


การลดความร้อนให้กับผนังอาคารโดยการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ



นาย พงษ์ศักดิ์ ทนงณะสิทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-173-466-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEAT GAIN REDUCTION OF BUILDING WALLS USING DIRECT EVAPORATIVE
COOLING TECHNIQUE



Mr.Pongsak Tanongtanasit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2004

ISBN 974-173-466-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความร้อนให้กับผนังอาคารโดยการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ

โดย

นาย พงษ์ศักดิ์ ทงจนะสิทธิ์

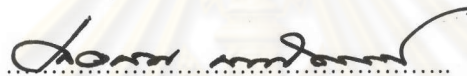
สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

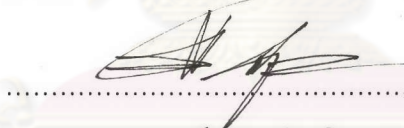
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ)



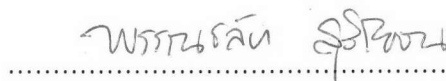
อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสันต์ บูรณากาญจน์)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)



กรรมการ

(นาย เกชา ชีระโกเมน)

พงษ์ศักดิ์ ทงธนะสิทธิ์ : การลดความร้อนให้กับผนังอาคารโดยการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ
(HEAT GAIN REDUCTION OF BUILDING WALLS USING DIRECT EVAPORATIVE COOLING TECHNIQUE)
อาจารย์ที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ, 189 หน้า. ISBN 974-173-466-2

ผนังอาคารเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคารที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยได้รับความร้อนที่เกิดจากอุณหภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมภายนอกที่สูงขึ้น การลดอุณหภูมิให้กับผนังอาคารโดยการระเหยของน้ำ เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะลดอุณหภูมิที่สูงขึ้นของผนังซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิภายในอาคารลดต่ำลง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย เป็นการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิของผนังโดยใช้การระเหยของน้ำที่ผิวผนังด้านนอก และเสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งาน งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยใช้กล่องทดลองและเก็บข้อมูลตามสภาพอากาศจริง ซึ่งแบ่งขั้นตอนการศึกษาเป็น 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการทำผนังที่ลดอุณหภูมิโดยใช้การระเหยของน้ำ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติ ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการนำความร้อน มวลสารและวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิของผนังโดยใช้การระเหยของน้ำ ได้แก่ พื้นที่ผิวสัมผัสอุณหภูมิผนังที่ใช้ในการระเหย ทิศทางการวางผนังและสภาพแวดล้อม ขั้นตอนที่ 3 เสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้งาน

วัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ อิฐมวลเบา อิฐทนไฟ อิฐทนไฟรูปทรงสูง อิฐมวลเบา อิฐมวลเบายัดเครื่อง อิฐมวลเบายัดมือและบล็อกประสาน พบว่าบล็อกประสานมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้เป็นผนังที่ใช้การระเหยของน้ำ เพื่อทำการทดลองเนื่องจากมีความสามารถดูดซึมน้ำสูง ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิของผนังโดยใช้การระเหยของน้ำ ได้แก่ ทิศทางการวางผนังโดยการวางหันหน้าเข้าหากะแสลมจะมีอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองต่ำสุดเมื่อเทียบกับการวางผนังไปทางทิศอื่นๆ พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำโดยผนังที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจะมีอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองต่ำกว่าผนังที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย อุณหภูมิผนังที่ใช้ในการระเหยในการทดลองพบว่าควบคุมได้ยากเนื่องจากอุณหภูมิน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศ สภาพแวดล้อมมีอิทธิพลต่อผนังที่ใช้การระเหยของน้ำโดยผนังที่ตั้งอยู่ใต้ต้นไม้จะมีอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองต่ำกว่าผนังที่ตั้งอยู่กลางแจ้ง เนื่องจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่าผนังที่ตั้งอยู่กลางแจ้ง

นอกจากนี้ได้ทำการศึกษามวลคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้การระเหยของน้ำเนื่องจากเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน พบว่าผนังคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำมีอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองต่ำกว่าผนังคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้การระเหยของน้ำ โดยผนังคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดในกล่องทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดในกล่องทดลองของผนังคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้การระเหยของน้ำ 2.33 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุด 4.82 องศาเซลเซียส และได้ทำการศึกษามวลบล็อกประสานที่ใช้การระเหยของน้ำเปรียบเทียบกับผนังสังกะสีที่ใช้การระเหยของน้ำซึ่งเป็นผนังที่ไม่มีอิทธิพลจากมวลสาร พบว่าผนังสังกะสีที่ใช้การระเหยของน้ำมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดในกล่องทดลองต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดในกล่องทดลองผนังบล็อกประสานที่ใช้การระเหยของน้ำ 3.43 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุด 9.41 องศาเซลเซียส

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า การลดความร้อนให้กับผนังอาคารโดยประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำเหมาะกับอาคารที่ไม่ใช้ระบบปรับอากาศ และผนังต้องไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งมีแนวทางในการนำไปประยุกต์โดย คุณสมบัติวัสดุควรมีค่าการนำความร้อนสูง มีความสามารถกักความชื้น และไม่มีอิทธิพลของมวลสาร ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผนังได้แก่ ทิศทางการวางผนัง พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำ สภาพแวดล้อม

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์.....
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.....
ปีการศึกษา2547.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

#4474180025 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: DIRECT EVAPORATIVE / COOLING TECHNIQUE

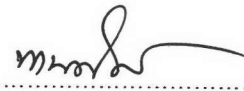
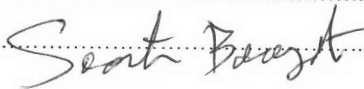
PONGSAK TANONGTANASIT : HEAT GAIN REDUCTION OF BUILDING WALLS USING DIRECT EVAPORATIVE COOLING TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 189 pp. ISBN 974-173-466-2

This research is an experimental study conducted on using direct evaporative cooling technique for reducing heat gain of walls to explore the factors that affect heat gain reduction, and to tender guidelines for applying such a technique. The study was divided into three stages. In the first stage, properties of several wall type—water absorbent capacity, heat capacity, mass, and materials — were studied in order that the material appropriate for direct evaporative cooling technique could be selected. In the second stage, the factors that affect direct evaporative cooling, positioning of walls, size of water-contact surface, evaporation temperature and environment, were investigated. In the final stage, guidelines for applying the technique were offered.

Interlocking block was found to be the most suitable type of material to be used for direct evaporative cooling because of its high water absorbent capacity. However, other factors came into play. In terms of the positioning of walls, the temperature of the experimental box was lower when it was placed against the direction of wind than when it was placed in other directions. As regards the size of water-contact surface, large water-contact surface resulted in lower temperature than did small water-contact surface. Water temperature during evaporation, another factor affecting heat gain reduction, was, nevertheless, difficult to control because it changed in accordance with the weather temperature. With respect to the environment, the experimental box attached to the wall placed under a tree had lower temperature than that of the wall placed under direct sunlight.

The experiments were also conducted on light-weight brick using direct evaporative cooling in comparison with that which did not use the technique of direct evaporative cooling. This is because non-evaporative-cooling light-weight brick is a material popularly used nowadays. It was found that the temperature of the evaporative-cooling brick was 2.33 C lower than that of the non-evaporative-cooling one, and 4.82 C lower than the maximum weather temperature. Besides, interlocking block using direct evaporative cooling was tested in comparison with galvanized iron wall that also used the technique of direct evaporative cooling. However, the latter was a type of material not affected by mass. The maximum temperature in the experimental box of the galvanized iron wall was found to be 3.43 C lower than that of the interlocking block, and 9.41 C lower than the maximum weather temperature.

It can be concluded that reducing heat gain of walls by using direct evaporative cooling technique is suitable for buildings that do not have air-conditioning system and do not receive sunlight directly. The guidelines for applying the technique are as follows. The materials used for building walls should be of high heat capacity and humidity-resistant. Nevertheless, the walls should not be placed under direct sunlight. In addition, there are several factors affecting heat gain of walls: positioning of walls, size of water-contact surface, evaporation temperature and environment.

Department.....Architecture..... Student's signature 
Field of study.....Architecture..... Advisor's signature 
Academic year2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วย ความเมตตา กรุณา และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลต่างๆ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดช่วงระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บูรณากาญจน์ ที่ดูแลให้คำปรึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด คุณ เกชา ธีระโกเมน ที่ได้สละเวลาอันมีค่าของท่านมาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่เมตตาอบรมสั่งสอนและช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่สนับสนุนทุนการศึกษา อาจารย์ เศรษฐพงษ์ คำสุพรหมและเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏอุดรธานีที่ได้อนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณสุทธิพงษ์ เขียวเกษม ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัย คุณศักดิ์ไชยรัฐ พิมพิลา ที่กรุณาเอื้อเฟื้อที่พักระหว่างทำการวิจัย คุณธนวัฒน์ แสงสนธิชัย ที่อำนวยความสะดวกต่างๆ ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณจุฑารัตน์ ศรีภูม้น คุณณัฐพงศ์ ศรีภูม้น ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ได้ช่วยเหลืองานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ครูบาอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้จนถึงทุกวันนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.6 การตรวจวัดและบันทึกข้อมูล	5
1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	5
1.8 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	6
2.1.1 การทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำ (Evaporation).....	6
2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมด้านความร้อน.....	11
2.1.3 หลักการพื้นฐานของความรู้สึกลสบายที่เกิดจากสภาพอุณหภูมิ	15
2.1.4 คุณสมบัติในการแผ่รังสีของพื้นผิววัสดุ (Surface Radiation).....	18
2.1.5 คุณสมบัติของผิววัสดุซึ่งตอบสนองต่อการแผ่รังสีความร้อน.....	19
2.1.6 อิทธิพลมวลสารและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน	20
2.1.7 สมการที่ใช้คำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร	20
2.1.8 การคำนวณหาความร้อนไหลเข้าสู่อาคารโดยผ่านผนังอาคาร	21

2.1.9 Sol-Ari Temperature.....	22
2.1.10 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ.....	22
2.1.11 ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศ.....	23
2.1.12 ทฤษฎีความชื้น.....	23
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
2.2.1 Evaporative Pads in Window.....	27
2.2.2 Use of Porches for Direct Passive Evaporative Cooling.....	28
2.2.3 The Cooling Tower of Cunningham and Thompson.....	28
2.2.4 Inertial Convective / Evaporative “Shower“ Cooling Tower.....	29
2.2.5 Inertial Convective / Evaporative “Shower“ Cooling Tower.....	31
2.2.6 แนวทางประยุกต์ใช้รูปทรงของวัสดุผิวเปียก (Evaporators) ในการการสร้างความ เย็นด้วยการระเหยของน้ำโดยธรรมชาติ.....	34
2.2.7 รูปแบบการใช้การระเหยของน้ำในการสร้างความเย็นให้กับอาคารใน ประเทศไทย.....	37
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....	41
3.1 การกำหนดตัวแปรในการวิจัย.....	41
3.2 การเตรียมการวิจัย.....	42
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	73
ผลการวิเคราะห์.....	74
การวิเคราะห์อิทธิพลตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิในงานวิจัย.....	173
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	176
5.1 สรุปผลการวิจัย	176
5.2 สรุปแนวทางการไปใช้.....	179
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	174

รายการอ้างอิง.....181

ภาคผนวก.....183

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....189



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	49
ตารางที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิวัสดุที่ฉาบผิวด้วยปูนซีเมนต์ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	84
ตารางที่ 4.2 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิวัสดุที่มีความสามารถดูดซึมน้ำ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	95
ตารางที่ 4.3 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่างกัน เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	106
ตารางที่ 4.4 แสดงความแตกต่างของอิทธิพลของอุณหภูมิน้ำ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	117
ตารางที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของทิศทางลม เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	128
ตารางที่ 4.6 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อติดตั้งกลางแจ้ง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	139
ตารางที่ 4.7 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อติดตั้งใต้ต้นไม้ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศใต้ต้นไม้.....	140
ตารางที่ 4.8 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อไม่ใช้การระเหยของน้ำ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	150
ตารางที่ 4.9 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศใต้ต้นไม้.....	151
ตารางที่ 4.10 แสดงความแตกต่างของอิทธิพลของผนังสังกะสีกับผนังบล็อกประสาน ที่ใช้การระเหยของน้ำ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ.....	161
ตารางที่ 4.11 แสดงความแตกต่างของอิทธิพลผนังคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำ กับ ผนังคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช่การระเหยของน้ำ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ..	172

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ	
รูปที่ 2.1 แสดงขบวนการระเหยของน้ำแบบทางตรง (Direct Evaporative).....	7
รูปที่ 2.2 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ.....	8
รูปที่ 2.3 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ลดลง จากการระเหยของน้ำทางอ้อม (Indirect Evaporative).....	9
รูปที่ 2.4 แสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่ลดลง จากการระเหยของน้ำทางตรง (Direct Evaporative).....	10
รูปที่ 2.5 แสดงการใช้ระเบียงเป็นผนังผิวเปียกเพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคาร โดยการระเหยของน้ำ.....	28
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะ The Cooling Tower of Cunningham and Thompson (1986).....	29
รูปที่ 2.7 แสดง Shower Cooling Tower.....	31
รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยการระเหยของน้ำ โดยใช้เหยือก น้ำวางตรงทางลมเข้าทางช่องหน้าต่างและช่องดักลม (Wind Catch).....	32
รูปที่ 2.9 แสดงการใช้ (Wind Tower) เพื่อสร้างความเย็นให้กับอาคารโดยวิธีการระเหยของน้ำ.....	33
รูปที่ 2.10 แสดงการศึกษาการระเหยของน้ำด้วยเหยือกน้ำ Maziara.....	34
รูปที่ 2.11 แสดง วัสดุผิวเปียกที่ทำจากเซรามิค.....	35
รูปที่ 2.12 แสดงข้อมูลที่เก็บจากการทดลองของตัวอย่างที่ 5.....	36
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการระเหยของน้ำกับรูพรุนของวัสดุ.....	37
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติ (HOBO).....	44
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องเก็บข้อมูลสภาพอากาศ (Environmental Monitoring Station).....	44
รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ในการจ่ายน้ำ โดยใช้ชุดกระปุกให้น้ำเกลือพร้อมสายปรับระดับน้ำ.....	45
รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้งกล่องทดลอง.....	45
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการเก็บข้อมูลต่างๆ.....	46
รูปที่ 3.6 แสดงอิฐทนไฟรูพรุนสูง.....	50
รูปที่ 3.7 แสดงอิฐทนไฟ.....	50
รูปที่ 3.8 แสดงอิฐมอดูอัดมือ.....	51
รูปที่ 3.9 แสดงอิฐมอดูอัดเครื่อง.....	51
รูปที่ 3.10 แสดงบล็อกประสาน.....	52

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 3.11 แสดงคอนกรีตมวลเบา.....52

รูปที่ 3.12 แสดงอิฐมอดู.....53

รูปที่ 3.13 แสดงการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลเรื่องวัสดุ ที่มีผลต่อการระเหยของน้ำ.....57

รูปที่ 3.14 แสดงการทดลองเพื่อศึกษาพื้นที่ผิวผนังที่มีผลต่อการระเหยของน้ำ.....60

รูปที่ 3.15 แสดงการศึกษอิทธิพลของอุณหภูมิน้ำที่มีผลต่อการระเหยของน้ำ.....62

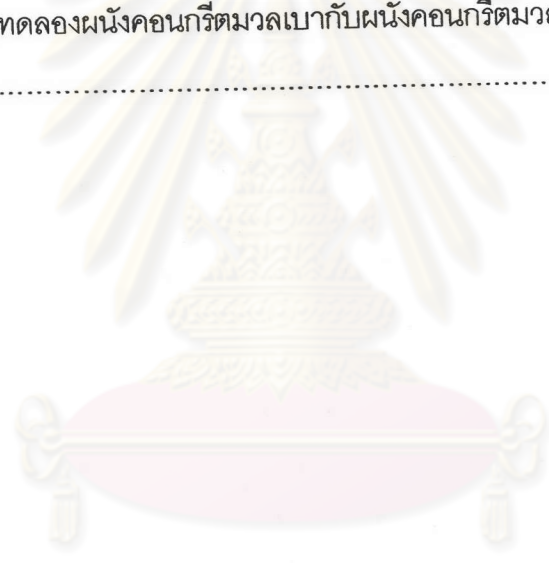
รูปที่ 3.16 แสดงการทดลองการศึกษอิทธิพลทิศทางผนังที่มีผลต่อการระเหยของน้ำ.....64

รูปที่ 3.17 แสดงการศึกษอิทธิพลสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อการระเหยของน้ำ.....66

รูปที่ 3.18 แสดงติดตั้งแผ่นสแตนเลสเพื่อกันความชื้นในผนังที่ประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ.....68

รูปที่ 3.19 แสดงผนังสังกะสีมีครีป ที่ประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำ.....70

รูปที่ 3.20 แสดงการทดลองผนังคอนกรีตมวลเบา กับผนังคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำ.....72



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกวัสดุต่างๆที่มีปูนซีเมนต์ฉาบผิว....	75
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในวัสดุต่างๆที่มีปูนซีเมนต์ฉาบผิว.....	78
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องวัสดุต่างๆที่มีปูนซีเมนต์ ฉาบผิว.....	81
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของวัสดุประเภทต่างๆ.....	86
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของวัสดุประเภทต่างๆ.....	89
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องของวัสดุประเภทต่าง ๆ.....	92
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกเขาระรอง และอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกปกติ.....	97
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในเขาระรอง และอุณหภูมิผิวผนังด้านในปกติ.....	100
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องผนังเขาระรอง และอุณหภูมิอากาศในกล่องผนังปกติ.....	103
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกให้น้ำที่มีอุณหภูมิ ต่างกัน.....	108
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในที่ให้น้ำอุณหภูมิต่างกัน.....	111
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองให้น้ำที่อุณหภูมิต่างกัน..	114
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกของทิศต่างๆ.....	119
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในของทิศต่างๆ.....	122
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องของทิศต่างๆ.....	125
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องใต้ต้นไม้และ อุณหภูมิอากาศในกล่องกลางแจ้ง.....	130
แผนภูมิที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องใต้ต้นไม้และ อุณหภูมิอากาศในกล่องกลางแจ้ง.....	133
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในระหว่างการประยุกต์ ใช้การระเหยของน้ำและผนังที่ไม่ได้ใช้การระเหยของน้ำ.....	144

แผนภูมิ	หน้า
แผนภูมิที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศระหว่างการประยุกต์ใช้การระเหยของน้ำและผนังที่ไม่ได้ใช้การระเหยของน้ำ.....	147
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกสังกะสีที่ใช้การระเหยของน้ำกับอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกบล็อกประสานที่ใช้การระเหยของน้ำ.....	152
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในสังกะสีที่ใช้การระเหยของน้ำกับอุณหภูมิผิวผนังด้านในกล่องบล็อกประสานที่ใช้การระเหยของน้ำ.....	155
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศในกล่องผนังสังกะสีที่ใช้การระเหยของน้ำกับอุณหภูมิอากาศในกล่องบล็อกประสานที่ใช้การระเหยของน้ำ.....	158
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้การระเหยของน้ำ.....	163
แผนภูมิที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังด้านในคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้การระเหยของน้ำ.....	166
แผนภูมิที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การระเหยของน้ำกับคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ใช้การระเหยของน้ำ.....	169

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย