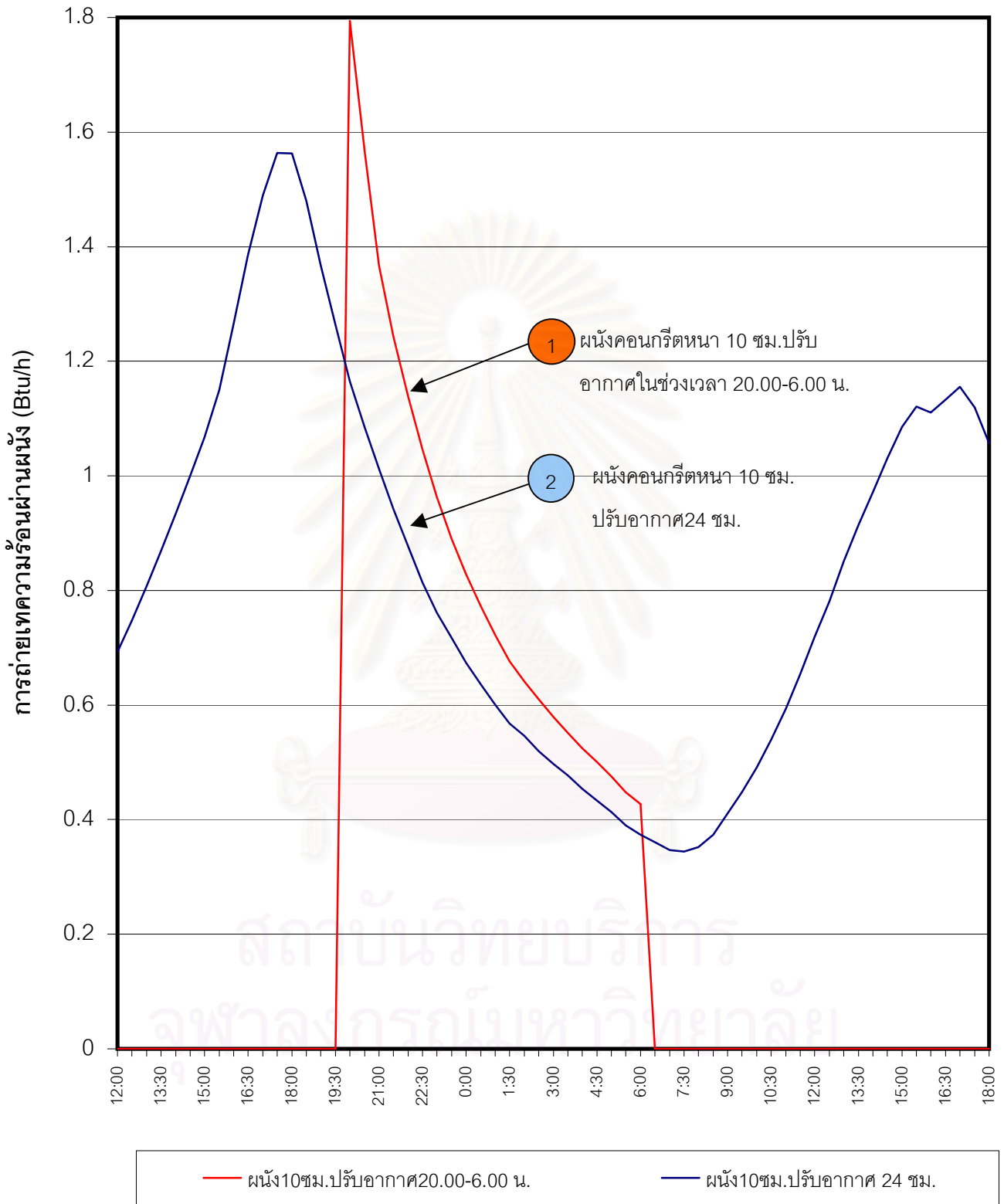
แผนภูมิที่ 4-101 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.

ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม.และปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.



แผนภูมิที่ 4-102 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 20 ซม.

ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.



แผนภูมิที่ 4-103 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.

ในสภาวะปรับอากาศ 24 ชม. และปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.

### 3.3.3 การทดสอบในสถานที่จริง

#### การทดสอบที่ 8 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิตั้งพื้นผิวนั่ง ในสถานที่จริง

การทดลองใช้พระอุโบสถวัดบัวขวัญ จังหวัดนนทบุรี เป็นสถานที่ทดสอบในลักษณะการใช้งานตามสภาพจริง ได้แก่เปิดอาคารในช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.00 น.) และปิดอาคารในช่วงเวลากลางคืน (18.00-6.00 น.) ลักษณะอาคารเป็นผนังคอนกรีตหนา 0.60 เมตร ผนังภายนอกและภายในทาสีขาว ไม่มีพาดิโอรอบ มีชายคายาวประมาณ 1.00 เมตร

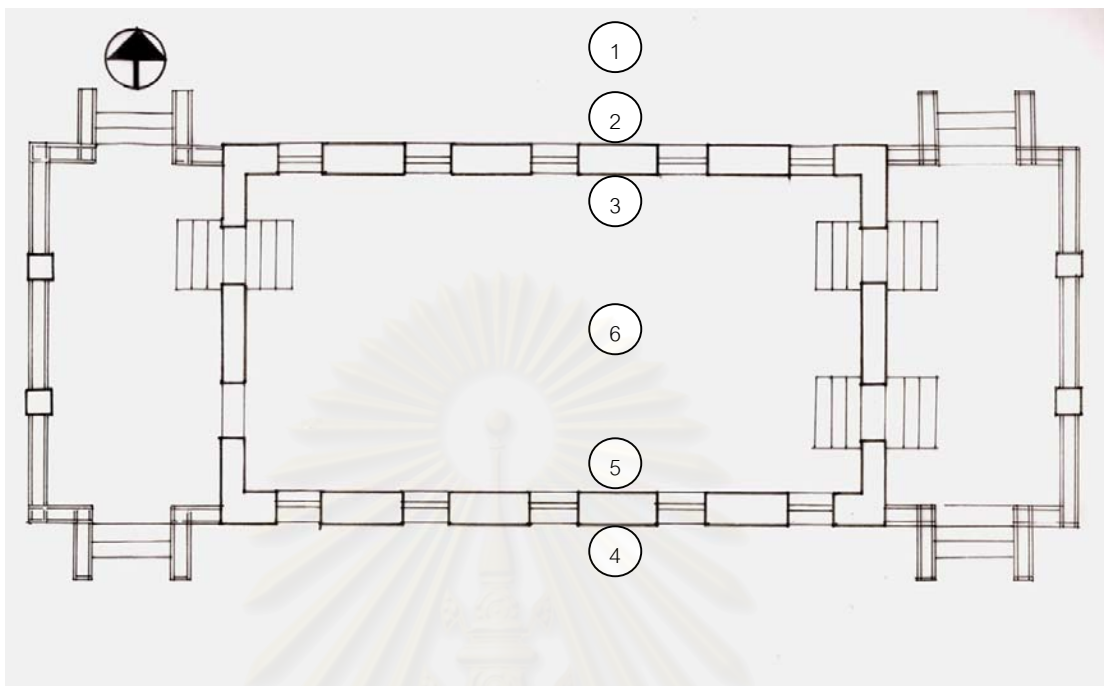


ภาพที่ 4-21 พระอุโบสถวัดบัวขวัญ



ภาพที่ 4-22 การติดตั้งหัววัดอุณหภูมิที่ผนังภายนอก

โดยทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 4-23 ตำแหน่งการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ

- (1) อุณหภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก
- (2) อุณหภูมิผิวภายนอกทิศเหนือ
- (3) อุณหภูมิผิวภายในทิศเหนือ
- (4) อุณหภูมิผิวภายนอกทิศใต้
- (5) อุณหภูมิผิวภายในทิศใต้
- (6) อุณหภูมิอากาศภายในพระอุโบสถ

#### ผลการทดลอง

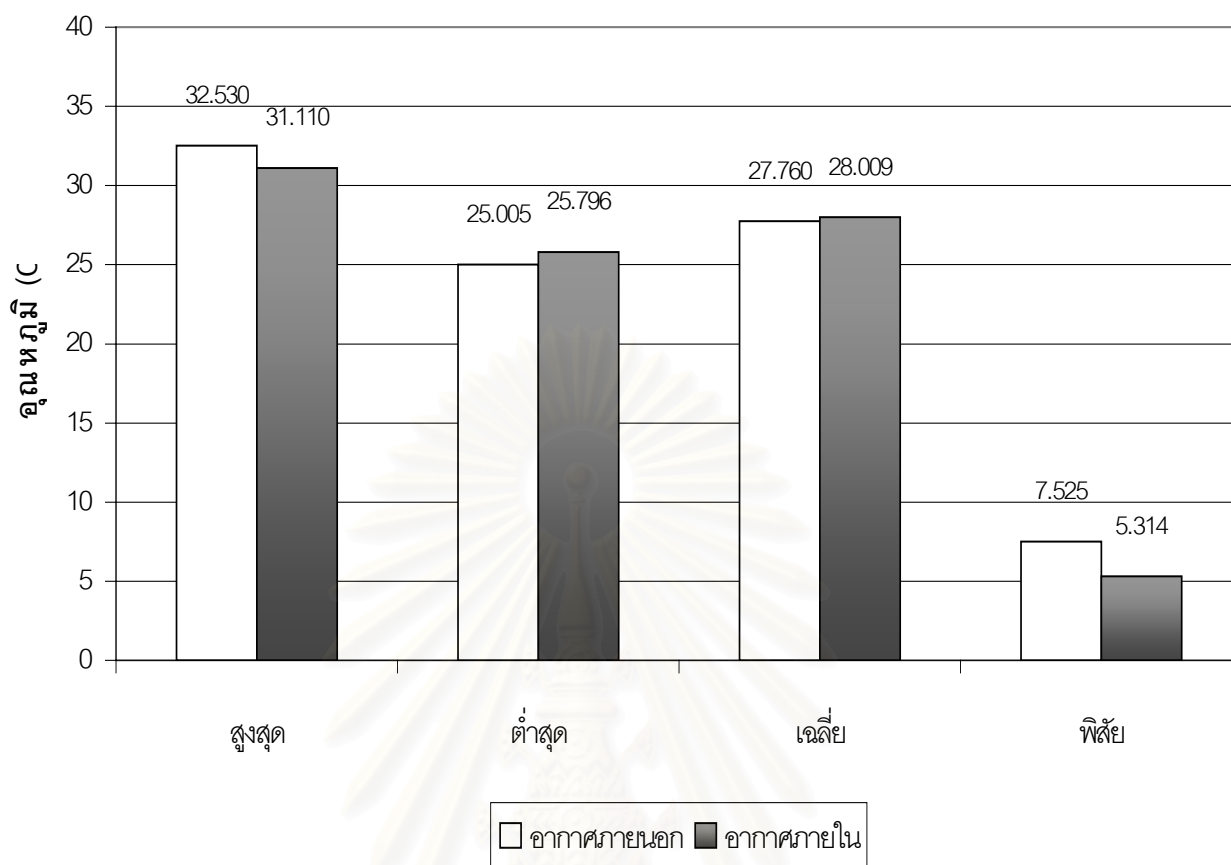
##### 1. อุณหภูมิอากาศ

ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

วันที่	อุณหภูมิอากาศภายนอก				อุณหภูมิอากาศภายในพระอุโบสถ			
	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	พิสัย	อุณหภูมิเฉลี่ย
25 มี.ค.	32.530	25.005	7.525	27.760	31.110	25.796	5.314	28.009

ตารางที่ 4-28 อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในพระอุโบสถ

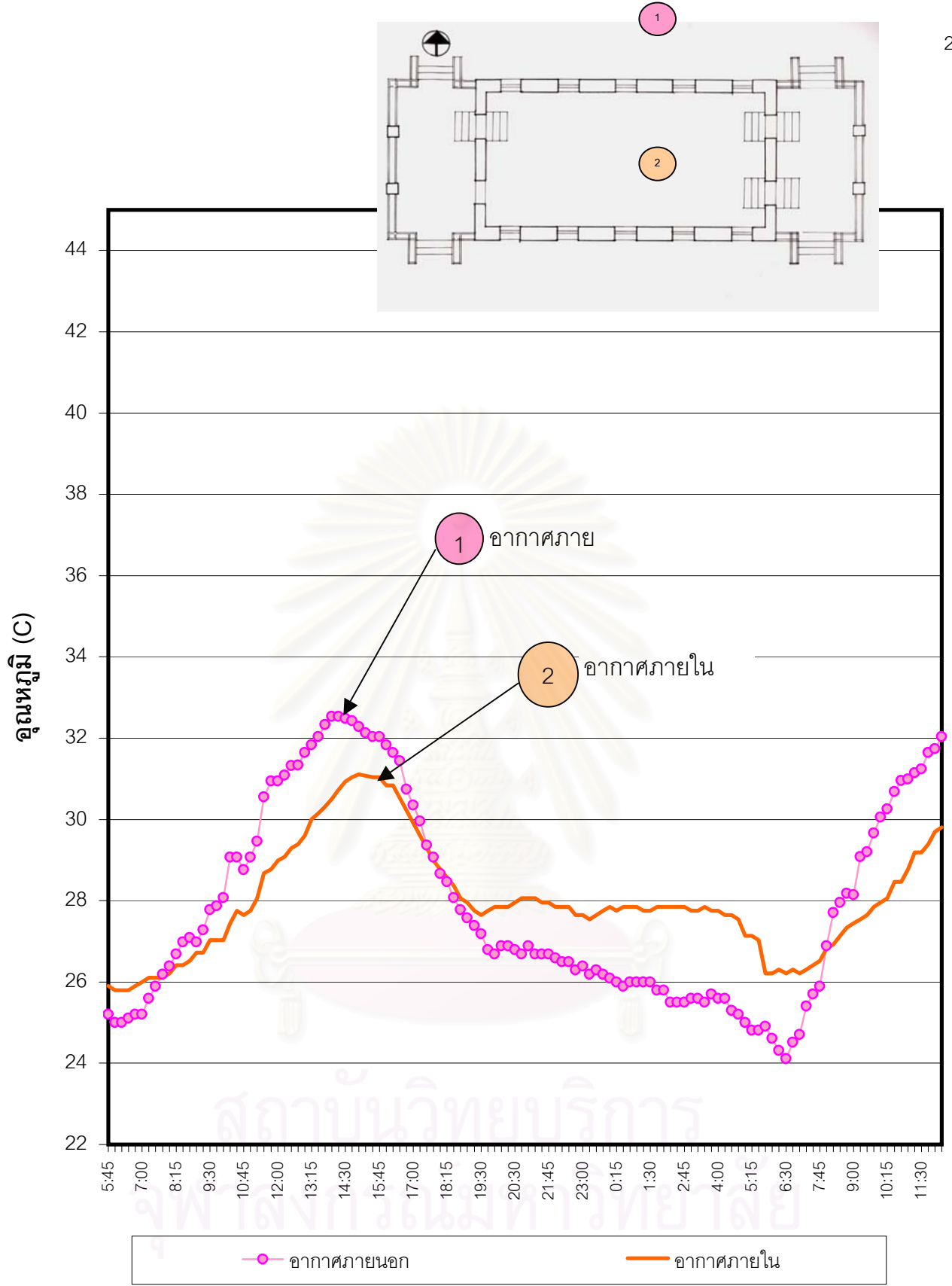




แผนภูมิที่ 4-104 แสดงอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในพระอุโบสถ

จากแผนภูมิ ผนังมวลสารมากของพระอุโบสถจะมีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิภายในมีความคงที่มากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แสดงได้จากพิสัยของอุณหภูมิภายในจะต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก โดยอุณหภูมิภายในพระอุโบสถจะมีค่าสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ แต่จะมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4-105 อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในพระอุโบสถ

## 2. ค่าความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในพระอุโบสถ

อุณหภูมิภายในพระอุโบสถในช่วงเวลากลางวันจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกแต่จะสูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน ดังนี้

อุณหภูมิอากาศภายในพระอุโบสถจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ซึ่งในช่วงเวลานี้จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพระอุโบสถเท่ากับ 28.95 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ 30.01 องศาเซลเซียส และมีความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในในช่วงเวลานี้เท่ากับ 2.04 องศาเซลเซียส ณ.เวลา 13.00 น.

อุณหภูมิอากาศภายในพระอุโบสถจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 18.00-8.00 น. เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ซึ่งในช่วงเวลานี้จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในพระอุโบสถเท่ากับ 27.266 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ 26.059 องศาเซลเซียส และมีความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิภายนอกและภายในในช่วงเวลานี้เท่ากับ 2.23 องศาเซลเซียส ณ.เวลา 3.45 น.

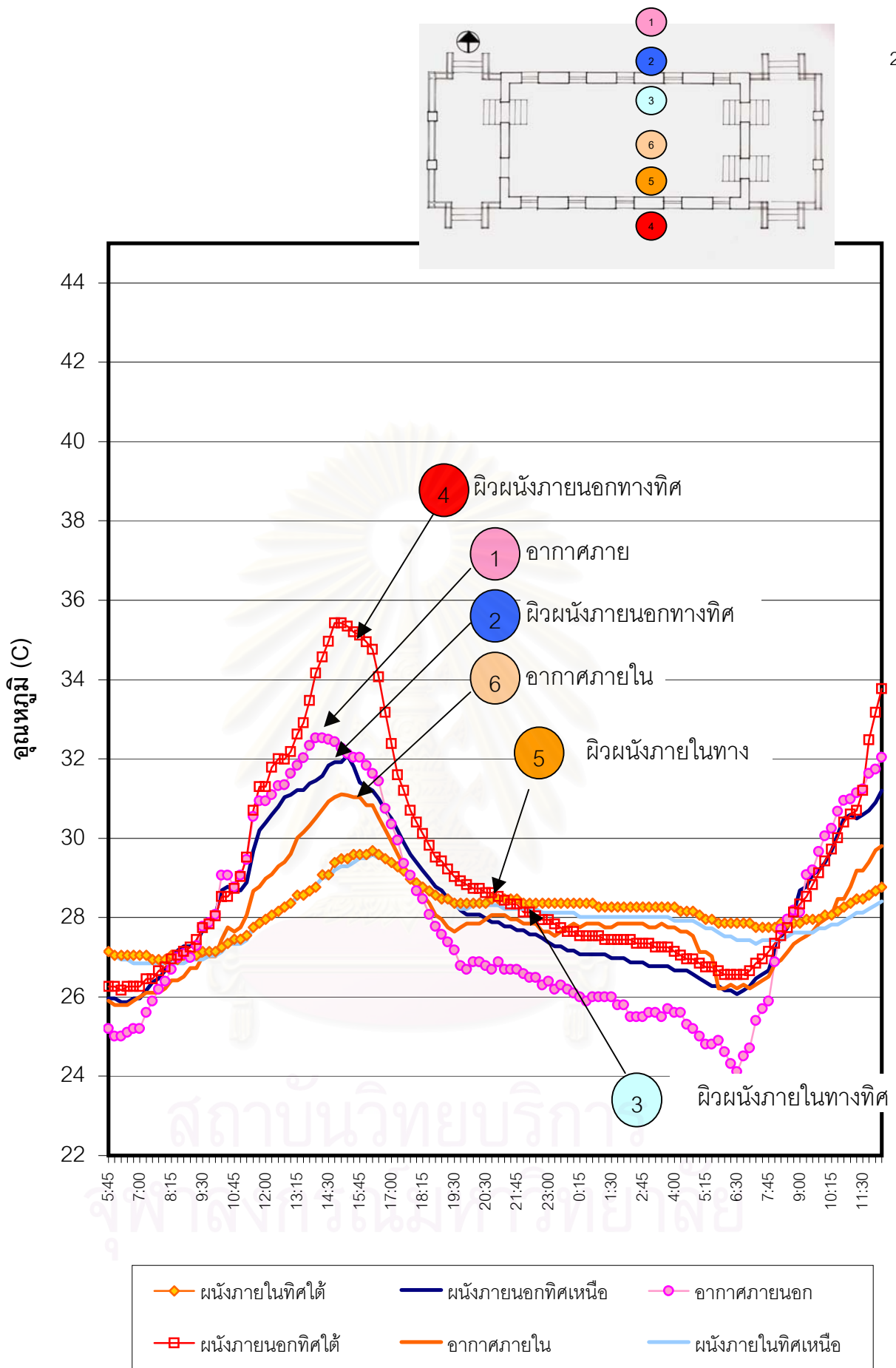
## 3. เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด

ผลการทดลองสรุปเป็นเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดดังนี้

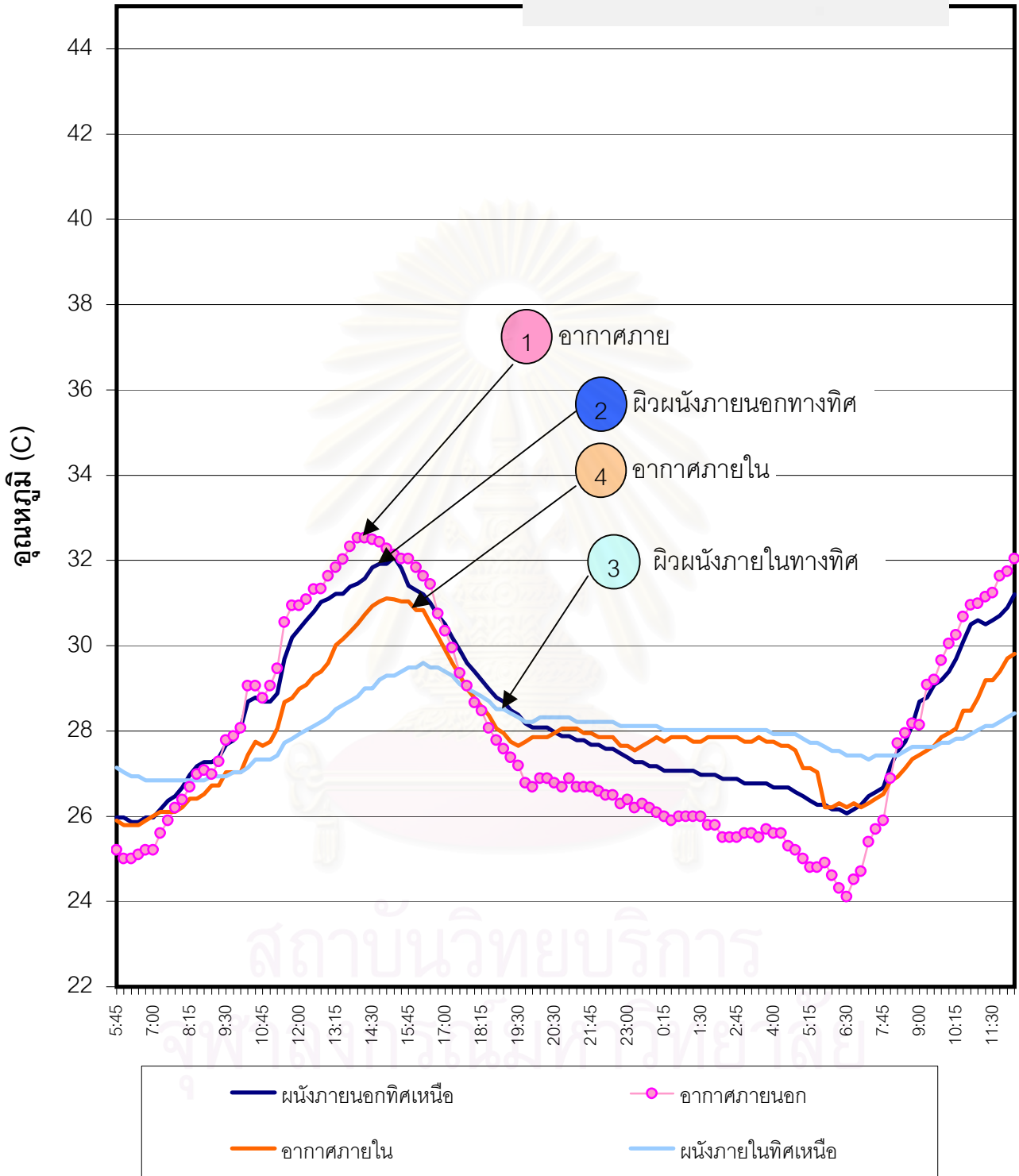
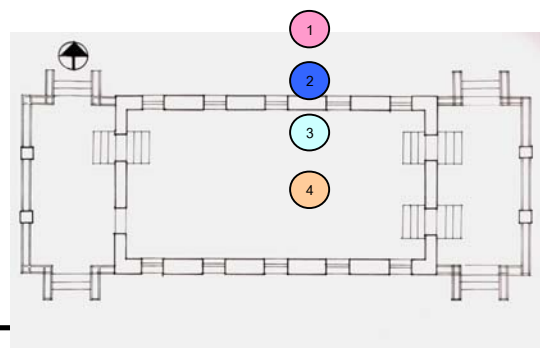
วันที่	ผนังทิศใต้ได้รับการแผ่รังสีโดยตรง			ผนังทิศเหนือไม่ได้รับการแผ่รังสีโดยตรง		
	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายนอก	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวผนังภายใน	ความแตกต่าง
25 มี.ค.	14:30	16:15	1:45	14:45	16:15	1:30

ตารางที่ 4-29 เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดขณะที่อุณหภูมิอากาศค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

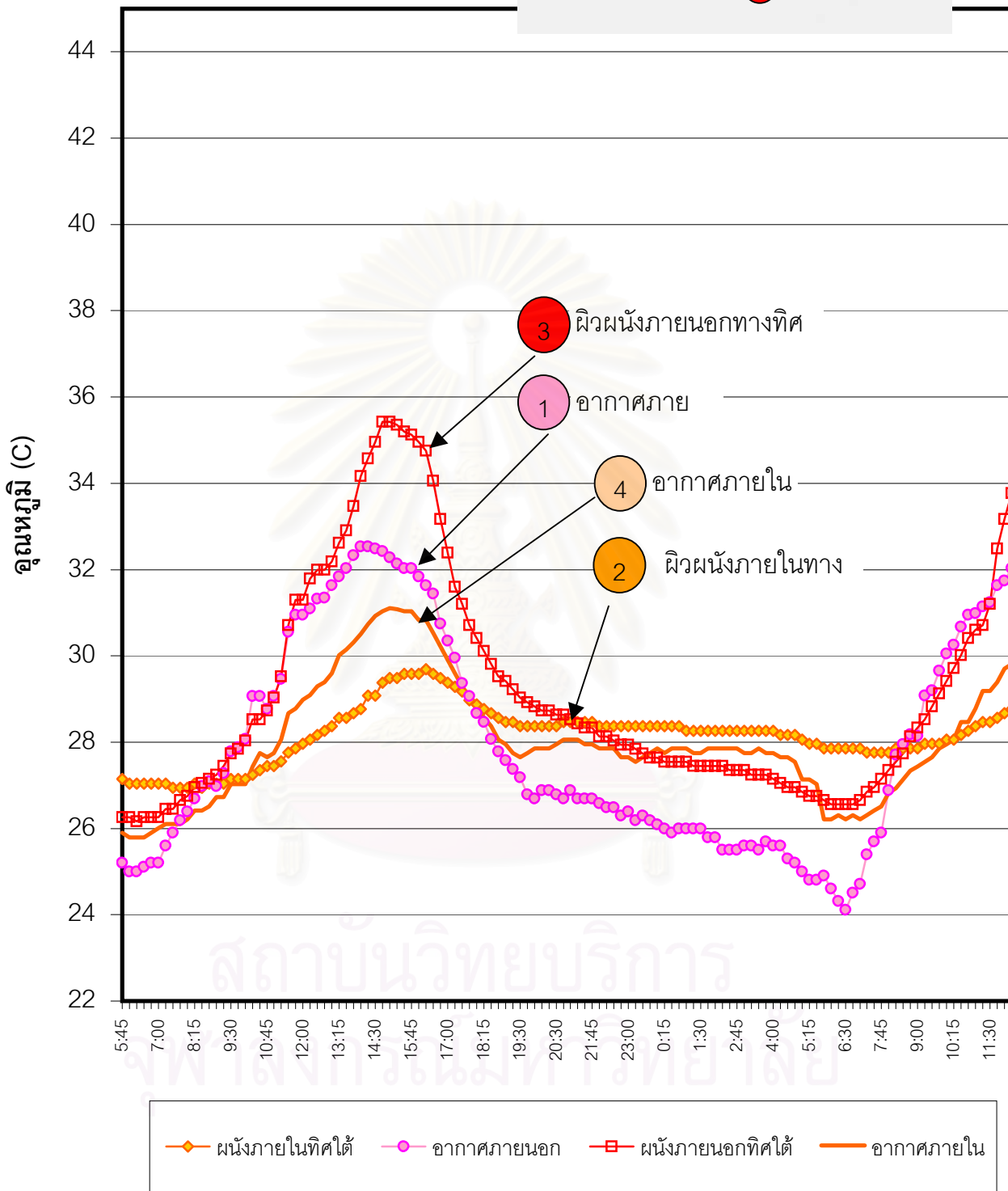
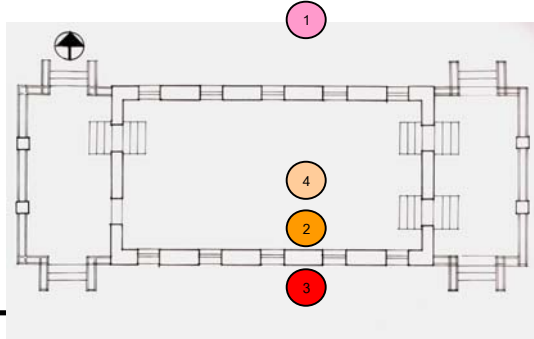
จากตารางแสดงให้เห็นว่าเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผนังด้านที่โดนแดดกับไม่โดนแดดมีค่าเกือบเท่า ๆ กัน มีเวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดของผนังทิศใต้ และทิศเหนือเท่ากับ 1.45 และ 1.30 ชั่วโมงตามลำดับ แตกต่างจากการทดสอบจากกล่องทดลอง เนื่องจากผนังพระอุโบสถมีความหนา 60 ซม. ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิผิวผนังจากการได้รับและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจึงมีอิทธิพลน้อย จึงทำให้เวลาความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมีช่วงเวลาใกล้เคียงกัน



แผนภูมิที่ 4-106 อุณหภูมิผิวภายนอก ผิวภายใน อากาศภายนอกและอากาศภายในพระ



แผนภูมิที่ 4-107 อุณหภูมิผนังทางด้านทิศเหนือของพระอุโบสถ



แผนภูมิที่ 4-108 อุณหภูมิทางด้านทิศใต้ของพระอุโบสถ



#### 4. อุณหภูมิผิวผนังภายนอกและภายใน

จากแผนภูมิพบว่าอุณหภูมิผิวผนังภายนอกของผนังทิศใต้ที่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในขณะที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกของผนังทิศเหนือที่ไม่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

1. อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของผนังทางทิศเหนือเท่ากับ 31.920 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 14.45 น. ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของผนังทางทิศใต้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 34.960 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 14.30 น.
2. อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของผนังทางทิศเหนือเท่ากับ 25.865 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 6.15 น. ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของผนังทางทิศใต้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.160 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 6.15 น.

อุณหภูมิผิวผนังภายในของผนังทิศใต้และทิศเหนือมีค่าเท่า ๆ กันและเกิดในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน เนื่องจากผนังพระอุโบสถมีความหนา 60 ซม. ปัจจัยด้านอุณหภูมิผิวผนังที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงจึงมีอิทธิพลน้อย ทำให้อุณหภูมิผิวภายในของทั้งสองด้านใกล้เคียงกัน

1. อุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดของผนังทางทิศเหนือเท่ากับ 28.608 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 16.15 น. ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดของผนังทางทิศใต้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.671 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 16.15 น.
2. อุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำสุดของผนังทางทิศเหนือเท่ากับ 26.841 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 6.45 น. ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำสุดของผนังทางทิศใต้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.942 องศาเซลเซียส ณ. เวลา 7.30 น.

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

จากการศึกษาถึงปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิพื้นผิวของผนัง และการทดสอบในสภาวะปรับอากาศ ได้ข้อสรุปดังนี้

##### 5.1.1 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

1. ผนังคอนกรีตที่มีความหนามาก จะมีความคงที่ของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิผิวภายในมากกว่าผนังคอนกรีตความหนาน้อยกว่า และอากาศภายนอกโดยมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดเฉลี่ยต่ำกว่าผนังคอนกรีตความหนาน้อย และอากาศภายนอกในช่วงเวลากลางวัน และสูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน โดยผนังคอนกรีตหนา 30 ซม., 20 ซม. และ 10 ซม. มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.23 - 2.27, 4.14 - 4.91 และ 11 - 13 องศาเซลเซียส สามารถนำไปใช้ในการช่วยลดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุดภายในได้
2. ผนังคอนกรีตที่มีความหนามากและน้อย จะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในใกล้เคียงกันโดยในการทดลองมีอุณหภูมิต่างกัน 1-2 องศาเซลเซียส แต่จะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอก
3. ผนังคอนกรีตที่มีความหนามาก จะมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าผนังคอนกรีตที่มีมวลสารน้อยกว่า โดยมีแนวโน้มที่จะมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากขึ้นถ้าผนังมีมวลสารมากขึ้น ผนังคอนกรีตหนา 30,20 และ 10 ซม.มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 4-6, 2-5 และ 1-2 ชั่วโมงตามลำดับ
4. ในช่วงเวลากลางวันผนังมวลสารน้อยจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงกว่าผนังที่มีมวลสารมาก เนื่องจากผนังมวลสารน้อยมีความมีความจุความร้อนต่ำกว่าจึงแผ่รังสีความร้อนออกมามากกว่า ทำให้ผนังมวลสารน้อยมีอุณหภูมิผิวผนังสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนผนังที่มีมวลสารมากกว่าซึ่งสะสมความร้อนมาในเวลากลางวันจะแผ่รังสีความร้อนออกมา ทำให้มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าผนังมวลสารน้อย

### 5.1.2 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง กรณีผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง พบว่ามีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสารมาก ดังนี้

1. ผนังที่มีมวลสารเท่ากันที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีความคงที่ของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิผิวภายในมากกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และมากกว่าอากาศภายนอก โดยมีอุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิภายในต่ำกว่าผนังที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และต่ำกว่าอากาศภายนอกในช่วงเวลากลางวัน และสูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน โดยผนังคอนกรีตหนา 30 ซม., 20 ซม. และ 10 ซม. ผิวภายนอกได้รับรังสีความร้อนมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.23 - 2.27, 4.14 - 4.91 และ 11 - 13 องศาเซลเซียส ผิวภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 2.6 - 3, 4.0 - 4.7 และ 8 - 10.35 องศาเซลเซียส
2. ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในสูงกว่าผนังที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าประมาณ 0.575-1.84 องศาเซลเซียส แต่จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกทั้งที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง และทั้งสองชนิดจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดทั้งวัน (อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอด 3 วันเท่ากับ 30.029 องศาเซลเซียส)

2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.00 น.) ก่อของทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 0.01-1.8 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 32.7-34.6 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าก่อกทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ซึ่งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.8-1.6 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 31.2-31.9 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันเท่ากับ 32.753 องศาเซลเซียส)

2.2 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน (18.00-6.00 น.) ก่อของทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 5.6-6.5 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 32.6-33.5 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าก่อกทดลอง

ผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ซึ่งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 3.7-4.9 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 30.7-31.9 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนเท่ากับ 27.014 องศาเซลเซียส)

3. ผนังคอนกรีตที่มีมวลสารเท่ากันที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงในการทดลองนี้จะมีช่วงเวลามากกว่าประมาณ 1 ชั่วโมง และในชนิดเดียวกันผนังที่มีมวลสารมากจะมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า
4. ผนังคอนกรีตมวลสารเท่ากันที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยในชนิดเดียวกันผนังมวลสารมากจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าผนังมวลสารน้อยในช่วงเวลากลางวัน และสูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน ดังนี้

#### 4.1 อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด และต่ำสุด

4.1.1 ผนังคอนกรีตที่ผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาเดียวกันยกเว้นผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองนี้มีความแตกต่างกันประมาณ 1.9-4.8 องศาเซลเซียส ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงสุดต่ำที่สุดได้แก่ 32.703 องศาเซลเซียส และผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.ที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงสุดสูงที่สุดได้แก่ 40.625 องศาเซลเซียส

4.1.2 ผนังคอนกรีตที่ผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาเดียวกัน ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง ในการทดลองนี้มีความแตกต่างกันประมาณ 0.7-1.9 องศาเซลเซียส ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับ

รังสีความร้อนโดยตรง จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำสุดต่ำที่สุดได้แก่ 27.640 องศาเซลเซียส และผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงสุดสูงที่สุดได้แก่ 31.447 องศาเซลเซียส

#### 4.2 ช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

4.2.1 ผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะมีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดในช่วงเวลาที่บ่ายถึงเย็น ในการทดลองผนังที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและผนังที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง จะเกิดช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิอากาศภายในตั้งแต่ 16.45-20.45 น.

4.2.2 ช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเช้า ในการทดลองจะมีช่วงเวลาตั้งแต่ 9.45-11.45 น.

5. ผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงกว่าผนังที่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง โดยในการทดลองผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีช่วงเวลา 4-6 ชั่วโมง ในขณะที่ผนังที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงมีช่วงเวลา 6-8 ชั่วโมง และจะเกิดในเวลาระหว่าง 9.45 หรือ 10.45 ไปจนถึงเวลา 13.45, 15.45, 16.45 หรือ 17.45 น. โดยผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.ที่ไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีช่วงเวลามากที่สุดคือ 8 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิอากาศภายในประมาณ 31.252 องศาเซลเซียส และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 6.524 องศาเซลเซียส

6. ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรง แต่จะมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่า ๆ กัน โดยในชนิดเดียวกันผนังที่มีมวลสารมากกว่าจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำกว่าผนังมวลสารน้อยในเวลากลางวันและสูงกว่าในเวลากลางคืนดังนี้

6.1 ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงในการทดลองนี้มีความแตกต่างกันประมาณ 7-8 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดเท่า ๆ กันได้แก่เวลา 14.45-15.45 น.

6.2 ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกได้รับรังสีความร้อนโดยตรงและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุดเท่า ๆ กัน ห่างกันไม่เกิน 1.5 องศา



เซลเซียส โดยมีช่วงเวลากการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกต่ำสุดเท่า ๆ กันได้แก่เวลา 6.45-7.45 น.

### 5.1.3 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวของผนัง กรณีผิวผนังภายนอกทาสีขาว และสีดำ พบว่ามีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังมวลสารมาก ดังนี้

1. ผนังที่มีมวลสารเท่ากันที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีความคงที่ของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิผิวภายในมากกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำ และมากกว่าอากาศภายนอก โดยมีอุณหภูมิผิวภายในและอุณหภูมิภายในต่ำกว่าผนังที่ทาสีดำ และต่ำกว่าอากาศภายนอกในช่วงเวลากลางวัน และสูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน โดยผนังคอนกรีตหนา 30 ซม., 20 ซม. และ 10 ซม. ผิวภายนอกทาสีดำมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 3.45-4.41, 7.37-9.09 และ 13.86-14.52 องศาเซลเซียส ผิวภายนอกทาสีขาวมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 2.996, 4.768 และ 9.708 องศาเซลเซียส
2. ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในมากกว่าผนังที่ทาสีขาว โดยในการทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.5 องศาเซลเซียสขึ้นไป อุณหภูมิภายในเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองที่ทาสีดำในการทดลองจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของกล่องทดลองที่ทาสีขาวประมาณ 3-4 องศาเซลเซียส แต่จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกมากทั้งที่ทาสีดำและทาสีขาว (อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอด 3 วันเท่ากับ 30.029 องศาเซลเซียส)

2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวัน (6.00-18.00 น.) กล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 1-3.5 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 33-36.5 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีขาว ซึ่งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 0.5-2.7 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 30-32.4 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันเท่ากับ 32.991 องศาเซลเซียส)

2.2 อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน (18.00-6.00 น.) กล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 7-8.3 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 34-35.3 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่ากล่องทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายใน



นอกทาสีขาว ซึ่งจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 4.5-5.6 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 31.5-32.6 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนเท่ากับ 27.033 องศาเซลเซียส)

3. ผนังคอนกรีตที่มีมวลสารเท่ากันที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาว จะมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำในการทดลองนี้จะมีช่วงเวลามากกว่าประมาณ 0.5-1 ชั่วโมง และในชนิดเดียวกันผนังที่มีมวลสารมากจะมีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า
4. ผนังคอนกรีตมวลสารเท่ากันที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำ จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ทาสีขาว โดยในชนิดเดียวกันผนังมวลสารมากจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าผนังมวลสารน้อยในช่วงเวลากลางวัน และสูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน ดังนี้

#### 4.1 อุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด และต่ำสุด

4.1.1 ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำและทาสีขาวจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงต่ำสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาเดียวกันยกเว้นผนังคอนกรีตหนา 10 และ 20 ซม. ที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาวในการทดลองนี้มีความแตกต่างกันประมาณ 0.2-3.7 องศาเซลเซียส ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาว จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงสุดต่ำที่สุดได้แก่ 32.170 องศาเซลเซียส และผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำ จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงสุดสูงที่สุดได้แก่ 43.249 องศาเซลเซียส

4.1.2 ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำและทาสีขาวจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาเดียวกัน ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ในการทดลองนี้มีความแตกต่างกันประมาณ 4-7.6 องศาเซลเซียส ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. ที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาว จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่ำสุดต่ำที่สุดได้แก่ 27.28 องศาเซลเซียส และผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. ที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำ จะมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงสุดสูงที่สุดได้แก่ 32.734 องศาเซลเซียส

#### 4.2 ช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิกากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด

4.2.1 ผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีดำและทาสีขาว จะมีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิกากาศภายในสูงสุดในช่วงเวลาที่บ่ายถึงเย็น ในการทดลองโดยผนังที่ทาสีดำจะเกิดช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิกากาศภายในสูงสุดเท่ากับ 16.15-21.15 น. ผนังที่ทาสีขาวจะเกิดในช่วง 17.15-21.15 น.

4.2.2 ช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิกากาศภายในต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเช้า ในการทดลองผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีช่วงเวลาดังตั้ง 8.15-11.15 น. และผนังภายนอกทาสีขาวจะมีช่วงเวลาดังตั้ง 8.45-11.45 น.

5. ผนังคอนกรีตผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีช่วงเวลาที่อุณหภูมิกากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิกากาศภายนอกสูงกว่าผนังที่ทาสีดำ โดยในการทดลองผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีช่วงเวลา 4-6.5 ชั่วโมง ในขณะที่ผนังที่ทาสีขาวมีช่วงเวลา 8-8.5 ชั่วโมง และจะเกิดในเวลาตั้งแต่ 8.15 - 10.15 ไปจนถึงเวลา 12.45, 14.45, 16.15, 16.45 หรือ 17.45 น. โดยผนังคอนกรีตหนา 20 และ 30 ซม. ที่ทาสีขาวจะมีช่วงเวลามากที่สุดคือ 8.5 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิกากาศภายในประมาณ 30.26 และ 30.15 องศาเซลเซียสตามลำดับ และมีค่าความแตกต่างมากที่สุด 8.02 และ 8.22 องศาเซลเซียสตามลำดับ

6. ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิกากาศภายนอกสูงสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาว แต่จะมีอุณหภูมิต่ำสุดเท่า ๆ กัน โดยในชนิดเดียวกันผนังที่มีมวลสารมากกว่าจะมีอุณหภูมิกากาศภายนอกต่ำกว่าผนังมวลสารน้อยในเวลากลางวันและสูงกว่าในเวลากลางคืนดังนี้

6.1 ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีดำจะมีอุณหภูมิกากาศภายนอกสูงสุดสูงกว่าผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาว ในการทดลองนี้มีความแตกต่างกันประมาณ 3-10 องศาเซลเซียส มีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิกากาศภายนอกสูงสุดเท่า ๆ กันได้แก่เวลา 14.45-15.45 น.

6.2 ผนังคอนกรีตที่ผิวผนังภายนอกทาสีขาวจะมีอุณหภูมิกากาศภายนอกต่ำสุดต่ำกว่าผนังภายนอกทาสีดำ โดยมีช่วงความแตกต่างกัน 1.5-3 องศาเซลเซียส และมีช่วงเวลาการเกิดอุณหภูมิกากาศภายนอกต่ำสุดเท่า ๆ กันได้แก่เวลา 6.45-7.15 น.

#### 5.1.4 การทดสอบปัจจัยการกักเก็บความร้อนของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในสภาวะปรับอากาศ มีผลการทดลองดังนี้

##### 1. ในสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชม.

1.1 ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม. มีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงสุดได้แก่ 4 ชั่วโมง โดยสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดได้ 10.6 องศาเซลเซียส ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 3 ชั่วโมง โดยสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดได้ 9.036 องศาเซลเซียส และผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 1.5 ชั่วโมง โดยสามารถลดอุณหภูมิสูงสุดได้ 5.66 องศาเซลเซียส

##### 1.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง

1.2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.226 Btu/h ณ เวลา 17.30 น. สูงกว่าผนังหนา 20 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.725 Btu/h ณ เวลา 19.30 น. และสูงกว่าผนังหนา 30 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.476 Btu/h ณ เวลา 20.30 น.

1.2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.063 Btu/h ณ เวลา 7.30 น. ต่ำกว่าผนังหนา 20 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.126 Btu/h ณ เวลา 9.30 น. และต่ำกว่าผนังหนา 30 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.192 Btu/h ณ เวลา 11.00 น.

1.2.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันของพื้นที่ผนัง  $0.60 \times 0.60$  ตารางเมตร ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันสูงสุดเท่ากับ 25.49 Btu/h ต่อวัน สูงกว่าผนังหนา 20 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันเท่ากับ 17.46 Btu/h ต่อวัน และสูงกว่าผนังหนา 30 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันเท่ากับ 14.76 Btu/h ต่อวัน

##### 2. ในสภาวะปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังดังนี้

2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลาจะปิดเครื่องปรับอากาศ 18.00 น. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.523 Btu/h สูงกว่าผนังหนา 20 ซม. ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อน

ร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.995 Btu/h และสูงกว่าผนังหนา 30 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.74 Btu/h

2.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.75 Btu/h ณ เวลา 10.30 น. ต่ำกว่าผนังหนา 20 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.69 Btu/h ณ เวลา 12.00 น. และต่ำกว่าผนังหนา 30 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.65 Btu/h ณ เวลา 14.00 น.

2.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันของพื้นที่ผนัง  $0.60 \times 0.60$  ตารางเมตร ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันสูงสุดเท่ากับ 30.66 Btu/h ต่อวันสูงกว่าผนังหนา 20 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันเท่ากับ 25.42 Btu/h ต่อวัน และสูงกว่าผนังหนา 30 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันเท่ากับ 24.06 Btu/h ต่อวัน

2.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงผนังคอนกรีตที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น.จะมีค่าสูงกว่าการปรับอากาศตลอด 24 ชม. นั่นคือค่าพลังงานความร้อนที่เก็บสะสมในวัสดุในช่วงเวลาที่ไม่ปรับอากาศในเวลากลางคืนจะทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. จะมีการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.29 Btu/h ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าเท่ากับ 0.81 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.3 Btu/h ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.มีค่าเท่ากับ 0.74 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.49 Btu/h

3. ในสภาวะปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังดังนี้

3.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นเวลาเปิดเครื่องปรับอากาศ 20.00 น. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม.มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.79 Btu/h สูงกว่าผนังหนา 20 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.73 Btu/h และสูงกว่าผนังหนา 30 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.45 Btu/h

3.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด เกิดขึ้นเวลาจะปิดเครื่องปรับอากาศ 6.00 น. ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.43 Btu/h ต่ำกว่าผนังหนา 20 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่

สุดเท่ากับ 0.59 Btu/h และต่ำกว่าผนังหนา 30 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.43 Btu/h

3.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันของพื้นที่ผนัง  $0.60 \times 0.60$  ตารางเมตร ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันสูงที่สุดเท่ากับ 21.02 Btu/h ต่อวันสูงกว่าผนังหนา 30 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันเท่ากับ 19.38 Btu/h ต่อวัน และสูงกว่าผนังหนา 10 ซม.ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนตลอดวันเท่ากับ 17.76 Btu/h ต่อวัน

3.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงผนังคอนกรีตที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลา 20.00-6.00 น.จะมีค่าสูงกว่าการปรับอากาศตลอด 24 ชม. นั่นคือค่าพลังงานความร้อนที่เก็บสะสมในวัสดุในช่วงเวลาที่ไม่ปรับอากาศในเวลากลางวันจะทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ ผนังคอนกรีตหนา 10 ซม. จะมีการถ่ายเทความร้อนต่อชั่วโมงเฉลี่ยเท่ากับ 0.85 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.065 Btu/h ผนังคอนกรีตหนา 20 ซม. มีค่าเท่ากับ 1 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.43 Btu/h ผนังคอนกรีตหนา 30 ซม.มีค่าเท่ากับ 0.92 Btu/h สูงกว่าสภาวะปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมงเท่ากับ 0.59 Btu/h

### 5.1.5 การทดสอบปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวผนัง ในสถานที่จริง

1. อุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกพระอุโบสถ
  - 1.1 อุณหภูมิภายในพระอุโบสถจะมีความคงที่มากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยอุณหภูมิภายในพระอุโบสถจะมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดเท่ากับ 1.42 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดเท่ากับ 0.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในพระอุโบสถมีพิสัยเท่ากับ 5.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศมีพิสัยเท่ากับ 7.5 องศาเซลเซียส
  - 1.2 อุณหภูมิภายในพระอุโบสถจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเท่ากับ 0.25 องศาเซลเซียส
  - 1.3 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในพระอุโบสถ อุณหภูมิอากาศภายในพระอุโบสถจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. เป็นเวลา 10 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในพระอุโบสถจะต่ำกว่าอากาศภายนอก 1.06 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศภายในพระอุโบสถจะสูงกว่าอุณหภูมิต่ำสุด



- อากาศภายนอกในช่วงเวลา 18.00-8.00 น. เป็นเวลา 14 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในพระอุโบสถจะสูงกว่าอากาศภายนอก 1.207 องศาเซลเซียส
2. ยิ่งผนังมีความหนา มากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิผิวผนังจากการได้รับและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอิทธิพลน้อย ทำให้ช่วงเวลาค่าความแตกต่างของการเกิดอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน ผนังพระอุโบสถนี้มีความหนา 60 ซม. ผนังทางทิศใต้จึงมีช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับผนังทางทิศเหนือคือ 1.45 และ 1.30 ชั่วโมงตามลำดับ
  3. อุณหภูมิผิวผนังภายนอกของผนังทิศใต้ที่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในขณะที่อุณหภูมิผิวผนังภายนอกของผนังทิศเหนือที่ไม่ได้รับการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ และมีช่วงเวลาก่อเกิดอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดเท่า ๆ กัน อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงสุดของผนังทางทิศใต้จะสูงกว่าผนังทางทิศเหนือเท่ากับ 3.04 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวผนังภายนอกต่ำสุดของผนังทางทิศใต้จะสูงกว่าผนังทางทิศเหนือเท่ากับ 0.3 องศาเซลเซียส
  4. ยิ่งผนังมีความหนา มากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิผิวผนังจากการได้รับและไม่ได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอิทธิพลน้อย อุณหภูมิผิวภายในจึงมีค่าเท่า ๆ กัน ผนังพระอุโบสถนี้มีความหนา 60 ซม. อุณหภูมิผิวผนังภายในของผนังทิศใต้และทิศเหนือจึงมีค่าเท่า ๆ กันและเกิดในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน อุณหภูมิผิวผนังภายในสูงสุดของผนังทางทิศใต้จะมีค่าเท่า ๆ กับผนังทางทิศเหนือคือ 28.671 และ 28.608 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิผิวผนังภายในต่ำสุดของผนังทางทิศใต้จะมีค่าเท่า ๆ กับผนังทางทิศเหนือเท่ากับ 26.942 และ 26.841 องศาเซลเซียสตามลำดับ

## 5.2 การนำไปประยุกต์ใช้

### 5.2.1 อาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ

อาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ คือ อาคารที่ใช้เฉพาะการระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ การเปลี่ยนแปลงภายในอาคารจะสัมพันธ์กับสภาวะอากาศภายนอกมาก

#### 1. อาคารที่มีการใช้งานเฉพาะเวลากลางวันหรือในช่วงเวลา 6.00-18.00 น.

จากการทดลองในวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 และ 13-17 เมษายน 2544 ในสภาวะไม่ปรับอากาศและปิดกล่องทดลองตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 13.00-14.30 น. ดังนั้นในการใช้งานในช่วง



เวลากลางวันจึงควรใช้ผืนนั่งคอนกรีตหนา 20 หรือ 30 ซม. ผิวผืนนั่งภายนอกไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์หรือมีผิวสีอ่อนที่มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดในช่วง 11.45 น. และ 11.15-11.45 น. ตามลำดับ และมีชั่วโมงที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากที่สุดเท่ากับ 7-8 และ 8.5 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งเกิดขึ้นในเวลากลางวันเท่านั้น ในชั่วโมงดังกล่าวนี้ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดนั้น จะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในกับอุณหภูมิอากาศสูงสุดมากที่สุด โดยผืนนั่งคอนกรีตหนา 20 หรือ 30 ซม. ผิวผืนนั่งภายนอกไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์หรือมีผิวสีอ่อนจะมีค่าความแตกต่างมากที่สุดเท่ากับ 5.761-6.524 และ 8.02-8.22 องศาเซลเซียสตามลำดับ มีอุณหภูมิเฉลี่ยในเวลากลางวันเท่ากับ 31.202-31.946 และ 30.282-30.729 องศาเซลเซียส ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิสูงสุดในอาคารของวันได้ ถึงแม้จะมีผิวภายในต่ำสุดนั้นจะอยู่ในช่วงที่ไม่สามารถทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายได้ แต่ก็สามารถใช้ความเร็วลมภายในช่วยได้ เช่น การใช้พัดลม เป็นต้น

ในกรณีที่ผืนนั่งมวลสารมากมีความหนามากกว่า 30 ซม. ดังเช่นในการทดลอง ณ สถานที่จริง พระอุโบสถมีผืนนั่งหนา 60 ซม. นั้น พบว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิผิวผืนนั่งมีผลน้อยมาก ดังนั้นถ้าใช้ผืนนั่งมวลสารมากที่มีความหนามากกว่า 30 ซม. แล้วผิวผืนนั่งภายนอกสามารถได้รับรังสีความร้อนหรือทาสีได้ก็ได้

## 2. อาคารที่มีการใช้งานเฉพาะเวลากลางคืนหรือในช่วงเวลา 18.00-6.00 น.

จากการทดลองในวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 และ 13-17 เมษายน 2544 ในสภาวะไม่ปรับอากาศและปิดกล่องทดลองตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าในการใช้งานในช่วงเวลากลางคืน เช่น บ้านพักอาศัย ผืนนั่งมวลสารมากทุกความหนาที่ทำการทดลองจะมีช่วงการเกิดอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดในช่วงเวลา 16.45 - 21.15 น. และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนเท่ากับ 30.72-35.3 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในขณะนั้นตั้งแต่ 3.7-8.2 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่อยู่ในสภาวะน่าสบาย ผืนนั่งมวลสารมากจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในอาคารที่มีการใช้งานเฉพาะเวลากลางคืน

## 3. อาคารที่มีการใช้งานตลอดวัน

จากการทดลองในวันที่ 6-8 มีนาคม 2544 และ 13-17 เมษายน 2544 ในสภาวะไม่ปรับอากาศและปิดกล่องทดลองตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าผืนนั่งมวลสารมากไม่เหมาะสมกับการใช้งานตลอดทั้งวันถึงแม้จะใช้ผืนนั่งมวลสารมากที่มีความหนาที่สุดผิวผืนนั่งภายนอกไม่ได้รับรังสีความร้อนหรือสีขาวยุติในเวลากลางวันแต่ในช่วงเวลากลางคืนจะมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลา 19.45-21.15 น. เท่ากับ 32.1-34.4 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ย

ในช่วงเวลากลางคืนเท่ากับ 30.9-32.6 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่อยู่ในสภาวะน่าสบาย *ผนังมวลสารมากจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในอาคารที่มีการใช้งานตลอดทั้งวัน*

## 5.2.2 อาคารที่มีการปรับอากาศ

อาคารที่มีการปรับอากาศตลอดเวลา หรืออาคารที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศในระยะเวลาต่าง ๆ เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้ว ผนังมวลสารมากจะใช้พลังงานในการลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้ามาน้อยแต่จะใช้พลังงานจำนวนมากในการลดความร้อนจากการเก็บสะสมภายในผนัง เครื่องปรับอากาศจึงต้องทำงานหนักในระยะแรกของการเริ่มเปิดเครื่อง

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองผนังมวลสารมากที่มีมวลสารต่ำที่สุดจะมีค่าการกักเก็บความร้อนน้อยที่สุดนั้นจะใช้พลังงานจำนวนน้อยในการลดความร้อนจากการเก็บสะสมไว้ในผนัง แต่จะใช้พลังงานมากขึ้นในการลดความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทจากภายนอก ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานในการลดความร้อนระหว่างวันที่สูงเช่นกัน *ผนังมวลสารมากจึงไม่ควรใช้กับอาคารปรับอากาศ การนำผนังมวลสารมากไปใช้ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ภายนอกให้เหมาะสม*

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดลองในสภาพอากาศตลอดทั้งปี เพื่อทราบอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารในแต่ละสภาพอากาศ เช่น ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาวได้ เพื่อสามารถนำไปใช้ตัดสินใจประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น
2. ควรเลือกความหนาผนังมวลสารมากเป็นขนาดที่มีการก่อสร้างจริงในปัจจุบันด้วย เช่น ความหนา 15 ซม. และควรทดสอบผนังมวลสารมากที่มีความหนามากกว่า 30 ซม. เพื่อหาระดับความสำคัญของปัจจัยในสถานที่จริง
3. ควรทำการทดลองในสภาพการใช้งานจริงในปัจจุบัน ได้แก่ การติดตั้งฉนวนภายนอก และการติดตั้งฉนวนภายใน
4. ควรทำการทดสอบปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมด้วย เช่น การแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม และการพัดพาความร้อนจากลม

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เนตรนภิศ นาควัชรระ, ปิยนารถ บุนนาค และจุลทัศน์ พยาฆรานนท์. วัดในกรุงเทพ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- แน่น้อย ศักดิ์ศรี, ม.ร.ว. มรดกสถาปัตยกรรมกรุงรัตนโกสินทร์. 5000 เล่ม. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์กรุงเทพ, 2537.
- พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา. ผลกระทบของสีผนังและมวลสารภายในต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- วันเอก กิจสมใจ. ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน: การใช้กระจก. พิมพ์ครั้งที่ 1. 4000 เล่ม. กรุงเทพฯ: คอมฟอร์ม, 2543.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน: การใช้ฉนวน. พิมพ์ครั้งที่ 1. 4000 เล่ม. กรุงเทพฯ: คอมฟอร์ม, 2543.
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน: การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. 4000 เล่ม. กรุงเทพฯ: คอมฟอร์ม, 2543.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น. 1000 เล่ม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541
- สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล. ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- สุนทร บุญญาธิการ, ศ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

- A.W. Pratt, Heat transmission in building. Northern Ireland: John Wiley and sons, 1981.
- Anderson, Bruce. N. Solar energy: fundamentals in building design. USA: Von Hoffmann, 1977.
- ASHRAE. 1997 ASHRAE Handbook : Fundamentals .Atlanta, GA : American society of heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers Inc, 1997.
- Bansal, N. K., Gerd Hauser and Grenot Minke. Passive building design: A handbook of natural climatic control. Netherlands: Elsevier Science B.V., 1994.
- Benjamin, S. and John, R. S. Mechanical and electrical equipment for buildings. 8<sup>th</sup> ed. , Canada : John Wiley & sons, 1992.
- Brashaw, V. Building control system. 2<sup>nd</sup> ed. USA: John Wiley and sons, 1993.
- Department of energy. Minimum energy dwelling workbook. Virginia: Burt, Hill, Kosar, Rittelmann and associates, 1978.
- Givoni, B. Passive and low energy cooling of building. USA : Van Nostrand Reinhold, 1994.
- Moore, F. Environmental control system : Heating cooling lighting. Singapore : McGraw-Hill, 1993.
- Olygay, V. Design with climate. New York : Van Nostrand Reinhold, 1992.

## ประวัติผู้วิจัย

นางสาวณัฐกานต์ เกษประทุม เกิดวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2542



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย