การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการปลูกหญ้าปกคลุม

นายพรหมพรต รุจิชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEAT REDUCTION THROUGH REINFORCE CONCRETE ROOF BY USING TURF

Mr. Promprot Rujichai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511851

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการปลูกหญ้าปกคลุม
โดย	นายพรหมพรต รุจิชัย
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังสนา บุณโยภาส

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต นิตยะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังสนา บุณโยภาส)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการภายนอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ พาสินี สุนากร)

พรหมพรต รุจิชัย : การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กโดยการปลูกหญ้าปกคลุม. (Heat Reduction Through Reinforce Concrete Roof by Using Turf) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ธนิต จินดาวณิค, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ. ดร. อังสนา บุณโยภาส, 215 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่าการปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา คสล. และชนิดของวัสดุปลูกที่แตกต่างกันมีส่วนช่วยในเรื่องของการลดอุณหภูมิภายในอาคารและสามารถช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านทางหลังคา คสล. ได้ดีเพียงใด รวมทั้งมีความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่ วิธีการในการดำเนินการศึกษาใช้การทดลองจากสถานที่จริงซึ่งเป็นอาคารพักอาศัยประเภทหอพักซึ่งสูง 6 ชั้น ห้องที่ทำการเก็บค่าอุณหภูมินี้ มี ทั้งหมดจำนวน 4 ห้อง ที่มีลักษณะรูปแบบเดียวกัน ทั้งนี้ห้องที่ 1 นั้นเป็นหลังคา คสล. ที่ไม่มีสิ่งปกคลุมเลย ส่วนห้องที่ 2, 3 และ 4 ได้มีการปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา คสล. ไว้โดยมีรูปแบบของวัสดุที่ใช้ประกอบการปลูกหญ้าที่แตกต่างกันออกไป

จากการศึกษาพบว่าการปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา คสล. ด้วยองค์ประกอบตามที่ Theodore Osmundson(1999) และพชร เลิศปิติวัฒนา(2004)ได้กำหนดส่วนประกอบไว้อันได้แก่ พื้นหลังคา คสล., วัสดุกันน้ำซึม, แผ่นกันทะลุ, ชั้นฉนวน, แผ่นคอนกรีตกันทะลุ, ชั้นระบายน้ำ, แผ่นใยกรองดิน, วัสดุปลูก, วัสดุปิดผิวและหญ้านั้น มีส่วนช่วยให้อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลากลางวันภายในห้องทดลองลดลงได้ประมาณ 2.24 - 2.66 °C และสามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำผ่านทางหลังคา คสล. ได้ประมาณ 91.40 - 93.78 % นอกจากนี้แล้วเมื่อได้ประเมินความเป็นไปได้ในทางเศรษฐศาสตร์พบว่า จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ค่อนข้างนาน แต่จะมีอัตราผลตอบแทนที่จะได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าแต่ละปีอยู่ที่ประมาณ 3.16 - 4.19 % อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้การปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา คสล. นั้นมีส่วนช่วยในเรื่องของการลดอุณหภูมิภายในอาคารและสามารถช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านทางหลังคา คสล. ได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังมีส่วนช่วยให้เมืองกรุงเทพฯมีพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้นอันสอดคล้องตรงตามนโยบายที่สำนักผังเมืองกรุงเทพมหานครฯได้กำหนดไว้เพื่อให้กรุงเทพมหานครฯสามารถเทียบเคียงตามมาตรฐานสากลได้ต่อไป

ภาควิชา...สถาปัตยกรรมศาสตร์... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา....สถาปัตยกรรม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

507 41947 25 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : HEAT REDUCTION / USING TURF / REINFORCE CONCRETE ROOF

PROMPROT RUJICHAI : HEAT REDUCTION THROUGH REINFORCE CONCRETE ROOF BY USING TURF. ADVISOR : ASSOC. PROF. THANIT CHINDAVANIG, CO-ADVISOR : ASST. PROF. DR.ANGSANA BOONYOBHAS , Ph.D., 215 pp.

The main purposes of this study were to investigate whether using turf covering the reinforced concrete roof and using different materials for planting grass can reduce heat in a building or not and to study how effectively they can reduce the rate of heat transfer through the reinforced concrete roof. In addition, it investigated whether it was possible in terms of economics. The study was conducted in a real building which was a six-storey dormitory. The temperature readings were collected from four rooms which were of the same type. The roof of Room 1 was reinforced concrete with no coverings while the reinforced concrete roofs of Rooms 2, 3 and 4 were covered with turf. However, the planting materials were different.

It was found that using turf to cover the reinforced concrete roof was in accord with what Theodore Osmundson (1999) and Patchara Lertpitiwattana (2004) stated. They stated that there should be the reinforced concrete roof, a waterproof material, a leak-proof sheet, an insulation sheet, a leak-proof concrete sheet, a layer to remove water, a sheet to hold soil, a planting material, a material to cover the planting material and grass. All these elements helped reduce the average temperature in the experiment room during the day by 2.24-2.66° C and reduce the rate of heat transfer through the roof by 91.49-93.78%. In addition, in terms of economics, the payback period was long but the rate of return from saving electricity was gained. Each year the electricity can be saved by 3.16-4.19%. Using turf on the reinforced concrete roof can reduce heat in a building and the rate of heat transfer through the roof at a certain level. Furthermore, it can make Bangkok more green in line with a policy of the Department of City Planning of Bangkok Metropolitan which stipulates that Bangkok has to be on par with other major cities in other countries.

Department...:.....Architectural..... Student's Signature.....

Field of Study..:...Architecture..... Advisor's Signature.....

Academic Year.....2008..... Co-Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคล และคณะบุคคลดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังสนา บุณโยภาส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดเห็น อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัย และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สยาณี วิโรจน์รัตน์ ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างดีระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุทธิพล อุดมพันธุรัก นักวิจัยและที่ปรึกษางานวิจัย สถานส่งเสริมการวิจัย มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือเป็นอย่างดีในเรื่องการใช้สถิติเพื่อการวิจัยระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ บริษัท แลนด์สเคป อาร์คิเต็ค 49 จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลด้านการทำสวนหลังคาและคำแนะนำอย่างดี

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ พ.ต.อ.เมธา – นางอรัญญา วาดีเจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำการทดลองและเก็บข้อมูล

ขอขอบพระคุณ นายเดชา วาดีเจริญ, นายสุรชัย ขจรฤทธิ์เดชา, นายทวิ ว่องธัญญากิจ, นายนันติพัฒน์ แสงโพธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำในการทำการทดลองด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกๆท่าน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกๆท่าน และเพื่อนร่วมหลักสูตรทุกๆท่าน สำหรับความช่วยเหลือด้วยดีตลอดระยะเวลาการศึกษา

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ นายอุทัย – นางกาญจนา รุจิชัย ผู้เป็นบิดา-มารดา ร่วมทั้งนายชิตวัทธ์ รุจิชัย ผู้เป็นพี่ชาย ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษา รวมทั้งให้กำลังใจในการศึกษาด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฎ
สารบัญรูปภาพ..... ท
สารบัญแผนภูมิ..... ป

บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย..... 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 8
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 9
2.1 การถ่ายเทรังสีความร้อนที่มีผลต่ออาคาร..... 9
2.2 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อพลังงานในอาคาร..... 11
2.3 ลักษณะทางกายภาพของหลังคาเขียว..... 18
2.4 มูลค่าของการทำหลังคาเขียว..... 27
2.5 การประมาณการการใช้เครื่องปรับอากาศและการคิดค่าไฟฟ้า..... 29
2.6 การคิดค่าความคุ้มในการลงทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์..... 30
2.7 สถิติที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย..... 31

หน้า

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 35
2.8 การเปรียบเทียบศักยภาพของการป้องกันความร้อนระหว่างการใช้สวนหลังคากับระบบหลังคาที่ใช้กันทั่วไป..... 35
2.9 การออกแบบสวนหลังคาในกรุงเทพมหานคร..... 35
2.10 การใช้สวนหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน..... 36
2.11 การศึกษาเปรียบเทียบการช่วยลดการสูญเสียความร้อน (Thermal losses) ของอาคารซึ่งหลังคาเป็นหลังคา คสล. โดยมีการใส่ฉนวนและใช้หลังคาเขียว (Green Roof) ประกอบกัน กับหลังคา คสล. เปลือย..... 37
2.12 การศึกษาเปรียบเทียบ อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane) ของหลังคา คสล. กับ อุณหภูมิที่ผิวแผ่นวัสดุกันซึม (Membrane) ของหลังคา คสล. ซึ่งเป็นหลังคาเขียว (Green Roof) 37

บทที่ 3 สมมติฐานและระเบียบวิธีวิจัย..... 38
3.1 สมมติฐานการวิจัย..... 38
3.2 ระเบียบวิธีการวิจัย..... 39
3.2.1 ขั้นตอนเตรียมการวิจัย..... 39
3.2.2 ขั้นตอนการวิจัย..... 46

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย..... 63
4.1 การทดสอบสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 และการวิเคราะห์ผลการวิจัย..... 65
4.2 การทดสอบสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 และการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....110
4.3 การทดสอบสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 3 และการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....114

หน้า

บทที่ 5 การสรุปผลการวิจัย..... 126
5.1 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านบน หลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 128
5.2 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านบน หลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 129
5.3 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านบน หลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 131
5.4 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านบน หลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 133
5.5 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4..... 135
5.6 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษาของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 136
5.7 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษาของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 138
5.8 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษาของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 139
5.9 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษาของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 141
5.10 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4..... 142

หน้า

5.11 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิ
อากาศภายใน ห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 143
5.12 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิ
อากาศภายใน ห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 145
5.13 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิ
อากาศภายใน ห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 146
5.14 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิ
อากาศภายใน ห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 148
5.15 การศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารและอุณหภูมิ
อากาศภายใน ห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3
และ 4..... 149
5.16 การประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ
(Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคา
ห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 150
5.17 การประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ
(Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคา
ห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 151
5.18 การประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ
(Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคา
ห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 152
5.19 การประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ
(Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคา
ห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 153
5.20 การเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ
(Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคาห้องกรณีศึกษาที่
1, 2, 3 และ 4..... 154

หน้า

5.21 การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์..... 155
ข้อเสนอแนะ..... 164
รายการอ้างอิง..... 170
ภาคผนวก..... 173
ภาคผนวก ก ข้อมูลแสดงรายการวัสดุและน้ำหนักต่อตารางเมตรของวัสดุ
ที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน
(extensive green roof) 173
ภาคผนวก ข ข้อมูลแสดงรายละเอียดอุณหภูมิที่ได้จากการ
เก็บข้อมูล..... 176
ภาคผนวก ค ข้อมูลแสดงรายละเอียดค่า
Thermal Conductivity..... 179
ภาคผนวก ง ข้อมูลแสดงรายละเอียดการทดสอบค่าทางสถิติของ
อุณหภูมิ(°C)ผิวด้านบนหลังคา คสล. ห้องกรณีศึกษา,
อุณหภูมิ(°C)ผิวด้านล่างฝ้าเพดาน ห้องกรณีศึกษา
และ อุณหภูมิอากาศภายนอก.....180
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 215

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุชนิดต่างๆ 12
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาของวัสดุชนิดต่างๆ 12
ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาของขุยมะพร้าว 13
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของดินและขุยมะพร้าว 13
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา 14
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา 15
ตารางที่ 2.7 แสดงความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา 16
ตารางที่ 2.8 แสดงรายการวัสดุแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ 17
ตารางที่ 2.9 แสดงระดับความชื้นของดิน 22
ตารางที่ 2.10 แสดงความลึกของดินปลูกพืชแต่ละประเภทสำหรับงานสวนหลังคา 22
ตารางที่ 2.11 แสดงข้อดีของวัสดุปลูกแต่ละประเภท 23
ตารางที่ 2.12 แสดงข้อเสียของวัสดุปลูกแต่ละประเภท 23
ตารางที่ 2.13 แสดงรายการราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน (extensive green roof) สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร (พชร เลิศปิติวัฒนา, 2547) 27
ตารางที่ 2.14 แสดงรายการราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน (extensive green roof) สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร (พชร เลิศปิติวัฒนา, 2547) แต่ใช้ขุยมะพร้าวมาประยุกต์ใช้ในการปลูกหญ้า 28

หน้า

ตารางที่ 2.15 แสดงรายการราคาค่าวัสดุและค่าแรงที่ใช้ทำสวนหลังคาแบบไม่ใช้งาน (extensive green roof) ซึ่งเป็นแบบของ Theodore Osmundson, 1999..... 29
ตารางที่ 2.16 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับที่อยู่อาศัยที่ประกาศใช้ในปัจจุบัน ปี พ.ศ. 2551..... 30
ตารางที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการวัดในมาตราต่างๆ..... 32
ตารางที่ 2.18 แสดงการทดสอบพาราเมตริก(Parametric statistical test) และการทดสอบนอนพาราเมตริก (Nonparametric statistical test) ที่เป็นคู่กัน (ยกเว้นการทดสอบไค - สแควร์ที่ไม่มีคู่) 33
ตารางที่ 2.19 แสดงระดับข้อมูลและสถิติที่เหมาะสมกับระดับข้อมูลนั้นๆ..... 34
ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับชั้นของวัสดุของหลังคา คสล. รูปแบบที่ 1..... 40
ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับชั้นขององค์ประกอบของวัสดุสวนหลังคา รูปแบบที่ 2..... 41
ตารางที่ 3.3 แสดงลำดับชั้นขององค์ประกอบของวัสดุสวนหลังคา รูปแบบที่ 3..... 42
ตารางที่ 3.4 แสดงลำดับชั้นขององค์ประกอบของวัสดุสวนหลังคา รูปแบบที่ 4..... 43
ตารางที่ 4.1 แสดง Tests of Normality (ทั้งหมด 36 ชั่วโมง) 65
ตารางที่ 4.2 แสดง Descriptive Statistics (ทั้งหมด 36 ชั่วโมง) 66
ตารางที่ 4.3 แสดง Dunn's Multiple Comparison Test (ทั้งหมด 36 ชั่วโมง) 67
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง (กลุ่มข้อมูล 36 ชั่วโมง) 67
ตารางที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ทั้งหมด 36 ชั่วโมง) 68
ตารางที่ 4.6 แสดง Tests of Normality (ทั้งหมด 25 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 6.00 – 18.00 น.) 69
ตารางที่ 4.7 แสดง Descriptive Statistics (ทั้งหมด 25 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 6.00 – 18.00 น.) 70

หน้า

ตารางที่ 4.8 แสดง Dunn's Multiple Comparison Test (ทั้งหมด 25 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 6.00 – 18.00 น.) 71

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง (กลุ่มข้อมูลทั้งหมด 25 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 6.00 – 18.00 น.) 71

ตารางที่ 4.10 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ทั้งหมด 25 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 6.00 – 18.00 น.) 72

ตารางที่ 4.11 แสดง Tests of Normality (ทั้งหมด 11 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 19.00 – 5.00 น.) 73

ตารางที่ 4.12 แสดง Descriptive Statistics (ทั้งหมด 11 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 19.00 – 5.00 น.) 74

ตารางที่ 4.13 แสดง Dunn's Multiple Comparison Test (ทั้งหมด 11 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 19.00 – 5.00 น.) 75

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง (กลุ่มข้อมูล ทั้งหมด 11 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 19.00 – 5.00 น.) 76

ตารางที่ 4.15 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ทั้งหมด 11 ชั่วโมง ที่ได้จากช่วงเวลา 19.00 – 5.00 น.) 76

ตารางที่ 4.16 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษาที่ 1 กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษาอื่นๆ และอุณหภูมิอากาศภายนอก..... 77

หน้า

ตารางที่ 4.17 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัย สำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้อง กรณีศึกษาที่ 2 กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษาอื่นๆ และอุณหภูมิอากาศภายนอก..... 78

ตารางที่ 4.18 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัย สำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้อง กรณีศึกษาที่ 3 กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษาอื่นๆ และอุณหภูมิอากาศภายนอก..... 79

ตารางที่ 4.19 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัย สำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้อง กรณีศึกษาที่ 4 กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษาอื่นๆ และอุณหภูมิอากาศภายนอก..... 80

ตารางที่ 4.20 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัย สำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในห้อง กรณีศึกษาทุกห้องกับอุณหภูมิอากาศภายนอก..... 81

ตารางที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาทั้ง 4 ห้องและ อุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ย ตลอดช่วงเวลา 36 ชั่วโมง..... 110

ตารางที่ 4.22 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดาน ของห้องกรณีศึกษาทั้ง 4 ห้องและ อุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ย ตลอดช่วงเวลา 36 ชั่วโมง..... 111

ตารางที่ 4.23 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาทั้ง 4 ห้องและ อุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ย ตลอดช่วงเวลา 36 ชั่วโมง..... 112

หน้า

ตารางที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบนหลังคา คสล., อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดาน และ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องกรณีศึกษาทั้ง 4 ห้อง ตลอดช่วงเวลา 36 ชั่วโมง..... 113

ตารางที่ 4.25 แสดงค่าการต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆ เพื่อนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม หรือ U values ของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งใช้รูปแบบที่ 1 คือ หลังคา คสล. ที่ไม่มีการปกคลุมด้วยวัสดุต่างๆแต่อย่างใด..... 114

ตารางที่ 4.26 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. และ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องกรณีศึกษาทั้ง 4 ห้อง (ช่วงเวลา 10.00 - 17.00 น.) 117

ตารางที่ 4.27 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านเปลือกอาคารของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งใช้รูปแบบที่ 1..... 117

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าการต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆ เพื่อนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม หรือ U values ของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งห้องกรณีศึกษาที่ 2 ใช้รูปแบบที่ 2..... 118

ตารางที่ 4.29 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านเปลือกอาคารของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งห้องกรณีศึกษาที่ 2 ใช้รูปแบบที่ 2.. 118

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าการต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆ เพื่อนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม หรือ U values ของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 120

ตารางที่ 4.31 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านเปลือกอาคารของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 120

หน้า

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าการต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุต่างๆ เพื่อนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม หรือ U values ของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 121

ตารางที่ 4.33 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านเปลือกอาคารของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 122

ตารางที่ 4.34 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านเปลือกอาคารของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาทั้ง 4 ห้อง..... 123

ตารางที่ 4.35 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านเปลือกอาคารของหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาทั้ง 4 ห้อง โดยค่า TD_{eq} นั้น ใช้ตามที่กฎกระทรวงประกาศให้ใช้..... 124

ตารางที่ 5.1 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคาห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 150

ตารางที่ 5.2 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคาห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 151

ตารางที่ 5.3 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคาห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 152

ตารางที่ 5.4 แสดงการประเมินหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Conduction heat gain)ผ่านทางหลังคาห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 153

ตารางที่ 5.5 แสดงการประเมินค่าหาหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 155

หน้า

ตารางที่ 5.6 แสดงค่า EER ที่มีความสัมพันธ์กับสลากแสดงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเบอร์ต่างๆ(ตามมาตรฐานของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยและกระทรวงพลังงาน) 156
ตารางที่ 5.7 แสดงการประเมินค่าการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 156
ตารางที่ 5.8 แสดงการประเมินค่าหาหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 157
ตารางที่ 5.9 แสดงการประเมินค่าการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 158
ตารางที่ 5.10 แสดงการประเมินค่าหาหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 159
ตารางที่ 5.11 แสดงการประเมินค่าการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 160
ตารางที่ 5.12 แสดงการประเมินค่าหาหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 161
ตารางที่ 5.13 แสดงการประเมินค่าการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากภาระการทำความเย็นที่เครื่องปรับอากาศจะต้องทำความเย็นให้กับส่วนหลังคาของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 162
ตารางที่ 5.14 แสดงการประเมินระยะเวลาในการคืนทุนของการลงทุนทำการปลูกหญ้าปกคลุมหลังคาตามห้องกรณีศึกษาต่างๆ..... 163

หน้า

ตารางที่ 5.15 แสดงความหมายในแง่ระดับความพึงพอใจโดยสังเขปของระยะเวลาคืนทุน(ปี) 163
ตารางที่ 5.16 แสดงน้ำหนักและราคาของวัสดุชั้นระบายแต่ละชนิด..... 166
ตารางที่ 5.17 แสดงอัตราผลตอบแทนในช่วง 1 ปี ที่จะได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้า (%)..... 167

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงรูปแบบหลังคา คสล. และลักษณะการปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา ทั้ง 4 รูปแบบซึ่งจะใช้ในการทดลอง 5

รูปที่ 1.2 แสดงรูปภาพจำลองรูปตัดซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา พร้อมทั้งแสดงการปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา ซึ่งจะใช้ห้องพัก 4 ห้องในที่ชั้น 6 ซึ่งมีหลังคาเป็น ดาดฟ้า คสล. เป็นสถานที่ทำการทดลอง..... 6

รูปที่ 2.1 แสดงแผ่รังสีของดวงอาทิตย์..... 9

รูปที่ 2.2 แสดงการส่งผ่านความร้อนของดวงอาทิตย์มายังผิวโลกในเวลากลางวัน..... 10

รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบชั้นต่างๆ จำนวน 9 ชั้นของสวนหลังคา..... 18

รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบแต่ละชั้นของโครงสร้างสวนหลังคาสำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานคร..... 36

รูปที่ 3.1 แสดงหญ้านวลน้อย..... 40

รูปที่ 3.2 แสดงหลังคา คสล. รูปแบบที่ 1 โดยจะไม่มีการปกคลุมหลังคา คสล. ด้วยวัสดุต่างๆแต่อย่างใด..... 40

รูปที่ 3.3 แสดงหลังคา คสล. รูปแบบที่ 2..... 41

รูปที่ 3.4 แสดงหลังคา คสล. รูปแบบที่ 3..... 42

รูปที่ 3.5 แสดงหลังคา คสล. รูปแบบที่ 4..... 43

รูปที่ 3.6 แสดงเครื่อง HOBO..... 44

รูปที่ 3.7 แสดงหัวตรวจวัดอุณหภูมิ..... 45

รูปที่ 3.8 แสดงหัวสายสัญญาณที่ไว้สำหรับต่อเข้ากับเครื่องเก็บค่าอุณหภูมิ..... 45

รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะทั่วไปของอาคารกรณีศึกษา..... 47

รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะทั่วไปของห้องภายในอาคารกรณีศึกษา มุมมองจากระเบียงนอกห้อง..... 47

รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะทั่วไปของห้องภายในอาคารกรณีศึกษา มุมมองจากประตูหน้าห้อง..... 48

หน้า

รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะทั่วไปของหลังคา คสล. ดาดฟ้า
ด้านบนห้องชั้น 6 ของอาคารกรณีศึกษา..... 48
รูปที่ 3.13 แสดงรูปภาพจำลองรูปตัดซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพ
ของอาคารกรณีศึกษา..... 48
รูปที่ 3.14 แสดงผังทั่วไปของห้องกรณีศึกษา..... 49
รูปที่ 3.15 แสดงผังพื้นชั้น 6 ของอาคารกรณีศึกษา..... 49
รูปที่ 3.16 แสดงรูปตัดของห้องกรณีศึกษา..... 49
รูปที่ 3.17 แสดงการเตรียมแบ่งพื้นที่การปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา
ซึ่งอยู่ด้านบนของหลังคา คสล. ดาดฟ้าด้านบนห้องชั้น 6
ของอาคารกรณีศึกษา..... 50
รูปที่ 3.18 แสดงการเตรียมแบ่งพื้นที่การปลูกหญ้าปกคลุมหลังคา
ซึ่งอยู่ด้านบนของหลังคา คสล. ดาดฟ้าด้านบนห้องชั้น 6
ของอาคารกรณีศึกษา..... 50
รูปที่ 3.19 แสดงการทาชั้นน้ำยากันซึมของหลังคา คสล. ดาดฟ้าด้าน
บนห้องชั้น 6 ของอาคารกรณีศึกษา..... 50
รูปที่ 3.20 แสดงการทาชั้นน้ำยากันซึมของหลังคา คสล. ดาดฟ้าด้าน
บนของห้องกรณีศึกษา..... 51
รูปที่ 3.21 แสดงการติดตั้งหัวตรวจวัดอุณหภูมิด้านบนหลังคา คสล.
ดาดฟ้า ของห้องกรณีศึกษา..... 51
รูปที่ 3.22 แสดงการปูแผ่นกันกระแทกหลังจากที่ได้ทาชั้นน้ำยากันซึมของ
หลังคา คสล. ดาดฟ้าด้านบนห้องชั้น 6 ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 51
รูปที่ 3.23 แสดงการปูแผ่นกันกระแทกหลังจากที่ได้ทาชั้นน้ำยากันซึมของ
หลังคา คสล..... 52
รูปที่ 3.24 แสดงการติดตั้งฉนวนโพลิสไตรีนโฟม หลังจากที่ได้ปูแผ่นกันกระแทก
ด้านบนหลังคา คสล.ห้องชั้น 6 ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 52

หน้า

รูปที่ 3.25 แสดงการติดตั้งเครื่อง HOBO ภายในกล่องที่ห่อหุ้มด้วยฟอยส์
ด้านบนหลังคา คสล.ห้องชั้น 6 ของห้องกรณีศึกษา..... 52
รูปที่ 3.26 แสดงการเทคอนกรีตเพื่อเป็นชั้นคอนกรีตกันทะลุ หนา 6.5 ซม..... 53
รูปที่ 3.27 แสดงแผ่นระบายน้ำสำเร็จรูป..... 53
รูปที่ 3.28 แสดงการติดตั้งแผ่นระบายน้ำสำเร็จรูปภายในกระบะปลูก
แต่ละกระบะ..... 53
รูปที่ 3.29 แสดงการติดตั้งแผ่นใยกรองดินภายในกระบะปลูก
แต่ละกระบะ..... 54
รูปที่ 3.30 แสดงการจัดใส่ดินและใบไม้แห้งภายในกระบะปลูก
กระบะด้านบนห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 54
รูปที่ 3.31 แสดงการจัดใส่ขุยมะพร้าวภายในกระบะปลูก
กระบะด้านบนห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 54
รูปที่ 3.32 แสดงการจัดใส่ดินปลูกภายในกระบะปลูก
กระบะด้านบนห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 55
รูปที่ 3.33 แสดงการดำเนินปลูกหญ้านวลน้อยภายในกระบะปลูก
กระบะด้านบนห้องกรณีศึกษาที่ 2, 3 และ 4..... 55
รูปที่ 3.34 แสดงการติดตั้งหัวตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณด้านล่างฝ้าเพดาน
ภายในห้องกรณีศึกษา..... 55
รูปที่ 3.35 แสดงการติดตั้งกล่องที่ห่อหุ้มด้วยฟอยส์ครอบเครื่อง HOBO
และหัวตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณด้านล่างฝ้าเพดาน
ภายในห้องกรณีศึกษา..... 56
รูปที่ 3.36 แสดงการติดตั้งกล่องที่ห่อหุ้มด้วยฟอยส์ครอบเครื่อง HOBO
และหัวตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณด้านล่างฝ้าเพดานและ
หัวตรวจวัดอุณหภูมิภายในห้องกรณีศึกษา..... 56

หน้า

รูปที่ 3.37 แสดงการติดตั้งกล่องที่ห่อหุ้มด้วยฟอยส์ครอบเครื่อง HOBO สำหรับชุดหัวตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณด้านบนหลังคา คสล.และ หัวตรวจวัดอุณหภูมิภายนอกห้องกรณีศึกษา..... 56
รูปที่ 3.38 แสดงการติดตั้งกล่องที่ห่อหุ้มด้วยฟอยส์ครอบเครื่อง HOBO สำหรับชุดหัวตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณด้านบนหลังคา คสล.และ หัวตรวจวัดอุณหภูมิภายนอกห้องกรณีศึกษา..... 57
รูปที่ 3.39 แสดงการติดตั้งกล่องที่ห่อหุ้มด้วยฟอยส์ครอบเครื่อง HOBO และหัวตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณด้านบนหลังคา คสล. ห้องกรณีศึกษาห้องที่ 1..... 57
รูปที่ 3.40 แสดงเครื่องมือ TC B480 ซึ่งใช้ประเมินหาค่า THERMAL CONDUCTIVITY ของวัสดุ (ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551) 57
รูปที่ 3.41 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิของห้องกรณีศึกษาห้องที่ 1..... 58
รูปที่ 3.42 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิของห้องกรณีศึกษาห้องที่ 2..... 59
รูปที่ 3.43 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิของห้องกรณีศึกษาห้องที่ 3..... 60
รูปที่ 3.44 แสดงตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิของห้องกรณีศึกษาห้องที่ 4..... 61

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 82
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 84
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 86
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 88
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4..... 90
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 91
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 93
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 95
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 97
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4..... 99

หน้า

แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 101
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 102
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 104
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 106
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่
1, 2, 3 และ 4..... 108
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่
1, 2, 3 และ 4..... 115
แผนภูมิที่ 4.17 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมของอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่
1, 2, 3 และ 4..... 116
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 128
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 129

หน้า

แผนภูมิที่ 5.3 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 3 131
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 4 133
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านบนหลังคา คสล. ของห้องกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4 135
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 1 136
แผนภูมิที่ 5.7 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 2 138
แผนภูมิที่ 5.8 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 3 139
แผนภูมิที่ 5.9 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 4 141
แผนภูมิที่ 5.10 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร และอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างฝ้าเพดานภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4 142

หน้า

แผนภูมิที่ 5.11 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 1..... 143
แผนภูมิที่ 5.12 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 2..... 145
แผนภูมิที่ 5.13 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 3..... 146
แผนภูมิที่ 5.14 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา
ของห้องกรณีศึกษาที่ 4..... 148
แผนภูมิที่ 5.15 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
และอุณหภูมิอากาศภายในห้องกรณีศึกษา ของห้องกรณีศึกษาที่
1, 2, 3 และ 4..... 149
แผนภูมิที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ
(Conduction heat gain) ผ่านทางหลังคาห้องกรณีศึกษาที่
1, 2, 3 และ 4..... 154