สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แนวทางการปรับปรุงเหล็กเสริมภายในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

THE WAY OF STEEL ADJUSTMENT TO REINFORCED CONCRETE SHADING DEVICES FOR REDUCING HEAT GAIN INTO BUILDING

T141033

สรณีย์ สุทธิธรรม

SORANEE SUTTITHAM

วพ.
ส325น
2558

หมวดหมู่.........
เลขทะเบียน 141033
วัน.เดือน.ปี 24 ก.พ. 2559

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

12745510

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-AR-M-002-025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE WAY OF STEEL ADJUSTMENT TO REINFORCED CONCRETE SHADING DEVICES FOR REDUCING HEAT GAIN INTO BUILDING

SORANEE SUTTITHAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE PROGRAM IN TROPICAL ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

KMITL-2015-AR-M-002-025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015

FACULTY 0F ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แนวทางการปรับปรุงเหล็กเสริมภายในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
THE WAY OF STEEL ADJUSTMENT TO REINFORCED CONCRETE SHADING DEVICES FOR REDUCING HEAT GAIN INTO BUILDING

นักศึกษา นางสาวสรณีย์ สุทธิธรรม
รหัสประจำตัว 56602044
ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ศุทธา ศรีเผด็จ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ	
รองศาสตราจารย์ศุทธา ศรีเผด็จ	
รองศาสตราจารย์ชนินทร์ ทิพโยภาส	
ดร.รวิช ควรประเสริฐ	
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชญา รังสิรักษ์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 18 สิงหาคม 2558 เวลา 09.00 น.
สถานที่สอบ กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเชฐ โสวิทยสกุล)
คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
วันที่...31...เดือน...สิงหาคม...พ.ศ...2558...

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการปรับปรุงเหล็กเสริมภายในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
นักศึกษา	นางสาวสรณีย์ สุทธิธรรม
รหัสประจำตัว	56602044
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ศุทธา ศรีเผด็จ

บทคัดย่อ

การออกแบบเปลือกอาคารให้มีส่วนยื่นบังแดด(Shading) สามารถป้องกันผนังอาคารจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงให้กับช่องเปิดที่เป็นกระจกได้ ทำให้ความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารน้อยลงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด(Shading coefficient : SC) นี้เป็นตัวแปรหนึ่งในการคิดการใช้พลังงานรวมของอาคารตามกฎหมายควบคุมการใช้พลังงาน โดยไม่คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร อันเนื่องมาจากวัสดุของแผงบังแดด โดยแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีส่วนต่อเชื่อมกับอาคาร ความร้อนที่เกิดขึ้นไว้ภายในแผงบังแดดจะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ซึ่งเรียกปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนนี้ว่า สะพานความร้อน (Thermal bridge) การปรับปรุงวิธีการเสริมเหล็กภายในคอนกรีตของแผงบังแดดด้านทิศใต้เท่านั้น โดยวิธีออกแบบให้เหล็กเสริมและคอนกรีตต่อกับอาคารน้อยที่สุด จากนั้นหาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยโปรแกรม ANSYS ที่สภาวะสมดุล(Steady state)ได้อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวคานด้านในเท่ากับ 52.9 °C สำหรับแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้วิธีเสริมเหล็กทั่วไป จากนั้นทำการออกแบบเหล็กเสริมใหม่โดยปรับปรุงวิธีการเสริมเหล็กโดยลดพื้นที่หน้าตัดของสะพานความร้อน เมื่อจำลองสภาวะการณ์ของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่ และได้อุณหภูมิผิวคานด้านในเท่ากับ 43.7 °C นอกจากนั้นโปรแกรมสามารถบอกค่า ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ซึ่งสำหรับแผงบังแดดเดิมมีค่าเท่ากับ 0.76 W/m^2 และสำหรับแผงบังแดดออกแบบใหม่มีค่าเท่ากับ 0.21 W/m^2 จะเห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนความร้อนลดลงร้อยละ 72.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	The Way of Steel Adjustment to Reinforced Concrete Shading Devices for Reducing Heat Gain into Building
Student	Miss. Soranee Suttitham
Student ID	56602044
Degree	Master of Architecture
Program	Tropical Architecture
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Suphat Bunyarittikit
Thesis Co-advisor	Assoc.Sutha Sripadet

ABSTRACT

The building was designed the shading which can protect the heat gain into opening from direct sun ray. This protection reduces Shading coefficient which is one of factor that impact to whole building energy but it is not concerned in energy consumption code. Unfortunately the conduction of heat gain form connected shading was not concerned in the code. In fact, The shading stocked the heat form sun ray and gain into inside of building is call Thermal bridge. Therefore the goal of the study is to adapt the reinforced concrete by reducing the area of steel and concrete that connect to building. Then simulation by ANSYS software in Steady state condition. The result by software is 52.9 °C in maximum temperature at surface of beam inside the building. Then the reinforced steels have designed for reduced the conduction and simulation again. The result of designed shading is 43.7 °C in maximum temperature at the same face. And heat flux is reduced 72.6 percentile form common design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่มีความตั้งใจให้ความรู้ ประสบการณ์ และโอกาสที่สำคัญ รศ.ศุทธา ศรีเผด็จ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ผู้มีความเชี่ยวชาญชำนาญการที่ให้คำปรึกษา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ชนินทร์ ทิพโยภาส ดร.รวิช ควรประเสริฐ และ รศ.ดร.ปรีชญา รังสิรักษ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ที่กรุณาให้ข้อคิดและแนะนำข้อบกพร่อง แก้ไข และปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการเอื้อเฟื้อใบอนุญาติใช้โปรแกรม ANSYS

กราบขอบพระคุณ คุณนิวัฒน์ ภู่เจริญ เจ้าหน้าที่สำนักคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความกรุณาช่วยเหลือ เรื่องการใช้โปรแกรม ANSYS ตลอดจนคำสั่งสอน และกำลังใจตลอดการทำการทดลองจนสำเร็จ

กราบขอบพระคุณ คุณธานินทร์ ศรีเบญจรัตน์ ผู้เป็นแรงบันดาลใจและสนับสนุน รวมถึงเมตตาสั่งสอนปรัชญาการทำงานและการใช้ชีวิต ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาครั้งนี้

กราบขอบพระคุณบิดา-มารดาที่รักยิ่งของข้าพเจ้า พล.ต.สุรพล สุทธิธรรม และ ผศ.สายชล สุทธิธรรม ผู้ซึ่งคอยสนับสนุนข้าพเจ้า คอยคำปรึกษา ให้ความรักและกำลังใจ

สำหรับคุณประโยชน์และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้ามาตลอดจนถึงทุกวันนี้

สรณีย์ สุทธิธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ II
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา 3
1.4 ขอบเขตการวิจัย 3
1.5 แผนการดำเนินงาน 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม 5
2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องกับแผงบังแดด 5
2.1.1 การนำความร้อน (conduction) 5
2.2.2 การพาความร้อน(Convection) 6
2.2.3 การแผ่รังสี(Radiation) 7
2.2 กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกับแผงบังแดด 8
2.3 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจากแผงบังแดด 10
2.3.1 ลักษณะของแผงบังแดดทั่วไป 10
2.3.2 ลักษณะของแผงบังแดดแยกตามการใช้งาน 11
2.3.3 ลักษณะของแผงบังแดดและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน 2552 13
2.3.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจากแผงบังแดด 13
2.4 สะพานความร้อน(Thermal Bridge)ในแผงบังแดด 15
2.4.1 ทฤษฎีสะพานความร้อน 15
2.4.2 การศึกษาสะพานความร้อนในต่างประเทศ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 แนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อนเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร
จากกรณีศึกษา 20
2.5.1 การใส่ฉนวนภายนอกโครงสร้าง 20
2.5.2 การลดพื้นที่หน้าตัดของแผงบังแดด 21
2.5.3 การใส่ฉนวน(Thermal break)ภายในโครงสร้าง 22
2.6 สรุปกรอบแนวคิดแนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อนในแผงบังแดด 25

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 26
3.1 สรุปแนวทางการลดสะพานความร้อน 26
3.2 แผงบังแดดจากอาคารกรณีศึกษา 27
3.2.1 ตำแหน่งของแผงบังแดดในอาคารกรณีศึกษา 27
3.2.2 วัสดุและโครงสร้างภายในแผงบังแดด 28
3.3 การหาเครื่องมือเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนจากแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก 30
3.3.1 สร้างจริง 30
3.3.2 การคำนวณด้วยสมการ 31
3.3.3 ใช้โปรแกรมสร้างสภาวะจำลอง 33
3.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในโปรแกรม ANSYS 40
3.4.1 การสร้างสภาวะจำลองรูปร่างและรายละเอียดในแผงบังแดดคอนกรีต
เสริมเหล็ก 40
3.4.2 การสร้างสภาวะจำลองสภาพอากาศ(อุณหภูมิ) 41
3.4.3 การสร้างสภาวะจำลองค่าการนำความร้อนของวัสดุ
(Thermal conductivity) 46
3.5 วิธีการทดลอง 47
3.5.1 เตรียมหุ่นจำลองเพื่อใช้ในโปรแกรม ANSYS 47
3.5.2 ออกแบบแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน 48
3.5.3 เปรียบเทียบผลจากโปรแกรม ANSYS 51
บทที่ 4 ทดลองและผลการทดลอง 52
4.1 ออกแบบเหล็กเสริมตามแนวคิดเพื่อการประหยัดพลังงาน 52
4.1.1 แผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.2 แผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 53

4.2 หาการถ่ายเทความร้อนของการเสริมเหล็กตามแบบโดยโปรแกรม ANSYS 54

4.2.1 แบบแผงบังแดดตามแบบก่อสร้างที่ใช้เพื่อการจำลองสภาวะการณ์การนำความร้อน 54

4.2.2 การใส่เงื่อนไข(Condition)ในการจำลองการถ่ายเทความร้อน 56

4.2.3 ผลการจำลองสภาวะการณ์ของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง 61

4.3 หาการถ่ายเทความร้อนของการเสริมเหล็กเพื่อลดสะพานความร้อนโดยโปรแกรม ANSYS 64

4.3.1 การใส่เงื่อนไข(Condition)ในการจำลองการถ่ายเทความร้อน 65

4.3.2 ผลการจำลองสภาวะการณ์ของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 69

4.4 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของการเสริมเหล็ก ระหว่างการเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างทั่วไปและการเสริมเหล็กเพื่อลดสะพานความร้อน 73

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ 75

5.1 สรุปผลการทดลอง 75

5.2 ข้อเสนอแนะ 76

บรรณานุกรม 77

เอกสารอ้างอิง 78

ภาคผนวก ก 79

ภาคผนวก ข 80

ประวัติผู้เขียน 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารตามกฎหมายควบคุมการใช้พลังงานอาคาร 8

3.1 แสดงสรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโปรแกรม 39

4.1 ผลการทดลอง 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงภาพอาคารกรณีศึกษา	2
2.1	แสดงลักษณะการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนของแผงบังแดด	8
2.2	ตัวอย่างรูปแบบแผงบังแดดทั่วไป	10
2.3	อาคารวิทยุการบินแห่งประเทศไทย	11
2.4	โครงการคอนโดบริดจ์ พหลโยธิน37	12
2.5	อาคารโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์	12
2.6	พฤติกรรมการนำความร้อนแบบหนึ่งมิติ	15
2.7	แสดงแผนภูมิและพฤติกรรมสะพานความร้อนเข้าสู่อาคาร	17
2.8	ปัจจัยที่ส่งผลต่อสะพานความร้อน	18
2.9	(a)ลักษณะการจำลองผนังกรุฉนวน (b)ผนังกรุฉนวนพร้อมระเบียง	19
2.10	แสดงการเอาฉนวนบริเวณรอบต่อของระเบียงออก	20
2.11	การใส่วัสดุหน่วงอุณหภูมิภายในโครงสร้างระเบียง	21
2.12	การลดพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตบริเวณที่สัมผัสกับอาคาร	21
2.13	วัสดุฉนวนหน่วงอุณหภูมิ(Thermal break)	22
2.14	รายละเอียดโครงสร้างภายในวัสดุฉนวนหน่วงอุณหภูมิและการติดตั้งวัสดุหน่วงอุณหภูมิ	22
2.15	การใส่วัสดุหน่วงอุณหภูมิ (Thermal break) ของ Schoeck Isokrob ภายในโครงสร้างระเบียง	23
2.16	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานความร้อนและวิธีการแก้ปัญหาสะพานความร้อน	23
2.17	สรุปแนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อน	25
3.1	เลือกรูปแบบในการแก้ปัญหาสะพานความร้อน	26
3.2	แสดงผังห้องพักของอาคารกรณีศึกษา	27
3.3	แสดงขนาดของห้องพักและตำแหน่งระเบียง	27
3.4	แสดงทางเดินดวงอาทิตย์ อ้อมใต้เป็นส่วนใหญ่ในรอบปี	28
3.5	แสดงลักษณะการกระจายแรงของแผงบังแดด	29
3.6	แสดงแปลนและรูปตัดของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก	29
3.7	อุปกรณ์ที่ต้องใช้เก็บข้อมูลด้วยการทดลองสร้างจริง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งผ่านระบบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	แสดงการออกแบบการทดลองเมื่อสร้างจริง	31
3.9	แสดงการนำความร้อนในแนวแกนเดียวของสมการฟูเรียร์	32
3.10	แสดงภาพสามมิติการเสริมเหล็กในแผงบังแดด	32
3.11	แสดงรูปร่างหน้าตัดซับซ้อนของกรอบอลูมิเนียมและกระจก	34
3.12	แสดงการสร้างสภาวะการณ์จำลองในโปรแกรม THERM	34
3.13	แสดงหน้าต่างในโปรแกรม THERM เมื่อใส่ประเภทวัสดุ ค่าการนำความร้อน และค่าการปลดปล่อยความร้อน	35
3.14	แสดงหน้าต่างในโปรแกรม THERM เมื่อใส่ค่าอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุ	35
3.15	แสดงหน้าต่างในโปรแกรม THERM เมื่อเลือกการแสดงผลเป็นเส้นอุณหภูมิ	36
3.16	แสดงสภาวะการณ์จำลองเรื่องลมในโปรแกรม ANSYS	37
3.17	แสดงสภาวะการณ์จำลองเรื่องความแข็งแรงในโปรแกรม ANSYS	37
3.18	แสดงสภาวะการณ์จำลองเรื่องความร้อนในโปรแกรม ANSYS	38
3.19	แสดงสภาวะการณ์จำลองการ Meshing ในโปรแกรม ANSYS	38
3.20	หุ่นจำลองสามมิติของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างในโปรแกรม Solidwork	40
3.21	หุ่นจำลองสามมิติของการเสริมเหล็กภายในของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างในโปรแกรม Solidwork	41
3.22	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิอากาศของของสถานีตรวจวัดดอนเมือง	41
3.23	แสดงการคำนวณอุณหภูมิผิววัสดุของแต่ละพื้นผิว	42
3.24	แสดงการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวของแผงบังแดด	43
3.25	แสดงการใส่ค่าอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature)	44
3.26	การใส่การพาความร้อนอิสระ	44
3.27	การใส่ข้อมูลการพาความร้อนอิสระ	45
3.28	แสดงช่องใส่ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ	46
3.29	คุณสมบัติวัสดุที่จำเป็นต้องใช้เพื่อคำนวณโดยโปรแกรม ANSYS	46
3.30	หุ่นจำลองสามมิติของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างในโปรแกรม Solidwork	47
3.31	หุ่นจำลองแผงบังแดดเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างที่ใช้คำนวณในโปรแกรม ANSYS	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.32 ทิศทางการถ่ายแรงของเหล็กเสริมหลักของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน 48
3.33 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง 49
3.34 แสดงแนวคิดการออกแบบแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน 49
3.35 รายละเอียดการเสริมเหล็กภายในแผงบังแดดที่ออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 50
3.36 การกำหนดการแสดงผลในโปรแกรม ANSYS 51
3.37 การกำหนดค่าเพื่อหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในโปรแกรม ANSYS 51
4.1 แสดงการเสริมเหล็กฝากถ่ายแรงสู่คาน B1 และB4 ของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง 52
4.2 แสดงภาพสามมิติการเสริมเหล็กของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง 52
4.3 แสดงการเสริมเหล็กฝากถ่ายแรงสู่คาน B1' และB4' ของแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 53
4.4 แสดงภาพสามมิติการเสริมเหล็กของแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 54
4.5 ใส่คำสั่งผิวสมมาตร ในโปรแกรม ANSYS 54
4.6 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง ในโปรแกรม ANSYS 55
4.7 แสดงหุ่นจำลองของเหล็กเสริมที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง ในโปรแกรม ANSYS 55
4.8 แสดงการใส่ค่าข้อมูลคุณสมบัติของคอนกรีตในโปรแกรม ANSYS 56
4.9 แสดงการใส่ค่าข้อมูลคุณสมบัติของเหล็กเสริมในโปรแกรม ANSYS 56
4.10 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวบนของแผงบังแดด 57
4.11 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบข้างของแผงบังแดด 58
4.12 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบด้านหน้าของแผงบังแดด 58
4.13 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระของพื้นผิวแนวดิ่ง 59
4.14 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระใต้พื้นผิวแนวระนาบ 59
4.15 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระเหนือพื้นผิวแนวระนาบ 60
4.16 แสดงพื้นที่ฉนวนยิ่งยวด 60
4.17 แสดงผลการสร้างสภาวะการณ์จำลองของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง 61
4.18 แสดงแถบสีอุณหภูมิที่บริเวณคานด้านในของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสิทธิ์เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.19 ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ผิวคานด้านในแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง 62
4.20 แสดงการวัดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ที่ผิวคานด้านในของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง 63
4.21 แสดงหุ่นจำลองของเหล็กเสริมที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อนในโปรแกรม ANSYS 64
4.22 แสดงหุ่นจำลองของเหล็กเสริมที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อนในโปรแกรม ANSYS 64
4.23 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวบนของแผงบังแดด 66
4.24 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบข้างของแผงบังแดด 66
4.25 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบด้านหน้าของแผงบังแดด 67
4.26 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระของพื้นผิวแนวดิ่ง 67
4.27 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระใต้พื้นผิวแนวระนาบ 68
4.28 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระเหนือพื้นผิวแนวระนาบ 68
4.29 แสดงพื้นที่ฉนวนยิ่งยวด 69
4.30 แสดงผลการสร้างสภาวะการณ์จำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 70
4.31 แสดงแถบสีอุณหภูมิคานด้านในของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน 71
4.32 ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ผิวคานด้านในแผงบังแดดที่ออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 71
4.33 แสดงการวัดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ที่ผิวคานด้านในของแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบอาคารเพื่อลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยเทคนิคที่เป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพคือการออกแบบอาคารให้มีส่วนต่อยื่นเพื่อเป็นการบังเงา ทำให้เปลือกอาคารไม่โดนรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง อันเป็นการช่วยลดอุณหภูมิให้แก่อาคารได้ การป้องการความร้อนดังกล่าวไม่สามารถป้องกันความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อน(Q) เข้าสู่อาคารด้วยการนำความร้อน (U)ของแผงบังแดดได้

การถ่ายเทความร้อน(Q)เข้าสู่อาคารโดยการนำความร้อน(U) ของแผงบังแดดซึ่งมีส่วนต่อเชื่อมกับอาคารจะเกิดจากที่ความร้อนถูกกักเก็บไว้ภายในแผงบังแดดและถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ซึ่งเรียกปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนนี้ว่า สะพานความร้อน (Thermal bridge)[1] ปริมาณการถ่ายเทความร้อน(Thermal conductivity) นี้ขึ้นกับของวัสดุที่ใช้ทำแผงบังแดด พื้นที่หน้าตัดของแผงบังแดด และความยาวของสะพานความร้อน(Bridge length) จึงทำให้การเลือกใช้วัสดุแผงบังแดดเป็นปัจจัยแรกที่มีอิทธิพลกับความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคารแตกต่างกัน

มีงานวิจัยในประเทศแคนนาดาซึ่งอยู่ในเขตหนาวศึกษาการลดการนำความเย็นจากระเบียง(Bolcony) โดยการใส่วัสดุหน่วงอุณหภูมิ(Thermal break)[2] เต็มความยาวของระเบียงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเหล็กเสริมในระเบียง ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานในการสร้างความอบอุ่นให้อาคารได้ร้อยละ 5-13 ของพลังงานรวมของอาคารขึ้นกับพื้นที่การใช้พลังงานของอาคาร นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยศึกษารูปร่างของเหล็กเชื่อมระหว่างกำแพงแซนวิช (Sandwich wall)[3] ที่

---

[1] Abdullatif E. Ben-Nakhi, Minimizing thermal bridging through window systems in buildings of hot regions , Applied Thermal Engineering 22 (2002) , Pages 989–998

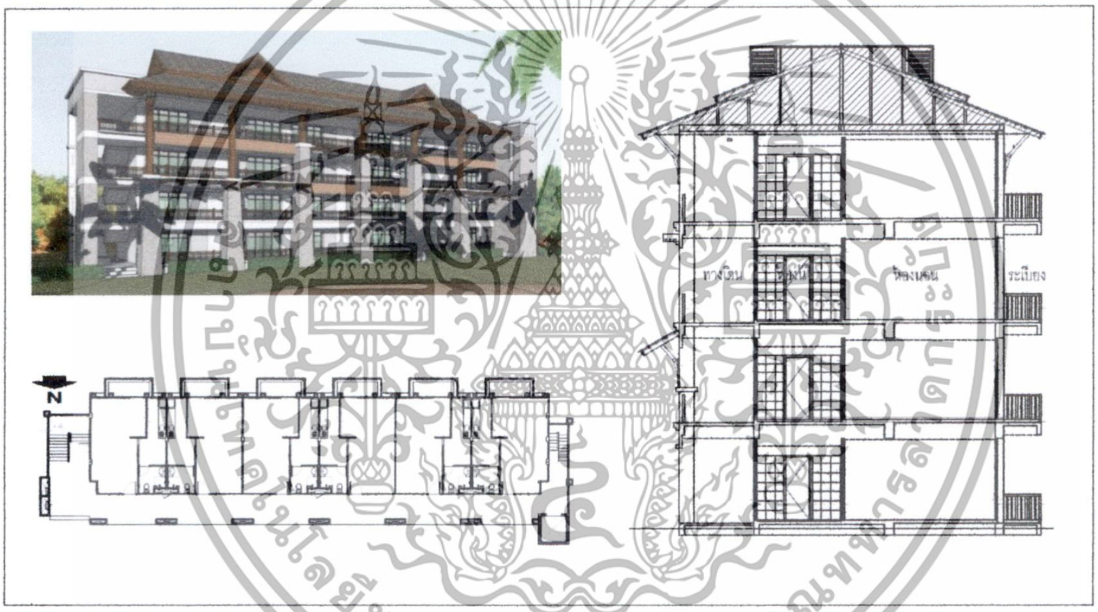
[2] Hua Gea, 2013, Victoria Ruth McClung, Shenshu Zhang , Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study , Energy and Buildings 60 (2013) , Pages 163–173

[3] Yail J. Kima, Austin Allard , Thermal response of precast concrete sandwich walls with various
steel connectors for architectural buildings in cold regions , Energy and Buildings 80 (2014) , Pages 137 - 148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกัน 3 ชนิด คือดับบลิว(W) ซี(Z) และเจ(J) โดยผลการทดลองด้วยการสร้างแบบจำลองพบว่าเหล็กรูปร่างดับบลิว(W) มีการนำความร้อนผ่านกำแพง แซนวิสน้อยที่สุดในบรรดาเหล็กเชื่อมระหว่างกำแพงรูปร่างอื่น ซึ่งประเทศไทยควรมีการคำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากสะพานความร้อนเช่นกัน

เมื่อทราบปัจจัยที่มีผลต่อการนำความร้อนสะพานความร้อน จึงได้ทำการศึกษาหาอาคารกรณีศึกษาในประเทศไทย ซึ่งอาคารที่ก่อสร้างใหม่หลังปี พ.ศ. 2552 ที่มีขนาดเกิน 2,000 ตารางเมตร ต้องมีการจำกัดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall thermal transfer value ;OTTV) ซึ่งการคิดค่า OTTV นั้นพื้นที่เปลือกอาคารจะต้องติดกับส่วนพื้นที่ปรับอากาศ(รูปที่ 1.1)



รูปที่ 1.1 แสดงภาพอาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษา คุณสมบัติทางความร้อน(Thermal properties) ของวัสดุที่ใช้ทำแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยคอนกรีตที่มีความหนาแน่น 2,400 kg/m^3 มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 1.2 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ในขณะที่เหล็กเสริมนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงถึง 60 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน[4] จะเห็นว่าเหล็กมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงกว่าคอนกรีตมาก จึงเป็นแนวคิดที่จะทำการลดเหล็กเสริมเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

[4] Dahmani, L., Khennane, A. , Kaci,S. , Behavior of the reinforced concrete at cryogenic temperature , Cryogenics , Volume 47, Issues 9-10, September-October 2007, Pages 517-525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยในต่างประเทศสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยทำการปรับปรุงการเหล็กเสริมในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงเป็นที่มาของ**งานวิจัยแนวทางการปรับปรุงการเสริมเหล็กภายในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร**

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อปรับปรุงวิธีการเหล็กเสริมในแผงบังแดดเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 การปรับปรุงเหล็กเสริมภายในของแผงบังแดดคอนกรีตโดยวิธีการเสริมเหล็กที่แตกต่างจากเดิม สามารถลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการนำความร้อนจากแผงบังแดดแนวนอนในทิศใต้เท่านั้น เนื่องจากทิศดังกล่าวรับรังสีอาทิตย์มากที่สุดในรอบปี

1.4.2 จำลองการถ่ายเทความร้อนอาคารปรับอากาศ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจะเป็นภาระทำความเย็น(Cooling load) ของเครื่องปรับอากาศ แปรผันตรงตามความสิ้นเปลืองการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศ

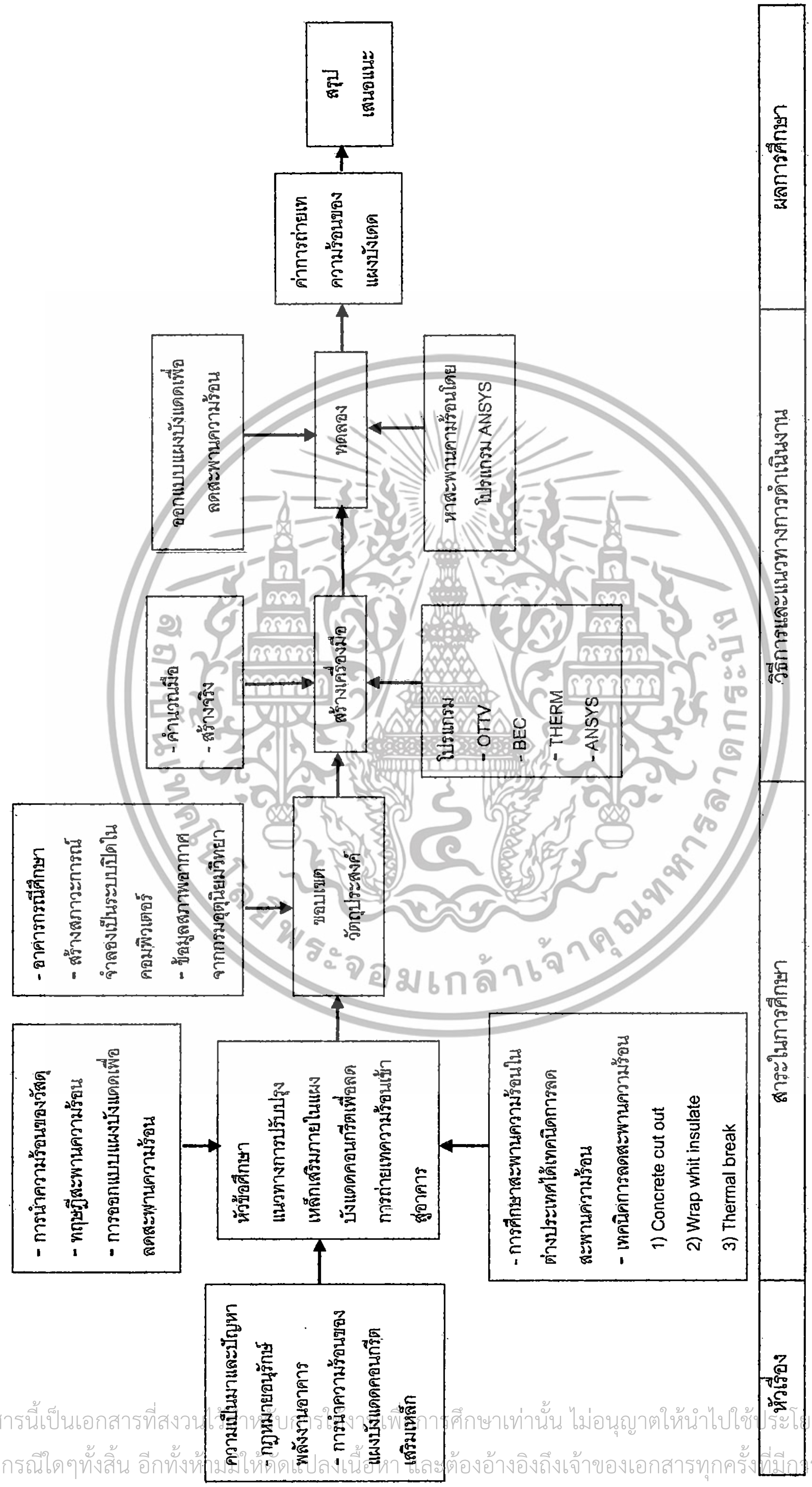
1.4.3 ใช้อุณหภูมิอากาศเพื่อจำลองสภาวะการณ์เป็นอุณหภูมิสูงสุดของกรุงเทพมหานครจากกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจวัดสภาพอากาศดอนเมือง ในปีล่าสุด พ.ศ.2557 เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร

1.4.4 เจ้าของโครงการอาคารกรณีศึกษา ไม่อนุญาติให้ทดลองติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิจริงที่อาคารกรณีศึกษา

1.4.5 เจ้าของโครงการอาคารกรณีศึกษาไม่อนุญาติให้เปิดเผยชื่อโครงการที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องกับแผงบังแดด

ปริมาณความร้อนจากทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารจึงถูกกักเก็บไว้ซึ่งรูปแบบการถ่ายเทความร้อนแบ่งได้ เป็น 3 ทางดังนี้[5]

2.1.1 การนำความร้อน (conduction)

กลไกของการนำความร้อน เกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เกิดขึ้นในสสารที่มีสภาพเป็นของแข็งมาสัมผัสกัน ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของแต่ละวัสดุนั้น(สมการที่ 2.1)

$$q = kA\Delta T/\Delta X \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

เมื่อ q คือ พลังงานจากการนำความร้อน (W)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^{2}{}^{\circ}C$)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร (°C)

ΔX คือ ความหนาของวัสดุ (m)

2.1.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(Thermal conductivity : k) คือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุต่างๆ โดยเป็นความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัสดุใดๆ หรือปริมาณความร้อนภายใต้สภาวะคงที่ที่ถ่ายเทผ่าน 1 หน่วยพื้นที่ของวัตถุที่มีความหนา 1 หน่วย ใน 1 หน่วยเวลา โดยมีความแตกต่างอุณหภูมิผิววัสดุทั้งสองด้าน 1 หน่วย มีหน่วยในระบบ SI เป็น $W/m^{2}{}^{\circ}C$

---

[5] Steven V.Szokolay, Introduction to Architectural Science the Basic of Sustainable Design,Elsevier 2004 , Pages 5-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 ค่าความต้านทานความร้อน(Thermal resistance / R- value) คือค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุนั้นๆ ถ้าค่า R มาก แสดงถึงความเป็นฉนวนที่ดี สามารถต้านทานความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุได้มาก สามารถคำนวณได้(สมการที่ 2.5)

$$R = \frac{\Delta x}{k}$$ สมการที่ 2.2

โดย R คือ ค่าความต้านทานความร้อน

Δx คือ ค่าความหนาของวัสดุ (m.)

k คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^{2}{}^{\circ}C$)

2.1.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(Coefficient of transmission : U - value) คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยค่า U – value ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน สามารถคำนวณได้(สมการที่ 2.3)

$$U = \frac{1}{R}$$ สมการที่ 2.3

โดย U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน

2.2.2 การพาความร้อน(Convection)

การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการพาความร้อนเกิดขึ้นระหว่างของแข็งและของไหลในบริเวณใกล้เคียงกันมีอุณหภูมิต่างกัน ทั้งนี้ของไหลที่กล่าวถึง ได้แก่ ก๊าซหรือของเหลว เป็นต้น ของไหลนี้เปรียบเสมือนตัวพาความร้อน เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

2.2.2.1 การพาความร้อนแบบบังคับ(Forced convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนผ่านผิวของแข็งด้วยแรงภายนอก เช่น พัดลม เป็นต้น

2.2.2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ(Free convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนไหลผ่านผิวของของแข็งด้วยแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่นในของไหลเพราะมีอุณหภูมิต่างกัน(สมการที่ 2.4)

$$Q = h_c A(T_s - T_r)$$ สมการที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Q = พลังงานจากการพาความร้อน (W)

h_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มอากาศ (W/m^2°C)

พื้นผิวแนวดิ่ง(Vertical surface) = 3.0 W/m^{2}K

ใต้พื้นผิวแนวราบ(Horizontal down) = 1.5 W/m^{2}K

เหนือพื้นผิวแนวราบ(Horizontal up) = 4.3 W/m^{2}K

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิผิววัสดุ (°C)

T_r คือ อุณหภูมิอากาศในอาคาร (°C)

2.2.3 การแผ่รังสี(Radiation)

กลไกการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีมีความแตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำและการพาความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนไม่ต้องอาศัยตัวกลาง โดยถ่ายเทความร้อนในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสีที่เกิดในช่วงความยาวช่วงคลื่น 0.1-100 ไมโครเมตร จัดเป็นรังสีความร้อน(Thermal radiation) (สมการที่ 2.5)

$$Q = \varepsilon A \sigma (T_s^4 - T_r^4) \qquad \text{สมการที่ 2.5}$$

โดยที่ Q คือ พลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน (W)

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานและโบลซ์มน (W/m^{2}K^4) = 5.67×10^{-8} W/m^{2}K^4

ε คือ ค่าการคายรังสีความร้อน

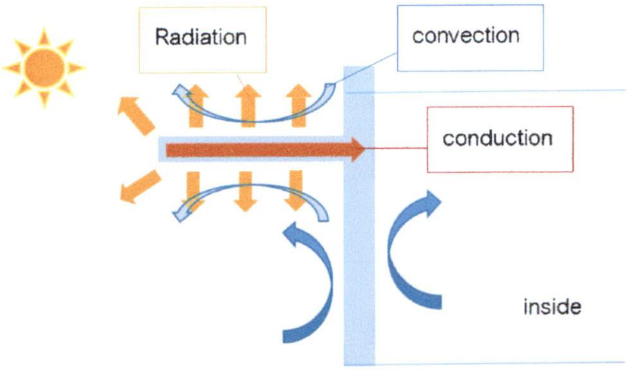
A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิผิววัสดุ (K)

T_r คือ อุณหภูมิอากาศในอาคาร (K)

การเกิดปรากฏการณ์การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับความร้อน เมื่อแผงบังแดดได้รับความร้อนจะมีการกักเก็บความร้อนไว้ภายในโดยความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกวัสดุนำความร้อน(Conduction)เข้าสู่อาคาร ความร้อนอีกส่วนหนึ่งจะแผ่รังสี(Radiation) กระจายความร้อนออกรอบวัสดุ และการแผ่ความร้อนนี้ทำให้อากาศบริเวณผิววัสดุมีความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ทำให้เกิดการพาความร้อน(Convection)อันเนื่องมากจากอากาศร้อนบริเวณผิววัสดุลอยขึ้นและเกิดการแทนที่ของอากาศที่เย็นกว่าบริเวณผิววัสดุ(รูปที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ของแผงบังแดด

2.2 กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกับแผงบังแดด

การก่อสร้างอาคารใหม่ที่มีขนาดเกิน 2,000 ตารางเมตร กฎหมายเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 กำหนดให้การออกแบบอาคารมีข้อกำหนดหลายด้านเช่น ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เป็นต้น เพื่อนำมาสู่การปฏิบัติในด้าน **"กรอบอาคาร"** กฎหมายระบุให้มีการออกแบบเปลือกอาคารให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (Overall thermal transfer value ;OTTV)[6] ดังแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารตามกฎหมายควบคุมการใช้พลังงานอาคาร

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร OTTV (วัตต์ต่อตารางเมตร)
สถานศึกษา สำนักงาน	50
โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	40
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30

โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมจากผนังนั้น จะทำการคำนวณจากผนังอาคารและหลังคาในส่วนที่มีการปรับอากาศเท่านั้น และสามารถคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร(OTTV) ได้(สมการที่ 2.6)

---

[6] ประกาศกระทรวงพลังงาน, ราชกิจจานุเบกษาเล่ม .126 ตอนพิเศษ 12ง 2552

... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + ... + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1}+A_{w2}+...+A_{wi}}$$ สมการที่ 2.6

โดย $OTTV_i$ คือ การถ่ายเทความร้อนของผนังแต่ละด้าน และ A_i คือ พื้นที่ของผนังที่ทำการคิดค่าการถ่ายเทความร้อน (m^2) โดยค่า $OTTV_i$ นั้น สามารถคำนวณได้(สมการที่ 2.7)

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$ สมการที่ 2.7

เมื่อ U_w คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (W/m^2)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของ ผนังทึบ (°C)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงหรือกระจก ($W/m^2.°C$)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (°C)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ (W/m^2)

จากสมการที่ 2.7 มีค่าที่เกี่ยวข้องกับแผงบังแดดในส่วนของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient ; SC) เป็นค่าที่เกิดขึ้นจากสิ่งกันแดดเหนือช่องเปิดกระจกของอาคารเพื่อลดความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์โดยตรง โดยค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8

$$SC = \frac{E_{ew}}{E_{ew\theta}}$$ สมการที่ 2.8

โดย E_{ew} คือ รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบ หน้าต่างที่พิจารณา (W/m^2)

$E_{ew\theta}$ คือ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด (W/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

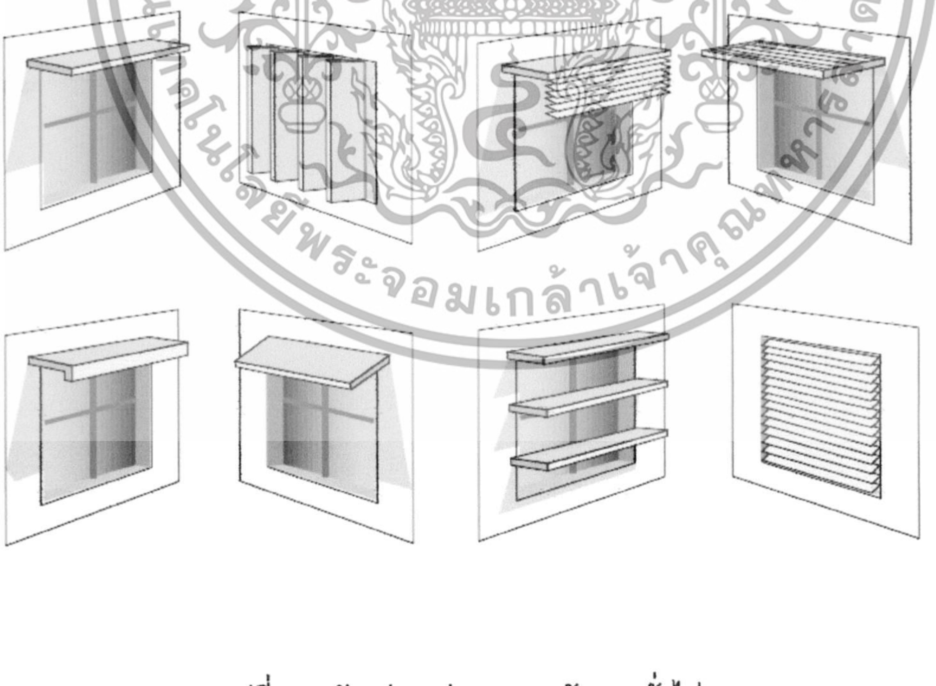
โปรแกรมการคิดค่าการใช้พลังงานอาคาร (Building Energy Code Software : BEC) ของกระทรวงพลังงาน มีการกำหนดให้ใส่รูปร่างของแผงบังแดดเป็นคู่ลำดับพิกัด(Coordinate) และโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดดให้ เพื่อสามารถนำค่าที่ได้ไปใส่ในขั้นตอนการหาพลังงานรวมของอาคารต่อไป

2.3 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจากแผงบังแดด

เนื่องจากแผงบังแดดที่ใช้เพื่อบังเงาให้กับผนังอาคารนั้นมีการรับรังสีจากดวงอาทิตย์ไม่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนได้ ซึ่งการนำความร้อนจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นมีองค์ประกอบดังนี้

2.3.1 ลักษณะของแผงบังแดดทั่วไป

ประเภทของแผงบังแดดโดยทั่วไปจะมีการออกแบบเป็นแผงบังแดดแนวราบ (Horizontal shading) แผงบังแดดแนวดิ่ง(Vertical shading) โดยการออกแบบจะขึ้นกับทิศทางและปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ(Day light) ที่ต้องการ(รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรูปแบบแผงบังแดดทั่วไป

ที่มา: http://gbtech.emsd.gov.hk/english/minimize/green_solar.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ลักษณะของแผงบังแดดแยกตามการใช้งาน

ลักษณะของแผงบังแดดมีสองลักษณะ คือ ลักษณะแรก "เพื่อการบังแดดเพียงอย่างเดียว" และ ลักษณะที่สอง "แผงบังแดดในรูปของระเบียง" ลักษณะสำคัญพื้นระเบียงนั้นๆ คือสามารถใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ใช้สอยได้

2.3.2.1แผงบังแดดเพื่อการบังแดดเพียงอย่างเดียว

เป็นแผงบังแดดในลักษณะที่ก่อสร้างติดกับอาคารโดยไม่ต้องรับน้ำหนักบรรทุก(Live Load) หรือแผงสำเร็จรูปที่นำมาติดยึดกับผนังอาคารภายหลังวัสดุที่ใช้ทำ เช่น อลูมิเนียม เหล็ก เป็นต้น(รูปที่ 2.3)

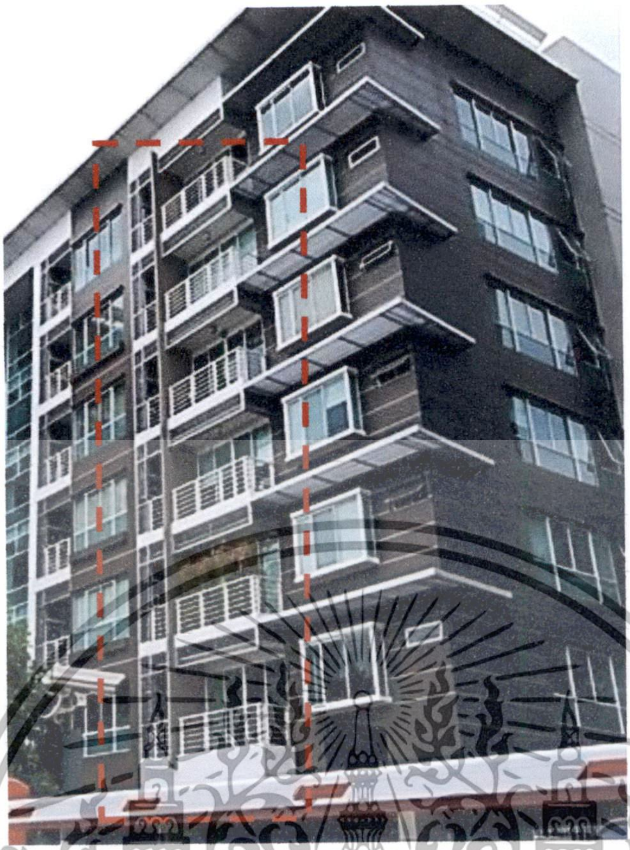
รูปที่ 2.3 อาคารวิทยุการบินแห่งประเทศไทย

ที่มา : เวปไซต์ ผลิตภัณฑ์ M.V.P Four stars (www.mvpfourstars.com)

2.3.2.2 แผงบังแดดในรูปแบบระเบียง(ออกไปใช้งานได้)

ลักษณะสำคัญพื้นระเบียงนั้นๆ คือสามารถใช้ประโยชน์เป็นพื้นที่ใช้สอยได้ โดยแผงบังแดดในรูปประเบียงนั้น จะพบเห็นในกันมากในอาคารพักอาศัยมีระบบการก่อสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้มีความแข็งแรงและรับน้ำหนักบรรทุก(Live Load) ได้ (รูปที่ 2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงการคอนโดบริดจ์ พหลโยธิน37

ที่มา : Theproperty.in.th

นอกจากนั้นแผงบังแดดในรูปของระเบียงที่สามารถรับน้ำหนักได้ ยังพบมากในอาคารโรงพยาบาล ตัวอย่างอาคารโรงพยาบาลจุฬาฯ(รูปที่ 2.5) ซึ่งระเบียงเชื่อมกับส่วนที่เป็นห้องพักผู้ป่วยซึ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ

รูปที่ 2.5 อาคารโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

ที่มา : เวปไซต์ โรงพยาบาลจุฬา (www.specialclinicchula.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ลักษณะของแผงบังแดดและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ตามกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน 2552

แผงบังแดดติดกับส่วนพื้นที่ปรับอากาศ(Cooling area) ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง(OTTV) ตามกฎหมายควบคุมการใช้พลังงานอาคาร โดยตรงการคิดค่าการใช้พลังงานอาคาร (Building Energy Code Software : BEC) จะประกอบไปด้วยส่วนของการคิดค่าการถ่ายเทความร้อน(U)ของผนัง และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดด(Shading coefficient : SC) ด้วย

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดนั้นคิดเฉพาะขนาดความยาวและกว้างเท่านั้นโดยไม่ได้คำนึงถึงวัสดุที่ใช้ทำแผงบังแดด แต่ตามทฤษฎีการนำความร้อน สามารถวิเคราะห์ได้ว่าแผงบังแดดมีสภาพเป็นพื้นที่ผิวรับแดดแทนกระจก ทำให้มีการกักเก็บความร้อนไว้ภายในแผงบังแดดและถ่ายเทความร้อนที่ถูกสะสมไว้สู่อาคารเรียกปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนนี้ว่า **สะพานความร้อน (Thermal bridge)** โดยสะพานความร้อนนี้ขึ้นกับค่าการถ่ายเทความร้อน (Thermal conductivity) ของวัสดุที่ใช้ทำแผงบังแดด**อันเป็นช่องว่างทำให้ของการออกแบบเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานตามกฎหมายเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552**

จะเห็นว่าแผงบังแดดในรูปแบบระเบียงถูกออกแบบในอาคารพักอาศัย(คอนโด) อาคารสำนักงาน และโรงพยาบาล ซึ่งมีหน่วยการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศ จึงทำให้สะพานความร้อนที่เกิดขึ้นในแผงบังแดดรูปแบบดังกล่าว(แผงบังแดดในรูปแบบระเบียง) เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดมีดังนี้

2.3.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจากแผงบังแดด

2.3.4.1 อุณหภูมิบริเวณพื้นผิววัสดุ (Sol-air temperature)[7]

เมื่อศึกษาบริเวณผิวด้านนอกพบว่าด้านบนของผิวระเบียงมีค่าอุณหภูมิ (Sol-air temperature ; T_{so}) เป็นอุณหภูมิสมมติของฟิล์มอากาศที่ติดอยู่กับผิวของวัสดุ ซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศมาก โดยทิศและที่ตั้งของแผงบังแดด จะส่งผลต่อค่าการแผ่รังสีเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.9[8]

---

[7] Steven V.Szokolay, Introduction to Architectural Science the Basic of Sustainable Design,Elsevier 2004 Pages 39

[8] Chirarattananon Surapong. 2005. "Building for Energy Efficiency' Energy fileld of studt. School of Environment Resources and Development." Bangkok. Asian institute of technology

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่ผิววัสดุ $T_{so} = T_o + R_o(\alpha_w I - \varepsilon I_r)$ สมการที่ 2.9

เมื่อ T_o คือ อุณหภูมิอากาศ (°C)

R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนภายนอก มีค่า 1/6.625 สำหรับทุกพื้นผิว

α_w คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของพื้นผิว

มีค่าเท่ากับ 0.2 สำหรับผนัง และ 0.5 สำหรับหลังคา

I คือ ค่าการแผ่รังสีเฉลี่ย(W) สามารถแบ่งตามทิศได้ดังนี้

ทิศเหนือมีค่าเท่ากับ 104.7 W

ทิศใต้มีค่าเท่ากับ 148.3 W

ทิศตะวันออกและตะวันตกมีค่าเท่ากับ 137.8 W

หลังคามีค่าเท่ากับ 372.5 W

ε คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของคลื่นยาวของพื้นผิว

โดยสามารถประมาณค่าได้เท่ากับ α_w

I_r คือค่าการแผ่รังสีคลื่นยาว

มีค่าเท่ากับ 0 สำหรับผนัง และ 100 W/m^2 สำหรับหลังคา

จะเห็นว่าอุณหภูมิผิววัสดุจะขึ้นกับทิศที่ติดตั้งแผงบังแดด โดยเป็นผลมากจากทางเดินของดวงอาทิตย์ ซึ่งในประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรทำให้ทางเดินดวงอาทิตย์จะเยื้องทางทิศใต้(อ้อมใต้) มากที่สุด จะเห็นว่าค่าการแผ่รังสีเฉลี่ย(I)ในทิศใต้(สมการที่ 2.9) จะมีค่ามากกว่าทิศเหนือและทิศตะวันออก-ตก และจะมีค่ามากที่สุดคือส่วนที่เป็นหลังคาเนื่องจากรับรังสีดวงอาทิตย์ตลอดปี

2.3.4.2 ค่าคุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตและเหล็ก[9]

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดคือวัสดุที่ใช้ทำแผงบังแดด โดยแต่ละวัสดุจะมีค่าคุณสมบัติทางวัสดุที่แตกต่างกัน เช่น สี น้ำหนัก ความหนาแน่น เป็นต้น รวมถึงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุด้วย เช่น ค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน เป็นต้น

---

[9] *Dahmani, L., Khennane, A., Kaci,S. , « Behavior of the reinforced concrete at cryogenic temperature », Cryogenics , Volume 47, Issues 9-10, September-October 2007, Pages 517-525

สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สะพานความร้อน(Thermal Bridge)ในแผงบังแดด

2.4.1 ทฤษฎีสะพานความร้อน

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน สามารถอธิบายปัจจัยของการนำความร้อนได้ดังสมการการถ่ายเทความร้อนอย่างง่าย หรือสมการการถ่ายเทความร้อนหนึ่งมิติ หรือที่รู้จักกันชื่อ สมการฟูเรีย์(สมการที่ 2.10)

$$Q = UA\Delta T$$ สมการที่ 2.10

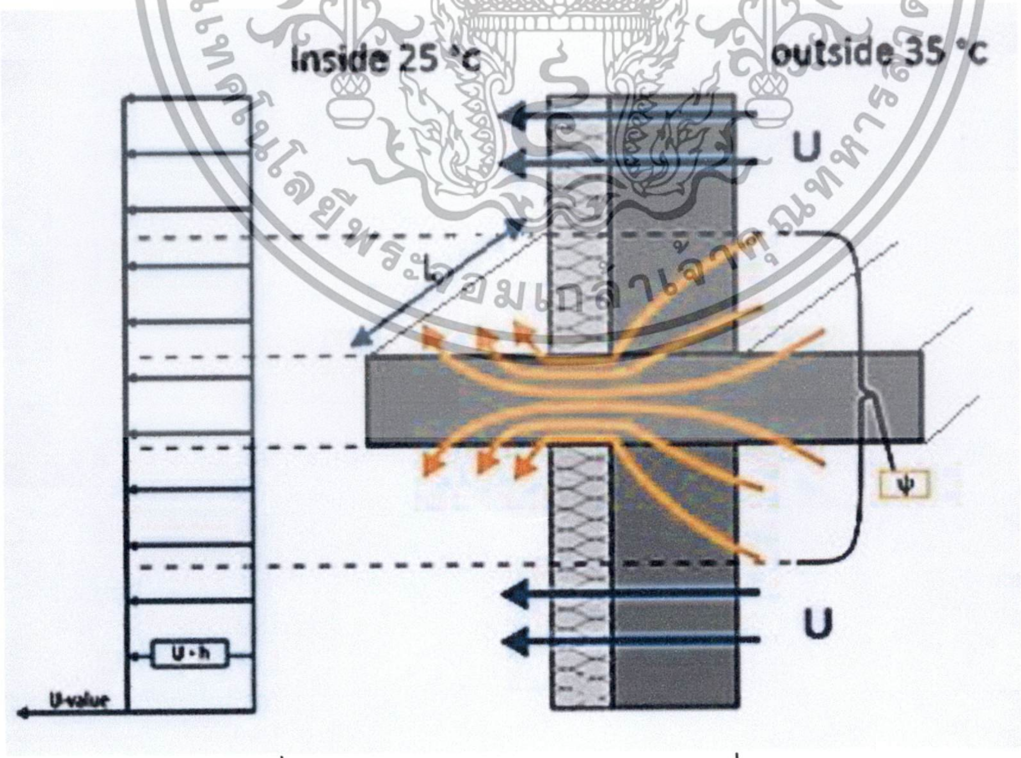
เมื่อ Q คือ พลังงานจากการนำความร้อน (W)

U คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^{2}{}^{\circ}C$)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร ($^{\circ}C$)

พฤติกรรมการนำความร้อนแบบหนึ่งมิติ แสดงดังกราฟสีน้ำเงิน(รูปที่2.6) ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารจะสม่ำเสมอ(Uniform)เท่ากับทั้งผนัง



รูปที่ 2.6 พฤติกรรมการนำความร้อนแบบหนึ่งมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การหาสะพานความร้อนไม่สามารถหาได้โดยสมการการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ เนื่องจากเป็นการคิดอิทธิพลที่ส่งผลกับการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติดังแสดงในสมการที่ 2.11 มีตัวแปรสำคัญคือ Thermal coupling coefficient

$$Q_{3d} = \xi \Delta T \qquad \text{สมการที่ 2.11}$$

เมื่อ ξ คือ Thermal coupling coefficient

ΔT คือความต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

ซึ่งค่า Thermal coupling coefficient สามารถหาได้จากสมการที่ 2.12

$$\xi = \xi_{1d} + \xi_{multi\text{-}d} = \sum_{i=1}^{n} U_i A_i + \sum_{i=1}^{m} \Psi_j L_j \qquad \text{สมการที่ 2.12}$$

เมื่อ ξ_{1d} คือ Thermal coupling coefficient สำหรับหนึ่งมิติ

$\xi_{multi\text{-}d}$ คือ Thermal coupling coefficient สำหรับความร้อนสามมิติที่ไหลผ่านสะพานความร้อน

U_i คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วน i (W/m^2K)

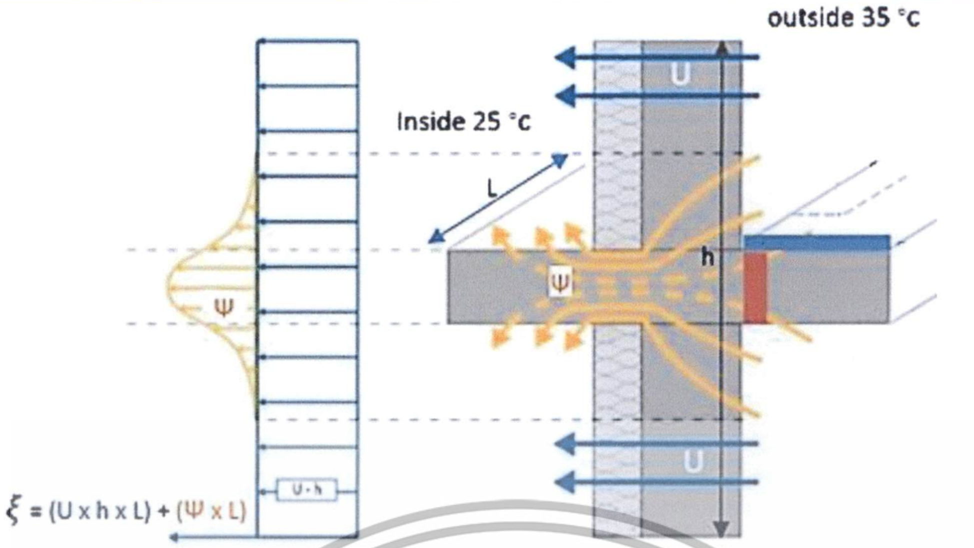
A_i คือ พื้นที่หน้าตัดของส่วนที่คิด (m^2)

Ψ_j คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้นที่ j (W/m^2K)

L_j คือ ความยาวของสะพานความร้อนในส่วนที่คิด Ψ_j (m)

ตำแหน่งและพฤติกรรมของสะพานความร้อนแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นว่าการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติถูกแสดงด้วยเส้นลูกศรสีฟ้า โดยมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ U คูณกับพื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อนคือ h x L โดย h คือความสูงของพื้นที่ถ่ายเทความและ L คือความยาวของพื้นที่ถ่ายเทความร้อน และสะพานความร้อนถูกแสดงด้วยลูกศรสีเหลืองดังรูปที่ 2.7b ซึ่งแสดงอิทธิพลดังกล่าวในรูปที่ 2.7a โดยการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติจะแสดงด้วยเส้นสีฟ้าและมีลักษณะสม่ำเสมอ แต่เมื่อรวมการถ่ายเทความร้อนจากสะพานความร้อนที่แสดงด้วยโค้งพาราโบลาสีเหลืองซึ่งมีจุดยอดอยู่ที่กึ่งกลางของระเบียงแสดงปริมาณสะพานความร้อนที่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แผนภูมิแสดงปริมาณความร้อน (b) พฤติกรรมของสะพานความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

จาก $Q_{3D} = \xi \Delta T$

รูปที่ 2.7 แสดงแผนภูมิและพฤติกรรมสะพานความร้อนเข้าสู่อาคาร

ทำการแทนค่า Thermal coupling coefficient(ξ) กลับเข้าสู่สมการที่ 2.11 สามารถเขียนสมการการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติ โดยมีตัวแปรสำคัญคือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้น (Ψ) ซึ่งสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้นนี้เป็นตัวบ่งบอกปริมาณความร้อนของสะพาน ได้ดังสมการที่ 2.13

สมการการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติ $Q_{3D} = [U.A+(\Psi.L)]\Delta T$ สมการที่ 2.13

เมื่อ U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (W/m^2K)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการนำความร้อน (m^2)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิของฟิล์มอากาศบริเวณภายนอกและภายในของผิววัสดุ

L คือ ความยาวของส่วนที่นำมาศึกษาสะพานความร้อน (m.)

Ψ คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้น ซึ่งในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้น (W/m^2K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
141033
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้นสามารถคำนวณได้จากสมการทางวิศวกรรมที่มีชื่อว่า วิธีการ ไฟไนท์อิลิเม้น (Finite element analysis) ทำให้การหาการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติโดยวิธีการคำนวณมือเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์นี้สามารถหาได้จากโปรแกรมคำนวณสะพานความร้อนได้ เช่น THERM , HEAT3 , ANSYS เป็นต้น

ในการหาค่าพลังงานถ่ายเทความร้อน(q)ที่เข้าสู่อาคารที่พื้นที่เฉพาะเจาะจง จะต้องทำการหาเป็น**ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux)** มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร กล่าวคือ มีความร้อนที่ไหลผ่านสู่พื้นผิวที่พิจารณา(สมการที่ 2.14)

$$Q = q/A \qquad \text{(สมการที่ 2.14)}$$

เมื่อ q คือ ค่าพลังงานการถ่ายเทความร้อน (W) (สมการที่ 2.1)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการนำความร้อน (m^2)

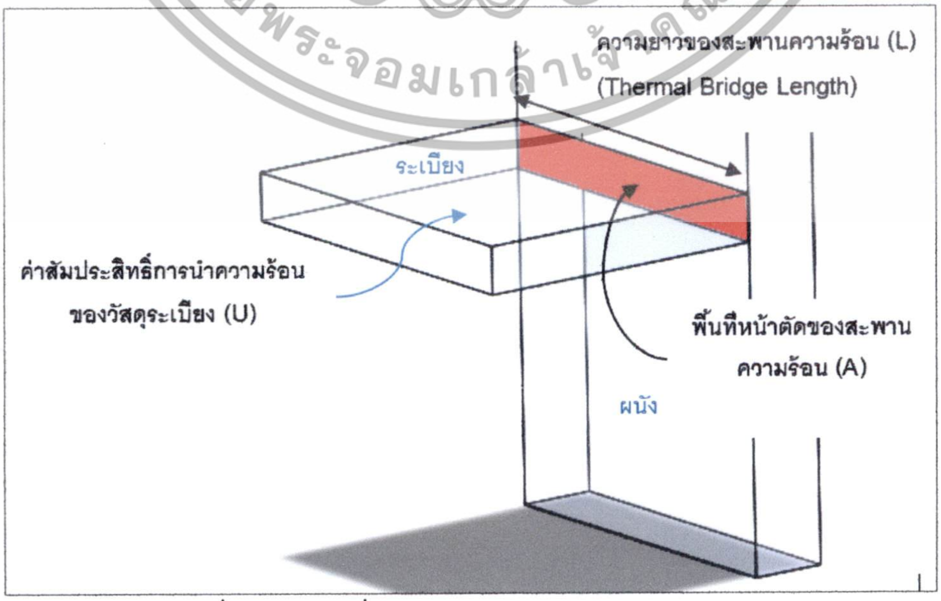
จากสมการการถ่ายเทความร้อนหนึ่งมิติในสมการที่ 2.10 และสมการการถ่ายเทความร้อนสามมิติในสมการที่ 2.13 สามารถสรุปได้ว่าสะพานความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่าง(รูปที่ 2.8)คือ

1) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (U) หมายถึงวัสดุที่ใช้ทำแผงบังแดด

2) พื้นที่หน้าตัด (A) ของการนำความร้อน หมายถึงพื้นที่หน้าตัดของแผงบังแดดส่วนที่ติดกับอาคาร

3) ความยาวของสะพานความร้อน (L) หมายถึงความยาวของแผงบังแดด

การออกแบบแผงบังแดดนั้นจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย

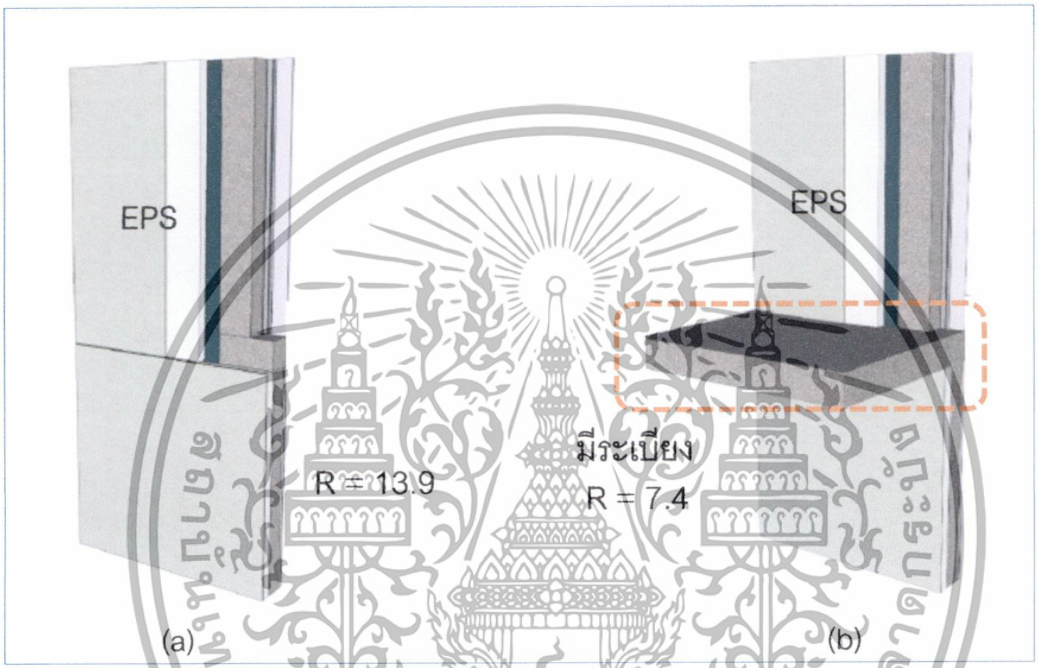


รูปที่ 2.8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสะพานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การศึกษาสะพานความร้อนในต่างประเทศ

งานวิจัย[10]จากประเทศแคนนาดาที่จัดเสนอในงาน Canadian conference on building science and technology ได้ทำการจำลองผนังอาคารขนาดความสูง 8 ฟุต 8 นิ้ว ในคอมพิวเตอร์ โดยใส่ฉนวน EPS[11] ความหนา 3 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 2.9a และทำการคิดค่าความต้านทานความร้อนจากโปรแกรม HEAT3



รูปที่ 2.9 (a)ลักษณะการจำลองผนังกรุฉนวน (b)ผนังกรุฉนวนพร้อมระเบียง

จากนั้นนำผนังเดิม(2.9a) มาทำการจำลองส่วนของระเบียงเพิ่ม และคิดค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังเมื่อมีระเบียง พบว่าค่าความต้านทานความร้อนของผนัง a มีค่าเท่ากับ 13.9 ส่วนผนังค่าความต้านทานความร้อนของผนัง b มีค่าเท่ากับ 7.4 แสดงให้เห็นว่าผนังที่มีระเบียงมีค่าความต้านทานความร้อนลดลงถึงร้อยละ 47 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการเพิ่มส่วนระเบียงในผนังกรุฉนวนนั้น จะต้องทำการเอาฉนวนส่วนที่เป็นรอยต่อของระเบียงออก(รูปที่ 2.10) เป็นผลให้ค่าความต้านทานความร้อนลดลงอันเนื่องมากจากมีการนำความร้อนของส่วนระเบียงนั่นเอง

---

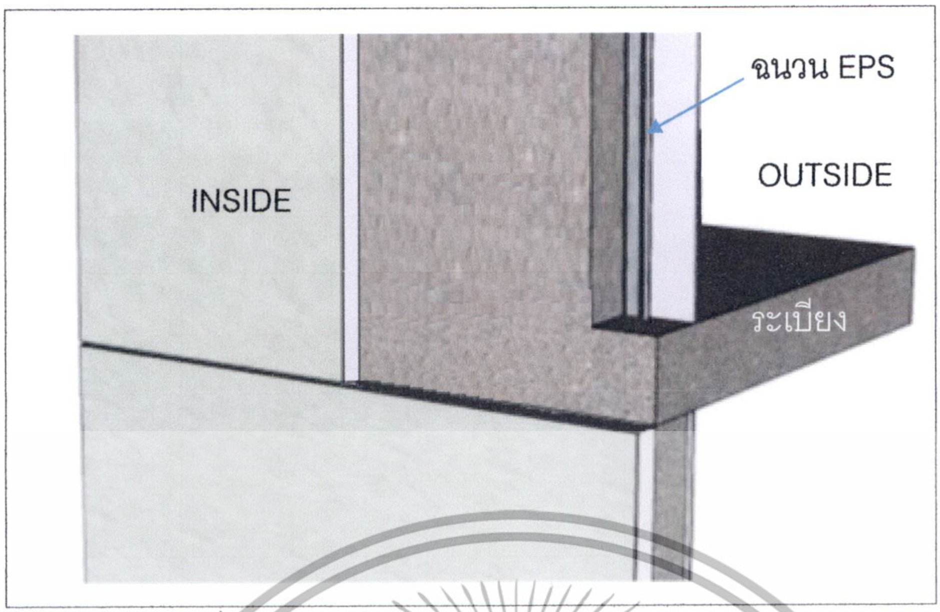
[10] The Importance of balcony and slab edge Thermal bridge in concrete construction

Graham Finch, Masc, P.Eng,Principle, RDH Building engineering LTD. Vancouver, BC

Britany Hanam & James Higgins

[11] Expanded polystyrene Foam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงการเอาฉนวนบริเวณรอบต่อของระเบียงออก

2.5. แนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อนเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคารจากกรณีศึกษา

จากการทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัย [12] ในประเทศแคนนาดาและจากทฤษฎีสะพานความร้อนทำให้ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อสะพานความร้อน 3 ประการ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (U), พื้นที่หน้าตัดของแผงบังแดด (A) และความยาวของสะพานความร้อน (L) ทำให้มีการศึกษาวิธีกำจัดสะพานความร้อน ประเทศแคนนาดามีการแบ่งการจัดการออกเป็น 3 วิธี

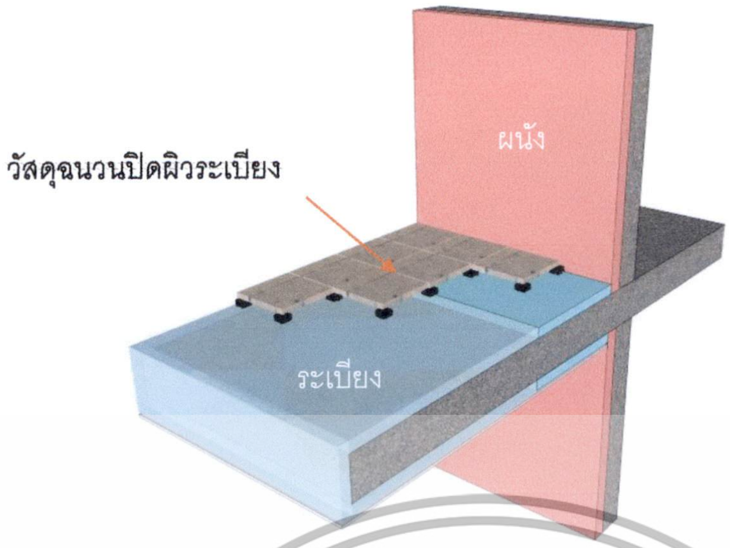
2.5.1 การใส่วัสดุฉนวนภายนอกโครงสร้าง

ทำการปิดทับผิวระเบียงคอนกรีตด้วยวัสดุฉนวนโพลีสไตรีน (Polystyrene : XPS) มีค่าการนำความร้อน 0.029 W/m^{2}K โดยปิดทับด้วยฉนวนขนาดความหนา 2 นิ้ว , 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว ตามลำดับ (รูปที่ 2.11)

---

[12].Graham Finch, Masc,P.Eng,Principle, The Importance of Balcony and Slab Edge Thermal Bridges in Concrete Construction , 2013 ,14th Canadian Conference on Building Science and Technology

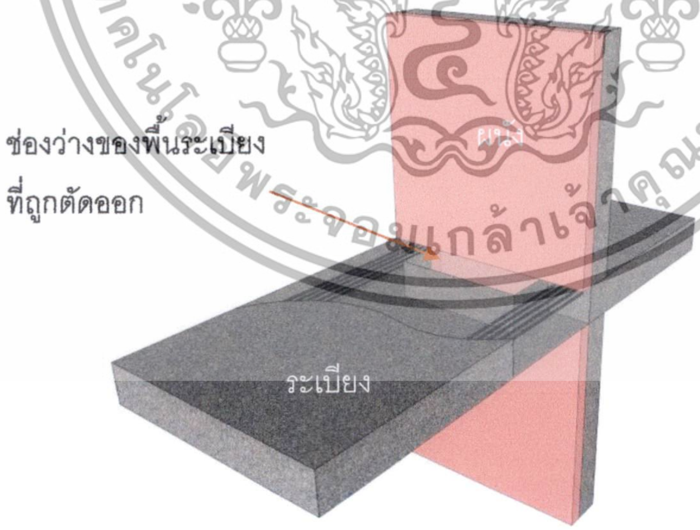
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การใส่ฉนวนภายนอกที่ระเบียงคอนกรีตเสริมเหล็ก

2.5.2 การลดพื้นที่หน้าตัดแผงบังแดด

เป็นการลดสะพานความร้อนโดยเทคนิคการลดพื้นที่หน้าตัดของสะพานความร้อน โดยทำการตัดคอนกรีตส่วนกลางพื้นออกในบริเวณรอยต่อของระเบียง และออกแบบให้เหล็กเสริมรับแรงมากขึ้น โดยเหล็กเสริมจะหนาแน่นบริเวณด้านข้างของขอบระเบียง(รูปที่ 2.12)

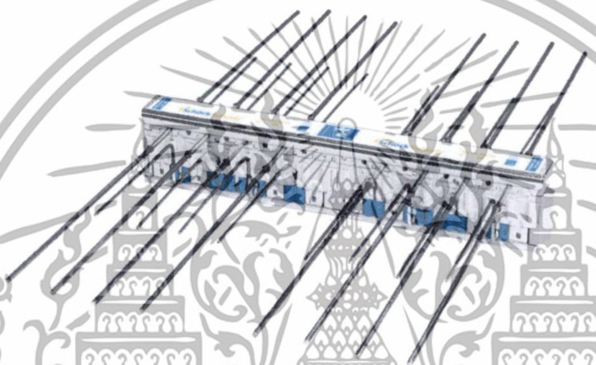


รูปที่ 2.12 การลดพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตบริเวณที่สัมผัสกับอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

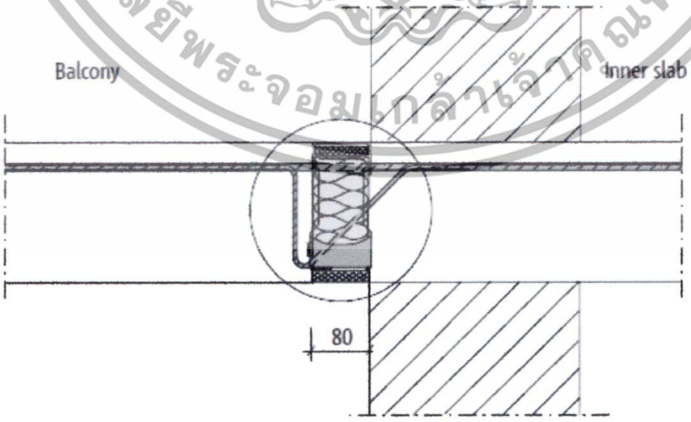
2.5.3 **การใส่ฉนวน**(Thermal break) **ภายในโครงสร้าง**

ข้อสังเกตในประเทศเขตหนาวสะพานความร้อนนี้จะกลายเป็นสะพานนำความเย็นแทน ซึ่งเขามีวิธีการจัดการโดยการตัดโครงสร้างและคั่นด้วยวัสดุฉนวนเพื่อป้องกันความเย็นเข้าสู่อาคารซึ่งเรียกว่าโครงสร้างปราศจากสะพานความร้อน(Thermal bridge free construction) **โดยการใช้วัสดุหน่วงอุณหภูมิ**(Thermal break) **ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อลดการถ่ายเทอุณหภูมิบริเวณรอยต่อของระเบียงหรือแผงบังแดดโดยเฉพาะ**(รูปที่ 2.13) **โดยวัสดุฉนวนหน่วงอุณหภูมินี้จะติดตั้งอยู่ที่รอบต่อของระเบียง** ซึ่งภายในวัสดุจะมีเหล็กเสริมพิเศษเพื่อให้โครงสร้างสามารถรับน้ำหนักได้ดังเดิม(รูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.13 วัสดุฉนวนหน่วงอุณหภูมิ(Thermal break)

ที่มา : จากเวปไซต์ Schoeck Isokorb

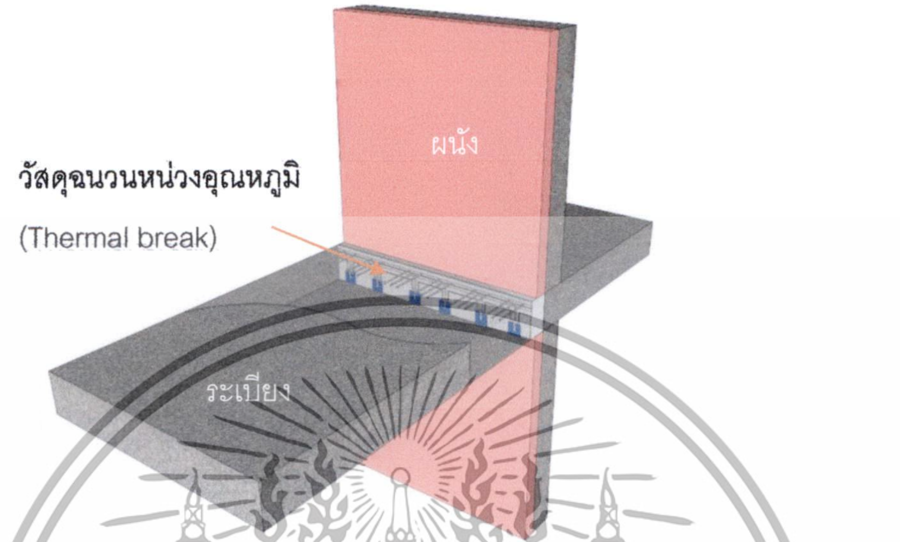


รูปที่ 2.14 รายละเอียดโครงสร้างภายในวัสดุฉนวนหน่วงอุณหภูมิและการติดตั้งวัสดุหน่วงอุณหภูมิ

ที่มา : จากเวปไซต์ Schoeck Isokorb

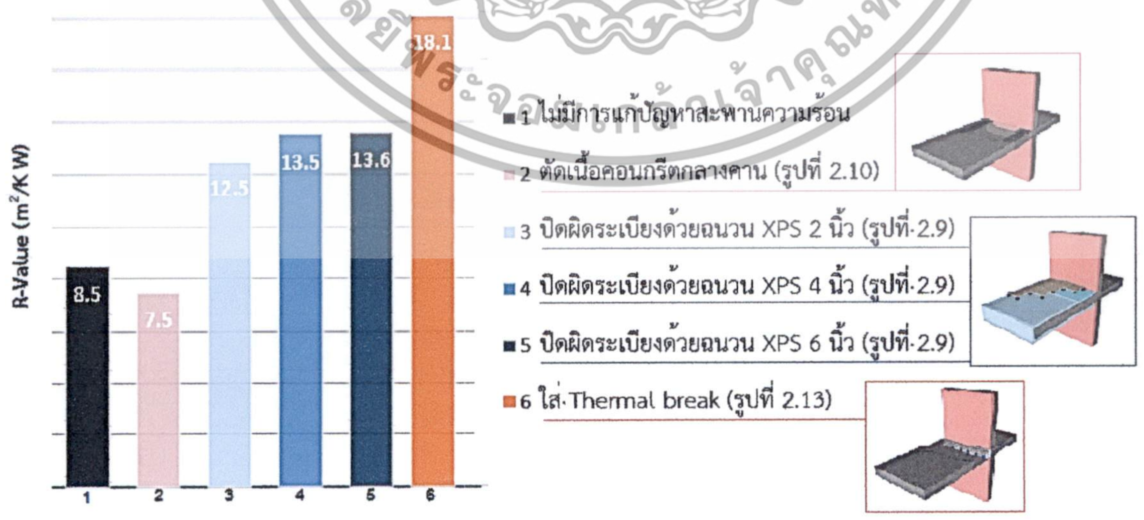
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาได้นำวัสดุฉนวนหน่วงอุณหภูมิ(Thermal break) วางในลักษณะเป็นการตัดโครงสร้างของระเบียงและอาคารออกจากกันโดยมีการเสริมเหล็กพิเศษเฉพาะเพื่อให้ส่วนของระเบียงยังแข็งแรงดังเดิม(รูปที่ 2.15)



รูปที่ 2.15 การใส่วัสดุหน่วงอุณหภูมิ (Thermal break) ของ Schoeck Isokrob ภายในโครงสร้างระเบียง

ตัวอย่างการคำนวณเมื่อทำการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาแบบต่างๆแล้วทำการคำนวณค่าความต้านทานความร้อน (R-value) ในโปรแกรม HEAT3 ซึ่งได้ค่าความต้านทานความร้อนของการแก้ปัญหาแต่ละแบบ และทำการเปรียบเทียบเป็นแผนภูมิแท่ง (รูปที่ 2.16)



รูปที่ 2.16 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานความร้อนและวิธีการแก้ปัญหาสะพานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 อธิบายได้ว่าโดยกราฟแท่งสีดำแสดงค่าความต้านทานความร้อนเมื่อไม่มีการแก้ปัญหาเรื่องสะพานความร้อนมีค่าความต้านทานความร้อน 8.5 m^2/K W เมื่อแก้ปัญหาด้วยเทคนิคเรื่องพื้นที่หน้าตัดโดยลดพื้นที่หน้าตัด (รูปที่ 2.12) ของระเบียงส่วนที่ติดกับอาคาร (แผนภูมิสีชมพู) ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนลดลงเหลือ 7.5 m^2/K W เมื่อแก้ปัญหาด้วยเทคนิคเรื่องวัสดุ (รูปที่ 2.11) โดยการปิดทับระเบียงคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุฉนวน EPS ด้วยความหนา 2 นิ้ว(แผนภูมิสีฟ้า (4 นิ้ว(แผนภูมิสีน้ำเงิน) และความหนา 6 นิ้ว(แผนภูมิสีกรมท่า) ซึ่งมีค่าการนำความต้านทานความร้อนเท่ากับ 12.5 m^2/K W, 13.5 m^2/K W และ 13.6 m^2/K W ตามละดับ และสุดท้ายการใส่วัสดุหน่วงอุณหภูมิของ Schoeck Isokorb แทนคอนกรีตเสริมเหล็ก(รูปที่ 2.13) บริเวณรอยต่อของระเบียงกับอาคาร (แผนภูมิสีส้มเข้ม) ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนสูงขึ้นถึง 18.1 m^2/K W

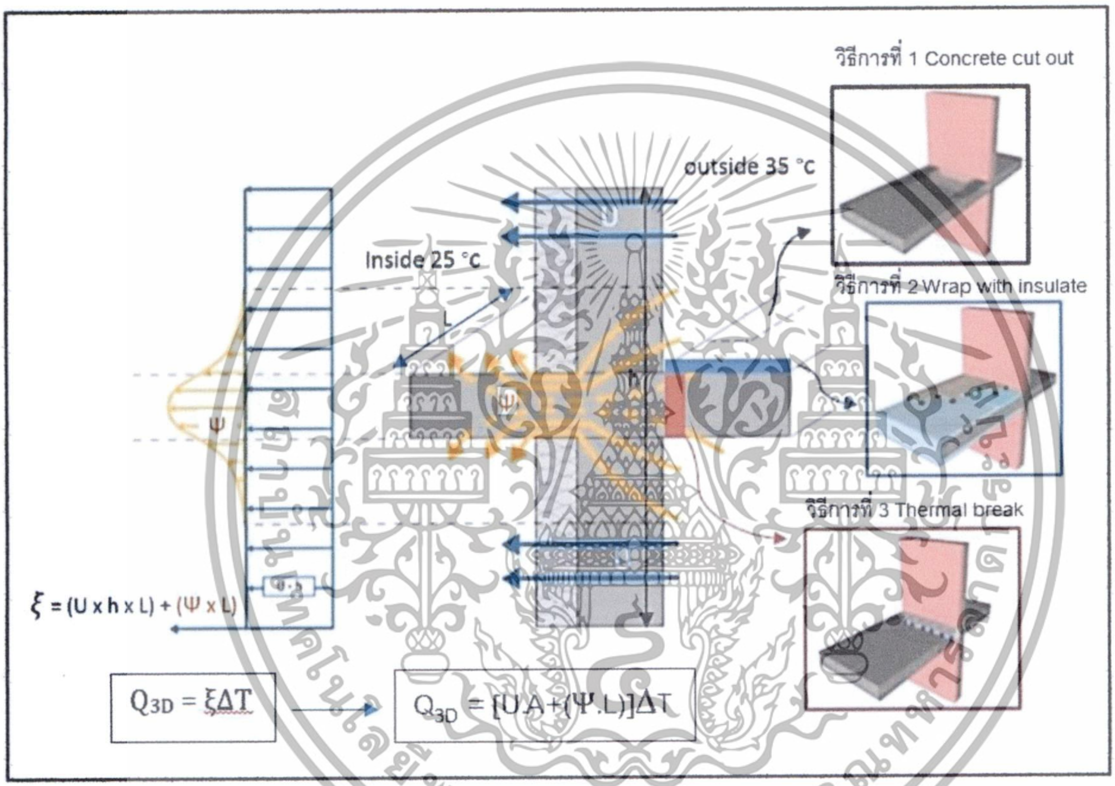
เนื่องจากวิธีการแก้ปัญหาที่ 3-6 นั้น เป็นการแก้ปัญหาเรื่องฉนวน ทำให้สามารถลดสะพานความร้อนลงได้อย่างแน่นอน แต่วิธีการลดพื้นที่หน้าตัดในวิธีที่ 2 เป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาศึกษา เนื่องจากเป็นวิธีการที่ลดสะพานความร้อนได้น้อยที่สุด มีนัยยะที่ว่า เมื่อผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยฉบับนี้มากน้อยเพียงไร จะสามารถบอกได้ว่าเมื่อผนวกวิธีการที่ 2 รวมกับ วิธีการที่ 3-6 จะสามารถลดสะพานความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สรุปกรอบแนวคิดแนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อนในแผงบังแดด

สรุปแนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อนจากงานวิจัยจากประเทศแคนนาดา ทำให้ทราบการลดสะพานความร้อน คือ วิธีการที่ 1 เทคนิดการตัดคอนกรีตบริเวณกลางคานออก(Concrete cut out) วิธีการที่ 2 ปิดผิวแผงบังแดดด้วยวัสดุฉนวน(Wrap with insulate) และวิธีการที่ 3 ทำการใส่ฉนวน (Thermal break) ที่บริเวณรอยต่อของแผงบังแดดและอาคาร (รูปที่ 2.17)



รูปที่ 2.17 สรุปแนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อน

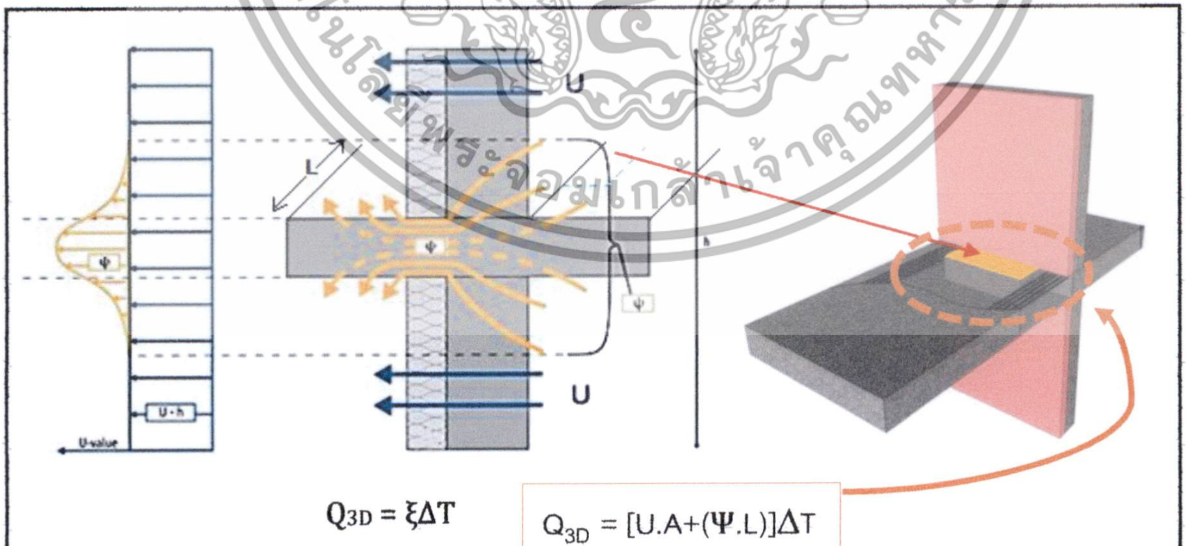
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 สรุปแนวทางการลดสะพานความร้อน

จากทฤษฎีสะพานความร้อนและการทบทวนวรรณกรรม สามารถสรุปวิธีการลดสะพานความร้อนที่เกิดขึ้นจากปัจจัย 3 ประการคือ ลักษณะที่ 1 แก้ปัญหาด้วยเทคนิคเรื่องวัสดุ โดยใส่ฉนวนปิดทับระเบียงคอนกรีตเสริมเหล็ก ลักษณะที่ 2 แก้ปัญหาด้วยเทคนิคในเรื่องพื้นที่หน้าตัดของสะพาน โดยตัดคอนกรีตบริเวณกลางคานออกให้เกิดช่องว่าง และสุดท้ายแก้ปัญหาโดยการใส่วัสดุฉนวน(Thermal break) คั่นระหว่างระเบียงและพื้นภายในอาคาร(รูปที่ 2.17)

ในการลดสะพานความร้อนของแผงบังแดดในรูปประเบียง ผู้วิจัยได้ตั้งขอบเขตการวิจัยคือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงวัสดุและระบบการก่อสร้างแผงบังแดด กล่าวคือคงความเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและระบบก่อสร้างแบบหล่อในที่ดังเดิม ทำให้วิธีการแก้ปัญหามุ่งเน้นไปที่วิธีการปรับเปลี่ยนรูปร่างและวิธีการเสริมเหล็กภายในโครงสร้างแผงบังแดด จึงนำแนวทางการแก้ปัญหาสะพานความร้อนจากต่างประเทศในวิธีการที่ 2 มาใช้กับงานวิจัยฉบับนี้ เป็นวิธีการลดพื้นที่หน้าตัดของสะพานความร้อน โดยตัดเนื้อคอนกรีตและเหล็กเสริมบริเวณกลางคานออก และทำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตใหม่ ซึ่งต้องเสริมคานด้านข้างให้แข็งแรงขึ้น และทำการออกแบบให้เหล็กเสริมถ่ายแรงลงคานทั้งสองฝั่งของแผงบังแดดแทน(รูปที่ 3.1)



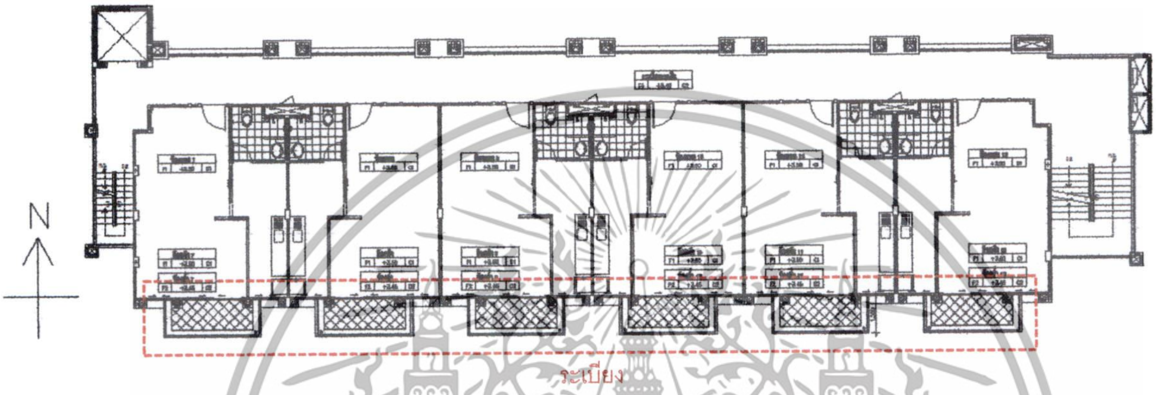
รูปที่ 3.1 เลือกรูปแบบในการแก้ปัญหาสะพานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผงบังแดดจากอาคารกรณีศึกษา

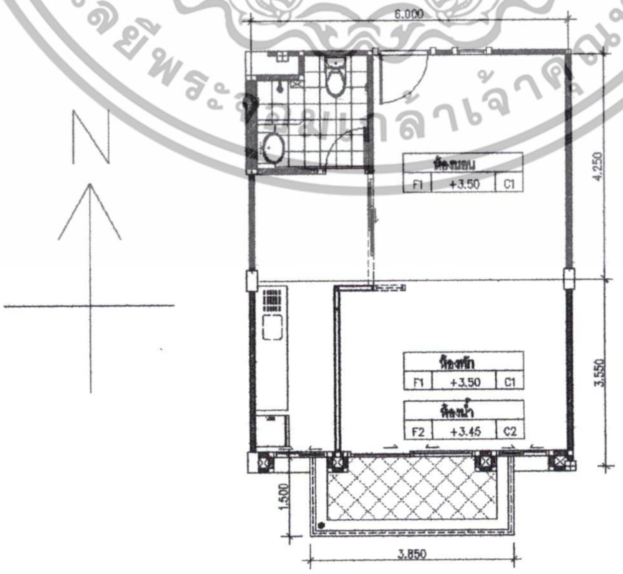
3.2.1 ตำแหน่งของแผงบังแดดในอาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารประเภทโรงแรม ตั้งอยู่ที่ ถ.ศรีนครินทร์ กรุงเทพมหานคร แผงบังแดดในอาคารดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบระเบียง ซึ่งออกแบบของระเบียงแผงบังแดดอยู่ในทิศใต้ (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 แสดงผังห้องพักของอาคารกรณีศึกษา

ในการศึกษาทำการเลือกห้องพักชั้นบนสุด เพื่อนำโครงสร้างระเบียงดังแบบก่อสร้างมาใช้ในการทดลอง โดยห้องพักมีขนาด 6.00 x 7.85 เมตร และส่วนของระเบียงมีขนาด 3.85 x 1.50 เมตร ซึ่งส่วนของระเบียงติดกับห้องนอนที่เป็นส่วนปรับอากาศ(รูปที่ 3.3)

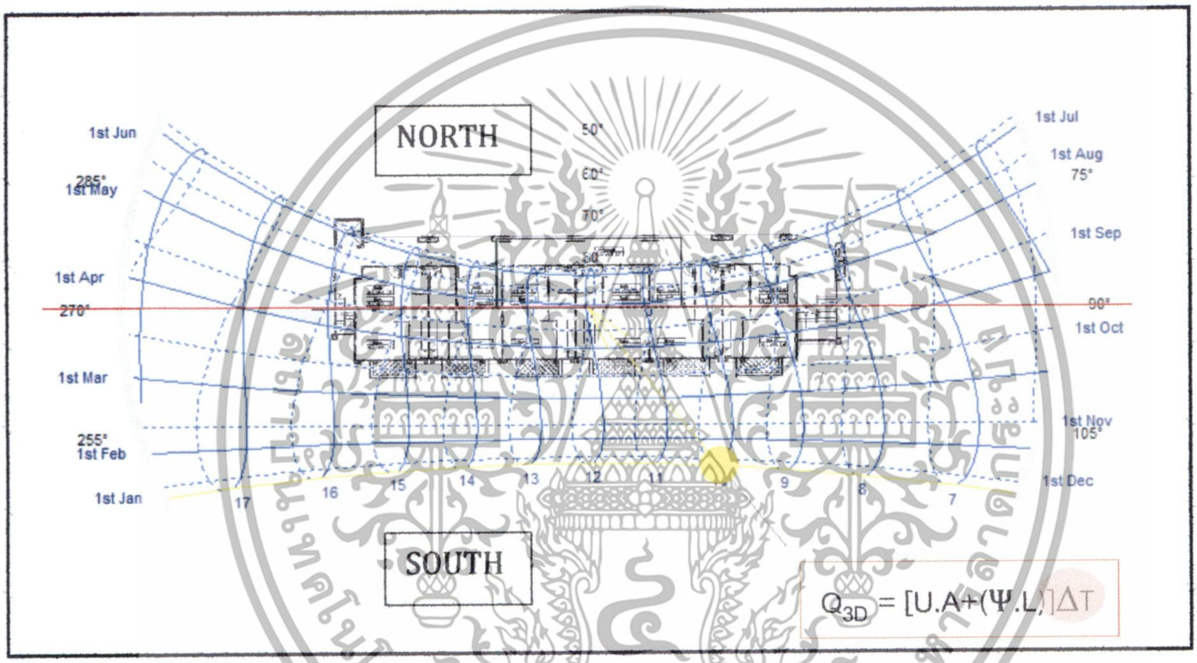


รูปที่ 3.3 แสดงขนาดของห้องพักและตำแหน่งระเบียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศของแผงบังแดดมีผลกับตัวแปร ความแตกต่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน(ΔT) ในสมการการถ่ายเทความร้อนสามมิติ เนื่องจากแผงบังแดดที่ศึกษาอยู่ในทิศใต้ซึ่งรับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นเวลาหลายชั่วโมง(รูปที่ 3.4) ส่งผลอุณหภูมิผิววัสดุ (sol-air temperature) โดยมีค่าความสัมพันธ์กับค่าการแผ่รังสีเฉลี่ย(W) ซึ่งทิศใต้มีค่ามากกว่าทิศอื่น(สมการที่ 2.9) การออกแบบดังกล่าวมีส่วนความสัมพันธ์ เมื่อ ΔT คือ $T_{in} - T_{sol}$

อุณหภูมิที่ผิววัสดุ $T_{so} = T_o + R_o(\alpha_w I - \varepsilon I_r)$ สมการที่ 2.9



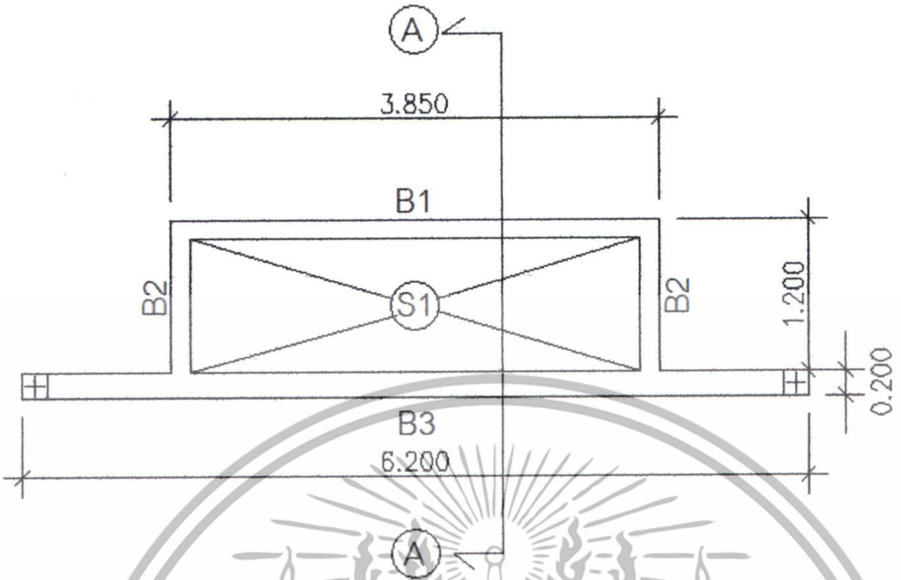
รูปที่ 3.4 แสดงทางเดินดวงอาทิตย์ อ้อมใต้เป็นส่วนใหญ่ในรอบปี

3.2.2 วัสดุและโครงสร้างภายในของแผงบังแดด

แผงบังแดดในรูปแบบระเบียงที่เลือกมาใช้ทดลอง ถูกออกแบบให้มีระบบก่อสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และเป็นการก่อสร้างแบบหล่อในที่ โดยจะทำการวางเหล็กเสริมของระเบียงล้วงเข้าสู่คานเพื่อรับน้ำหนักตามแบบก่อสร้าง(รูปที่ 3.5) โดยพิจารณาเหล็กเสริมในคอนกรีตตามแบบก่อสร้างจะทำการออกแบบเป็นพื้นถ่ายแรงทางเดียว(One-way slab) ซึ่งจะเห็นจากรูปตัด A-A ว่าเหล็กเสริมล่างวางตัวในแนว คาน B1 และ B3 (รูปที่ 3.6) จากแบบก่อสร้างทำให้สามารถระบุวัสดุที่ใช้ก่อสร้างแผงบังแดดได้ และจากทฤษฎีสะพานความร้อน ทำให้ทราบว่าวัสดุที่ใช้

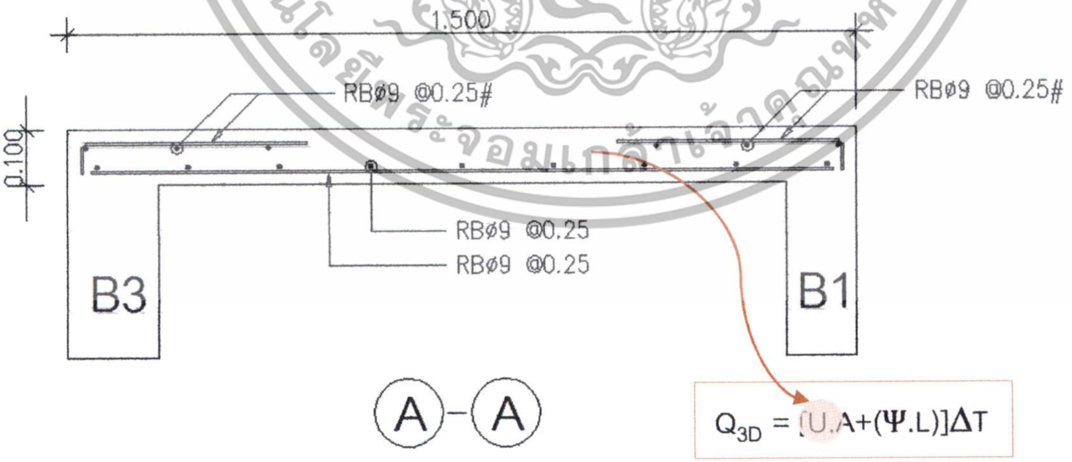
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อสร้างแผงบังแดดมีส่วนสัมพันธ์กับตัวแปรค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ(U) ในสมการการนำความร้อนสามมิติ



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะการกระจายแรงของแผงบังแดด

จากแบบก่อสร้างทำให้สามารถระบุวัสดุที่ใช้ก่อสร้างแผงบังแดดได้ และจาก**ทฤษฎีสะพานความร้อน** ทำให้ทราบว่าวัสดุที่ใช้ก่อสร้างแผงบังแดดมีส่วนสัมพันธ์กับตัวแปรค่า**สัมประสิทธิ์**การนำความร้อนของวัสดุ(U) ในสมการการนำความร้อนสามมิติ(รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 แสดงแปลนและรูปตัดของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การหาเครื่องมือเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนจากแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในการหาการถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างจริงและทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่า, การคำนวณมือโดยสมการการถ่ายเทความร้อน และการใช้โปรแกรมสร้างสภาวะจำลองขึ้นในคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยแต่ละวิธีมีจุดเด่นและจุดด้อย

3.3.1 สร้างจริง

ทำการก่อสร้างจริงโดยสร้างผนังและแผงบังแดดระเบียงขึ้น ให้หันทางทิศใต้ โดยมีเหล็กเสริมเสมือนใบแบบก่อสร้างทุกประการ จากนั้นควบคุมอุณหภูมิของผนังที่กำหนดเป็นส่วนในห้องให้เป็นระบบปิดและอุณหภูมิคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการติดตั้งตัวเก็บข้อมูลอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 3.7

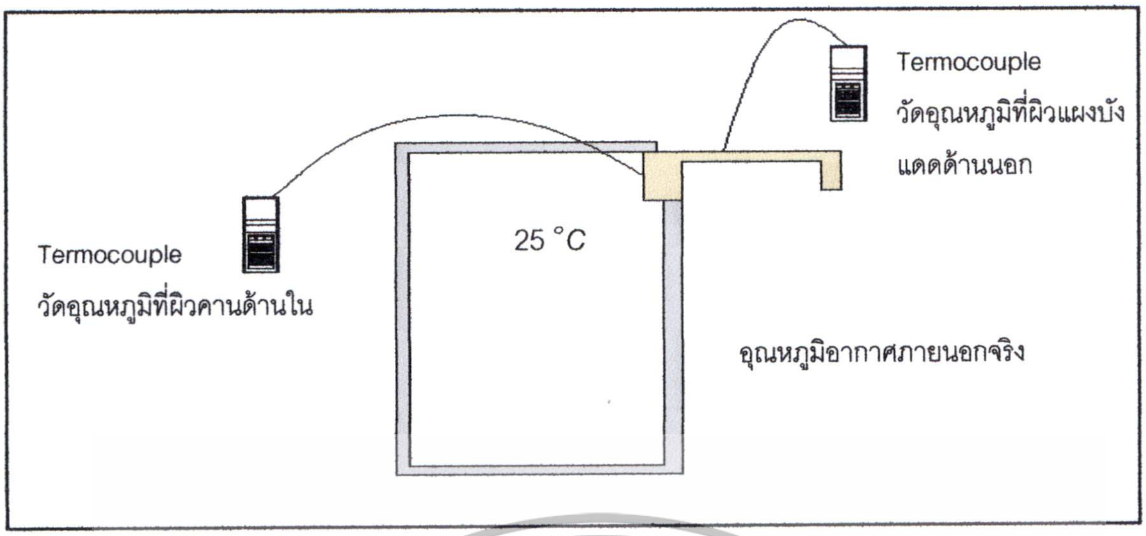
(a)เครื่องบันทึกข้อมูล opus 200 (ต่อกับหัววัด อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และ pyranomete)

(b) Thermocouple

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ที่ต้องใช้เก็บข้อมูลด้วยการทดลองสร้างจริง

ในการทดลองการถ่ายเทความร้อนจำเป็นต้องสร้างห้องทดลองขนาด 1:1 เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนนั้นขึ้นกับวัสดุ พื้นที่หน้าตัด และความหนาของวัสดุด้วย โดยสามารถออกแบบการทดลองได้(รูปที่ 3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบการทดลองเมื่อสร้างจริง

เมื่อทำการวัดความร้อนด้วย Thermocouple จะสามารถหาอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในได้ วิธีการสร้างจริงเป็นวิธีการที่ง่าย แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาในการทดลองมาก รวมทั้งการสร้างจริงจำเป็นต้องอาศัยสภาพอากาศจริง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงเป็นเหตุผลไม่ที่เลือกการทดลองวิธีดังกล่าว

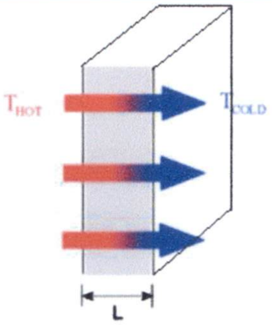
3.3.2 การคำนวณด้วยสมการ

3.3.2.1 คำนวณมือจากสมการฟูเรีย์

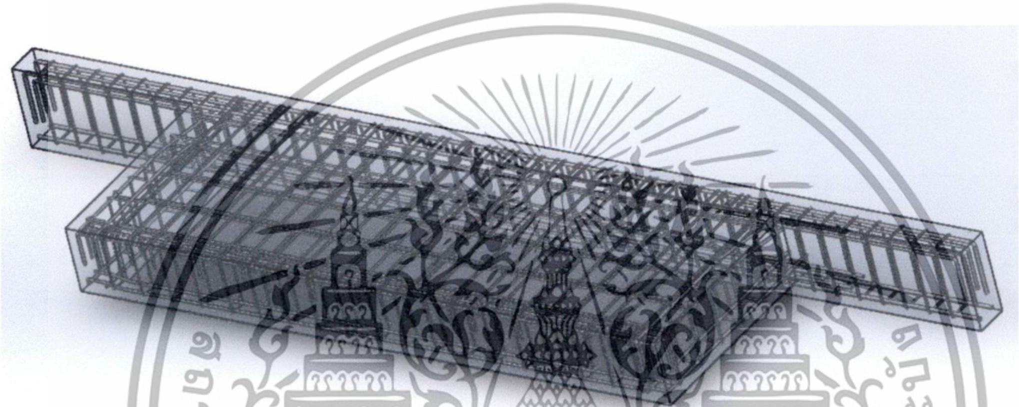
สมการนี้รู้จักในนามสมการฟูเรีย์[13] เป็นการนำความร้อนในแนวแกนเดียวภายใต้สภาวะคงตัว(รูปที่ 3.9) ซึ่งเป็นการคิดการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ และหาการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเนื้อเดียว หรือวัสดุเนื้อเดียวที่ซ้อนทับเป็นชั้นๆ แต่ในการทดลองในวิทยานิพนธ์ เป็นการศึกษาแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีเหล็กแทรกในเนื้อคอนกรีตอย่างไม่สม่ำเสมอ(รูปที่ 3.10) ทำให้ไม่สามารถคิดการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีสมการการถ่ายเทความร้อนพื้นฐานอย่างง่ายได้

[13] J.P.Holman. Heat Transfer. 10th ed. McGraw-Hill, Pages 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการนำความร้อนในแนวแกนเดียวของสมการฟูเรีย์



รูปที่ 3.10 แสดงภาพสามมิติการเสริมเหล็กในแผงบังแดด

3.3.2.2 คำนวณด้วยโปรแกรม OTTVe1.0 และ BEC

โปรแกรม OTTVe1.0 เป็นโปรแกรมคิดการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร ส่วนโปรแกรม BEC เป็นโปรแกรมที่พัฒนามาจากโปรแกรม OTTVe1.0 ซึ่งคิดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร โดยทั้งสองโปรแกรมมีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร (OTTV) ซึ่งเป็นค่าชี้วัดปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้าสู่อาคารทั้งในผนังทึบและผนังโปร่งแสง OTTV ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติความร้อนของวัสดุผนังทึบและวัสดุส่วนโปร่งแสง (กระจก) โดยสามารถคำนวณการถ่ายเทความร้อนของผนังแต่ละด้าน ($OTTV_i$) และนำแต่ละด้านมารวมกันและหารด้วยพื้นที่กรอบอาคารทั้งหมด

โดยการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังแต่ละด้าน($OTTV_i$) นั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างดังแสดงในสมการที่ 3.1 ซึ่งแผงบังแดดที่เป็นส่วนบังเงาให้กับอาคารและบริเวณช่องเปิดแสดงในค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดด(SC) (ส่วนตัวแปรอื่นเพิ่มในภาคผนวก ก)

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดนี้ไม่คำนึงถึงวัสดุที่ใช้ทำแผงบังแดดโดยสามารถคิดจากสมการที่ 3.2[14] จากประกาศกระทรวงพลังงาน เล่ม 246 ตอนพิเศษ 122 ง หน้า 39-41

$$SC = \frac{E_{ew}}{E_{ew\theta}} \qquad \text{สมการที่ 3.2}$$

เมื่อ E_{ew} คือ รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบหน้าต่างที่พิจารณา(W/m^2)

$E_{ew\theta}$ คือ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด (W/m^2)

การคิดค่า SC โดยการคำนวณตามสมการที่ 3.2 เป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากเป็นอย่างมาก ทำให้ในโปรแกรม OTTV และ BEC มีคำสั่งให้ใส่ขนาดและรูปร่างแผงบังแดดเป็นคู่ลำดับพิกัดของแผงบังแดด จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่า SC ให้

อย่างไรก็ตามค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่ได้จากทั้งสองโปรแกรมนี้มีข้อจำกัดแผงบังแดดเป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างเงาเพื่อลดความร้อนให้กับช่องเปิดโดย ไม่มีการคิดการนำความร้อนของแผงบังแดด ทำให้ไม่สามารถทราบ "การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้น" ซึ่งอยู่ในสมการการนำความร้อนแบบสามมิติ ซึ่งทำให้โปรแกรมของกระทรวงพลังงานทั้งสองนี้ไม่สามารถหาการนำความร้อนหรือสะพานความร้อนที่เกิดขึ้นจากแผงบังแดดได้

3.3.3 ใช้โปรแกรมสร้างสภาวะการณ์จำลอง

3.3.3.1 โปรแกรม THERM

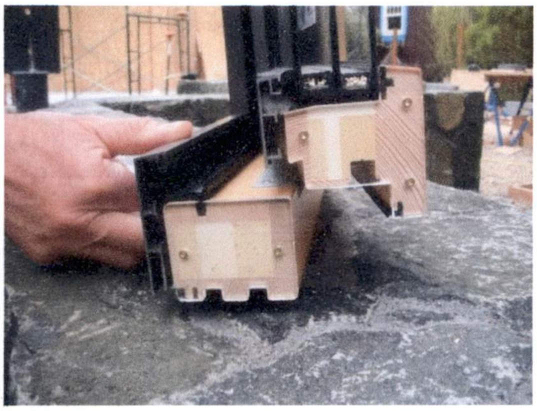
เป็นโปรแกรมสำหรับคิดการถ่ายเทความร้อนสำหรับวัสดุที่มีรูปร่างหน้าตัดของวัสดุที่ซับซ้อน เช่นขอบอลูมิเนียมของหน้าต่าง(รูปที่ 3.11) ซึ่งโปรแกรม THERM เป็นโปรแกรมที่ถูกคิดค้นและพัฒนาจาก Lawrence Berkeley National Laboratory[15] เพื่อหาปริมาณการถ่ายเทความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่างๆ ของวัสดุ

---

[14] ประกาศกระทรวงพลังงาน เล่ม 246 ตอนพิเศษ 122 ง หน้า 39-41

[15] โดย University of California for U.S. Department of Energy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงรูปร่างหน้าตัดซับซ้อนของกรอบอลูมิเนียมและกระจก

ที่มา : www.smallplanetworkshop.com/small-planet-blog/tag/materials

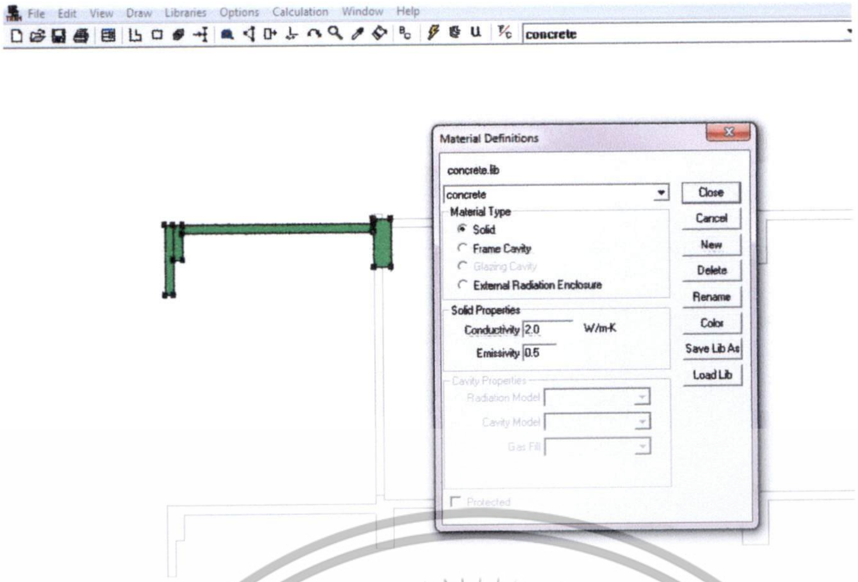
โปรแกรมดังกล่าวสามารถหาค่าการถ่ายเทความร้อนและแสดงเป็นแถบอุณหภูมิลักษณะการถ่ายเทความร้อนของหน้าตัดที่ทำการจำลองได้(รูปที่ 3.12)

รูปที่ 3.12 แสดงการสร้างสภาวะการณ์จำลองในโปรแกรม THERM

ที่มา : Lawrence Berkeley National Laboratory

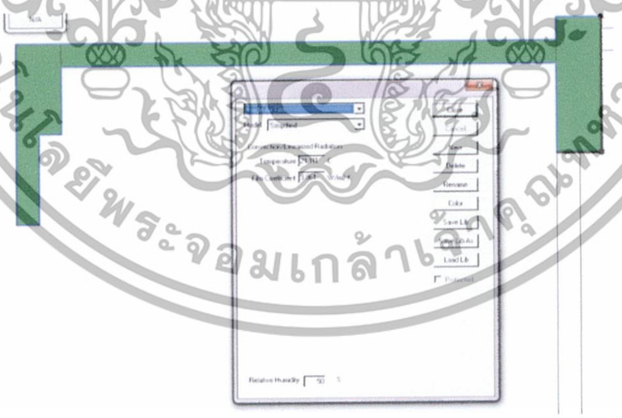
โดยโปรแกรม THERM สามารถสร้างพื้นที่และกำหนดประเภทของวัสดุ และใส่ค่าการนำความร้อนและค่าการปลดปล่อยความร้อน โดยการเลือกวัสดุนั้นสามารถเลือกจากที่มีอยู่เดิมหรือสร้างวัสดุใหม่ก็ได้เช่นกัน(รูปที่ 3.13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างในโปรแกรม THERM เมื่อใส่ประเภทวัสดุ ค่าการนำความร้อน และค่าการปลดปล่อยความร้อน

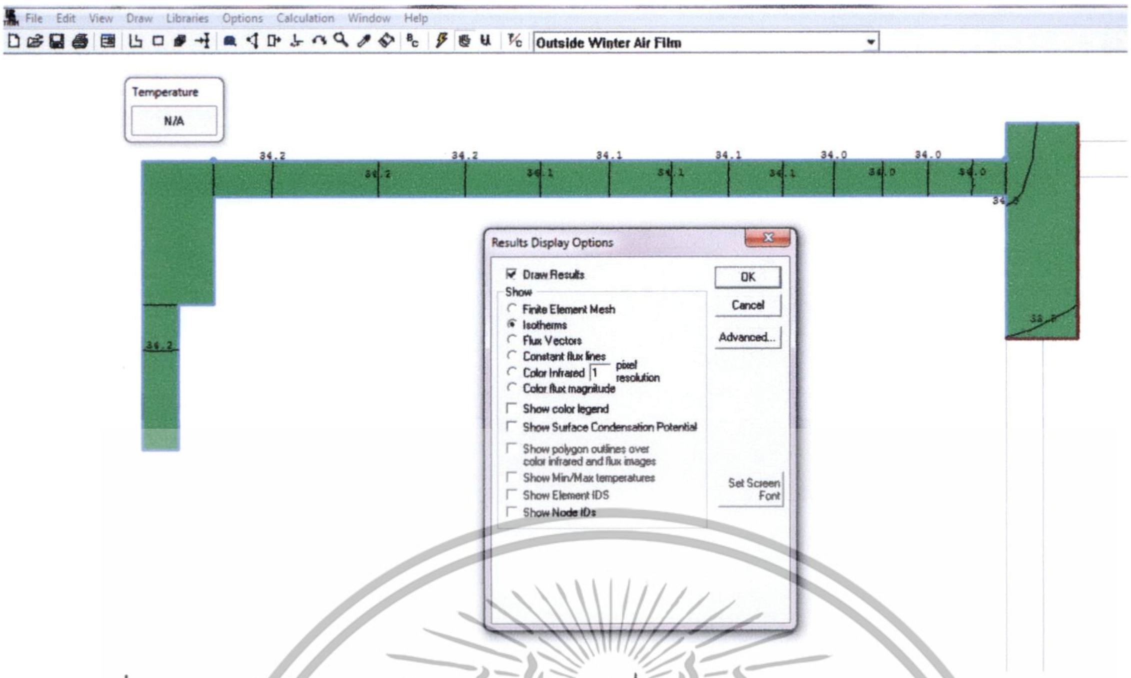
รวมถึงกำหนดอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุ ค่าฟิล์มอากาศ รวมถึงค่าความชื้นของอากาศที่ผิวของเปลือกอาคารได้ ทั้งภายนอกและภายใน โดยสามารถแยกคิดได้เป็นส่วนๆและสามารถระบุอุณหภูมิที่แตกต่างกันได้ด้วย(รูปที่ 3.14)



ภาพที่ 3.14 แสดงหน้าต่างในโปรแกรม THERM เมื่อใส่ค่าอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุ

การแสดงผลการจำลองการถ่ายเทความร้อนสามารถเลือกแบบการแสดงได้ เช่น เส้นอุณหภูมิ ทิศทางของการไหลของความร้อน เป็นต้น สามารถแสดงค่าสูงสุดต่ำสุดของอุณหภูมิและสามารถหาค่า U-value ได้(รูปที่3.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



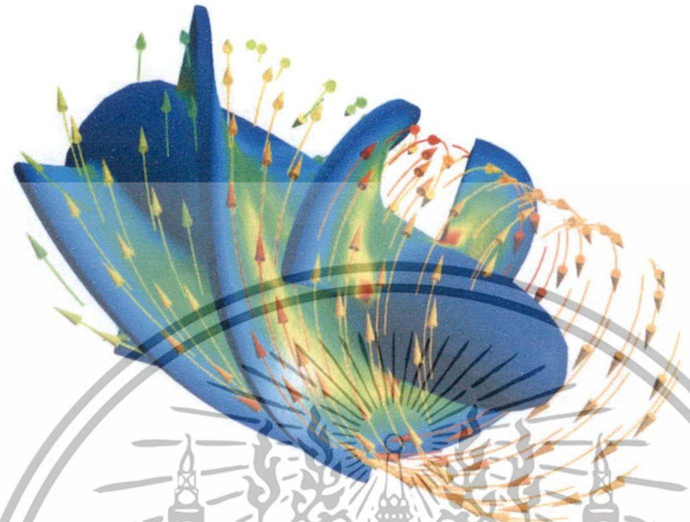
รูปที่ 3.15 แสดงหน้าต่างในโปรแกรม THERM เมื่อเลือกการแสดงผลเป็นเส้นอุณหภูมิ

โปรแกรม THERM สามารถหาการถ่ายเทความร้อนได้ แต่มีข้อจำกัดคือสามารถจำลองการถ่ายเทความร้อนแบบสองมิติเท่านั้น คือสามารถจำลองเป็นหน้าตัดของคอนกรีตเสริมเหล็กได้เป็นส่วนๆ แต่แผงบังแดดที่ทำการศึกษานี้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีเหล็กเสริมที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้การจำลองแบบสองมิติไม่เพียงพอในการหาคำตอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

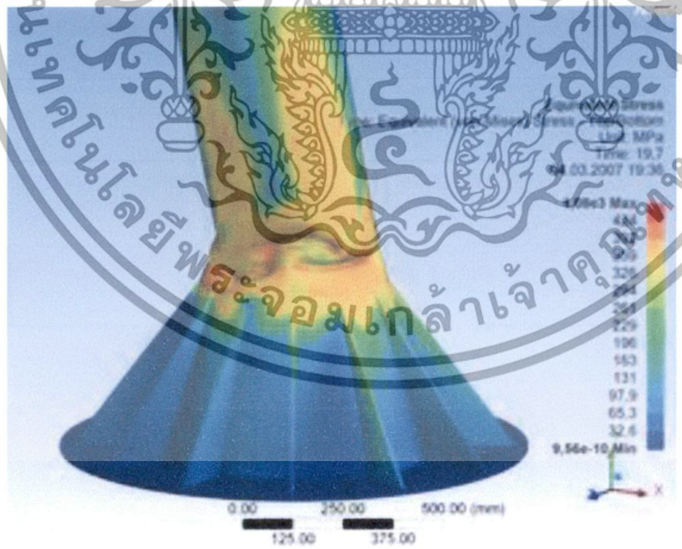
3.3.3.2. โปรแกรม ANSYS

เป็นโปรแกรมคำนวณทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถจำลองสภาวการณ์ (Simulation) ได้หลายอย่าง เช่น การถ่ายเทความร้อน ความแข็งแรง ความล้าวัสดุ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3.16 - 3.18



รูปที่ 3.16 แสดงสภาวะการณ์จำลองเรื่องลมในโปรแกรม ANSYS

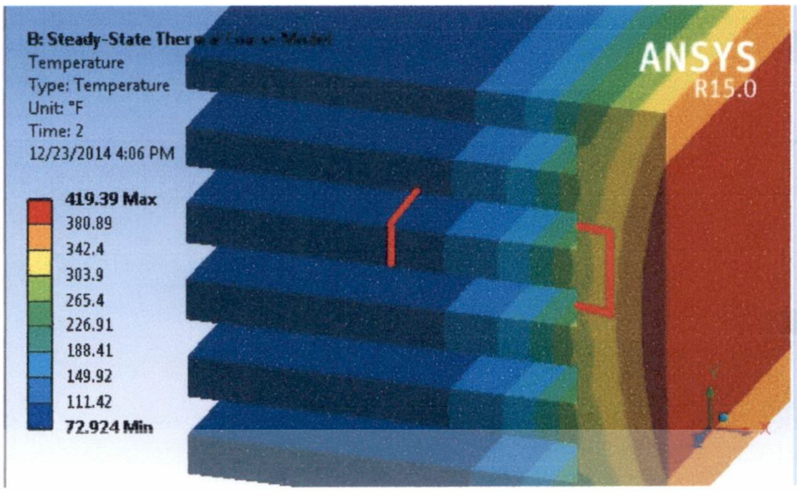
ที่มา : http://www.cadfemireland.com/



รูปที่ 3.17 แสดงสภาวะการณ์จำลองเรื่องความแข็งแรงในโปรแกรม ANSYS

ที่มา : http://www.ucuncubinyil.com/

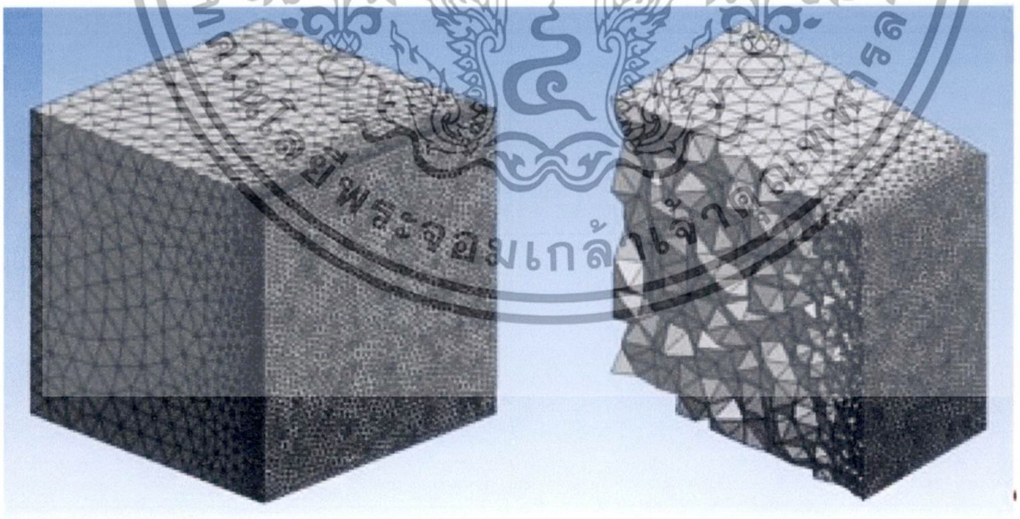
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงสภาวะการณ์จำลองเรื่องความร้อนในโปรแกรม ANSYS

ที่มา : http://www.feacomp.com/blog/

การถ่ายเทความร้อนสามารถคิดการถ่ายเทความร้อนด้วยสมการไฟไนท์อิลิเมนต์[16] โดยทำการจำลองชิ้นงานเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ(Meshing)(รูปที่ 3.19 จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณเพื่อหาอุณหภูมิ ณ สภาวะคงตัว โดยอุณหภูมิจะกระจายออกทุกทิศทางของอนุภาคเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเป็นการจำลองที่สมจริง นอกจากการถ่ายเทความร้อนแล้วสามารถกำหนดสภาวะต่างๆ เช่น การพาความร้อนที่บริเวณผิววัสดุ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งทำให้การจำลองที่ทำการศึกษานั้นสมจริงมากที่สุด



รูปที่ 3.19 แสดงสภาวะการณ์จำลองการ Meshing ในโปรแกรม ANSYS

ที่มา : http://www.computationalfluiddynamics.com.au/size-controls/

---

[16]Finite Element เป็นวิธีคำนวณทางวิศวกรรม โดยทำการแบ่งวัสดุที่ต้องการศึกษาออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เพื่อหาเวกเตอร์พลังงานที่ส่งผ่านแต่ละชิ้นส่วนเรื่อยๆ เป็นลูกโซ่ จนกว่าจะเข้าสู่สภาวะสมดุล

ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม ANSYS สามารถสร้างสภาวะการณ์จำลองของการถ่ายเทความร้อนที่มีมิติของฟลักซ์ความร้อน เนื่องจากเป็นการคิดการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติ โดยกระบวนการคิดนั้นต้องคิดด้วยสมการไฟไนอิลิเม้นซับซ้อนไม่สามารถคำนวณมือได้ แต่โปรแกรม ANSYS สามารถทำได้

ตารางที่ 3.1 แสดงสรุปการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโปรแกรม

วิธีการหาสะพานความร้อน	ความสามารถในการหาค่าการถ่ายเทความร้อน			
	อัตราการถ่ายเทความร้อนของสะพานความร้อน (W/m^2)	ค่าการถ่ายเทความร้อน (Q) (W)	อุณหภูมิผิวคานด้านใน (°C)	หมายเหตุ / คะแนน
สร้างจริง	สามมิติ	สามมิติ	หาได้	ใช้เวลามาก ราคาสูง
	1	1	1	3
คำนวณมือ	ไม่ได้	หนึ่งมิติ	ไม่ได้	
	0	1	0	1
OTTV	ไม่มี	ไม่มี	ไม่ได้	ไม่มีพจน์ของการนำความร้อน
	0	0	0	
BEC	ไม่มี	ไม่มี	ไม่ได้	ไม่มีพจน์ของการนำความร้อน
	0	0	0	
THERM	ไม่ได้	สองมิติ	หาได้	
	0	1	1	2
ANSYS	หาได้	สามมิติ	หาได้	
	1	1	1	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

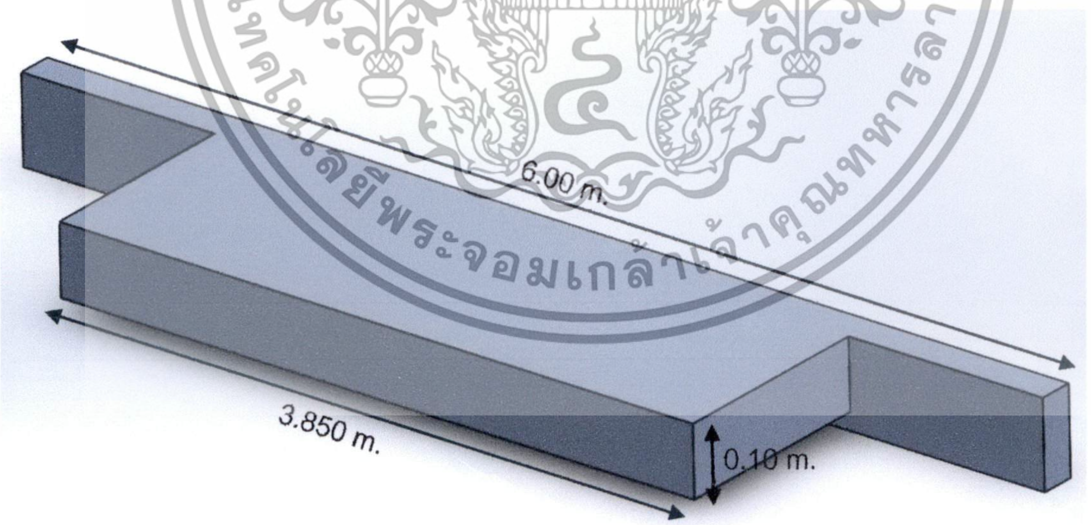
3.4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในโปรแกรม ANSYS

โปรแกรม ANSYS ที่ใช้ใบอนุญาติใช้โปรแกรมดังกล่าวจาก รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เครื่องมือคำสั่งในการหาคำตอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือส่วนของคำสั่ง Steady state เป็นการหาอุณหภูมิของวัสดุเมื่อสภาวะคงตัว กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในสสารขึ้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นตามกฎฟิสิกส์โดยเกิดการแพร่ของความอุณหภูมิความร้อนจากสูงไปต่ำระหว่างอนุภาคไปเรื่อยๆ จนเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งสามารถใช้เครื่องมือในโปรแกรมแสดงอุณหภูมิได้ทุกจุดของวัสดุที่เราศึกษา รวมถึงแสดงกราฟฟิคของทิศทางการไหลความร้อนได้อีกด้วย

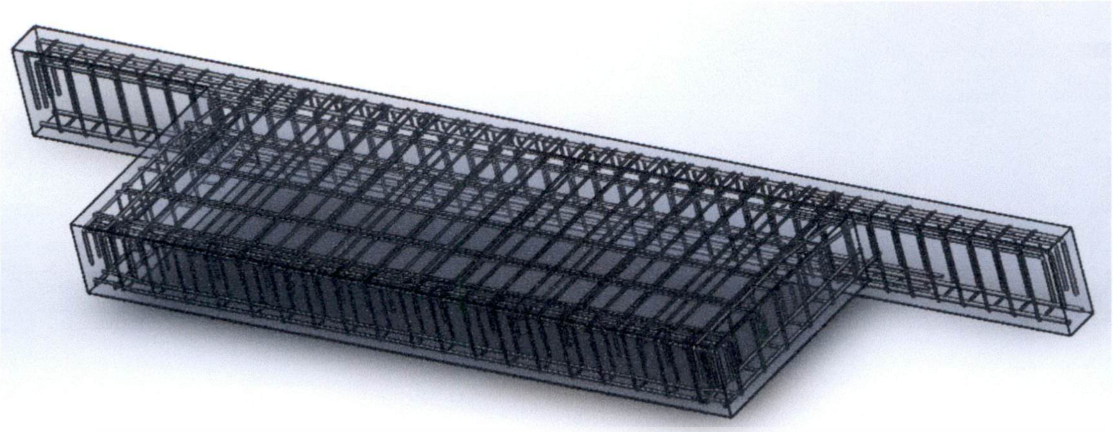
3.4.1 การสร้างสภาวะจำลองรูปร่างและรายละเอียดภายในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก

สร้างหุ่นจำลองสามมิติขึ้นเสียก่อนโดยกำหนดให้มีขนาดคอนกรีตและเหล็กเสริมตามแบบ ซึ่งหุ่นจำลองสามมิตินี้สามารถสร้างขึ้นจากโปรแกรม ANSYS ได้ แต่จะมีความยุ่งยาก จึงทำการสร้างหุ่นจำลองจากโปรแกรม Solidwork แทน(รูปที่ 3.20-3.21)



รูปที่ 3.20 หุ่นจำลองสามมิติของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง ในโปรแกรม Solidwork

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

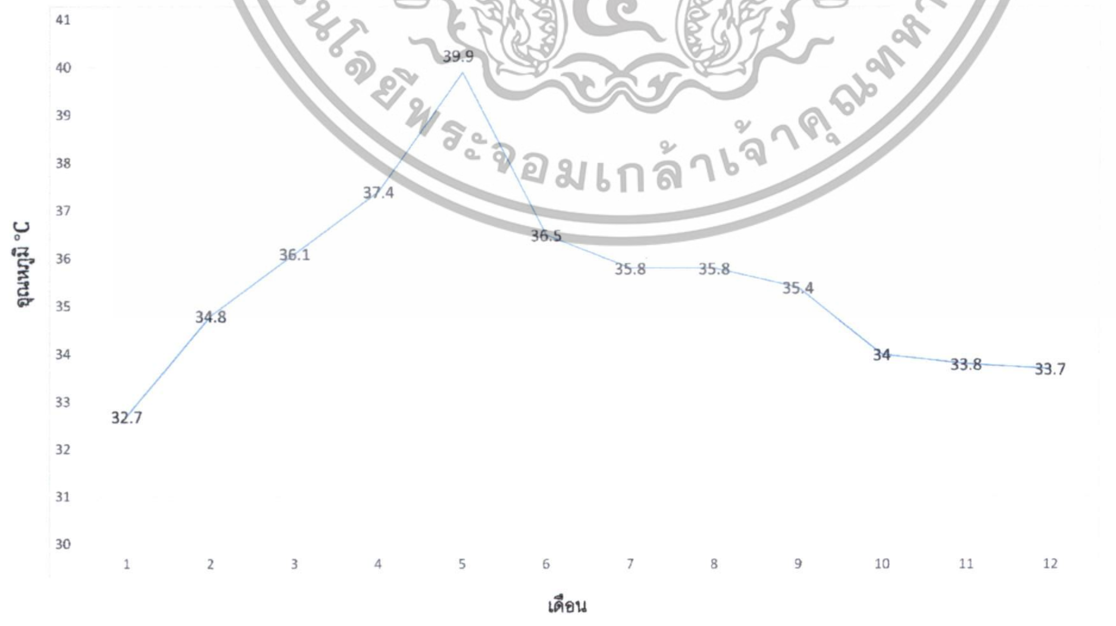


รูปที่ 3.21 หุ่นจำลองสามมิติของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างในโปรแกรม Solidwork

3.4.2 การสร้างสภาวะจำลองสภาพอากาศ(อุณหภูมิ)

3.4.2.1 อุณหภูมิอากาศ

ใช้ข้อมูลอุณหภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีตรวจวัดดอนเมือง เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่ตั้งในกรุงเทพ และใช้ข้อมูลของปี พ.ศ.2557 เนื่องจากเป็นข้อมูลปีล่าสุด และเลือกใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งอยู่ในเดือน พฤษภาคม มีค่าเท่ากับ 39.9 °C ดังแสดงรูปที่ 3.22



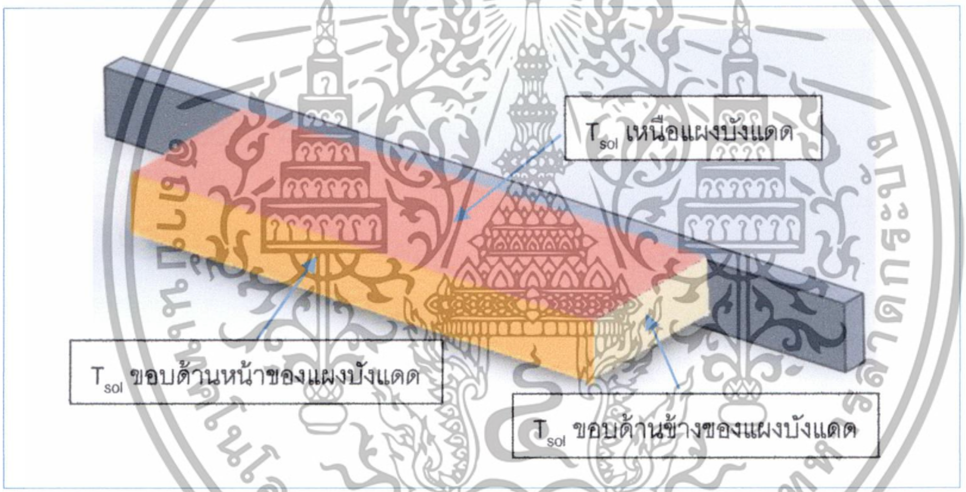
รูปที่ 3.22 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิอากาศของของสถานีตรวจวัดดอนเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 อุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature)

เนื่องจากวัสดุทุกชนิดมีคุณสมบัติการกักเก็บและเปล่งรังสีความร้อน ทำให้เมื่อแผงบังแดดรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จะกักเก็บและเปล่งรังสีความร้อน ทำให้อุณหภูมิที่ผิววัสดุจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา เรียกว่า อุณหภูมิผิววัสดุ (sol-air temperature : T_{sol}) เป็นอุณหภูมิสมมติของฟิล์มอากาศที่ติดอยู่กับผิวของวัสดุ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.1 โดยมีอุณหภูมิที่มีอิทธิพลคือ อุณหภูมิอากาศ โดยเลือกใช้ค่าอุณหภูมิในปี 2557 ณ สถานีตรวจวัดสภาพอากาศดอนเมือง ได้อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 39.9 °C และทำการคำนวณอุณหภูมิผิววัสดุ ตามทิศทางได้ดังนี้

จากสมการอุณหภูมิผิววัสดุ(สมการที่ 2.9) อุณหภูมิที่ผิววัสดุ(T_{so}) $T_{sol} = T_o + R_o(\alpha_w I - \varepsilon I_r)$ โดยทำการคำนวณพื้นที่ผิวที่ต้องการหาอุณหภูมิผิววัสดุได้ดังแสดง (รูปที่ 3.23)



รูปที่ 3.23 แสดงการคำนวณอุณหภูมิผิววัสดุของแต่ละพื้นผิว

มีรายการคำนวณดังต่อนี้และการวิธีการใส่ค่าในโปรแกรม ANSYS ดังนี้

1) อุณหภูมิผิววัสดุเหนือแผงบังแดดโดยกำหนดสัมประสิทธ์และตัวแปรต่างๆให้เป็นลักษณะหลังคา เนื่องจากแผงบังแดดเป็นแนวระนาบ และมีวิธีการใส่ค่าในโปรแกรม ANSYS ดังแสดงในรูปที่ 3.21

จาก $T_{sol} = T_o + R_o(\alpha_w I - \varepsilon I_r)$

$= 39.9 + \{(1/6.625)[(0.5 \times 372.5) - (0.5 \times 100)]\}$

ดังนั้น T_{sol} เหนือแผงบังแดด $= 60.5$ °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านหน้าของแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆให้เป็นผนังที่อยู่ด้านทิศใต้ เนื่องจากขอบแผงบังแดดเป็นแนวดิ่ง

จาก $T_{sol} = T_o + R_o(\alpha_w I - \varepsilon I_r)$

$= 39.9 + \{(1/6.625)[(0.5 \times 372.5) - (0)]\}$

ดังนั้น T_{sol} ขอบด้านข้างของแผงบังแดด $= 44.4\ ^{\circ}C$

3) อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านข้างของแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆให้เป็นผนังที่อยู่ด้านทิศตะวันออก เนื่องจากขอบแผงบังแดดเป็นแนวดิ่ง

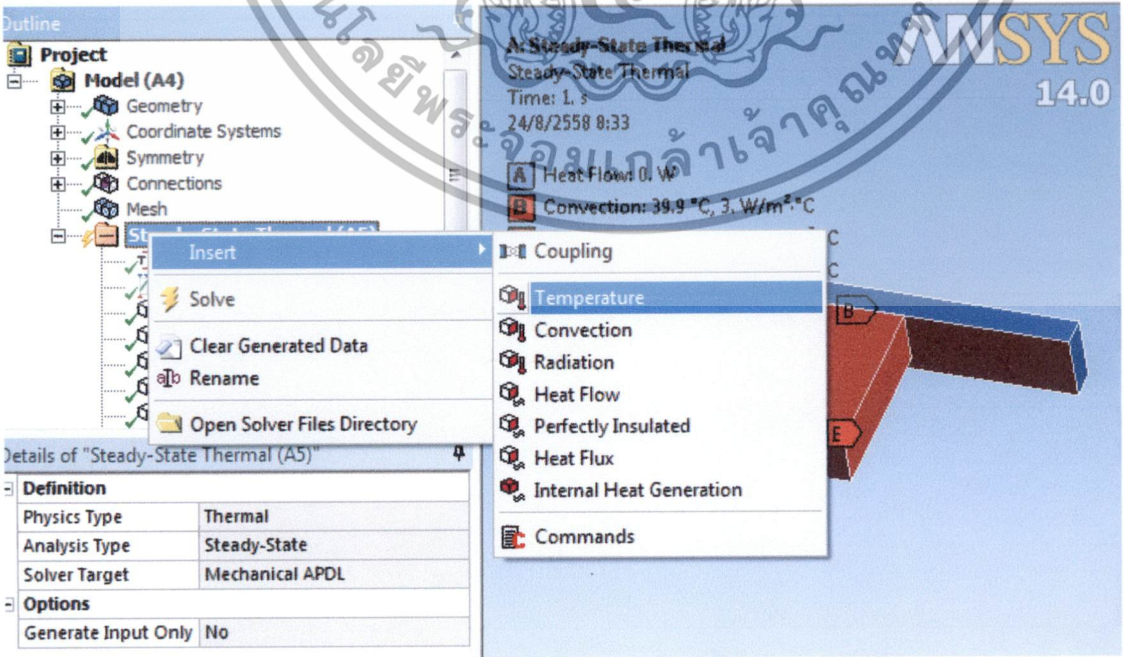
จาก $T_{sol} = T_o + R_o(\alpha_w I - \varepsilon I_r)$

$= 39.9 + \{(1/6.625)[(0.5 \times 372.5) - (0)]\}$

ดังนั้น T_{sol} ขอบด้านหน้าของแผงบังแดด $= 44.1\ ^{\circ}C$

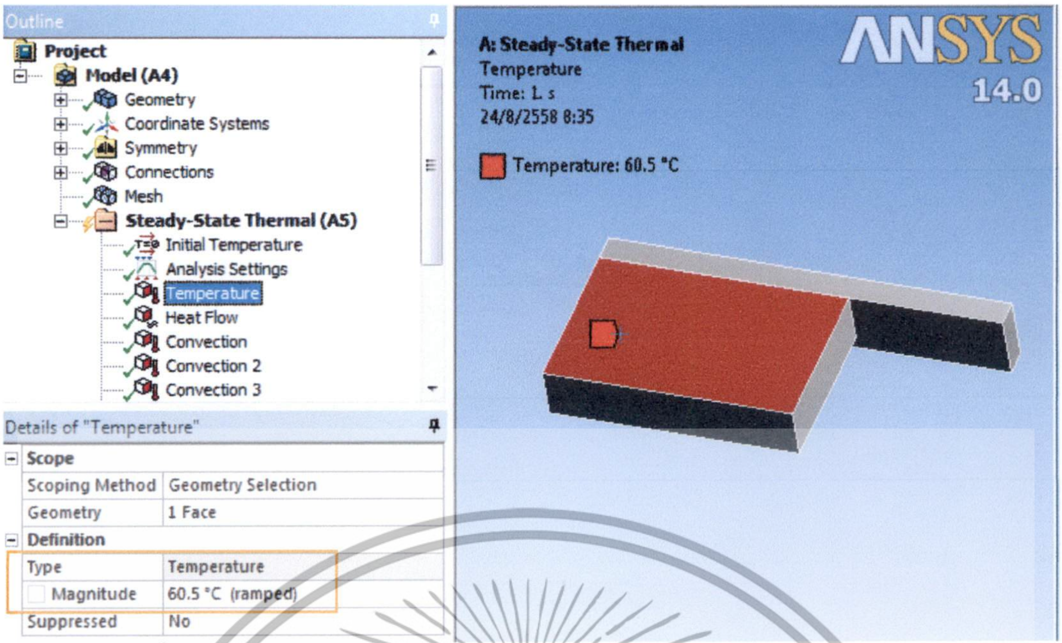
อุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature)สามารถหาได้จากโปรแกรม ANSYS โดยการสร้างสภาวะจำลองหาแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์จริง แต่มีความยุ่งยากซับซ้อน จึงเลือกการกำหนดค่าผิวของแผงบังแดดแต่ละด้านด้วยค่าอุณหภูมิผิววัสดุแทน เนื่องจากอุณหภูมิผิววัสดุเป็นค่าอุณหภูมิที่รวมการแผ่รังสีของวัสดุเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศแล้ว

โปรแกรม ANSYS จำลองผิววัสดุเป็นแผ่นที่สามารถปล่อยความร้อนได้(Magnitude) ดังนั้นจึงต้องใช้คำสั่งเพื่อใส่อุณหภูมิลงบนพื้นผิว(รูปที่ 3.24) แล้วทำการใส่ค่าอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature)ในช่องข้อมูลนี้(รูปที่ 3.25) โดยทำการใส่ค่าอุณหภูมิผิววัสดุนี้ลงแต่ละพื้นผิวที่ต้องการกำหนด



รูปที่ 3.24 แสดงการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวของแผงบังแดด

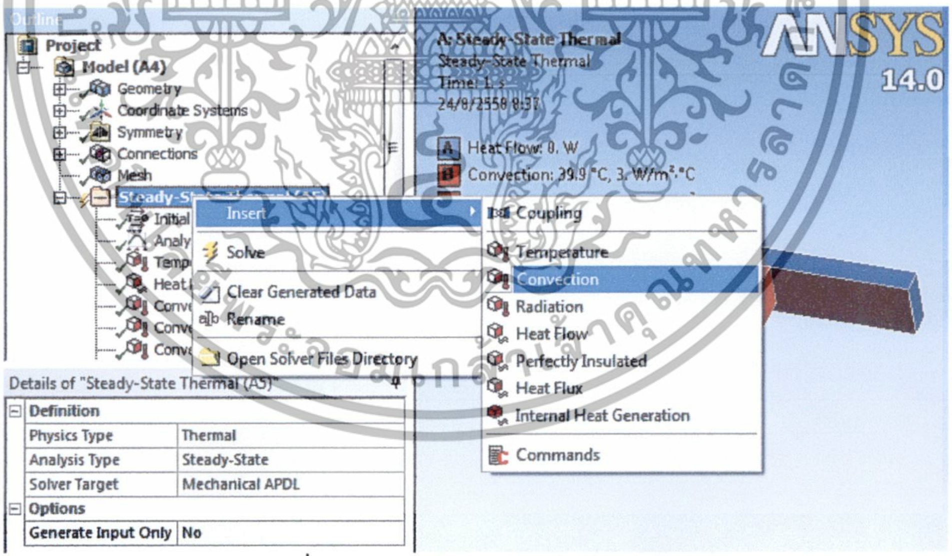
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงการใส่ค่าอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature)

3.4.2.3 การพาความร้อนอิสระ

ในการกำหนดสภาวะปิดเพื่อให้โปรแกรมสามารถหาอุณหภูมิที่ผิวของคานภายในอาคารได้นั้น โดยใส่คำสั่ง Convection (รูปที่ 3.26)



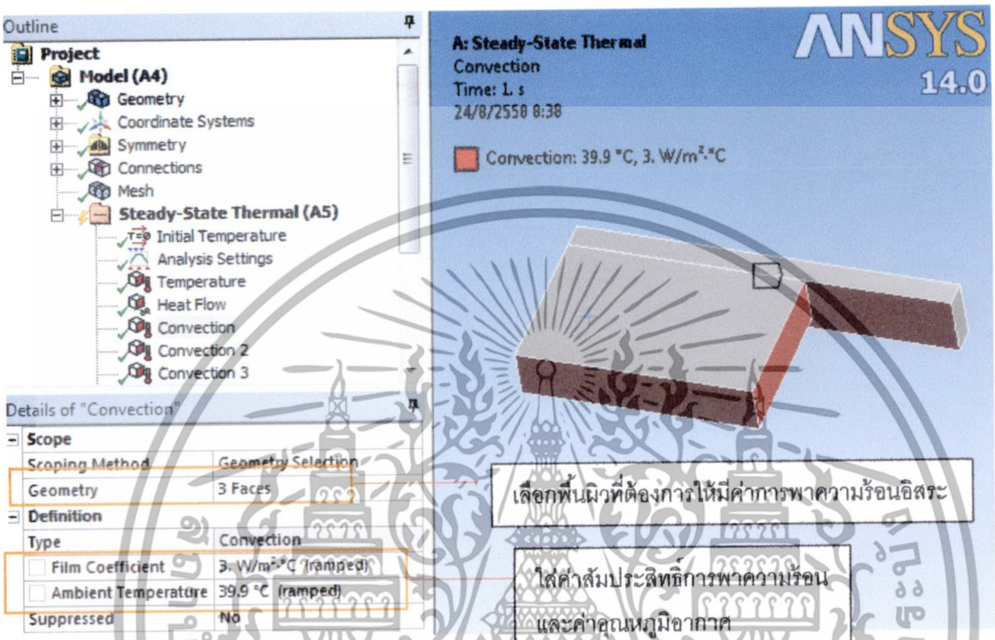
รูปที่ 3.26 การใส่การพาความร้อนอิสระ

เลือกพื้นผิวที่ต้องการให้มีการพาความร้อนแบบอิสระ การพาความร้อนอิสระจะต้องทราบอุณหภูมิอากาศ โดยการทดลองกำหนดให้เป็นอุณหภูมิสูงสุดของปี พ.ศ. 2557 มีค่าเท่ากับ 39.9 °C ซึ่งมีอยู่ในสมการการพาความร้อนอิสระ(สมการที่ 3.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพาความร้อนแบบอิสระ $q_{cv} = h_c A \Delta T$ สมการที่ 3.3

ใส่ค่าอุณหภูมิอากาศในช่องข้อมูล Ambient Temperature และใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน(h_c) ที่ช่องข้อมูล Film Coefficient (รูปที่ 3.27) โดยพื้นผิวแนวดิ่ง (Vertical surface) = 3.0 W/m^{2}K ใต้พื้นผิวแนวราบ(Horizontal down) = 1.5 W/m^{2}K และเหนือพื้นผิวแนวราบ(Horizontal up) = 4.3 W/m^{2}K

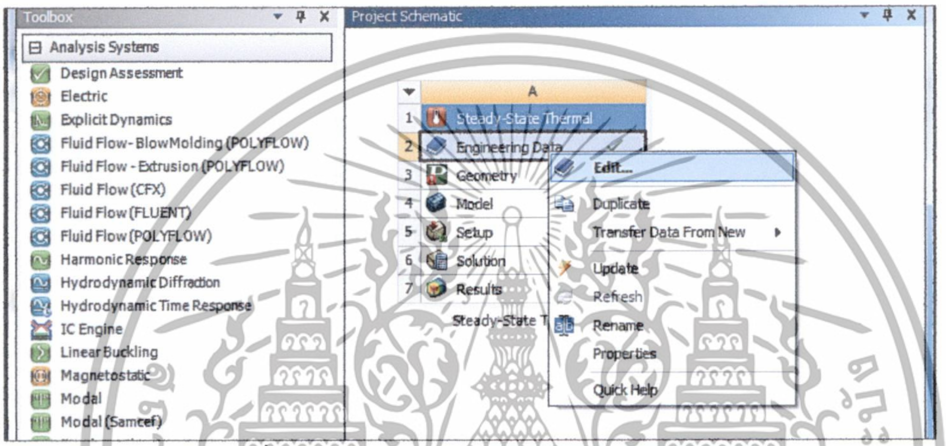


รูปที่ 3.27 การใส่ข้อมูลการพาความร้อนอิสระ

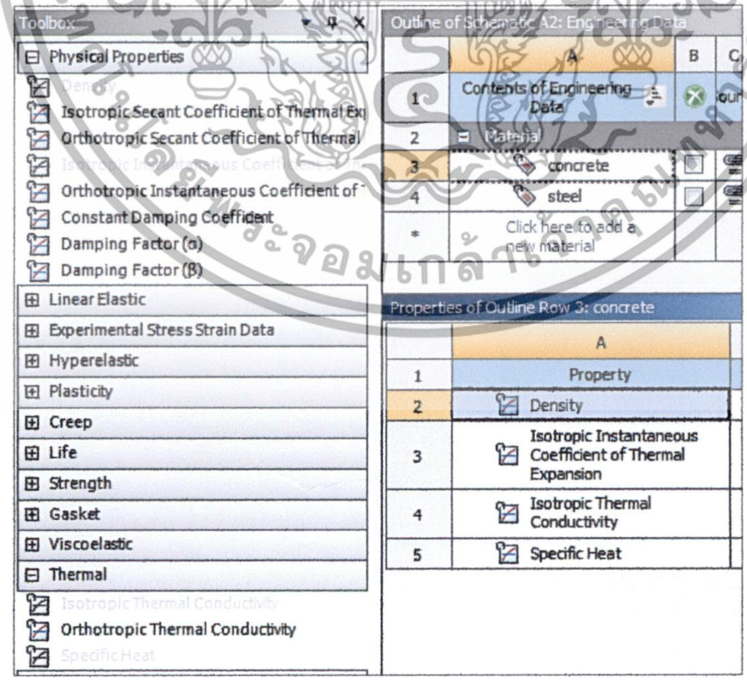
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การสร้างสภาวะจำลอง ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity)

ในการจำลองสภาวะการณ์การนำความร้อนจำเป็นต้องทราบค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ทำแผงบังแดดที่พิจารณา โดยใส่ในข้อมูลกลุ่ม Engineering Data(รูปที่ 3.28) คุณสมบัติวัสดุสามารถค้นคว้าข้อมูลได้จากหนังสือและงานวิจัยต่างๆ โดยค่าที่จำเป็นต้องทราบคือ ความหนาแน่น (kg/m^2) , ค่าการนำความร้อน (W/m^{2}K) , ค่าความร้อนจำเพาะ (J/kg.°C) และ สัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน (/°C) (รูปที่ 3.29)



รูปที่ 3.28 แสดงช่องใส่ข้อมูลคุณสมบัติวัสดุ



รูปที่ 3.29 คุณสมบัติวัสดุที่จำเป็นต้องใช้เพื่อคำนวณโดยโปรแกรม ANSYS

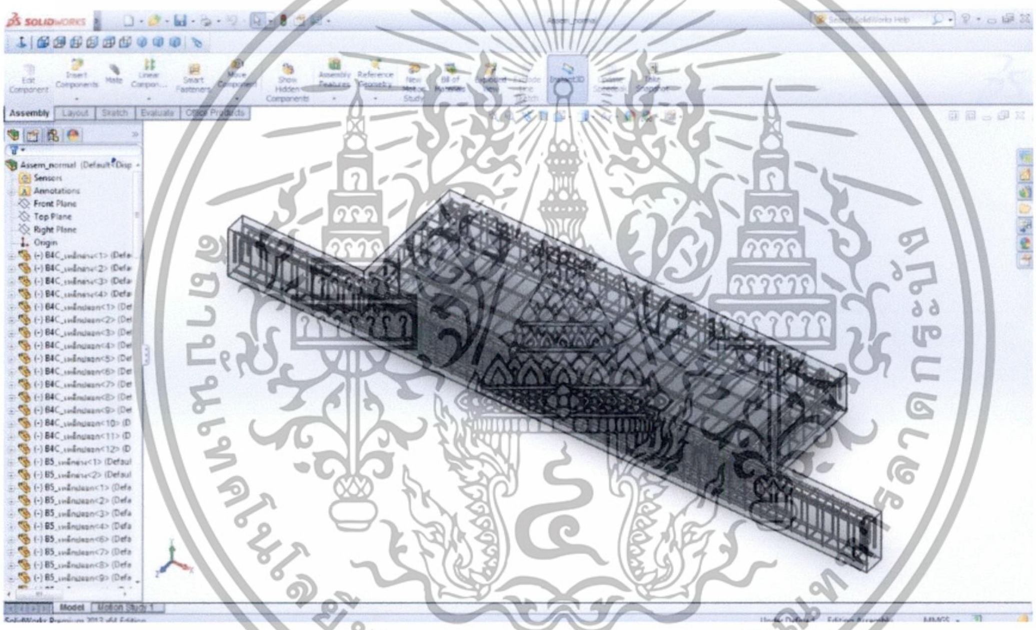
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 เตรียมหุ่นจำลองเพื่อใช้ในโปรแกรม ANSYS

3.5.1.1 การสร้างหุ่นจำลอง รายละเอียดภายในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง

สร้างหุ่นจำลองสามมิติขึ้นเสียก่อนโดยกำหนดให้มีขนาดคอนกรีตและเหล็กเสริมตามแบบ ซึ่งหุ่นจำลองสามมิตินี้สามารถสร้างขึ้นจากโปรแกรม ANSYS ได้ แต่จะมีความยุ่งยาก จึงทำการสร้างหุ่นจำลองจากโปรแกรม Solidwork แทน(รูปที่ 3.30)

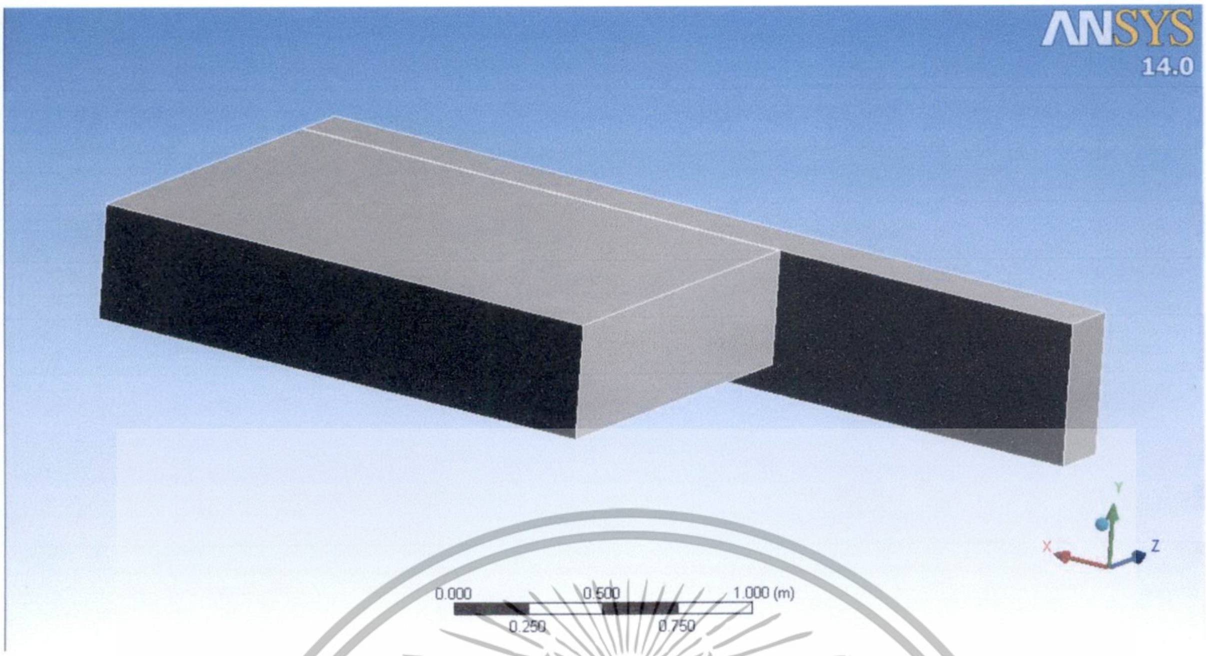


รูปที่ 3.30 หุ่นจำลองสามมิติของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างในโปรแกรม Solidwork

3.5.1.2 นำหุ่นจำลองเข้าสู่โปรแกรม ANSYS

เนื่องจากแผงบังแดดเป็นรูปร่างสมมาตรดังแบบก่อสร้าง(รูปที่ 3.31) จึงทำการจำลองสภาวะการณ์ของแผงบังแดดครึ่งหนึ่ง เนื่องจากทรัพยากรคอมพิวเตอร์มีจำกัด ไม่สามารถจำลองสภาวะการณ์แผงบังแดดแบบเต็มได้จึงทำการตัดครึ่งหุ่นจำลอง ก่อนจะนำเข้าคำนวณในโปแกรม ANSYS

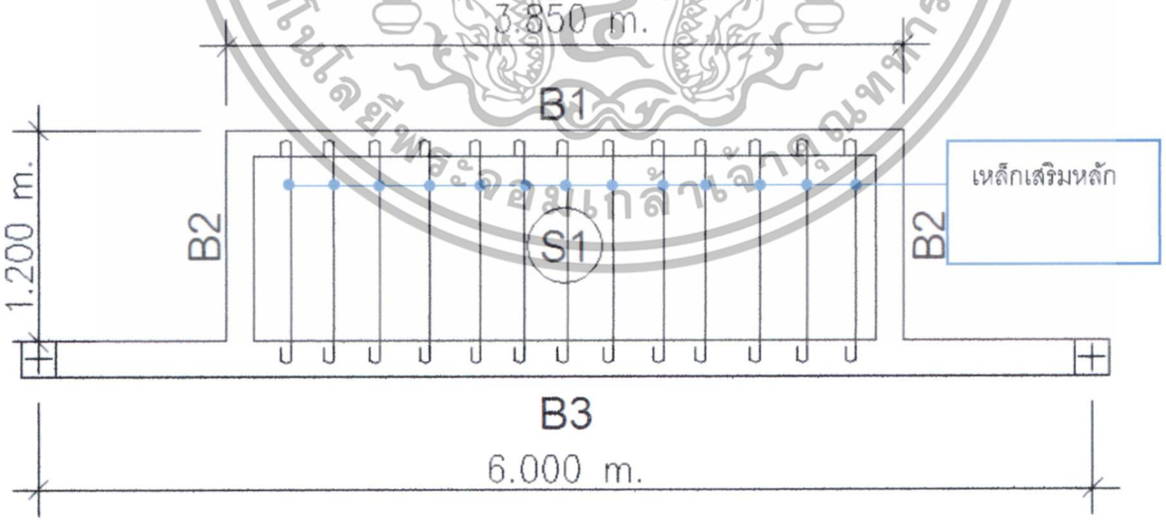
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 หุ่นจำลองแผงบังแดดเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างที่ใช้คำนวณในโปรแกรม ANSYS

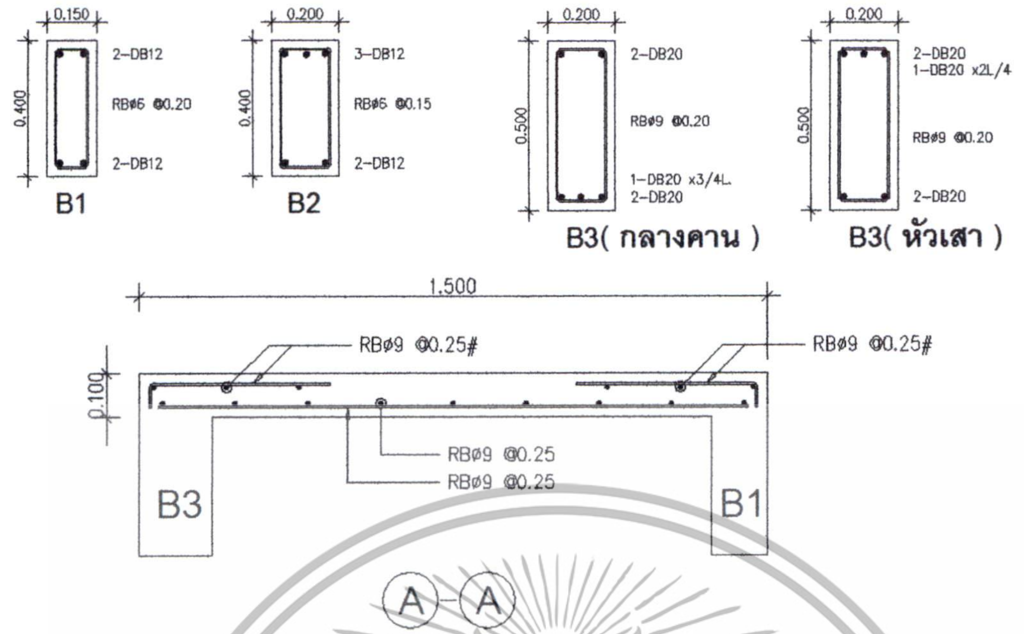
3.5.2 ออกแบบแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน

แผงบังแดดเดิมมีการออกแบบถ่ายแรงลงคาน B1 และ B3(รูปที่ 3.32) มีรายละเอียดการเสริมเหล็ก(รูปที่ 3.33)



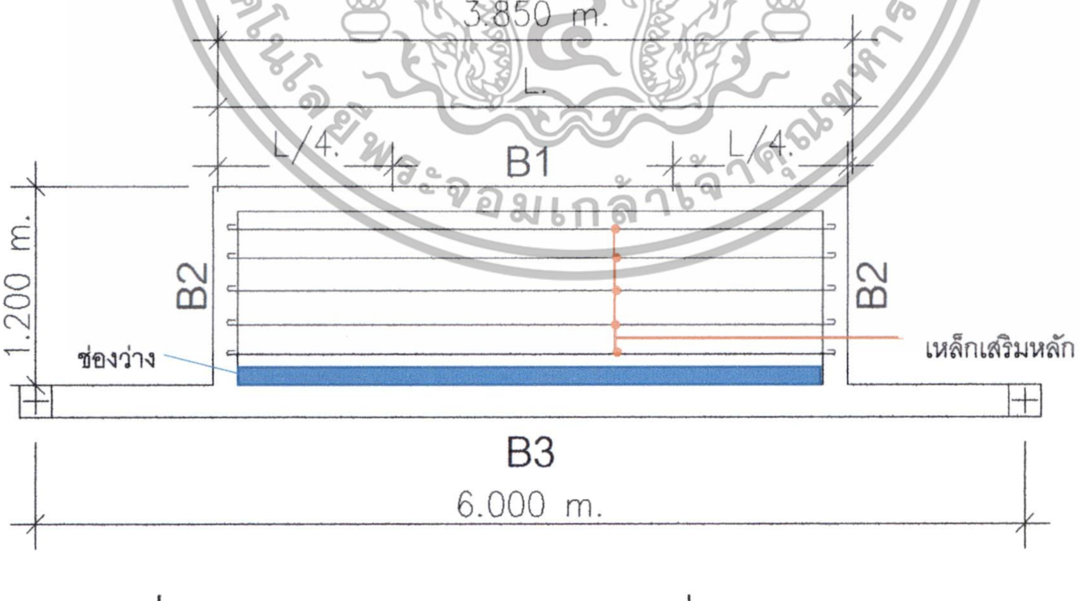
รูปที่ 3.32 **ทิศทางการถ่ายแรงของเหล็กเสริมหลักของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 แสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง

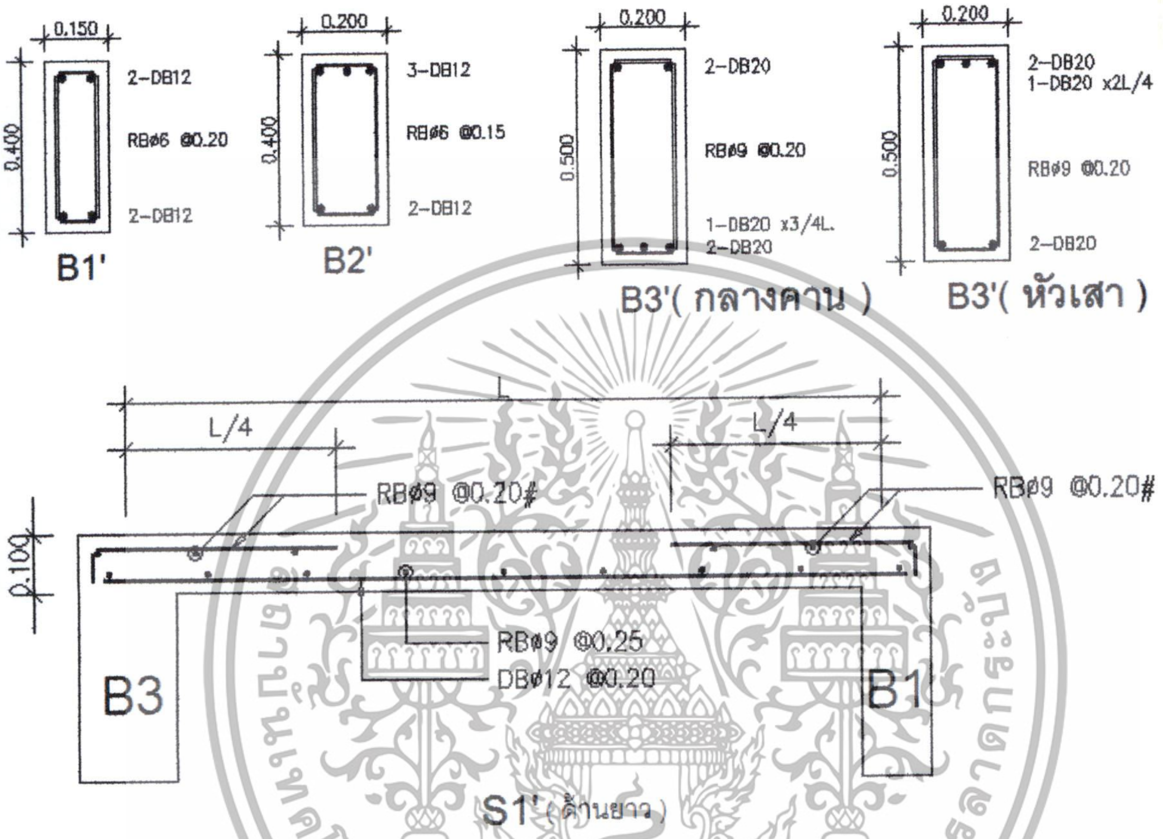
ทำการออกแบบแผงบังแดดใหม่ โดยมีแนวคิดการออกแบบลดพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตบริเวณกลางคาน ทำการออกแบบให้เหล็กเสริมเปลี่ยนทิศทางการถ่ายแรง โดยให้เหล็กเสริมหลักถ่ายแรงลงสู่คาน B2 ทั้งสองฝั่งแทน คาน B1 และ B3 (รูปที่ 3.34)



รูปที่ 3.34 แสดงแนวคิดการออกแบบแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดังกล่าวนี้จะมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการแตกร้าวบริเวณระยะ ¼ ของความยาวเหล็กจากคาน B2 จึงต้องใส่เหล็กเสริมพิเศษเพิ่มเพื่อรับโมเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยการออกแบบต้องคำนึงถึงความปลอดภัยตามหลักวิศวกรรม และแผงบังแดดที่ทำการออกแบบใหม่จะต้องรับน้ำหนักได้ดังเดิม มีรายระเอียดการเสริมเหล็ก(รูปที่ 3.35)

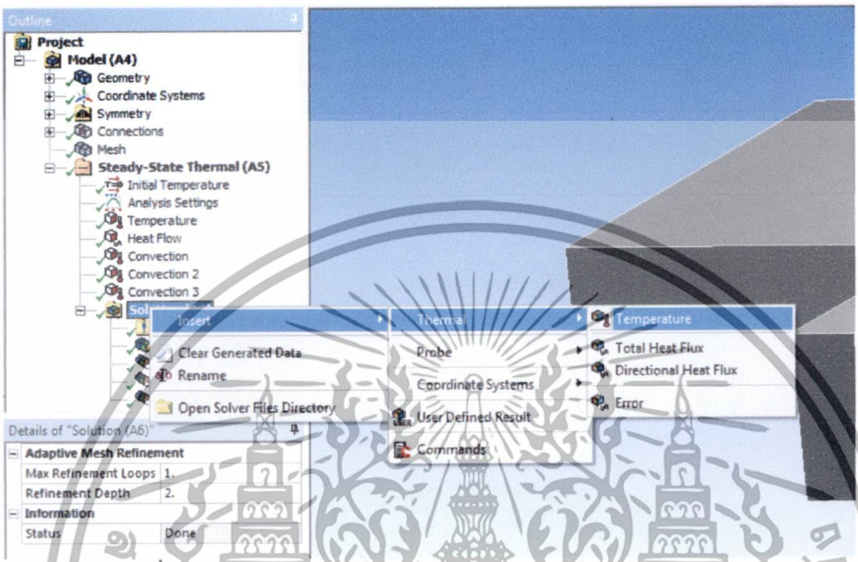


รูปที่ 3.35 รายละเอียดการเสริมเหล็กภายในแผงบังแดดที่ออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

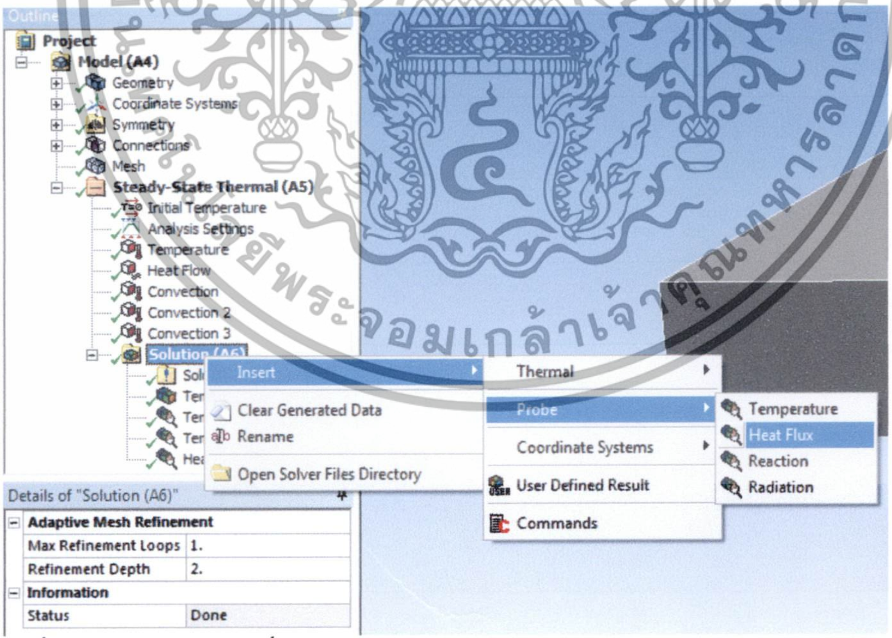
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 เปรียบเทียบผลจากโปรแกรม ANSYS

หลังจากทำการสั่งให้โปรแกรมจำลองสภาวะการณ์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในแผงบังแดดที่เสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง และแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อนแล้ว ทำการกำหนดการแสดงผล(รูปที่ 3.36) และอัตราการถ่ายเทความร้อน(รูปที่ 3.37)



รูปที่ 3.36 การกำหนดการแสดงผลในโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 3.37 การกำหนดเพื่อหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนในโปรแกรม ANSYS

อัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux)มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร(W/m^2) เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณความร้อนที่ผ่านพื้นผิวนั้นๆ กล่าวคือยิ่งอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux)ต่ำแสดงว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านพื้นผิวนั้นๆจะต่ำด้วย

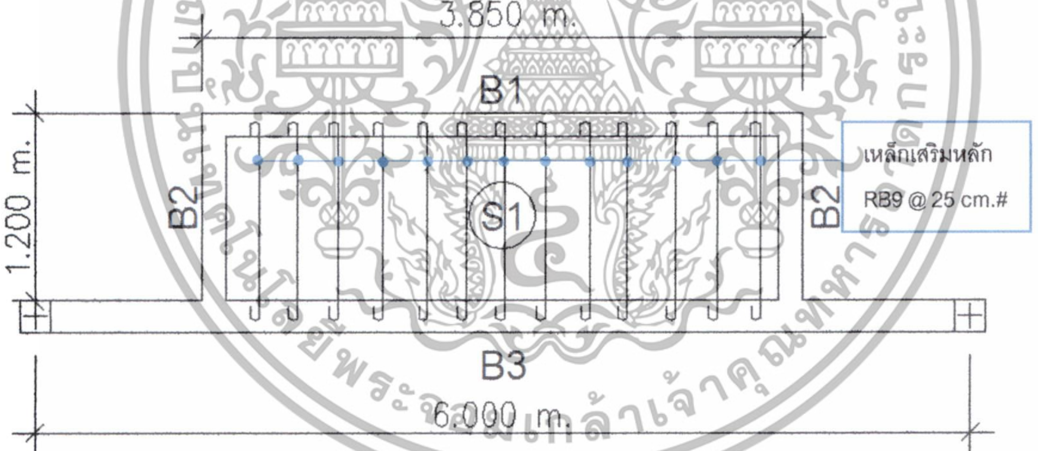
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ทดลองและผลการทดลอง

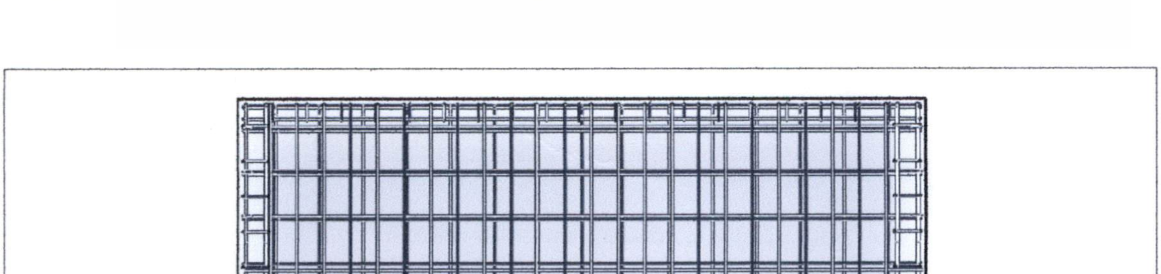
4.1 ออกแบบเหล็กเสริมตามแนวคิดเพื่อการประหยัดพลังงาน

4.1.1 แผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง

จากแนวทางการลดสะพานความร้อน ทำให้ทราบปัจจัยที่แปรผันตรงกับการถ่ายเทความร้อนคือค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พื้นที่หน้าตัด และความแตกต่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร จากตัวแปรทั้งสามทำให้ได้แนวคิดออกแบบโครงสร้างระเบียงคอนกรีตเสริมเหล็กใหม่ โดยการออกแบบระเบียงของอาคารกรณีศึกษาเป็นการออกแบบพื้นระเบียงเป็นการรับแรงทางเดียว (One way slab) โดยทำการฝากเหล็กเสริมรับแรงหลักไว้ที่คาน B1 และ B3 โดยจะเห็นว่าคาน B3 เป็นส่วนที่ติดกับภายในอาคารซึ่งทำหน้าที่เป็นสะพานความร้อนของความร้อนจากระเบียงเข้าสู่ภายในอาคาร(รูปที่ 4.1) และแสดงภาพสามมิติของการเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง(รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.1 แสดงการเสริมเหล็กฝากถ่ายแรงสู่คาน B1 และB4 ของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง



รูปที่ 4.2 แสดงภาพสามมิติการเสริมเหล็กของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 แบบแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

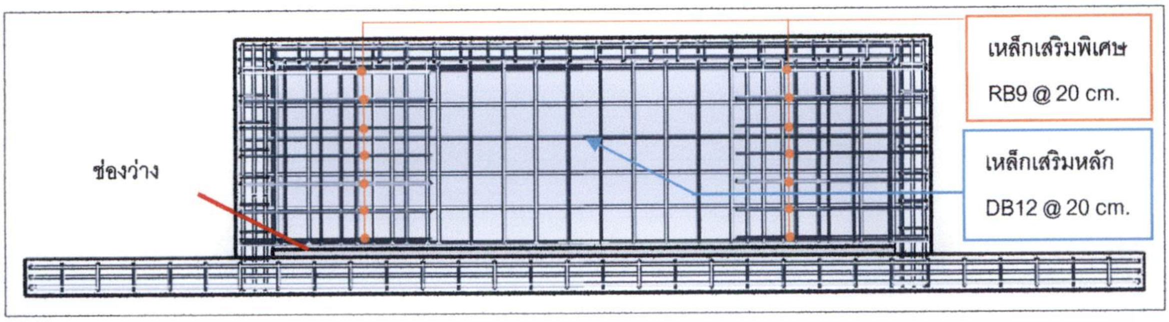
ตามข้อกำหนดของ วสท.[17] ทำการออกแบบแผงบังแดดใหม่ โดยลดพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตบริเวณกลางคาน ทำการออกแบบให้เหล็กเสริมเปลี่ยนทิศทางการถ่ายแรง โดยให้เหล็กเสริมหลักถ่ายแรงลงสู่คาน B2 ทั้งสองฝั่ง ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้จะมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการแตกร้าวบริเวณระยะ ¼ ของความยาวเหล็กจากคาน B2 จึงต้องใส่เหล็กเสริมพิเศษเพิ่มเพื่อรับโมเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้นด้วย จากนั้นออกแบบคานและพื้นใหม่ เป็นคาน B1' B2' และ B3' และพื้นเป็น S1' เพื่อรับโมเมนต์และแรงเฉือนเพิ่ม ซึ่งวิธีการนี้สามารถตัดเนื้อคอนกรีตของพื้นส่วนที่ติดกับคาน B3 ออกได้ ทำให้สามารถลดพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่เป็นสะพานความร้อนได้(รูปที่ 4.3)

รูปที่ 4.3 แสดงการเสริมเหล็กฝากถ่ายแรงสู่คาน B1' และB4' ของแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

ซึ่งช่องว่างดังกล่าวได้กำหนดเบื้องต้นไว้ที่ขนาด 5 เซนติเมตร โดยการออกแบบเหล็กเสริมใหม่สามารถกำหนดขนาดความกว้างของช่องว่างมากกว่านี้ก็ได้ เนื่องจากมีออกแบบรับแรงไว้ที่คาน B2' แล้ว จึงไม่กระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้างและสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดังเดิมและแสดงภาพสามมิติของการเสริมเหล็กแบบเดิม

[17] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ ... สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



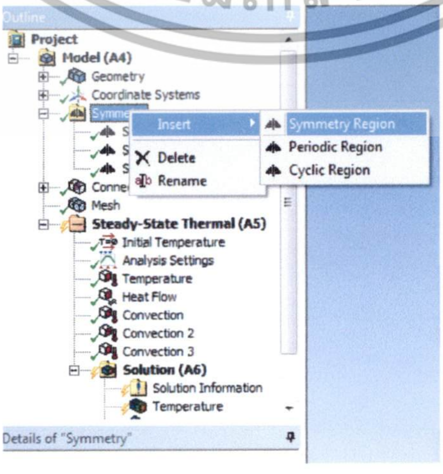
รูปที่ 4.4 แสดงภาพสามมิติการเสริมเหล็กของแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

การออกแบบลักษณะมีช่องว่างทำให้การก่อสร้างยากขึ้นบ้าง ควรก่อสร้างโดยการใช้โฟมวางไว้ก่อนการเทคอนกรีต และทิ้งโฟมไว้ในช่องว่างเลย ทำให้ก่อสร้างง่ายขึ้นมิต้องแกะไม้แบบเมื่อคอนกรีตแข็งตัว

4.2 หาการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้างโดยโปรแกรม ANSYS

4.2.1 แบบแผงบังแดดตามแบบก่อสร้างที่ใช้เพื่อการจำลองสภาวะการณ์การนำความร้อน

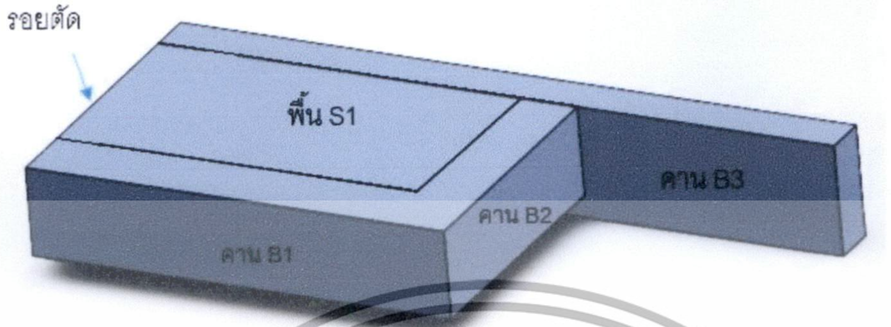
เนื่องด้วยข้อจำกัดของทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีเพียงพอในการจำลองการถ่ายเทความร้อนโดยโปรแกรม ANSYS และโปรแกรมมีคำสั่งให้กำหนดผิววัสดุเป็นผิวสมมาตรได้(รูปที่ 4.5)



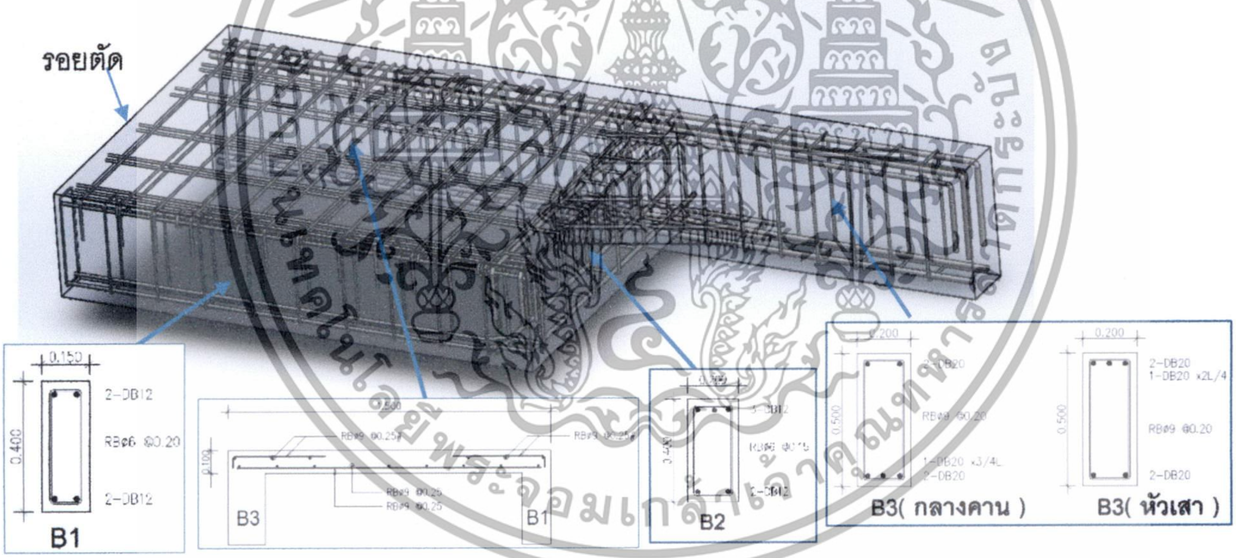
รูปที่ 4.5 ใส่คำสั่งผิวสมมาตร ในโปรแกรม ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้หุ่นจำลองสามมิติที่สร้างขึ้นเพียงครึ่งเดียวดังแสดงในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ในการคำนวณรูปร่างเต็มของแผงบังแดดได้



รูปที่ 4.6 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง ในโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.7 แสดงหุ่นจำลองของเหล็กเสริมที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง ในโปรแกรม ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

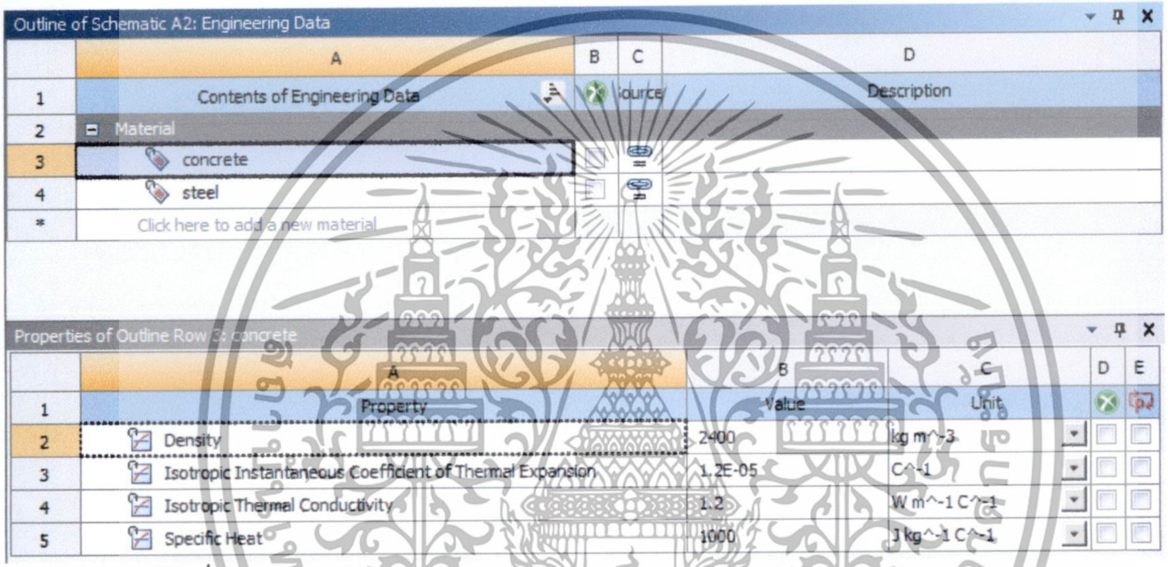
4.2.2 การใส่เงื่อนไข(Condition)ในการจำลองการถ่ายเทความร้อน

4.2.2.1 กำหนดตำแหน่ง

ในการสร้างสภาวะจำลองกำหนดให้แผงบังแดดที่พิจารณาอยู่ชั้นสูงสุดของอาคาร ไม่มีการบังเงาของชายคาและสภาพแวดล้อม เช่น เงาจากตึกข้างเคียง และเงาจากต้นไม้ โดยกำหนดสภาวะให้แผงบังแดดรับรังสีดวงอาทิตย์เต็มที่ (Worst case)

4.2.2.2 กำหนดค่าคุณสมบัติของคอนกรีตและเหล็ก

โดยกำหนดให้คอนกรีตและเหล็กเสริม(รูปที่ 4.8-4.9)



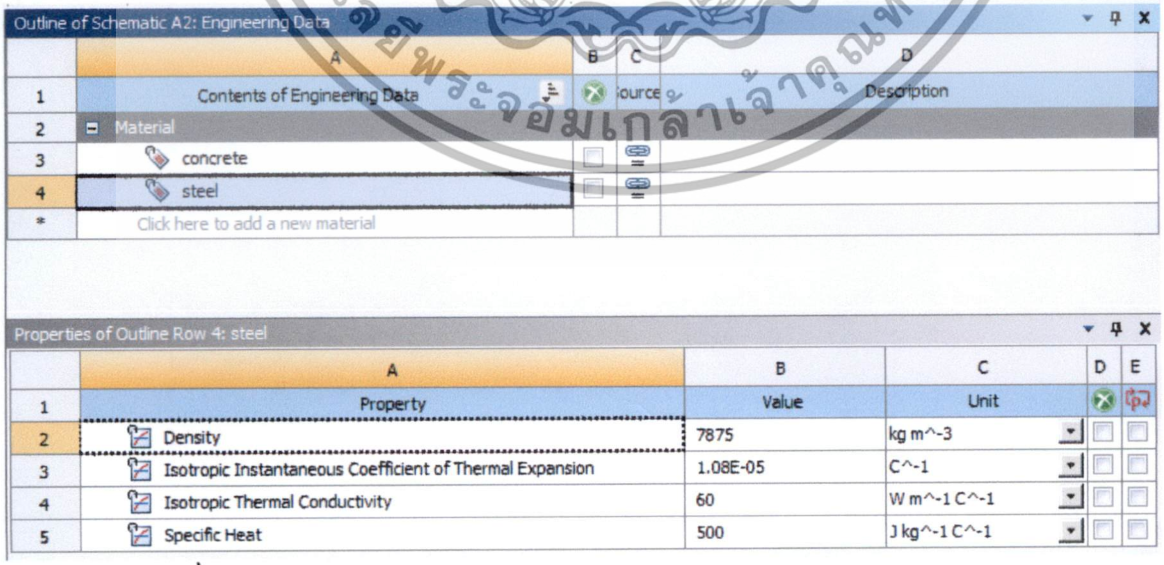
Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	concrete			
4	steel			
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 3: concrete

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	2400	kg m^-3		
3	Isotropic Instantaneous Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C^-1		
4	Isotropic Thermal Conductivity	1.2	W m^-1 C^-1		
5	Specific Heat	1000	J kg^-1 C^-1		

รูปที่ 4.8 แสดงการใส่ค่าข้อมูลคุณสมบัติของคอนกรีตในโปรแกรม ANSYS



Outline of Schematic A2: Engineering Data

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	concrete			
4	steel			
*	Click here to add a new material			

Properties of Outline Row 4: steel

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7875	kg m^-3		
3	Isotropic Instantaneous Coefficient of Thermal Expansion	1.08E-05	C^-1		
4	Isotropic Thermal Conductivity	60	W m^-1 C^-1		
5	Specific Heat	500	J kg^-1 C^-1		

รูปที่ 4.9 แสดงการใส่ค่าข้อมูลคุณสมบัติของเหล็กเสริมในโปรแกรม ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

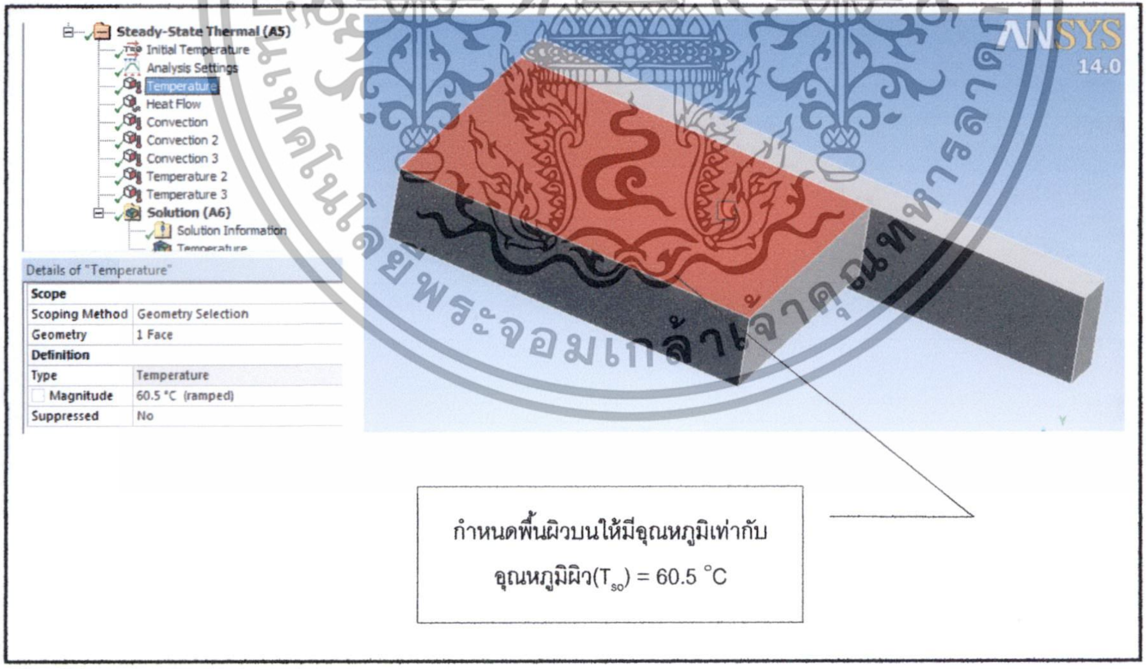
4.2.2.3 กำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดเพื่อหาค่าอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature)

กำหนดอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 39.9 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ร้อนที่สุดของปี นำมาใส่ในโปรแกรมเพื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดด ซึ่งค่าอุณหภูมิอากาศนี้จะส่งผลกับอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature : T_{so}) ซึ่งสามารถกำหนดดังนี้

1) อุณหภูมิผิววัสดุเหนือแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆให้เป็นลักษณะหลังคา เนื่องจากแผงบังแดดเป็นแนวระนาบ(สมการที่ 2.9) ได้อุณหภูมิผิวเหนือแผงบังแดด เท่ากับ 60.5 °C และใส่ข้อมูลในโปรแกรม ANSYS (รูปที่ 4.10)

2) อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านข้างของแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆ ให้เป็นผนังที่อยู่ด้านทิศตะวันออก เนื่องจากขอบแผงบังแดดเป็นแนวดิ่ง (สมการที่ 2.9) ได้อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านข้างของแผงบังแดด เท่ากับ 44.4 °C และใส่ข้อมูลในโปรแกรม ANSYS (รูปที่ 4.11)

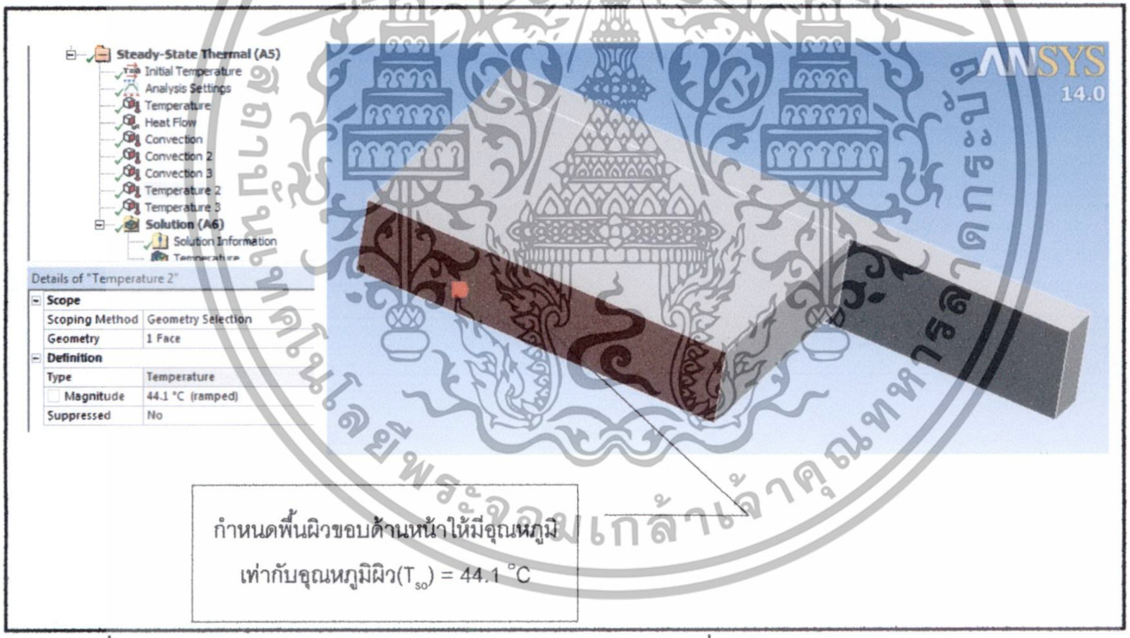
3) อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านหน้าของแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆ ให้เป็นผนังที่อยู่ด้านทิศใต้ เนื่องจากขอบแผงบังแดดเป็นแนวดิ่ง (สมการที่ 2.9) ได้อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านหน้าของแผงบังแดด เท่ากับ 44.1 °C และใส่ข้อมูลในโปรแกรม ANSYS (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวบนของแผงบังแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบข้างของแผงบังแดด

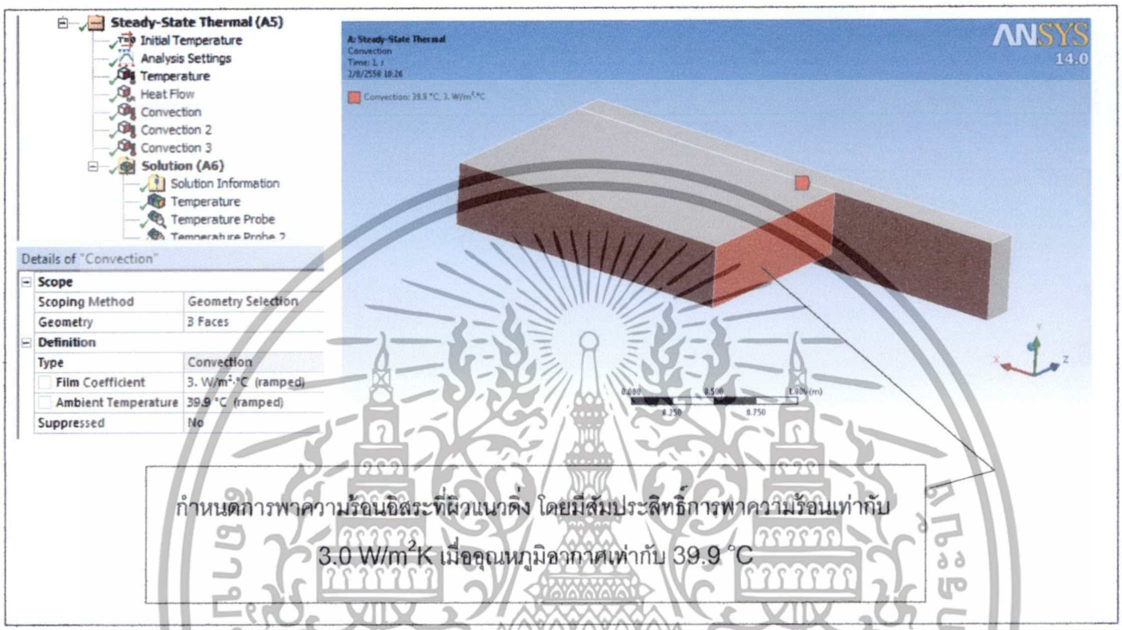


รูปที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบด้านหน้าของแผงบังแดด

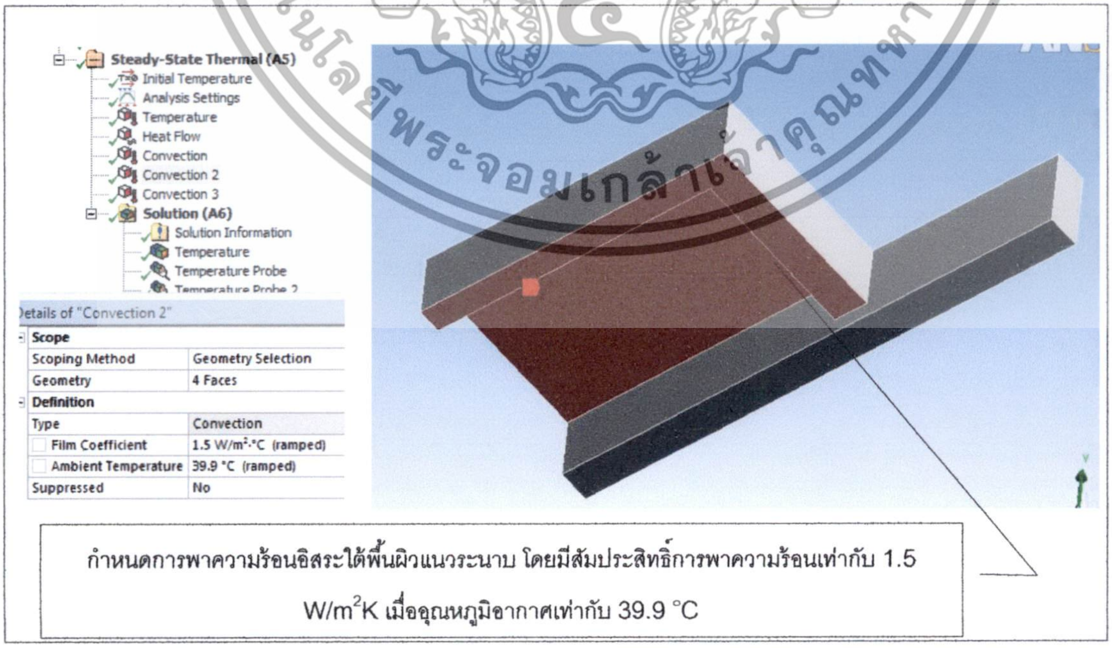
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.4 การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบอิสระ(h_c)

โดยกำหนดให้ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนขึ้นกับพื้นผิว(h_c) โดยพื้นผิวแนวดิ่ง(Vertical surface) เท่ากับ 3.0 W/m^{2}K (รูปที่ 4.13) ใต้พื้นผิวแนวราบ(Horizontal down) เท่ากับ 1.5 W/m^{2}K (รูปที่ 4.14) และเหนือพื้นผิวแนวราบ(Horizontal up) เท่ากับ 4.3 W/m^{2}K (รูปที่ 4.15)

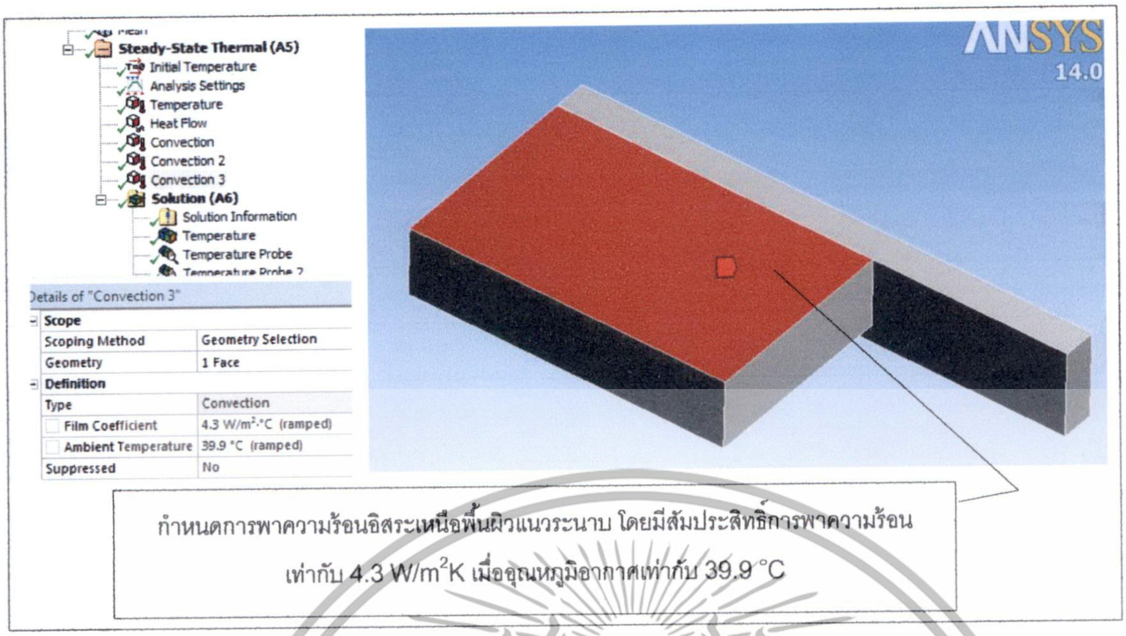


รูปที่ 4.13 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระของพื้นผิวแนวดิ่ง



รูปที่ 4.14 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระใต้พื้นผิวแนวระนาบ

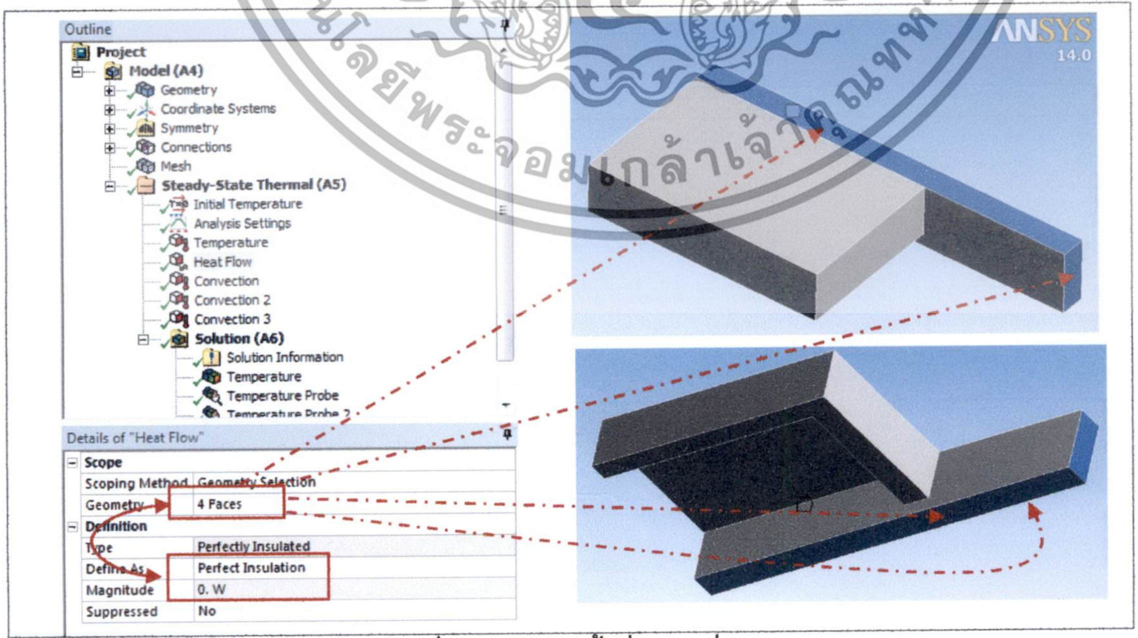
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระเหนือพื้นผิวแนวระนาบ

4.2.2.5 กำหนดค่าส่วนที่ไม่สูญเสียความร้อน

โดยกำหนดส่วนคานที่ติดกับภายในอาคารเป็นฉนวนยิ่งยวด โดยกำหนดอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) เป็น 0 W กล่าวคือไม่มีการสูญเสียความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร เพื่อทำการหาอุณหภูมิที่ผิวคานด้านใน ดังแสดงพื้นผิวสีม่วงใน(รูปที่ 4.16)



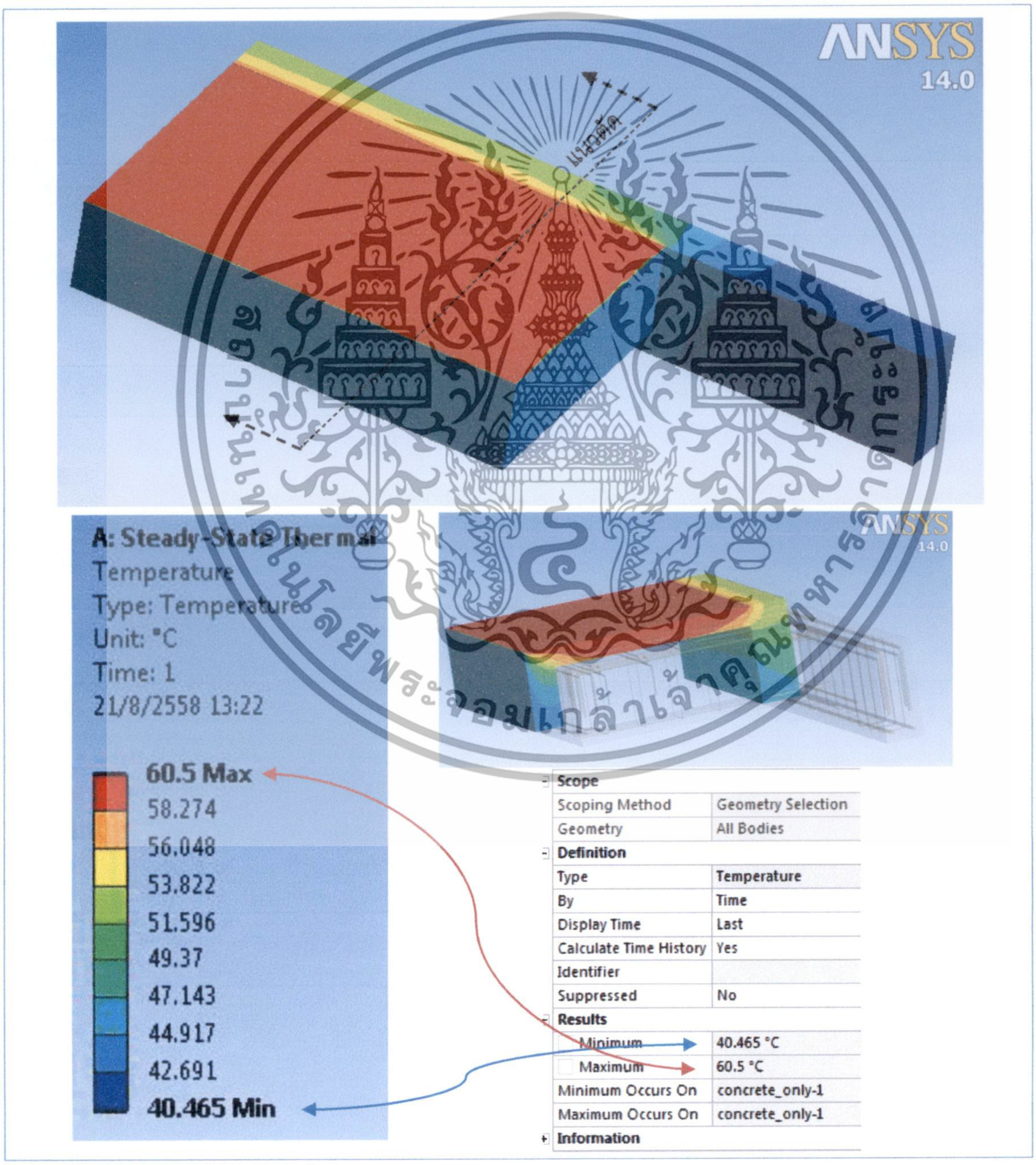
รูปที่ 4.16 แสดงพื้นที่ฉนวนยิ่งยวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลการจำลองสภาวะการณ์ของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง

4.2.3.1 แถบสีแสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

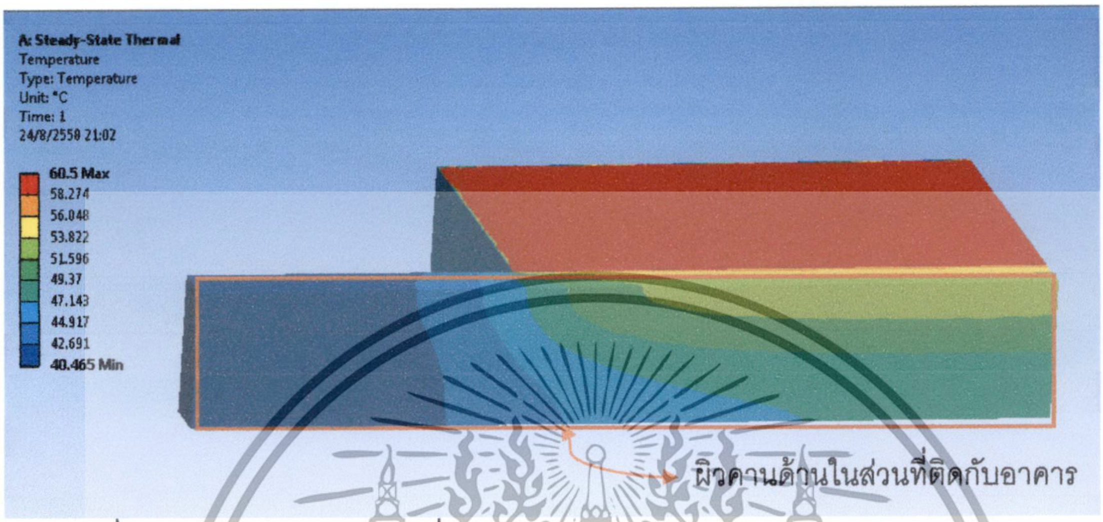
เมื่อทำการสร้างสภาวะการณ์จำลองการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กเดิม ได้แถบสีอุณหภูมิ และสามารถแสดงรูปตัดดูแถบสีอุณหภูมิของเนื้อภายในแผงบังแดดได้ โดยสีน้ำเงินแสดงอุณหภูมิต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 40.47 °C และสีแดงแสดงอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 60.5°C (รูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.17 แสดงผลการสร้างสภาวะการณ์จำลองของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง

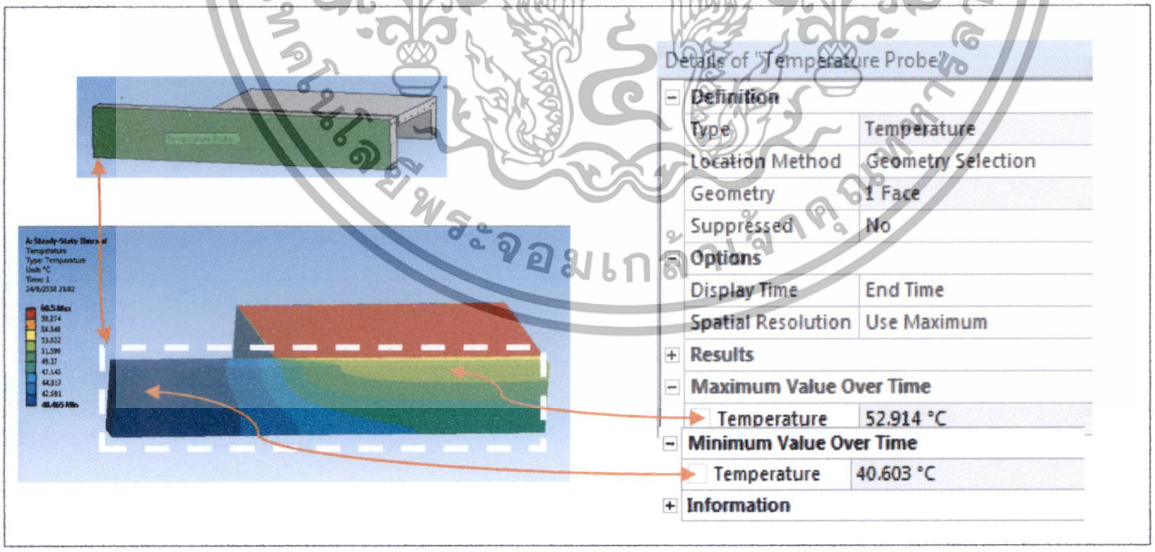
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบสีแสดงอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในของแผงบังแดด (รูปที่ 4.18) จะเห็นว่าส่วนรับความร้อนเท่ากับอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature) 60.5 °C แสดงด้วยสีแดง วัสดุจะถ่ายเทอุณหภูมิเข้าสู่อาคาร แสดงเป็นแถบสี เหลือง เขียว ฟ้า น้ำเงิน บริเวณผิวคานด้านใน



รูปที่ 4.18 แสดงแถบสีอุณหภูมิที่บริเวณคานด้านในของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง

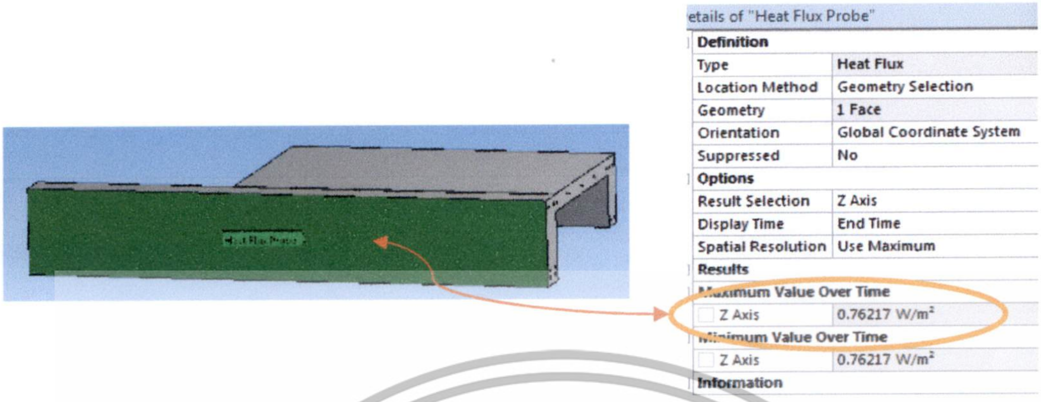
ใช้คำสั่งในโปรแกรม ANSYS วัดอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในได้อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 52.914 °C และได้อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 40.603 °C (รูปที่ 4.19)



รูปที่ 4.19 ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ผิวคานด้านในแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสามารถวัดอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ที่พื้นผิวคานด้านในได้(รูปที่ 4.20) มีค่าเท่ากับ 0.76 W/m^2

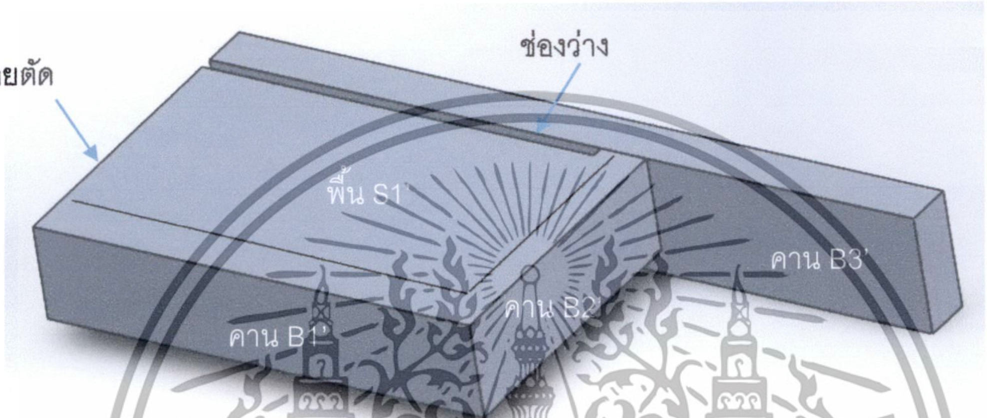


รูปที่ 4.20 แสดงการวัดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ที่ผิวคานด้านในของแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง

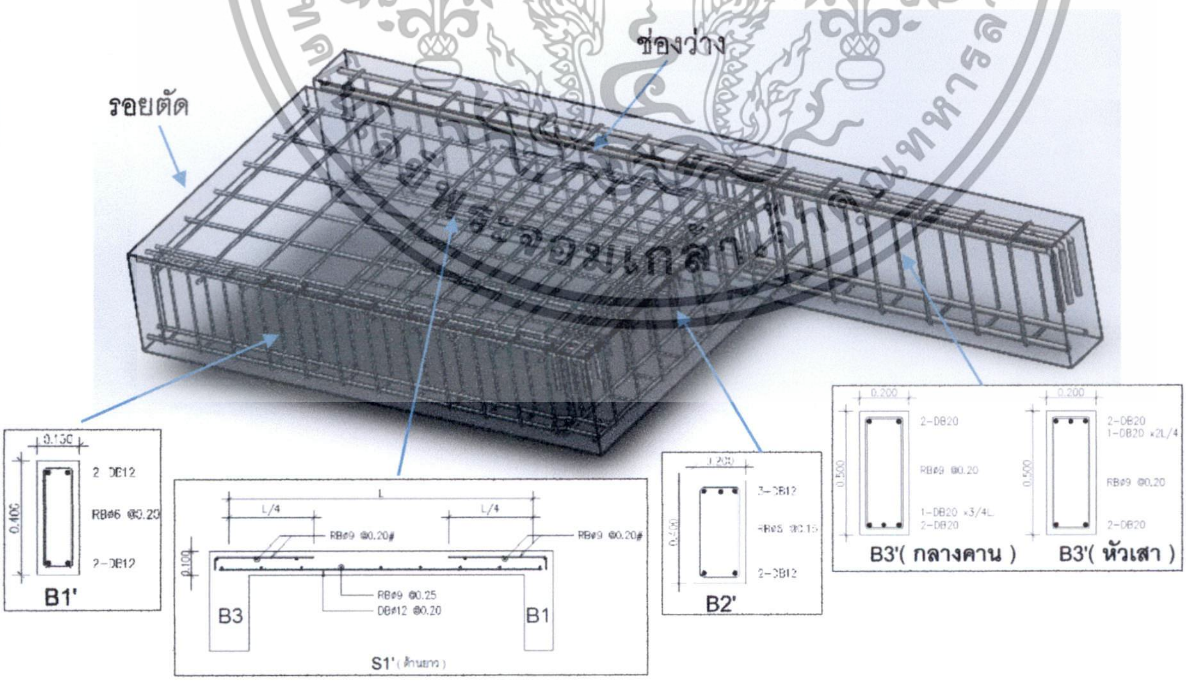
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 หาการถ่ายเทความร้อนของการเสริมเหล็กเพื่อลดสะพานความร้อนโดยโปรแกรม ANSYS

หลังจากทำการออกแบบเหล็กเสริมในแผงบังแดดใหม่ ทำการสร้างสภาวะการณ์จำลองเพื่อเปรียบเทียบความร้อนที่ผิวคานด้านใน โดยทำการสร้างหุ่นจำลองสามมิติขึ้น และใช้เพียงครึ่งเดียวเนื่องด้วยข้อจำกัดของทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่ไม่มีเพียงพอในการคำนวณรูปร่างเต็มของแผงบังแดดได้โดยกำหนดให้ช่องว่างคอนกรีตที่ออกแบบมีขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร(รูปที่ 4.21 และ 4.22)



รูปที่ 4.21 แสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อนในโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4.22 แสดงหุ่นจำลองของเหล็กเสริมที่ใช้ในการสร้างสภาวะการณ์จำลองการนำความร้อนของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อนในโปรแกรม ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การใส่เงื่อนไข(Condition)ในการจำลองการถ่ายเทความร้อน

เนื่องจากมีการออกแบบให้มีช่องว่างระหว่างคอนกรีต ซึ่งจะเกิดการแผ่รังสีบริเวณช่องว่างดังกล่าวขึ้น แต่เนื่องจากการสร้างสภาวะจำลองใช้อุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature) ซึ่งมีการคิดการแผ่รังสีความร้อน(Radiation)รวมอยู่ด้วยแล้ว จึงสามารถกำหนดให้ช่องว่างนี้ไม่มีค่าการแผ่รังสีความร้อน เนื่องจากเป็นพื้นที่น้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวของแผงบังแดด

4.2.1.1 กำหนดตำแหน่ง

ในการสร้างสภาวะจำลองกำหนดให้แผงบังแดดที่พิจารณาอยู่ชั้นสูงสุดของอาคาร ไม่มีการบังเงาของชายคาและสภาพแวดล้อม เช่น เงาจากตึกข้างเคียง และเงาจากต้นไม้ โดยกำหนดสภาวะให้แผงบังแดดรับรังสีดวงอาทิตย์เต็มที่ (Worst case)

4.3.1.2 กำหนดคุณสมบัติวัสดุ

เนื่องจากการออกแบบแผงบังแดดคอนกรีตใหม่ ไม่ได้เปลี่ยนวัสดุจึงใช้คุณสมบัติคอนกรีตและเหล็กเสริมตามตารางที่ 4.1 ดังเดิม

4.3.1.3 กำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดเพื่อหาค่าอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature)

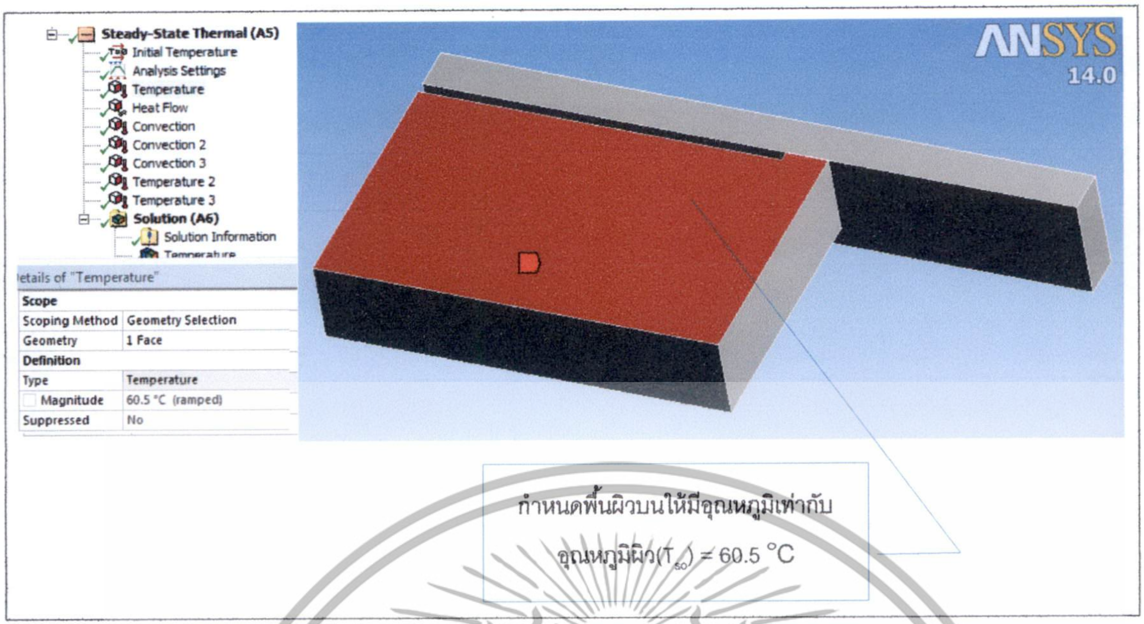
กำหนดอุณหภูมิอากาศเท่ากับ 39.9 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ร้อนที่สุดของปี นำมาใส่ในโปรแกรมเพื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดด ซึ่งค่าอุณหภูมิอากาศนี้จะส่งผลกับอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature : T_{so}) ซึ่งสามารถกำหนดดังนี้

1) อุณหภูมิผิววัสดุเหนือแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆให้เป็นลักษณะหลังคา เนื่องจากแผงบังแดดเป็นแนวระนาบ(สมการที่ 2.9) ได้อุณหภูมิผิวเหนือแผงบังแดด เท่ากับ 60.5 °C และใส่ข้อมูลในโปรแกรม ANSYS (รูปที่ 4.23)

2) อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านข้างของแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆให้เป็นผนังที่อยู่ด้านทิศใต้ เนื่องจากขอบแผงบังแดดเป็นแนวดิ่ง(สมการที่ 2.9) ได้อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านหน้าของแผงบังแดด เท่ากับ 44.1 °C และใส่ข้อมูลในโปรแกรม ANSYS (รูปที่ 4.24)

3) อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านหน้าของแผงบังแดด โดยกำหนดสัมประสิทธิ์และตัวแปรต่างๆให้เป็นผนังที่อยู่ด้านทิศตะวันออก เนื่องจากขอบแผงบังแดดเป็นแนวดิ่ง(สมการที่ 2.9) ได้อุณหภูมิผิววัสดุที่บริเวณขอบด้านข้างของแผงบังแดด เท่ากับ 44.4 °C และใส่ข้อมูลในโปรแกรม ANSYS (รูปที่ 4.25)

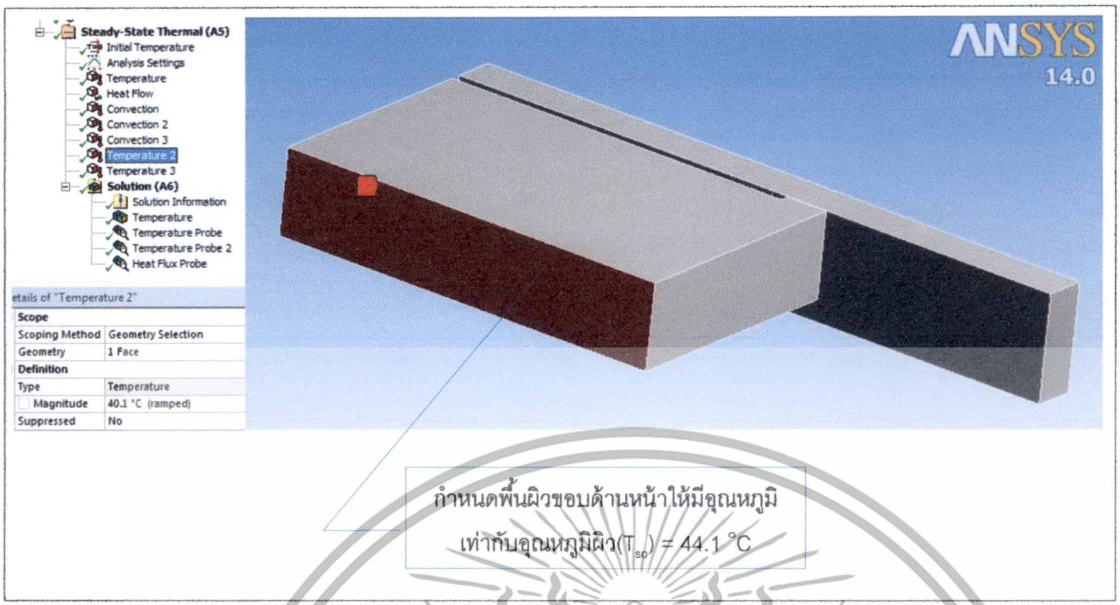
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวบนของแผงบังแดด

รูปที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบข้างของแผงบังแดด

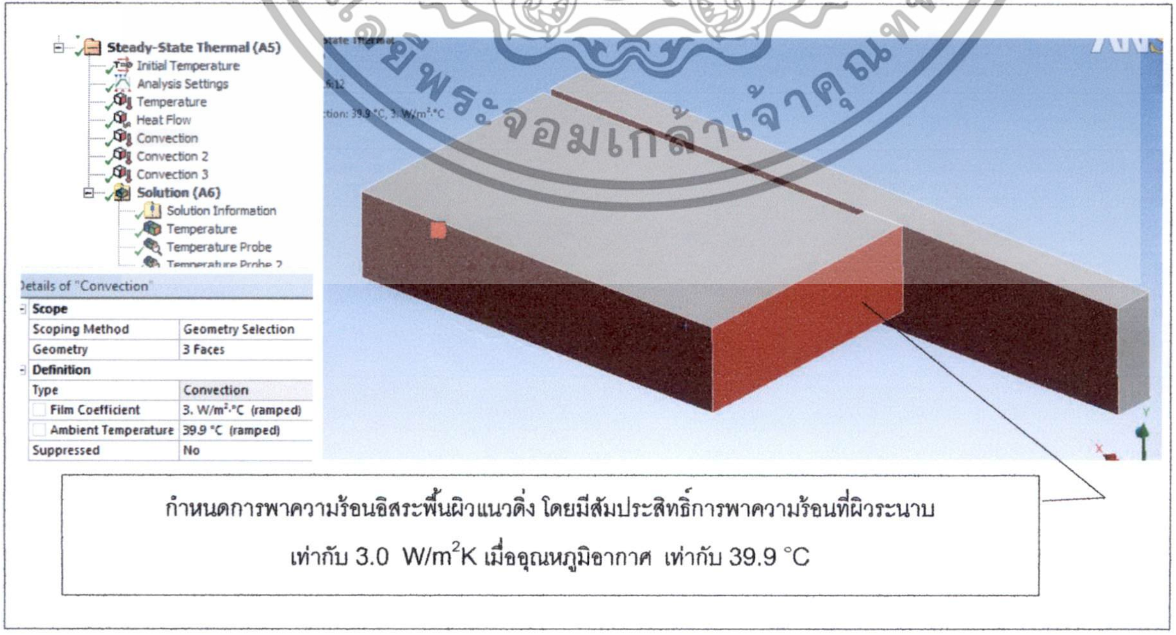
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol air temperature) ที่ผิวขอบด้านหน้าของแผงบังแดด

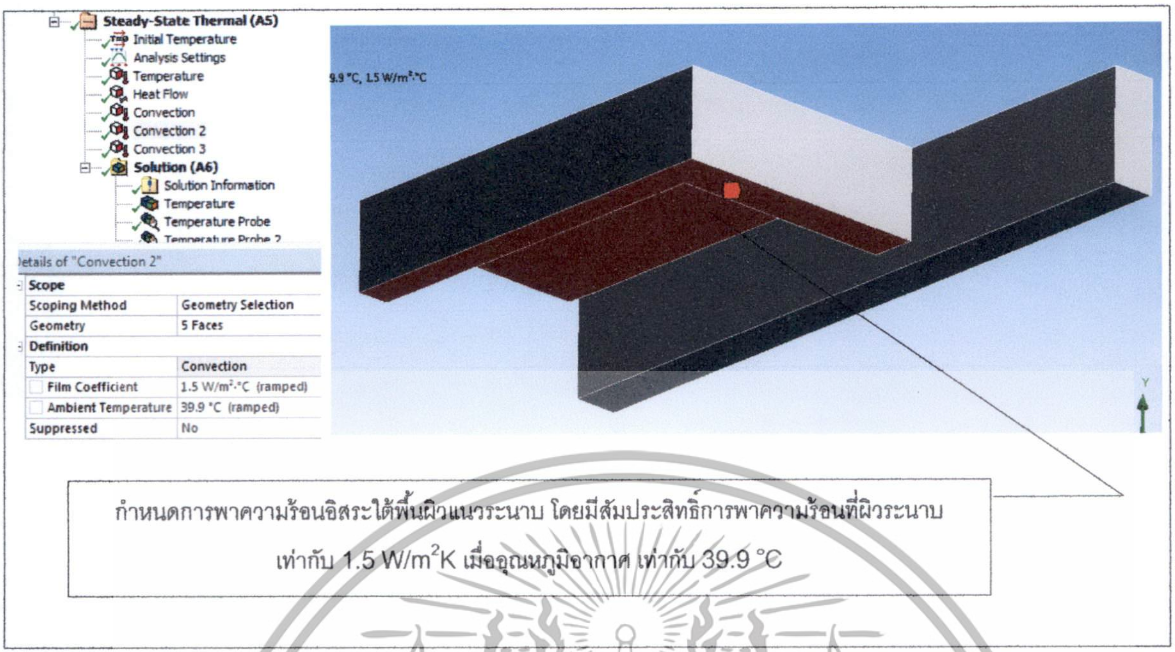
4.3.1.4 การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบอิสระ(h_c)

โดยกำหนดให้ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนขึ้นกับพื้นผิว(h_c) โดยพื้นผิวแนวดิ่ง(Vertical surface) เท่ากับ 3.0 W/m^{2}K (รูปที่ 4.26) ใต้พื้นผิวแนวราบ(Horizontal down) เท่ากับ 1.5 W/m^{2}K (รูปที่ 4.27) และเหนือพื้นผิวแนวราบ(Horizontal up) เท่ากับ 4.3 W/m^{2}K ดัง(รูปที่ 4.28)



รูปที่ 4.26 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระของพื้นผิวแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



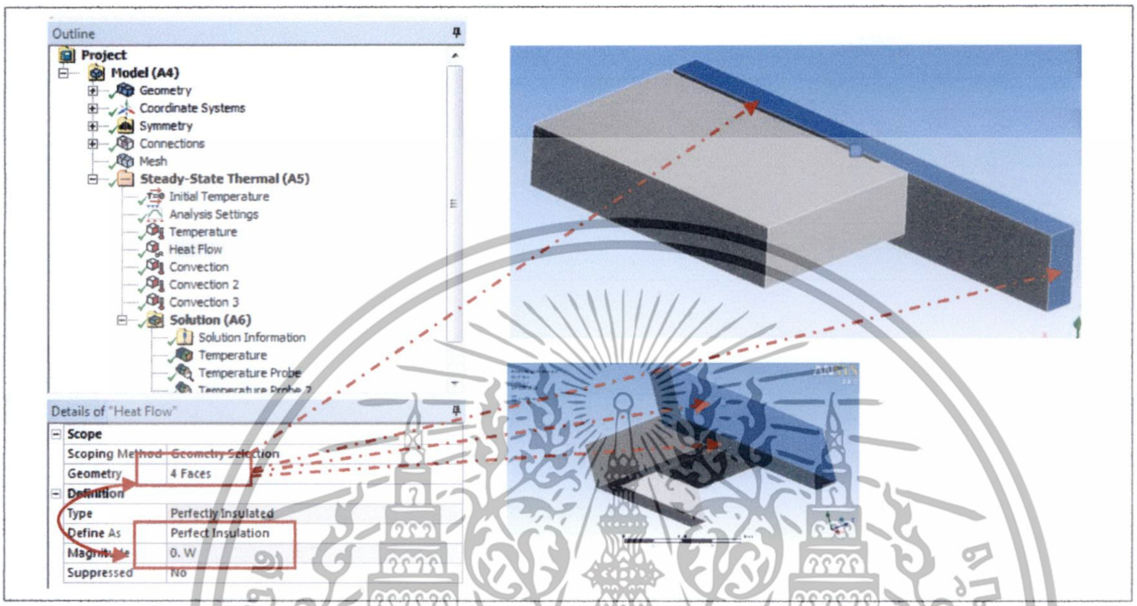
รูปที่ 4.27 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระใต้พื้นผิวแนวระนาบ

รูปที่ 4.28 กำหนดการพาความร้อนแบบอิสระเหนือพื้นผิวแนวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.5 กำหนดส่วนที่ไม่สูญเสียความร้อน

โดยกำหนดส่วนคานที่ติดกับภายในอาคารเป็นฉนวนยิ่งยวด โดยกำหนดอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux)เป็น 0 W/m^{2}K กล่าวคือไม่มีการสูญเสียความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร เพื่อทำการหาอุณหภูมิที่ผิวคานด้านใน ดังแสดงพื้นผิวสีม่วงใน(รูปที่ 4.29)



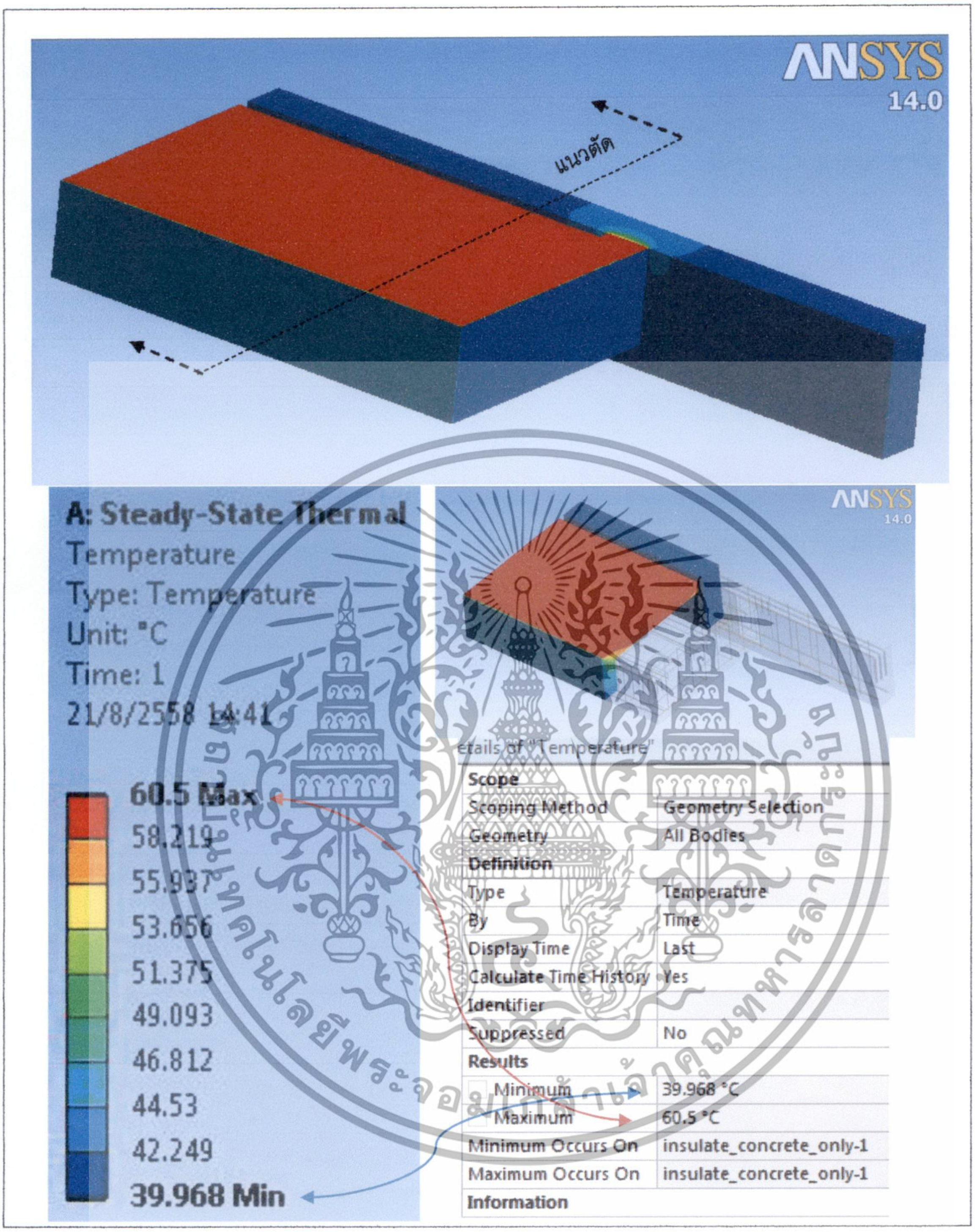
รูปที่ 4.29 แสดงพื้นที่ฉนวนยิ่งยวด

4.3.2 ผลการจำลองสภาวะการณ์ของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

4.2.2.1 แถบสีแสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

เมื่อทำการสร้างสภาวะการณ์จำลองการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กเดิม ได้แถบสีอุณหภูมิ และสามารถแสดงรูปตัดดูแถบสีอุณหภูมิของเนื้อภายในแผงบังแดดได้ โดยสีน้ำเงินแสดงอุณหภูมิต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 39.97 °C และสีแดงแสดงอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 60.5°C (รูปที่ 4.30)

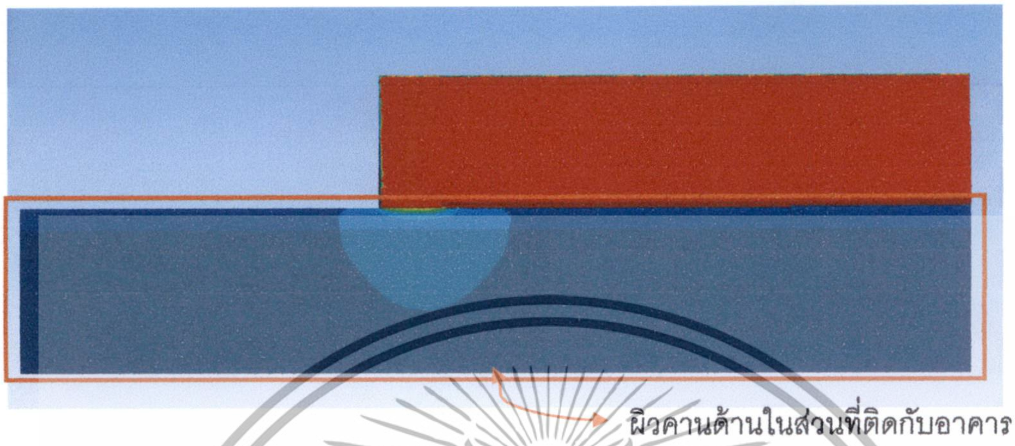
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงผลการสร้างสภาวะการณ์จำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

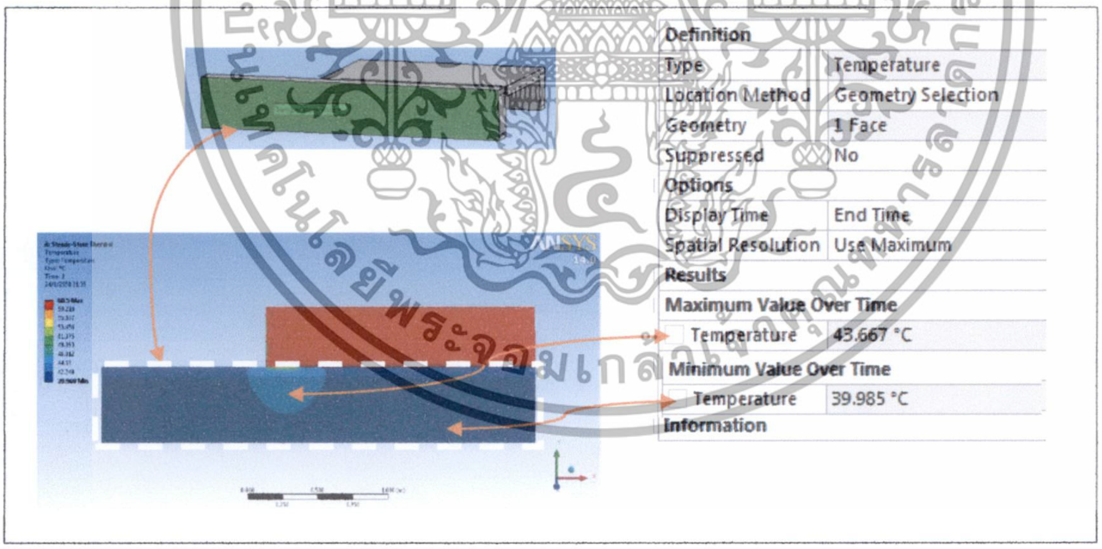
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถบสีแสดงอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในของแผงบังแดด (รูปที่ 4.31) จะเห็นว่าส่วนรับความร้อนเท่ากับอุณหภูมิผิววัสดุ(Sol-air temperature) 60.5 °C แสดงด้วยสีแดง วัสดุจะถ่ายเทอุณหภูมิเข้าสู่อาคาร แสดงเป็นแถบสี ฟ้า น้ำเงิน บริเวณผิวคานด้านใน



รูปที่ 4.31 แสดงแถบสีอุณหภูมิคานด้านในของแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน

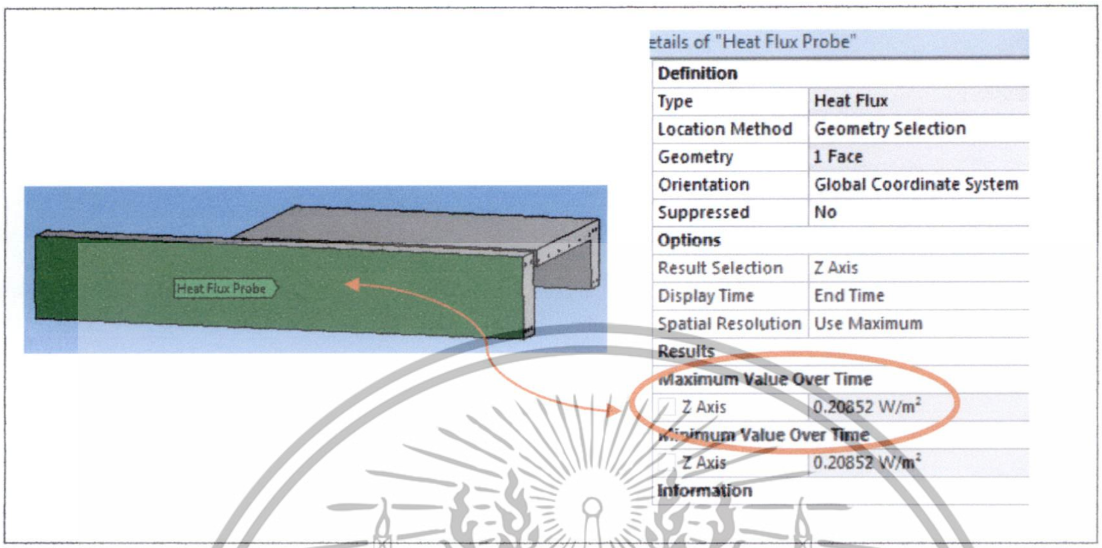
ใช้คำสั่งในโปรแกรม ANSYS วัดอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในได้อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 43.667 °C และได้อุณหภูมิต่ำสุดเท่ากับ 39.985 °C (รูปที่ 4.32)



รูปที่ 4.32 ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่ผิวคานด้านในแผงบังแดดที่ออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสามารถวัดอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ที่พื้นผิวคานด้านในได้(รูปที่ 4.33) มีค่าเท่ากับ 0.76 W/m^2



รูปที่ 4.33 แสดงการวัดค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ที่ผิวคานด้านในของแผงบังแดดออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนของการเสริมเหล็กระหว่างการเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้างทั่วไปและการเสริมเหล็กเพื่อลดสะพานความร้อน

เมื่อทำการจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนตามเงื่อนไขการจำลองการถ่ายเทความร้อนโดยโปรแกรม ANSYS เมื่อการจำลองเข้าสู่สภาวะสมดุล ทราบอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในส่วนที่ติดกับส่วนห้องนอนของแผงบังแดดที่มีการเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 52.9 °C และต่ำสุดเท่ากับ 40.6 °C จากนั้นทำการจำลองพฤติกรรกมการถ่ายเทความร้อนของแผงบังแดดที่ออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อน โดยใช้เงื่อนไขในการจำลองเหมือนกันแผงบังแดดก่อสร้างทุกประการ ทราบอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในมีค่าสูงสุดเท่ากับ 43.7 °C และต่ำสุดเท่ากับ 40 °C จะเห็นว่าอุณหภูมิที่ผิวคานด้านในของแผงบังแดดที่ออกแบบเพื่อลดสะพานความร้อนนั้นมีอุณหภูมิสูงสุดลดลง 9.2 °C และอุณหภูมิต่ำสุดลดลง 0.6 °C จากแผงบังแดดตามแบบก่อสร้าง

อุณหภูมิเป็นดัชนีวัดค่าเพื่อเปรียบเทียบความร้อนเย็นเท่านั้น แต่การจะพิสูจน์แนวคิดการออกแบบแผงบังแดดเพื่อลดสะพานความร้อน จำเป็นต้องทราบอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อพิจารณาบนพื้นผิวที่มีพื้นที่เท่ากัน(ผิวคานด้านใน) ทราบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนว่าพื้นผิวคานด้านในของแผงบังแดดที่มีการเสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.76 W/m^2 และของแผงบังแดดที่ออกแบบเพื่อนลดสะพานความร้อนเท่ากับ 0.21 W/m^2 ซึ่งลดลง 0.55 W/m^2 คิดเป็นร้อยละ 72.4 จากแผงบังแดดที่เสริมเหล็กตามแบบก่อสร้าง

ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านพื้นผิวที่พิจารณาลดลง ส่งผลให้ความร้อนที่เข้าสู่อาคารจากการนำความร้อนลดลง ซึ่งเป็นผลให้ภาระทำความเย็น(Cooling load) ลดลงด้วย ทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิสูงสุดที่ผิวคานด้านใน (°C)	อุณหภูมิต่ำสุดที่ผิวคานด้านใน (°C)	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผิวคานด้านใน (Heat flux)(W/m^2)
แผงบังแดดเดิม	39.9	52.914	40.603	0.76217
แผงบังแดดออกแบบใหม่		43.667	39.985	0.20852
ค่าความต่าง		9.243	0.618	0.5537 (ลดลง ร้อยละ72.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่ามีสะพานความร้อนเกิดขึ้นในแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อแผงบังแดดรับความร้อนจากรังสีตรงดวงอาทิตย์ จะถูกกับเก็บความร้อนไว้ในแผงบังแดดที่ประกอบด้วยคอนกรีตและเหล็ก โดยคอนกรีตมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเหล็ก ทำให้ความร้อนในคอนกรีตถูกถ่ายเทสู่เหล็ก และทำให้เหล็กเป็นตัวนำความร้อนเข้าสู่อาคาร เมื่อทำการลดปริมาณเหล็กและพื้นที่หน้าตัดของสะพานความร้อน โดยเปลี่ยนทิศทางการถ่ายแรงของเสริมเหล็กหลักไปที่คานด้านข้างของแผงบังแดดแทน และเสริมเหล็กกันร้าวที่บริเวณหนึ่งในสี่ของความยาวด้านที่ขนาดกับเหล็กเสริมหลัก ทำให้สามารถเจาะช่องว่างระหว่างแผ่นแผงบังแดดและคานที่ติดกับอาคารได้ การออกแบบให้มีช่องว่างนี้ทำให้อุณหภูมิที่ผิวคานด้านในลดลง 9.2 °C คิดเป็นร้อยละ 17.5 ของอุณหภูมิที่ผิวคานเดิม นอกจากนั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน(Heat flux) ลดลงร้อยละ 72.4

ภาระทำความเย็นของอาคารส่วนใหญ่มาจากปริมาณความร้อนต่อพื้นที่กรอบอาคารที่พิจารณา เรียกว่า อัตราการถ่ายเทความร้อน)Heat flux) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเข้าสู่อาคาร ดังนั้นการลดอัตราการถ่ายเทความร้อน)Heat flux) ที่ผ่านกรอบอาคารจึงเป็นปัจจัยที่ช่วยลดการใช้พลังงาน ตัวอย่างเช่น กรอบอาคาร a มีพื้นที่ ที่พิจารณา 1 หน่วย และมีอัตราการถ่ายเทความร้อน 1 W/m^2 และกรอบอาคาร b ออกแบบโดยใส่ฉนวนที่พื้นที่ที่พิจารณา 1 หน่วยเช่นกัน แต่มีอัตราการถ่ายเทความร้อน 0.5 w/m2 ดังนั้นอาคาร b ประหยัดพลังงานในการทำความเย็นมากกว่าอาคาร a สองเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 เสนอแนะ

5.2.1 ในสมการการใช้พลังงานรวมของอาคาร (OTTV) ที่ใช้ในโปรแกรม BEC ของกระทรวงพลังงาน มิได้คำนึงถึงค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากสะพานความร้อนนี้ ซึ่งเป็นความร้อนที่มีผลต่อภาระทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ จึงมีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงสมการ เพื่อการคิดค่าการใช้พลังงานอาคารให้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

5.2.2 ในการศึกษาต่อในเรื่องสะพานความร้อนควรมีการสร้างจริงเพื่อเป็นการเปรียบเทียบการสร้างสภาวะการณ์จำลองในโปรแกรม ANSYS และการสร้างจริง เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของผลการทดลองมากขึ้น

5.2.3 ในการศึกษาต่อ ควรมีการสร้างสภาวะการณ์จำลองแบบขึ้นกับเวลา เพื่อสามารถหา Time lag ของการออกแบบได้ ทำให้ทราบถึงช่วงเวลาที่ส่งผลการทบต่อภาระทำความเย็น

5.2.4 จากการศึกษาได้การออกแบบของแผงบังแดดที่มีช่องว่าง จึงเป็นหน้าที่ของสถาปนิกในการหาวิธีปิดช่องว่างดังกล่าว เพื่อความสวยงามและการใช้งานที่ปลอดภัยยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฎกระทรวง, ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 126 ตอนที่ 12 ก, (2552)

ประกาศกระทรวงพลังงาน, ราชกิจจานุเบกษาเล่ม .126 ตอนพิเศษ 122ง) ,2552)

สมสิทธิ์ นิตยะ,การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น.กรุงเทพฯ,2541

Abdullatif E. Ben-Nakhi, "Minimizing thermal bridging through window systems in building of hot regions" Applied Thermal Engineering 22 (2003)

Chirarattananon Surapong.. "Building for Energy Efficiency' Energy fileld of studt. School of Environment Resources and Development." Bangkok. Asian institute of technology (2005)

Dahmani, L., Khennane, A. , Kaci,S. , Behavior of the reinforced concrete at cryogenic temperature , Cryogenics , Volume 47, Issues 9-10, September-October (2007)

Graham Finch, "The importance of balcony and slab edge thermal bridges in concrete construction "14th Cannadian conference on building science and technology (2015)

HuaGe, Victoria Ruth McClung, Shenshu Zhang, "Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential building : A case study" Energy and Building 60 (2013):

International standard, Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. (2007)

Schöck, Thermally protect and load-bearing[Online]. Avaiable from: http://www.schock-us.com/en_us/solutions/isokorb—189[2015,March 27]

Steven V.Szokolay, Introduction to Architectural Science the Basic of Sustainable Design,Elsevier 2004

J.P.Holman. Heat Transfer. 10th ed. McGraw-Hill, Vaughn Bradshaw, Building control systems. second edition. John Wiley&Son, Inc. (1993)

Yail J. Kima, Austin Allard , Thermal response of precast concrete sandwich walls with varioussteel connectors for architectural buildings in cold regions , Energy and Buildings 80 (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ความหมายของตัวแปรและสัญลักษณ์ที่ปรากฏในวิทยานิพนธ์</u>

q คือ พลังงานจากการนำความร้อน (W)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^{2}{}^{\circ}C$)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

Δ คือ ค่าความแตกต่าง

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C)

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน ($m^{2}{}^{\circ}C/W$)

ΔX คือ ค่าความหนาของวัสดุ (m.)

h_c คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มอากาศ ($W/m^{2}{}^{\circ}C$)

T_o คือ อุณหภูมิผิววัสดุ (°C)

T_i คือ อุณหภูมิอากาศในอาคาร (°C)

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานและโบลซ์มัน (W/m^2K^4) = 5.67×10^{-8} W/m^2K^4

ε คือ ค่าการคายรังสีความร้อน

W คือ วัตต์ เป็นหน่วยของพลังงาน (Q)

OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (W/m^2)

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านแต่ละด้านของอาคาร (W/m^2)

A_i คือ พื้นที่ผนังด้านที่ทำการคิดค่า OTTV (m^2)

U_W คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (W/m^2)

WWR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า(Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของ ผนังทึบ (°C)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงหรือกระจก ($W/m^2.°C$)

SHGC คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงและ/หรือผนังทึบ (W/m^2)

E_{ew} คือ รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบ หน้าต่างที่พิจารณา (W/m^2)

$E_{ew\theta}$ คือ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาเสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด (W/m^2)

BEC คือ โปรแกรมคิดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร สร้างโดยกระทรวงพลังงาน

T_{sol} คือ เป็นอุณหภูมิสมมติของฟิล์มอากาศที่ติดอยู่กับผิวของวัสดุ

R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนภายนอก มีค่า 1/6.625 สำหรับทุกพื้นผิว

α_w คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของพื้นผิว

I_r คือ ค่าการแผ่รังสีคลื่นยาว

ξ คือThermal coupling coefficient

ξ_{1d} คือ Thermal coupling coefficient สำหรับหนึ่งมิติ

$\xi_{multi\text{-}d}$ คือ Thermal coupling coefficient สำหรับความร้อนสามมิติที่ไหลผ่านสะพานความร้อน

Ψ_j คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงเส้นที่

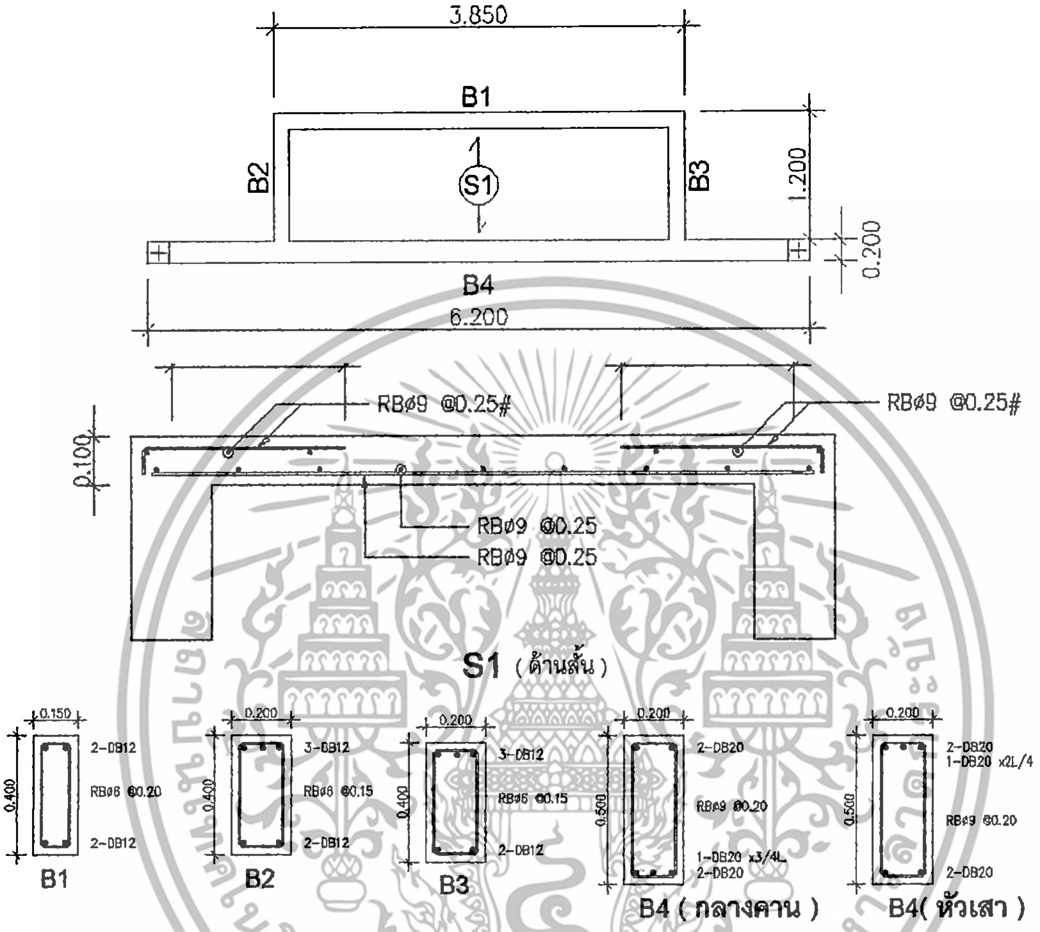
L คือ ความยาวของส่วนที่นำมาศึกษาสะพานความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>รายละเอียดการเสริมเหล็กของแผงบังแดดเดิม</u>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>รายการคำนวณการออกแบบโครงสร้างแผงบังแดดเพื่อการประหยัดพลังงาน</u>

ออกแบบปรับปรุงโครงสร้างของแผงบังแดดคอนกรีตเสริมเหล็กโดยใช้มาตรฐานการคำนวณโครงสร้างแผงบังแดดของ ว.ท.ส. ซึ่งเป็นวิธีคำนวณมือตามขั้นตอนวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรม Microsoft excel ช่วยในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

1) ออกแบบโครงสร้างพื้น เมื่อความหนาพื้นเท่ากับ 10 ซม.

<u>กำหนด</u>

คอนกรีตหุ้มเหล็ก	=	1.50	.ซม
น้ำหนักบรรทุก (LL)	=	150	กก .ซม.ตร/.
น้ำหนักบรรทุกตายตัว (DL)	=	50	กก.ซม.ตร/.
ความยาวช่วง	=	3.80	ม.
ความหนาแผ่นพื้น	=	10	ซม.
สัมประสิทธิ์โมเมนต์	=	1/24	ทางซ้าย
	=	1/24	ทางขวา
	=	1/10	กลางช่วง
fc	=	90	กก.ซม.ตร/.
fc'	=	240	กก.ซม.ตร/.
fs ขนาด)6 มม และ .9 มม(.	=	1,200	กก.ซม.ตร/.
fy ขนาด) 6 มม และ .9 มม(.	=	2,400	กก.ซม.ตร/.
fs ขนาดตั้งแต่)12 มม(ขึ้นไป.	=	1,700	กก.ซม.ตร/.
fy ขนาดตั้งแต่)12 มม(ขึ้นไป.	=	4,000	กก.ซม.ตร/.

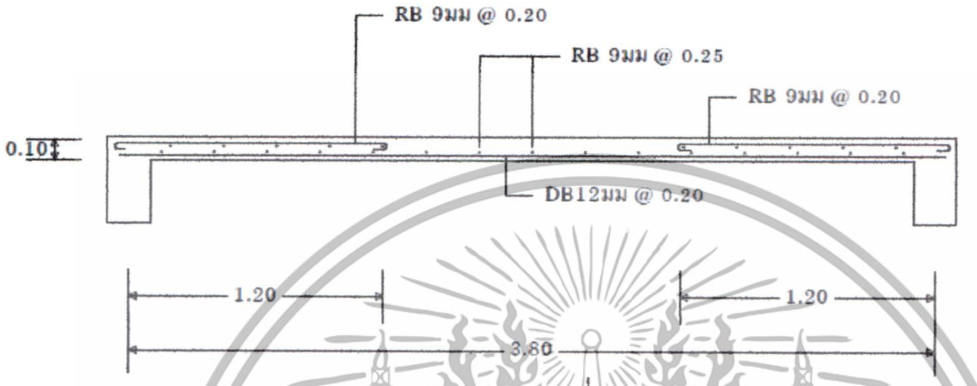
<u>ผล</u>

น้ำหนักบรรทุกจรถ่ายเข้าคาน(LL)	=	285	กก.ม/.
น้ำหนักคงที่ถ่ายเข้าคาน(DL)	=	551	กก.ม/.
รวมน้ำหนักถ่ายเข้าคาน	=	836	กก.ม/.
ระยะโก่งทันทีที่ถอดแบบหล่อ	=	0.2671	ซม.
ระยะโก่งประสิทธิผล	=	1.3484	ซม.
ระยะโก่งประสิทธิผลที่ยอมให้	=	1.5833	ซม.
เหล็กเสริมต้านทานการยืดหด	=	2.50	ตร.ม/.ซม.
เลือกใช้เหล็กเสริมต้านการยืดหด		<u>RB 9 มม.@ 0.25</u>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดง

	M (กก.-ม./ม.)	Mc (กก.-ม./ม.)	R	j	d (ซม.)	As (ตร.ซม./ม.)
ทางซ้าย	-264.73	1,000.50	15.44	0.8683	8.05	3.16
ทางขวา	-264.73	1,000.50	15.44	0.8683	8.05	3.16
กลางช่วง	+635.36	793.10	12.71	0.8948	7.90	5.29



ภาพที่

2) ออกแบบโครงสร้างคาน B1'

<u>กำหนด</u> : fc = 90 กก. ซม.ตร/. fc' = 240 กก.ซม.ตร/.

fs = 1,700 กก.ซม.ตร/. fy = 4,000 กก.ซม.ตร/.

ตาราง

คานช่วงที่ Span No.	ยาว (ม.)	กว้าง x ลึก (ซม. x ซม.)	ลดระดับ (ซม.)	Point Load น้ำหนัก (กก.)	Point Load ระยะห่าง (ม.)	Uniform Load (กก./ ม.)
1	3.80	15 x 40	-----	---------	---------	U = 80

Joint No.	Grid Line	ชนิดของ Joint	ความกว้างที่รองรับ(ซม.) เมื่อเป็น Hinged / Roller	เสาเหนือคาน (ซม. x ซม. x ม.)	เสาใต้คาน (ซม. x ซม. x ม.)
1	----	Hinged....(1)	20	------------	------------
2	----	Roller.....(6)	20	------------	------------

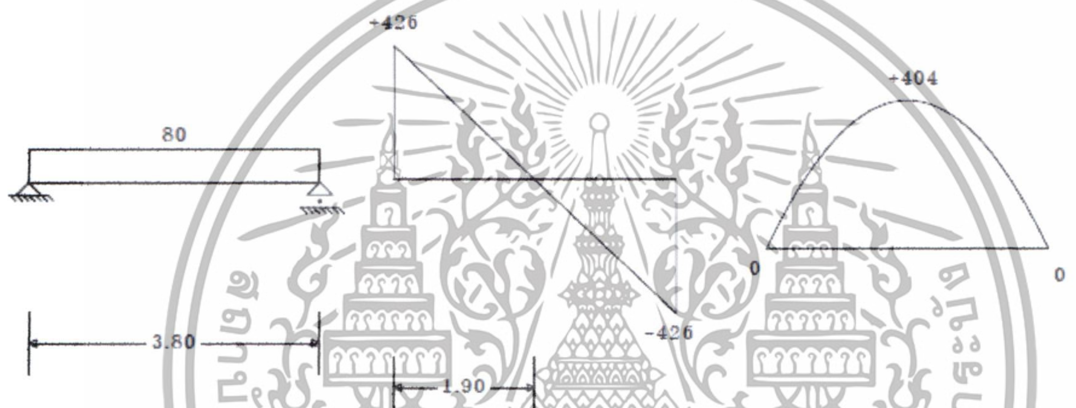
<u>ผล</u> : n = 8.7103 , R = 12.7080 , j = 0.8948

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดง

คานช่วงที่ Span No.	แรงเฉือน (กก.)	แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต	โมเมนต์ดัด (กก.- ม.)	โมเมนต์ดัดที่ขอบของที่รองรับ	เหล็กบน (ตร.ซม.)	เหล็กล่าง (ตร.ซม.)	d (ซม.)	d' (ซม.)	ระยะที่M=0 (ม.)
1 L	+426	+323	0	+41	0.00	0.33	35.80	4.20	----
M	----	----	+404	----	0.00	0.99	35.80	4.20	----
R	-426	-323	0	+41	0.00	0.33	35.80	4.20	----

Joint No.	Grid Line	ชนิดของ Joint	เสาเหนือคานรับโมเมนต์ดัด		เสาใต้คานรับโมเมนต์ดัด		น้ำหนักที่ถ่ายเข้าที่รองรับ(กก.)	
			ที่หัวเสา	ที่โคนเสา	ที่หัวเสา	ที่โคนเสา	ไม่รวม/ไม่มี ตัวเสา	รวมน้ำหนักเสา
1	----	Hinged....(1)	----	----	----	----	426	----
2	----	Roller.....(6)	----	----	----	----	426	----



Point load & uniform load   Shear force diagram   Bending moment diagram

รูปที่ ..

3) ออกแบบโครงสร้างคาน B2' และ B3'

<u>กำหนด</u> : fc = 90 กก .ซม.ตร/.   fc' = 240 กก.ซม.ตร/.

fs = 1,700 กก.ซม.ตร/.   fy = 4,000 กก.ซม.ตร/.

ตารางแสดง

คานช่วงที่ Span No.	ยาว (ม.)	กว้าง x ลึก (ซม. x ซม.)	ลดระดับ (ซม.)	Point Load		Uniform Load (กก./ ม.)
				น้ำหนัก (กก.)	ระยะห่าง (ม.)	
1	1.20	20 x 40	----	P1 = 426	d1 = 1.20 d2 = 0.00	U = 916

Joint No.	Grid Line	ชนิดของ Joint	ความกว้างที่รองรับ(ซม.) เมื่อเป็น Hinged / Roller	เสาเหนือคาน (ซม. x ซม. x ม.)	เสาใต้คาน (ซม. x ซม. x ม.)
1	----	Fixed......(7)	----	------------	------------
2	----	Free.......(0)	----	------------	------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผล : n = 8.7103 , R = 12.7080 , j = 0.8948

ตารางแสดง

คานช่วงที่ Span No.		แรงเฉือน (กก.)	แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต	โมเมนต์ดัด (กก.- ม.)	โมเมนต์ดัดที่ขอบของที่รองรับ	เหล็กบน (ตร.ซม.)	เหล็กล่าง (ตร.ซม.)	d (ซม.)	d' (ซม.)	ระยะที่M=0 (ม.)
1	L	+1,756	+1,756	-1,309	-1,309	2.51	0.00	35.80	4.20	----
	M	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	R	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Joint No.	Grid Line	ชนิดของ Joint	เสาเหนือคานรับโมเมนต์ดัด		เสาใต้คานรับโมเมนต์ดัด		น้ำหนักที่ถ่ายเข้าที่รองรับ(กก.)	
			ที่หัวเสา	ที่โคนเสา	ที่หัวเสา	ที่โคนเสา	ไม่รวม/ไม่มี ตัวเสา	รวมน้ำหนักเสา
1	----	Fixed......(7)	----	----	----	----	1,756	----
2	----	Free........(0)	----	----	----	----	----	----

Point load & uniform load　　Shear force diagram　　Bending moment diagram

รูปที่ ...

3) ออกแบบโครงสร้างคาน B4'

กำหนด : fc = 90 กก .ซม.ตร/.　　fc' = 240 กก.ซม.ตร/.

fs = 1,700 กก.ซม.ตร/.　　fy = 4,000 กก.ซม.ตร/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดง

คานช่วงที่ Span No.	ยาว (ม.)	กว้าง x ลึก (ซม. x ซม.)	ลดระดับ (ซม.)	Point Load		Uniform Load (กก./ ม.)
				น้ำหนัก (กก.)	ระยะห่าง (ม.)	
1	6.00	20 x 50	----	P1 = 1,756 P2 = 1,756	d1 = 1.15 d2 = 3.70 d3 = 1.15	U = 1,092
2	6.00	20 x 50	----	P1 = 1,756 P2 = 1,756	d1 = 1.15 d2 = 3.70 d3 = 1.15	U = 1,092
3	6.00	20 x 50	----	P1 = 1,756 P2 = 1,756	d1 = 1.15 d2 = 3.70 d3 = 1.15	U = 1,092

Joint No.	Grid Line	ชนิดของ Joint	ความกว้างที่รองรับ(ซม.) เมื่อเป็น Hinged / Roller	เสาเหนือคาน (ซม. x ซม. x ม.)	เสาใต้คาน (ซม. x ซม. x ม.)
1	----	Hinged.....(1)	20	------------	------------
2	----	Roller.....(6)	20	------------	------------
3	----	Roller.....(6)	20	------------	------------
4	----	Roller.....(6)	20	------------	------------

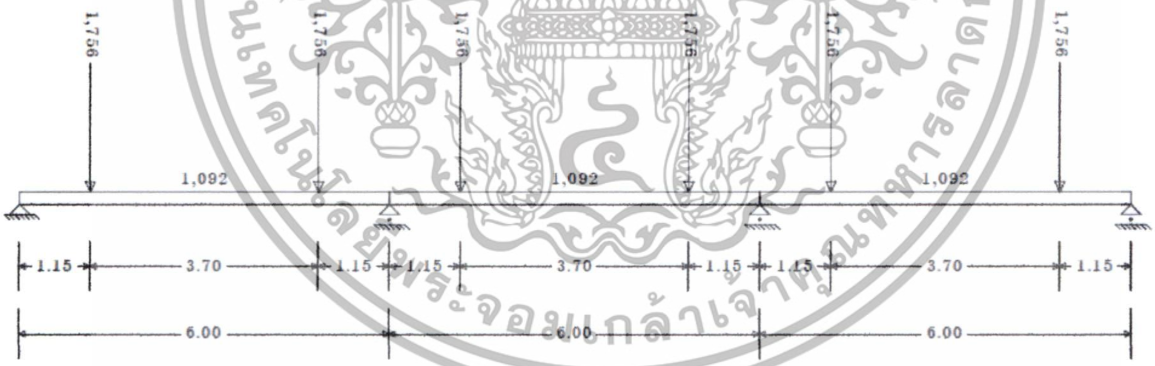
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผล : n = 8.7103 , R = 12.7080 , j = 0.8948

ตารางแสดง

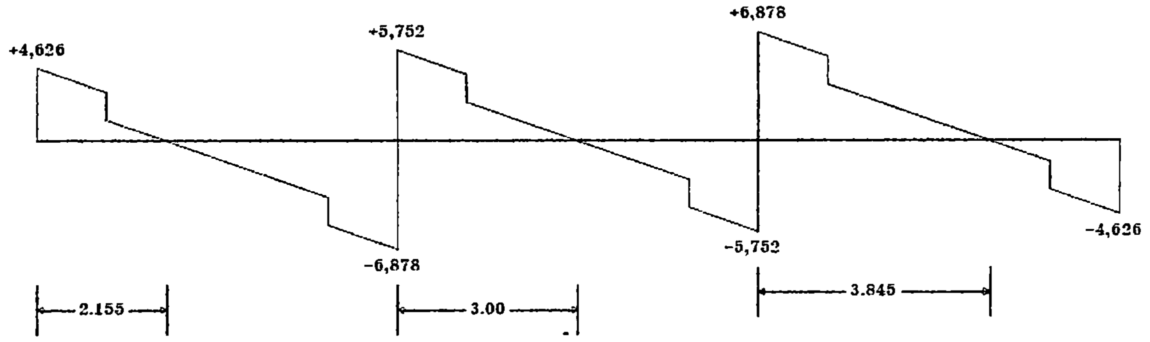
คานช่วงที่ Span No.		แรงเฉือน (กก.)	แรงเฉือนที่ หน้าตัดวิกฤต	โมเมนต์ดัด (กก.- ม.)	โมเมนต์ดัดที่ ขอบของที่รองรับ	เหล็กบน (ตร.ซม.)	เหล็กล่าง (ตร.ซม.)	d (ซม.)	d´ (ซม.)	ระยะที่M=0 (ม.)
1	L	+4,626	+3,888	0	+456	0.00	2.47	45.40	4.60	----
	M	----	----	+5,112	----	0.00	7.40	45.40	4.60	----
	R	-6,878	-6,140	-6,754	-6,073	8.79	2.47	45.40	4.60	1.10
2	L	+5,752	+5,014	-6,754	-6,185	8.95	2.18	45.40	4.60	1.62
	M	----	----	+1,259	----	0.00	2.44	45.40	4.60	----
	R	-5,752	-5,014	-6,754	-6,185	8.95	2.18	45.40	4.60	1.62
3	L	+6,878	+6,140	-6,754	-6,073	8.79	2.47	45.40	4.60	1.10
	M	----	----	+5,112	----	0.00	7.40	45.40	4.60	----
	R	-4,626	-3,888	0	+456	0.00	2.47	45.40	4.60	----

Joint No.	Grid Line	ชนิดของ Joint	เสาเหนือคานรับโมเมนต์ดัด		เสาใต้คานรับโมเมนต์ดัด		น้ำหนักที่ถ่ายเข้าที่รองรับ(กก.)	
			ที่หัวเสา	ที่โคนเสา	ที่หัวเสา	ที่โคนเสา	ไม่รวม/ไม่มี ตัวเสา	รวมน้ำหนักเสา
1	----	Hinged....(1)	----	----	----	----	4,626	----
2	----	Roller.....(6)	----	----	----	----	12,630	----
3	----	Roller.....(6)	----	----	----	----	12,630	----
4	----	Roller.....(6)	----	----	----	----	4,626	----

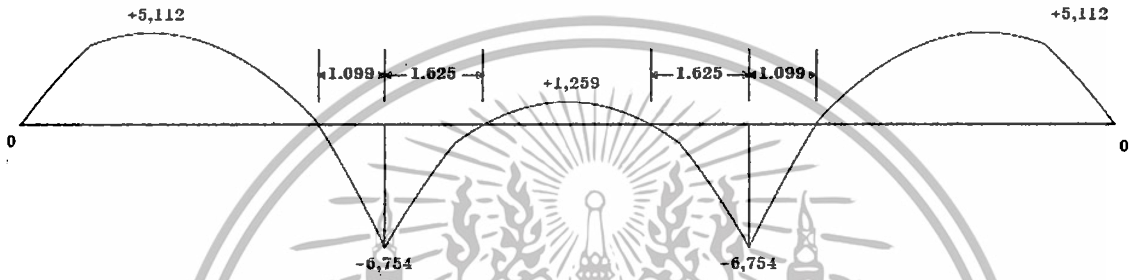


Point load & uniform load

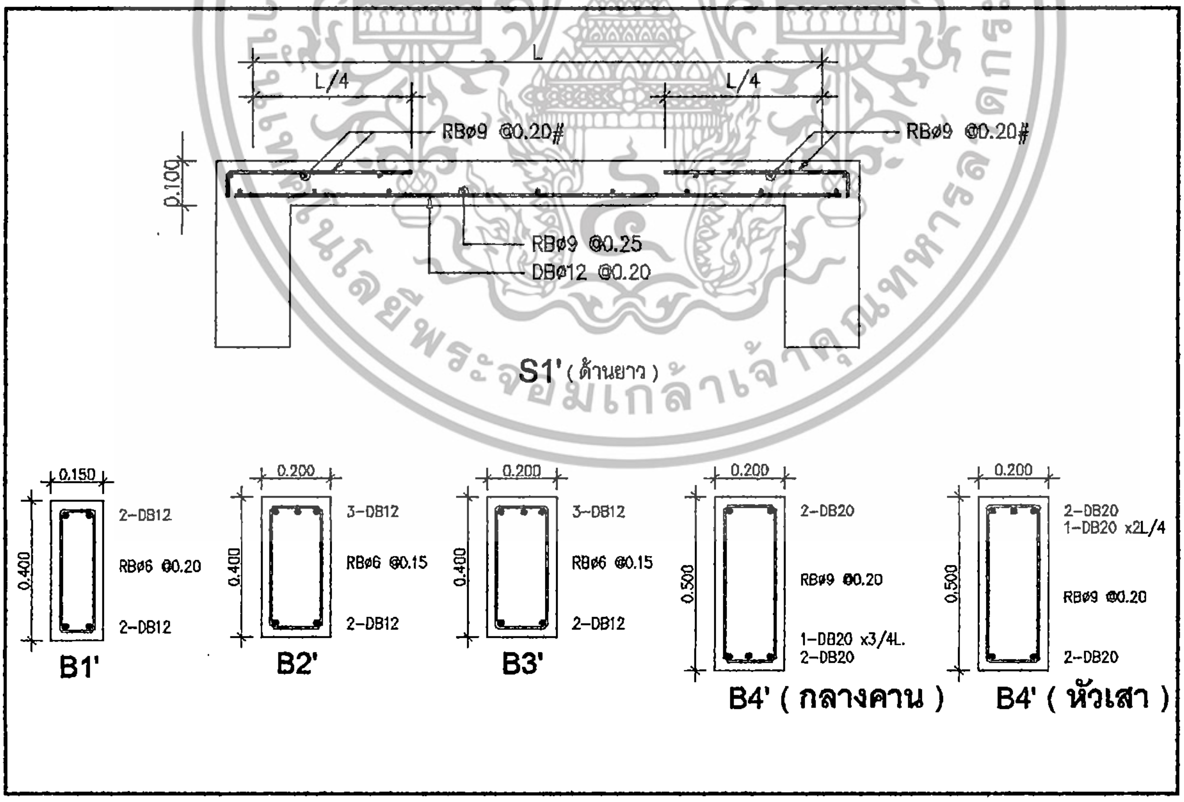
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Shear force diagram



Bending moment diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสรณีย์ สุทธิธรรม

วัน เดือน ปีเกิด 12 เมษายน 2533 จังหวัดชลบุรี

ที่อยู่ 88/211 หมู่ 1 ต.เหมือง อ.เมือง จ.ชลบุรี 20130

ประวัติการศึกษา

2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์ทำงาน

2555-2556 วิศวกร โครงการ RAMA9 SQUARE

บริษัท โปรเจค แพลนนิ่ง เซอวิส จำกัด (มหาชน)

ปัจจุบัน วิศวกร บริษัท คนอฟ ยิปซั่ม (ประเทศไทย) จำกัด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้