การศึกษาการปรับปรุงเกราะอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับการปรับอากาศ กรณีศึกษา ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)

BUILDING ENVELOPE IMPROVEMENT FOR ENERGY SAVING IN AIR-CONDITIONING SYSTEM: CASE STUDY THAI MILITARY BANK (HEAD OFFICE)

บุญชม ขจายุทธการมจร

BOONCHAI KAJAIYATKAMJORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-948-341-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับการปรับอากาศ กรณีศึกษา ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)

BUILDING ENVELOPE IMPROVEMENT FOR ENERGY SAVING IN AIR-CONDITIONING SYSTEM CASE STUDY THAI MILITARY BANK (HEAD OFFICE)

T040135

บุญชัย ขจายเกียรติกำจร
BOONCHAI KAJAIKIATKAMJORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544
ISBN 974-648-341-2

เลขหมู่
เลขทะเบียน 40135
วัน, เดือน, ปี 16 ส.ค. 254

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BULIDING ENVELOPE IMPROVEMENT FOR ENERGY SAVING IN AIR-CONDITIONING SYSTEM CASE STUDY THAI MILITARY BANK (HEAD OFFICE)

BOONCHAI KAJAIKIATKAMJORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS OF THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2001

ISBN 974-648-341-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2001
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับการปรับอากาศ กรณีศึกษา : ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)
BUILDING ENVELOPE IMPROVEMENT FOR ENERGY SAVING IN AIR-CONDITIONING SYSTEM CASE STUDY THAI MILITARY BANK (HEAD OFFICE)

ชื่อนักศึกษา นายบุญชัย ขจายเกียรติกำจร

รหัสประจำตัว 37062204

ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.อนุสรณ์ จ๋วงพานิช

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ชัยยุทธ ศรีเผด็จ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.อนุสรณ์	จ๋วงพานิช	
อาจารย์ชัยยุทธ	ศรีเผด็จ	
ผศ.สุภาวดี	รัตนมาศ	
รศ.กุสุมา	ธรรมธำรง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 17 พฤษภาคม 2544 เวลา 13.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 25 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการปรับปรุงกรอบอาคารสำนักงาน เพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับการปรับอากาศ กรณีศึกษา : ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)
นักศึกษา	นายบุญชัย ขจายเกียรติกำจร
รหัสประจำตัว	37062204
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ อนุสรณ์ จ่วงพานิช
อาจารย์ผู้ควบวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ชัยยุทธ ศรีเผด็จ

บทคัดย่อ

จากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในช่วงที่ผ่านมา ทำให้เกิดปัญหาทางสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศภายในเมือง เช่น กรุงเทพมหานคร ที่มีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงเกินขีดสภาวะความสบาย ทำให้ต้องมีการปรับอากาศภายในอาคารเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความประสงค์ที่จะทำการศึกษาในส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ของกรอบอาคาร ระบบผนัง การใช้วัสดุหรือฉนวน โดยพบว่า อาคารกรณีศึกษาซึ่งเป็นอาคารประเภทสำนักงานยังมีค่าการใช้พลังงานในอาคารที่สูงเกินค่ามาตรฐานของพระราชบัญญัติส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน ขั้นตอนการศึกษานั้นได้วิเคราะห์ลักษณะที่ตั้งและทิศทางของอาคาร รวมทั้งวิเคราะห์และประเมินผลในส่วนของกรอบอาคาร การใช้โปรแกรมในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารและการคำนวณหาค่าภาระความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ค่าการใช้พลังงานของอาคารในการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าสามารถออกแบบปรับปรุงโดยลดสัดส่วนของผนังกระจกเป็นผนังทึบได้ในบางส่วน การเลือกใช้วัสดุฉนวนและการติดตั้งวัสดุผนังที่เหมาะสม สามารถที่จะปรับปรุงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารรวมทั้งลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้เมื่อพิจารณาถึงเรื่องการลงทุนจะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพในระยะยาวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Tittle	Building Envelope Improvement for Energy Saving in air-conditioning System : Case study : Thai Military Bank (Head Office)
Student	Mr.Boonchai Kajaikiatkamjorn
Student ID	37062204
Degree	Master of Architecture
Programme	Tropical Architecture
Year	2001
Thesis Advisor	Associate Professor Anusorn Juangbanich
Thesis Co-advisor	Mr. Chaiyoot Sripadet

ABSTRACT

The recent economic growth has caused environmental problems and climate change in regions of large-scaled urbanization such as Bangkok, the capital city of Thailand. The temperature of the city have continuously increased to exceed the comfortable condition, leading to more need of interior air conditioning, thus, extensive use of energy in term of electricity.

The thesis aims to study different components of building envelope such as wall system and insulation material as factors determining efficiency in energy use by exploring an office building with high-energy use and proposes solutions basing on the standard provided by the Act of energy promotionn and conservation. The study process composes of site and orientation analysis as well as the examination of building-envelope property. Computerized modelling is used to interprete the finding into OTTV value and eventualy cooling load borne by the building.

Finally, the comparison from the model confirms that the energy efficiency can be improved through the adjustment of opaqe/transparent ratio of building envelope and material type. The solution proposed also considers economic fesibility in long term through the energy saving.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากคำแนะนำและคำปรึกษา รวมทั้งตรวจทานแก้ไขจุดบกพร่องต่าง ๆ จาก รศ.อนุสรณ์ จ๋วงพานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอ.ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้ง ผศ.สุภาวดี รัตนมาศ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ รศ. กุสุมา ธรรมธำรง รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา ที่ให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณพีระ ฉายสุวรรณ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายพลังงานอาคาร ธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ทุก ๆ ท่าน ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ข้อมูลของอาคารที่นำมาเป็นกรณีศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณดุสิต ชัยชนะ และคุณนิวัติ นิรมิตภาษ เจ้าหน้าที่ฝ่ายพลังงานอาคาร ธนาคารทหารไทย สาขาพญาไท ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ข้อมูลและคำแนะนำเกี่ยวกับอาคารกรณีศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจและแก้ไขข้อบกพร่องที่ผิดพลาด จนสำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิด ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

บุญชัย ขจายเกียรติกำจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 4

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา 5

1.5 ข้อจำกัดของการศึกษา 6

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร 7

2.2 สภาพภูมิอากาศในเขตเมือง 10

2.3 ความต้องการภาระความสบายสำหรับผู้อยู่อาศัยในอาคาร 12

2.4 มาตรฐานภาวะความสบาย 13

2.5 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร 19

2.6 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV, RTTV) 23

2.7 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร OTTV Version 1.0 a. 28

2.8 กฎกระทรวงว่าด้วยกำหนดมาตรฐานและวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร 28

2.9 หลักการทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงอาคาร 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การศึกษาข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา **34**

3.1 สภาพแวดล้อมที่ตัวอาคาร 34

3.2 ลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรม 35

3.3 แบบทางสถาปัตยกรรม 39

บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา **60**

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะการวางทิศทางของอาคารและกรอบอาคาร 60

4.2 การคำนวณพื้นที่ของกรอบอาคาร 77

4.3 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร (OTTV / RTTV) 99

4.4 การวิเคราะห์ภาวะความเย็น 110

4.5 การวิเคราะห์การลงทันของกรอบอาคาร 118

บทที่ 5 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร **125**

5.1 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร 125

5.2 ข้อพิจารณาในการเลือกวัสดุฉนวน 127

5.3 การพิจารณาเลือกวัสดุกระจก 137

5.4 การพิจารณาออกแบบชั้นวัสดุของกรอบอาคาร 141

5.5 การพิจารณาเลือกปรับปรุงกรอบอาคาร 143

5.6 การสร้างทางเลือกเพื่อปรับปรุงกรอบอาคาร 149

5.7 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของกรอบอาคาร
หลังการปรับปรุง 155

5.8 การวิเคราะห์ภาระความเย็นหลังการปรับปรุงกรอบอาคาร 156

5.9 การวิเคราะห์การลงทุนกรอบอาคารหลังการปรับปรุง 162

บทที่ 6 สรุปและเสนอแนะ **169**

6.1 สรุปผลการปรับปรุงกรอบอาคารและข้อเสนอแนะ 169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม 172
ภาคผนวก ก 174
ภาคผนวก ข 186
ภาคผนวก ค 195
ประวัติผู้เขียน 203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงการใช้ไฟฟ้าของคนไทยตามสาขาเศรษฐกิจในปี พ.ศ. 2540 1

1.2 แสดงสัดส่วนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศต่อการใช้พลังงาน โดยรวมของประเทศไทย 2

1.3 แสดงการจัดซื้อพลังงานจากต่างประเทศในปี 2540 2

1.4 แสดงดัชนีเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าและค่า OTTV ในอาคารธุรกิจประเภทต่าง ๆ 3

1.5 แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารสำนักงา 3

2.1 แสดงสถิติภูมิอากาศของกรุงเทพฯ ในช่วงปี พ.ศ. 2494 – 2537 9

2.2 แสดง Wet BulbTemperature Data & Effective Temperature Data 17

2.3 แสดงระยะของความสบาย (Comfort Zone Range) 18

2.4 แสดง Effective Temperature Sheet 18

2.5 แสดงอุณหภูมิตามชั่วโมงต่างๆ ของเดือน 19

2.6 แสดงตัวอย่างค่า F/P ที่ I = 0.065, I = 0.045 32

3.1 แสดงรายละเอียดการแบ่งพื้นที่ใช้สอยของอาคาร 35

4.1 แสดงการเปรียบเทียบเส้นรอบรูป, พื้นที่ของอาคารรูปทรงต่างๆ 63

4.2 แสดงสัดส่วนของอาคารกับเส้นรอบรูป 64

4.3 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า U_w ของผนังทึบ 73

4.4 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า U_w ของผนังส่วนคาน 2 74

4.5 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า U_f ของกระจก Reflective 75

4.6 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า U_f ของหลังคา 76

4.7 สรุปการคำนวณพื้นที่กรอบอาคารส่วนผนัง 78

4.8 สรุปการคำนวณพื้นที่กรอบอาคารส่วนหลังคา 94

4.9 แสดงรายละเอียดวัสดุ, ค่าความหนาแน่น, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนของผนังทึบ 96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.10 แสดงรายละเอียดวัสดุ, ค่าการนำความร้อน, ค่าสัมประสิทธิ์การกันแดด และอุปกรณ์กันแดดของผนังโปร่งแสง (กระจก) 97

4.11 แสดงรายละเอียดวัสดุ, ค่าความหนาแน่น, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนของหลังคา 98

4.12 แสดงการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) 100

4.13 แสดงการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) 103

4.14 สรุปรายละเอียดพื้นที่ และค่า OTTV และค่า Q ของอาคาร 105

4.15 สรุปรายละเอียดพื้นที่ และค่า RTTV และค่า Q ของอาคาร 105

4.16 แสดงผลการคำนวณค่า OTTV แยกตามทิศต่างๆ ของอาคาร 106

4.17 แสดงค่า OTTV , RTTV เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง 109

4.18 แสดงราคาระบบปรับอากาศ และค่าไฟฟ้าต่อปี 112

4.19 แสดงการใช้พลังงานในอาคาร 113

4.20 แสดงภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ 114

4.21 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ 115

4.22 แสดงราคาการลงทุนกรอบอาคาร 118

4.23 แสดงรายละเอียดวัสดุผนังทึบ และราคาวัสดุ 119

4.24 แสดงรายละเอียดวัสดุผนังโปร่งแสง (กระจก) และราคาวัสดุ 121

4.25 แสดงรายละเอียดวัสดุหลังคา และราคาวัสดุ 123

5.1 สรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวัสดุฉนวน 130

5.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวน 131

5.3 แสดงค่า U, ค่า R, และ OTTV เปรียบเทียบจากฉนวนใยแก้ว ที่ความหนา 1, 2, 3, 4, และ 5 นิ้ว 133

5.4 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่น และราคาของฉนวนใยแก้ว 136

5.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติกระจก 137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.6 แสดงคุณสมบัติและราคาของฟิล์มกรองแสง 139

5.7 แสดงคุณสมบัติและราคา (ต่อ ตร.ม.) ของฟิล์มกรองแสงที่เลือก 140

5.8 แสดงการพิจารณารายละเอียดผนังทึบที่จะปรับปรุง 146

5.9 แสดงการพิจารณารายละเอียดผนังกระจกที่จะปรับปรุง 148

5.10 ตารางเปรียบเทียบค่า OTTV ก่อนและหลังการปรับปรุง 155

5.11 แสดงราคาระบบปรับอากาศ และค่าไฟฟ้าต่อปีหลังการปรับปรุง 156

5.12 แสดงการใช้พลังงานในอาคาร หลังการปรับปรุง 157

5.13 แสดงภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ หลังการปรับปรุง 158

5.14 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ หลังการปรับปรุง 159

5.15 แสดงการเปรียบเทียบภาระในระบบปรับอากาศ ก่อนและหลังการปรับปรุง 162

5.16 แสดงการลงทุนกรอบอาคารหลังการปรับปรุง 162

5.17 แสดงการเปรียบเทียบการลงทุนกรอบอาคาร ก่อนและหลังการปรับปรุง 163

5.18 แสดงอัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR) 164

5.19 แสดงรายละเอียดผนังทึบและราคาวัสดุที่ปรับปรุง 165

5.20 แสดงรายละเอียดผนังโปร่งแสง (กระจก) และราคาวัสดุที่ปรับปรุง 168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงผังการเดินทางของดวงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานคร 8

2.2 แสดงลักษณะการเดินทางของดวงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานคร 10

2.3 แสดงความเร็วลมเปรียบเทียบระหว่างในเมือง ชานเมือง และที่โล่ง 11

2.4 แสดงสภาพภูมิอากาศในเมืองของกรุงเทพมหานคร 12

2.5 แผนภูมิ – ชีวภูมิอากาศ ของกรุงเทพมหานคร 14

2.6 แสดง NOMOGRAM ทั่วไปของ ET หรือ CET 15

2.7 แสดงส่วนประกอบของผนังอาคาร 24

3.1 แสดงสภาพที่ตั้งอาคาร 34

3.2 แสดงผังบริเวณ 39

3.3 แสดงแปลนพื้นชั้นใต้ดิน 40

3.4 แสดงแปลนพื้นชั้นล่าง 41

3.5 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 2 42

3.6 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 3 43

3.7 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 4 44

3.8 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 5 45

3.9 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 6 46

3.10 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 7 47

3.11 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 8 48

3.12 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 9 – 14 49

3.13 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 15 49

3.14 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 16 50

3.15 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 17 – 29 50

3.16 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 30 51

3.17 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 31 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.18 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 32 52
3.19 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 33 52
3.20 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 34 53
3.21 แสดงแปลนหลังคา และลานจอดเฮลิคอปเตอร์ 53
3.22 แสดงรูปด้าน 1 (ทิศตะวันตก) 54
3.23 แสดงรูปด้าน 2 (ทิศเหนือ) 55
3.24 แสดงรูปด้าน 3 (ทิศใต้) 56
3.25 แสดงรูปด้าน 4 (ทิศตะวันออก) 57
3.26 แสดงรูปตัด A 58
3.27 แสดงรูปตัด B 59
4.1 แสดงแผนผังการวิเคราะห์ข้อมูล 61
4.2 แสดงลักษณะการวางทิศทางของอาคาร 62
4.3 แสดงลักษณะองค์ประกอบของผนังทึบ และผนังโปร่งแสงของอาคาร 65
4.4 แสดงรายละเอียดการแบ่งส่วนของผนังอาคาร 65
4.5 แสดงรายละเอียดผนังทึบลักษณะต่างๆ 66
4.6 แสดงรายละเอียดผนังโปร่งแสงลักษณะต่างๆ 68
4.7 แสดงผังหลังคาลักษณะต่างๆ 71
4.8 แสดงรายละเอียดหลังคาลักษณะต่างๆ 72
4.9 แสดงลักษณะโครงสร้างของผนังทึบ 73
4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของคานคอนกรีต 74
4.11 แสดงลักษณะของกระจก Reflective 75
4.12 แสดงลักษณะโครงสร้างของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก 76
4.13 แสดงการใช้พลังงานวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด 113
4.14 แสดงภาระปรับอากาศวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.15 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ 115

4.16 แสดงค่าพลังงานสูงสุดของอาคาร 116

4.17 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร 117

5.1 แสดงแผนผังการปรับปรุงกรอบอาคาร 126

5.2 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) 134

5.3 แสดงการออกแบบชั้นวัสดุของกรอบอาคาร 142

5.4 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังทึบลักษณะที่ 1 150

5.5 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังทึบลักษณะที่ 3 151

5.6 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังทึบลักษณะที่ 9 152

5.7 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังทึบลักษณะที่ 19 153

5.8 แสดงการใช้พลังงานวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด หลังการปรับปรุง 157

5.9 แสดงภาระปรับอากาศวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด หลังการปรับปรุง 158

5.10 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ หลังการปรับปรุง 159

5.11 แสดงค่าพลังงานสูงสุดของอาคาร (ปรับปรุง) 160

5.12 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร (ปรับปรุง) 161

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่ประเทศไทยมีความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาที่ผ่านมา (ช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6-7) ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านการบริโภคพลังงานของประเทศสูง การใช้พลังงานในประเทศไทยเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 10.2 ต่อปี ทำให้ในปี พ.ศ. 2535 รัฐบาลต้องออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และแก้ปัญหาดังกล่าวในช่วงเวลาต่อมาประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 10.5 ต่อปี โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจ ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าที่สูง (ดูตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 แสดงการใช้ไฟฟ้าของคนไทยตามสาขาเศรษฐกิจในปี พ.ศ. 2540

สาขาเศรษฐกิจ	คิดเป็นสัดส่วน (ร้อยละ)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (ล้านหน่วย/ปี)	มูลค่า (ล้านบาท)
1. อุตสาหกรรม	45	36,981.24	73,962.50
2. ธุรกิจ	25	20,190.65	40,381.30
3. ที่อยู่อาศัย	21	17,322.45	34,644.90
4. เกษตรและอื่น ๆ	9	7,580.00	15,160.00
		รวมทั้งสิ้น	164,148

ข้อมูลจาก : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง ปี พ.ศ. 2540

ความต้องการการใช้ไฟฟ้าในประเทศเพิ่มขึ้นจาก 4,180 เมกกะวัตต์ในปี 2529 เป็นกว่า 8,045 เมกกะวัตต์ในปี 2534 และใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 42,062 ล้านหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แสดงสัดส่วนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศต่อการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศไทย

	ปี 2536	ปี 2537	ปี 2538	ปี 2539	ปี 2540
คิดเป็นร้อยละ	61.12	59.98	63.46	65.56	60.57

ตารางที่ 1.3 แสดงการจัดซื้อพลังงานจากต่างประเทศในปี 2540

ชนิดของพลังงาน	ปริมาณ		มูลค่า (ล้านบาท)
	(หน่วยเดิม)	ล้านบาร์เรลต่อวัน (เทียบเท่าน้ำมันดิบ)	
1. ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม	3059.6 ล้านลิตร	52,732.40	12,832
2. น้ำมันดิบ	42291.0 ล้านลิตร	72,8758.00	166,545
3. สารเพิ่มอ็อกเทน	393.0 ล้านลิตร	n.a.	2,550
4. ถ่านหิน	3,288,765.0 ล้านลิตร	26,133.00	3,810
5. ไฟฟ้าและ (ลาวและมาเลเซีย)	497.0 ล้านลิตร	847.90	710
		รวม	186,450

ข้อมูลจาก : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) คำนวณ ณ อัตราแลกเปลี่ยนโดยเฉลี่ยของปี 2540 ซึ่ง 1 เหรียญสหรัฐ = 31.15 บาท

จากตารางที่ 1.2 และตารางที่ 1.3 จะเห็นได้ว่าประเทศไทยยังคงต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เฉลี่ยแล้วกว่าร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานในประเทศ ในปี พ.ศ. 2540 ต้องใช้เงิน ซื้อพลังงานจากต่างประเทศเป็นมูลค่า 186,450 หรือประมาณ 200,000 ล้านบาท

ถึงแม้ว่าในช่วงปี พ.ศ. 2540 สัดส่วนการนำเข้าพลังงานจะลดลง (ดูตารางที่ 1.2) เนื่องจากประเทศไทยประสบกับปัญหาวิกฤตเศรษฐกิจ ซึ่งแนวทางในการพัฒนาพลังงาน ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 8 (ปี พ.ศ. 2540-2544) ได้กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไว้หลายประการ ส่วนสำคัญ ก็คือการกำหนดเป้าหมายการเพิ่มการผลิตพลังงานเชิงพานิชย์ในอัตราร้อยละ 5 ต่อปี และรักษาสัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศให้อยู่ในระดับไม่เกินร้อยละ 75 ในปี พ.ศ. 2544 (ซึ่งคาดว่าหลังจากประสบภาวะวิกฤตเศรษฐกิจแล้วการพึงพาพลังงานจากต่างประเทศคงจะไม่เกินร้อยละ 65 เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจถดถอย จากเป้าหมายดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าประเทศไทยยังคงต้องมีมาตรการที่จะอนุรักษ์และลดการบริโภคพลังงานซึ่งการใช้พลังงานในสัดส่วนนี้มากที่สุด คือ ภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 45 รองลงมาคือภาคธุรกิจร้อยละ 25 โดยจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคธุรกิจที่ค่อนข้างสูง สำหรับการใช้ไฟฟ้าในอาคารธุรกิจขนาดใหญ่นั้น จากการสำรวจโดยสำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงานถึงดัชนีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแสงสว่าง และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV เท่ากับ 57.7 w/m^2) ซึ่งมีสัดส่วนที่สูงกว่าอาคารประเภทโรงแรมและศูนย์การค้า (ดูตารางที่ 1.4)

ตารางที่ 1.4 แสดงดัชนีเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าและค่า OTTV ในอาคารธุรกิจประเภทต่าง ๆ

ประเภทของอาคาร	ดัชนีเฉลี่ย			OTTV. เฉลี่ย (w/m^2)
	ระบบปรับอากาศ ($BTUH/m^2$)	ระบบแสงสว่าง (w/m^2)	การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (w/m^2)	
โรงแรม	595	7.0	239	55.0
สำนักงาน	922	21.1	220	57.7
ศูนย์การค้า	779	14.6	292	44.9

ข้อมูลจาก : บทความ "ประสิทธิภาพในการปริทัศน์ของพลังงานทั้งอาคาร" รศ.ดร. สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์

จากการสำรวจสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารสำนักงานมีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศร้อยละ 60 ระบบแสงสว่างร้อยละ 20 และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ อีกร้อยละ 20 (ดูตารางที่ 1.5)

ตารางที่ 1.5 แสดงสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารประเภทสำนักงาน

การใช้งาน	พิสัย KWH/m^2/ ปี	ระดับการใช้ที่มีประสิทธิภาพดี KWH/m^2/ ปี	สัดส่วน (%)
การปรับอากาศ	110-160	114	60
การให้แสงสว่าง	25-50	38	20
การระบายอากาศ	8-20	10	5
ลิฟท์	10-20	15	8
อุปกรณ์สำนักงาน	1-5	2	1
อุปกรณ์อื่นๆ	6-20	11	6
รวม	160-270	190	100

ข้อมูลจาก : บทความ "ปริทัศน์การใช้พลังงานในอาคาร" รศ.ดร.สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์, สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์

จากตารางที่ 1.5 จะทราบได้ว่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารสำนักงานทั้งระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าถึงร้อยละ 60 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากความร้อนภายนอก (Extemal load) ที่ส่งผ่านเข้ามายังกรอบของอาคาร (Building envelope) มีสัดส่วน 50-60% ของภาระการปรับอากาศของอาคาร ส่วนภาระความร้อนที่เหลือคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของภาระความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Internal load) เกิดจากระบบแสงสว่าง, ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ และกิจกรรมภายในอาคาร

ดังนั้นการพิจารณาการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงานจึงควรที่จะคำนึงถึง รูปร่างลักษณะ, ระบบ, วัสดุ ของกรอบอาคารเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง เพื่อที่จะช่วยลดปริมาณความร้อนรวมที่จะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร และช่วยลดภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของระบบปรับอากาศ (Air - Conditioning) ในอาคารด้วย

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาวิเคราะห์และประเมินผลการใช้พลังงานในอาคาร

1.2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงกรอบอาคารประเภทเดียวกัน หรืออาคารที่มีรูปร่างลักษณะการใช้สอยที่ใกล้เคียงกันให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 การศึกษาจะศึกษาเฉพาะกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศภายในอาคาร

1.3.2 การศึกษาจะไม่รวมการปรับปรุงระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและเครื่องจักรต่าง ๆ ภายในอาคาร

1.4 ขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์

1.4.1 รวบรวมและศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแนวความคิด, ทฤษฎี,องค์ประกอบและปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศภายในอาคาร

1.4.2 ศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ของอาคาร (กรณีศึกษา : อาคารสำนักงาน) โดยการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทางด้านการปรับอากาศภายในอาคาร รวมทั้งการศึกษากรอบอาคารเพื่อคำนวณหาค่าการส่งผ่านความร้อน (Heat gain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 วิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลกระทบกับการออกแบบสถาปัตยกรรม ทำเลที่ตั้งและบริเวณโดยรอบ (Site Location & Surrounding)

- ทิศทางและตำแหน่งของอาคาร (Building Orientation)
- กรอบอาคาร (Building Envelope)
- วัสดุและระบบผนัง (Material & Wall System)
- การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา (OTTV,RTTV)
- คำนวณค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling Load)

1.4.4 ออกแบบและปรับปรุงรายละเอียดต่างๆ ของกรอบอาการที่ได้วิเคราะห์ให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

1.4.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบการลงทุน และการคุ้มทุนระหว่างอาคารเดิมและอาคารที่ได้ปรับปรุง (EIRR)

1.4.6 สรุปผลการออกแบบและเสนอแนะรูปแบบ, วิธีการ และแนวทางต่าง ๆ ในการปรับปรุงกรอบอาคาร เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) และการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพและได้ประโยชน์สูงสุด

1.5 ข้อจำกัดในการทำวิทยานิพนธ์

1.5.1 การศึกษาการใช้พลังงานในอาคาร จะศึกษาเรื่องกรอบอาคารที่ส่งผลกระทบ กับการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศภายในอาคารเท่านั้น

1.5.2 การปรับปรุงการใช้วัสดุและกรอบอาคารจะไม่ให้กระทบกับโครงสร้างหลักทางวิศวกรรม

1.5.3 การปรับปรุงกรอบอาคารจะไม่ให้มีผลกระทบกับรูปแบบ - เอกลักษณ์ที่สะท้อนถึงแนวความคิดในการออกแบบของผู้ออกแบบเดิม

1.5.4 การศึกษาจะไม่รวมถึงการปรับปรุงระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า , ระบบของเครื่องปรับอากาศ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ ภายในอาคาร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบ-ปรับปรุงอาคารที่เป็นอาคารสำนักงานหรืออาคารที่มีรูปร่างลักษณะใกล้เคียงกัน

1.6.2 นำเสนอรูปแบบและการเลือกใช้วัสดุและระบบของกรอบอาคารรวมทั้งระบบอื่น ๆ ภายในอาคารที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3 เพื่อตอบสนองนโยบายการประหยัดพลังงานรัฐบาลตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และมีผลโดยรวมต่อเศรษฐกิจของชาติ

1.6.4 การอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารยังมีผลต่อการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศซึ่งจะช่วยลดการก่อมลภาวะและรักษาสภาพแวดล้อม รวมทั้งระบบนิเวศน์วิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สภาพทางภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งละติจูด 13 องศา 44 ลิปดาเหนือ และลองติจูด 100 องศา 34 ลิปดาตะวันออก สภาพทางภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ที่ได้รับอิทธิพลลมมรสุม ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน คือลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดจากมหาสมุทรอินเดียและในฤดูหนาวได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดมาจากประเทศจีนตามลักษระทางภูมิอากาศได้แบ่งฤดูกาลต่าง ๆ ออกเป็น 3 ฤดูกาล คือ

2.1.1 **ฤดูร้อน** เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในระยะนี้ลมฝ่ายใต้จะพัดปกคลุมกรุงเทพมหานคร ดวงอาทิตย์จะโคจรจากซีกโลกขึ้นไปทางซีกโลกเหนือ เป็นช่วงเวลาที่ผิวโลกเอียงเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครประมาณ วันที่ 27 เมษายน ดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะพอดีในเวลาเที่ยงวัน แสงอาทิตย์ส่องตั้งฉากกับพื้นดิน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์เต็มที่ ซึ่งทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป อุณหภูมิ โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.4-29.3 องศาเซลเซียส

2.1.2 **ฤดูฝน** เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม เมื่อลมมรสุมสุมฝ่ายใต้และตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมกรุงเทพมหานคร และร่องความกดอากาศต่ำเลื่อนขึ้นมาพาดผ่านทำให้มีฝนตกทั่วไป ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยตลอดปีมีค่าประมาณ 1,500 มิลลิเมตร ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 78% อุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.5-28.7 องศาเซลเซียส

2.1.3 **ฤดูหนาว** เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม ถึงกลางเดือน กุมภาพันธ์ เมื่อลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดเข้าสู่กรุงเทพมหานคร มีระยะเวลาประมาณ 4 เดือน อากาศหนาวมีระยะเวลาสั้น ๆ และไม่สู้จะหนาวเย็นมากนัก อากาศจะค่อนข้างหนาวมากอยู่ในช่วงปลายเดือนธันวาคม ต่อกันต้นเดือนมกราคม อุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25.9-26.8 องศาเซลเซียส

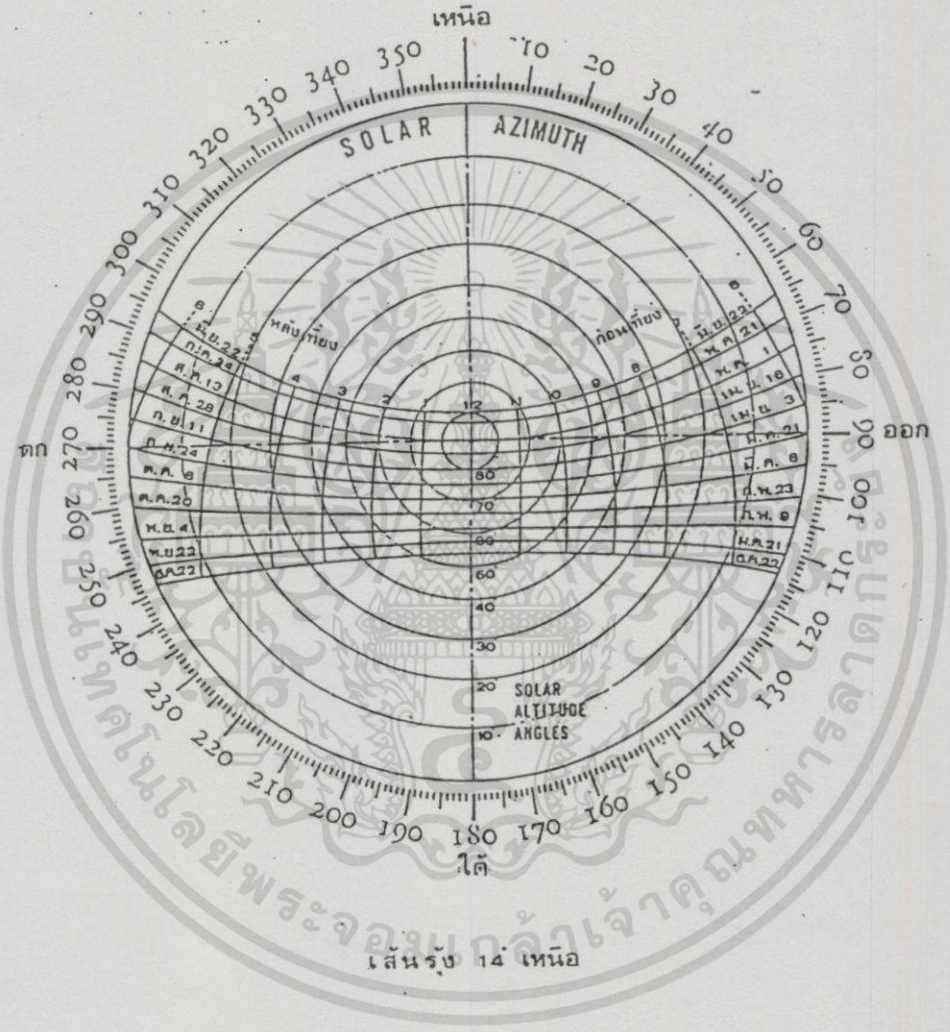
จากกรมอุตุนิยมวิทยา (ตารางที่ 2.1) ได้เก็บสถิติภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครในคาบ 43 ปี (พ.ศ. 2494-2537) ณ สถานีตรวจอากาศกรุงเทพมหานคร ซึ่งพอจะสรุปสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครได้ดังนี้

- อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 27.8 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 24 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 32.7 องศาเซลเซียส
- ความชื้อสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 77% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด 58% และความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด 92%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วลมโดยเฉลี่ยอยู่ในระหว่าง 2.4 นอต : ชม. ถึง 5.1 นอต

ตำแหน่งทิศทางการเดินของดวงอาทิตย์ ณ กรุงเทพมหานคร จะขึ้นมาทางทิศตะวันออกค่อนไปทางเหนือมากที่สุด ในวันที่ 22 มิถุนายน ต่อจากนั้นจะค่อย ๆ กลับลงทางใต้ จนกระทั่งขึ้นค่อนมาทางใต้มากที่สุดในวันที่ 22 ธันวาคม (ดูรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แสดงผังการเดินทางของดวงอาทิตย์กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสถิติภูมิอากาศของกรุงเทพฯในช่วงปี พ.ศ. 2494 – 2537

Station BANGKOK METROPOLIS

Index station 48455

Latitude 13 44 N

Longitude 100 34 E

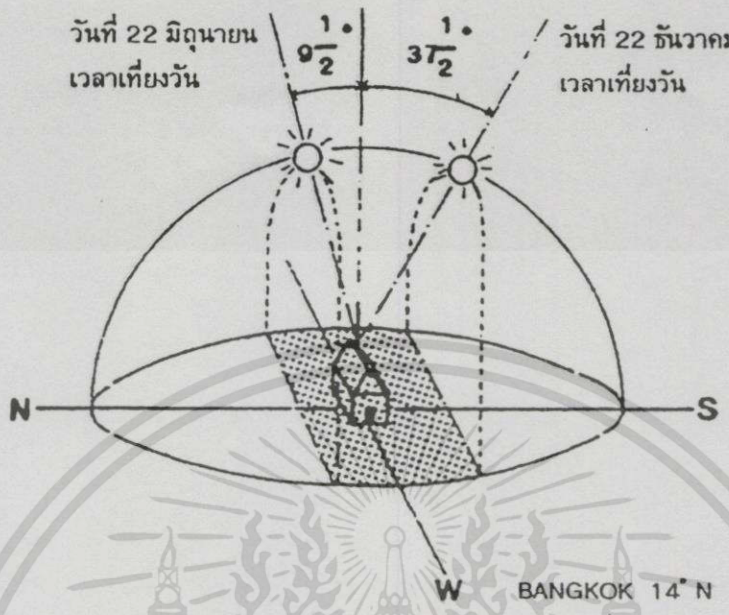
Elevation of station above MSL	2	Meters
Height of barometer above MSL	20	Meters
Height of thermometer above ground	1.25	Meters
Height of wind vane above ground	33.10	Meters
Height of raingauge	1.00	Meters

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Temperature (Celsius)													
Mean	25.9	27.4	28.7	29.8	29.3	28.7	28.3	28.0	27.7	27.5	26.8	25.5	27.8
Mean max.	32.0	32.8	33.8	35.0	34.2	33.1	32.7	32.4	32.1	31.8	31.5	31.2	32.7
Mean min.	20.9	23.2	24.8	26.0	25.6	25.3	25.0	24.8	24.5	24.3	23.0	20.7	24.0
Ext. Max.	35.7	37.0	39.8	40.0	39.5	37.7	37.8	37.0	36.0	35.3	35.1	35.2	40.0
Ext. min.	9.9	14.9	15.7	19.9	21.1	21.7	21.9	21.2	21.3	18.3	14.2	10.5	9.9
Relative Humidity (%)													
Mean	72	75	75	75	78	78	78	79	82	82	76	72	77
Mean max.	90	92	91	90	92	91	91	92	95	94	92	89	92
Mean min.	49	53	55	55	60	62	63	63	65	65	58	52	58
Ext. min.	26	17	17	23	30	38	40	43	45	36	32	29	17
Wind (Knots)													
Mean wind speed	2.7	4.2	5.1	4.6	3.7	3.9	3.6	3.7	2.7	2.4	2.5	2.5	-
Prevailing wind	NE	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	NE	NE	NE	-
Max. wind speed	31	37	48	56	42	43	43	45	44	42	45	31	56
Rainfall (mm.)													
Mean	8.5	24.8	29.1	65.6	202.6	152.3	168.1	205.7	342.2	250.9	45.7	7.6	1503.1
Mean rainy day	1.6	2.6	3.2	5.9	15.6	16.4	17.8	20.3	21.3	17.1	5.9	1.2	128.9
Daily maximum	39.3	73.0	88.4	133.5	248.6	167.3	108.8	97.8	156.7	143.9	116.6	32.0	248.6

Data processing sub-division

Climatology division

Meteorological department



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเดินทางของดวงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานคร

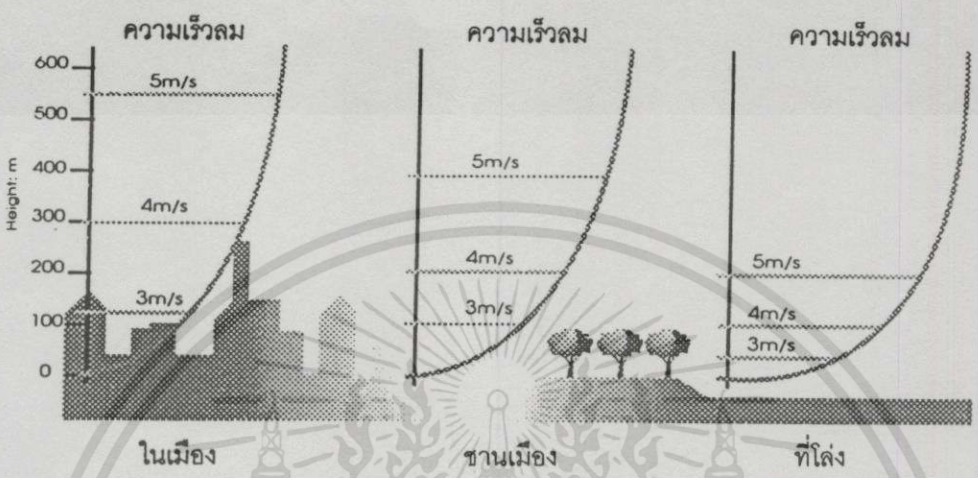
2.2 สภาพภูมิอากาศในเมือง

กรุงเทพมหานครนับได้ว่าเป็นเมืองใหญ่ที่มีตึกสูงและอาคารขนาดใหญ่ มีพื้นที่เป็นคอนกรีตขนาดใหญ่ และขาดสิ่งปกคลุมที่เป็นพืชพรรณและต้นไม้ ซึ่งเป็นภูมิอากาศที่มนุษย์สร้างขึ้น และจะสามารถเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศธรรมชาติ เป็นภูมิอากาศแบบเมืองได้ ดังนี้

1) เปลี่ยนสภาพของผิวหน้าดิน เช่น ถนน ทางเท้า ลานคอนกรีต ที่เป็นตัวเก็บสะสมความร้อนจากดวงอาทิตย์ และเป็นตัวลดการระเหยความชื้นจากดิน
2) อาคารสิ่งปลูกสร้าง จะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดร่มเงา แต่ก็เป็นตัวที่กีดขวางทิศทางลมทำให้ลมเปลี่ยนทิศทาง ทำให้ลมพัดแรงขึ้นหรือช้าลงได้ นอกจากนี้ตัวอาคารยังสะสมความร้อนในตอนกลางวันและค่อย ๆ คายความร้อนให้แก่บรรยากาศในตอนกลางคืน
3) ผลิตพลังงานออกมา มีการระบายความร้อนออกทางช่องลมและผนังของอาคารโดยเครื่องปรับอากาศ ความร้อนจากการสันดาปของเครื่องจักร, รถยนต์ มีการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน
4) มีมลภาวะทางอากาศ ซึ่งเกิดจากเผาไหม้ เช่น การหุงต้มอาหาร, ปล้องควันจากโรงงาน จากท่อไอเสียรถยนต์ ไอระเหยจากสารเคมี ซึ่งเป็นตัวกีดขวางการแผ่รังสีจากดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์ แต่ขณะเดียวกันกลับช่วยกระจายการแผ่รังสีและเป็นตัวกั้นการกระจายรังสีความร้อนจากดิน ทำให้บรรยากาศสกปรก (Green House Effect) ตัวเมืองจึงมีโอกาสเกิดหมอกควัน (Smog) และทำให้ฝนตกผิดธรรมชาติ

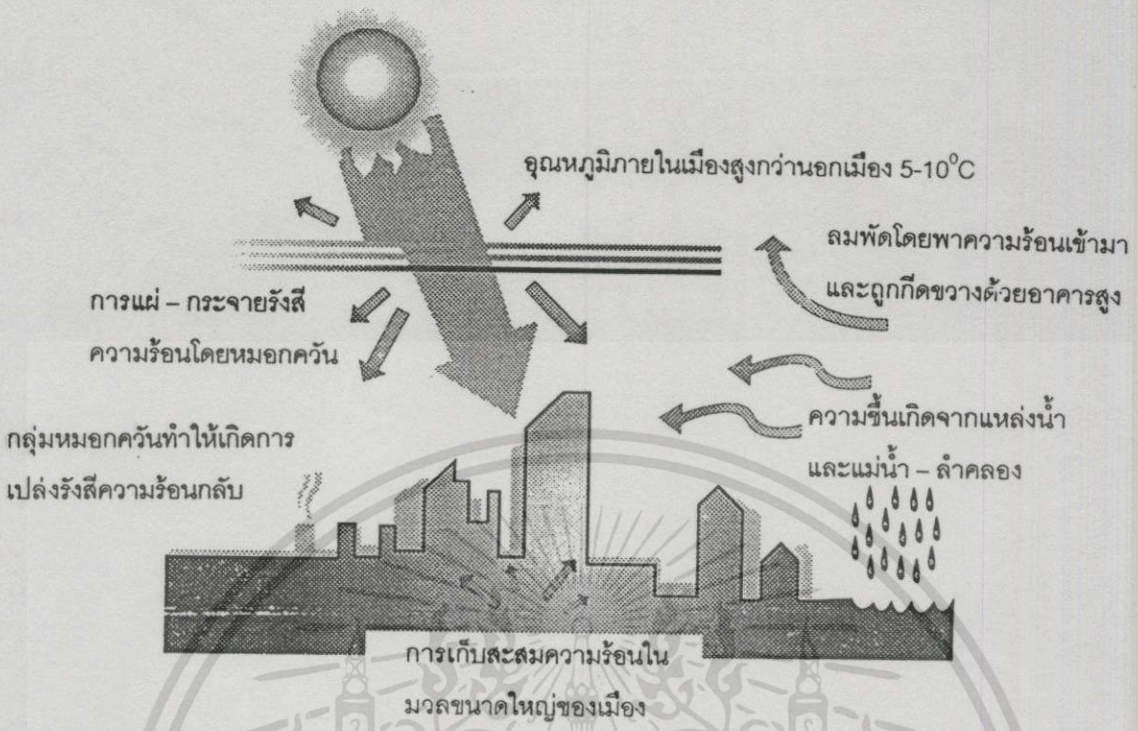


รูปที่ 2.3 แสดงความเร็วลมเปรียบเทียบระหว่าง ในเมือง ชานเมือง และที่โล่ง

2.2.1 ลักษณะภูมิอากาศในเมืองของกรุงเทพมหานคร

1) อุณหภูมิ สูงกว่าบริเวณชานเมือง 5-10° C และมีการสะสมความร้อนของเมือง (Heat Stored in thermal mass)
2) ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงขึ้นอยู่กับพื้นที่สีเขียว-ต้นไม้ที่ช่วยในการระเหยน้ำในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง และระบบระบายน้ำฝนในเมือง
3) ความเร็วลม กระแสลมภายในเมืองมักจะลดลงไปกว่าครึ่งหนึ่งแต่ในบางจุดอาคารจะรีดลมให้เร็วขึ้น และเกิดมีลมม้วนตีกลับขึ้นที่ด้านหลังของอาคาร
4) การแผ่รังสีความร้อนสูง เนื่องจากองค์ประกอบที่กระจายรังสีได้มาก (Green House Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงสภาพภูมิอากาศในเมืองของกรุงเทพมหานคร

2.3 ความต้องการภาวะความสบายสำหรับผู้อยู่อาศัยในอาคาร

สภาพอากาศมีผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านความรู้สึก ดังนั้น สภาพอากาศจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาถึงภาวะความสบายสำหรับผู้อยู่อาศัยร่างกายของมนุษย์จะรู้สึกถึงภาวะความสบายจะประกอบไปด้วยอุณหภูมิของอากาศ ความชื้น ความเร็วลม และความร้อนจากดวงอาทิตย์

2.3.1 **อุณหภูมิของอากาศ** (Temperature) โดยที่ความร้อนเป็นสิ่งที่ถ่ายเทไปมาได้ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ กายต่ำกว่าอุณหภูมิของร่างกายแล้ว ร่างกายจะถ่ายเทความร้อนไปสู่อากาศโดยรอบเป็นผลให้มีความรู้สึกความเย็นสบาย ยิ่งอุณหภูมิของอากาศที่แวดล้อมอยู่ลดลงเท่าใดร่างกาย ก็จะรู้สึกเย็นลงเท่านั้น

2.3.2 **ความชื้น** (Humidity) ความร้อนส่วนหนึ่งของร่างกายถูกใช้ระเหยน้ำออกมาเป็นเหงื่อทางผิวหนัง แต่ร่างกายจะระบายน้ำออกมาได้มากน้อยเพียงใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศโดยรอบ ถ้าความชื้นในอากาศต่ำร่างกายจะระเหยน้ำออกได้มากจะรู้สึกเย็นสบายลง ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นในอากาศสูงร่างกายจะระเหยน้ำออกได้น้อยหรือไม่ได้เลย จะรู้สึกร้อนและเหนียวตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 **ความเร็วลม** (Wind) เป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการที่ทำให้รู้สึกเย็นสบาย ทั้งนี้เพราะกระแสลมจะช่วยพัดพาเอาอากาศร้อนที่ร่างกายถ่ายเทออกไปและพัดเอาอากาศที่เย็นกว่ามาแทนที่ ทำให้ร่างกายมีโอกาสถ่ายเทความร้อนออกได้เร็วยิ่งขึ้น นอกจากนั้นกระแสลมยังช่วยพัดเอาความชื้นที่ร่างกายถ่ายออกไป และพัดพาเอาอากาศที่แห้งกว่ามาแทนที่

2.3.4 **ความร้อนจากดวงอาทิตย์** (Heating) เมื่อวัตถุใด ๆ ได้รับความร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนไปยังที่ ๆ เย็นกว่า เช่น ผนังอาคารที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ก็จะถ่ายความร้อนนั้นเข้ามาภายในอาคาร หรือการที่มีแสงอาทิตย์ส่องเข้ามาภายในอาคาร สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นเหตุให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น

2.4 มาตรฐานภาวะความสบาย

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสบายของมนุษย์ที่ประกอบไปด้วยอุณหภูมิของอากาศความชื้น การเคลื่อนไหวของอากาศ และการแผ่รังสี อิทธิพลของแต่ละองค์ประกอบจะขึ้นอยู่กับระดับขององค์ประกอบอื่น ๆ ได้มีความพยาบามที่คิดค้นวิธีการที่จะรวมเอาองค์ประกอบทั้งสี่ของสภาวะอากาศให้แสดงเป็นตัวเลขเพียงค่าเดียว เพื่อมาตรฐานความสบายซึ่งจะเป็นผลรวมของปฏิกิริยาระหว่างตัวแปรทางภูมิอากาศ และในเวลาต่อมาได้มีการรวมเอาอัตรา Metabolism[*] และเสื้อผ้าที่สวมใส่มาคิดรวมไปด้วย

มาตรฐานในการวัดค่าภาวะความสบายได้มีผู้ค้นคว้าคิดทฤษฎีไว้มากมาย ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่นำมาใช้เท่านั้น

2.4.1 **อุณหภูมิสมประสงค์** The Effective Temperature (ET) มาตรฐานอันนี้ได้ถูกสร้างขึ้นในระหว่างปี ค.ศ. 1923-1925 โดย Houghton และ Yoglou องค์ประกอบของสภาวะอาคารที่นำมารวมกันคือ อุณหภูมิของอากาศความชื้นและการเคลื่อนไหวของอากาศ มาตรฐานนี้ได้ถูกสร้างขึ้น 2 ประเภท ประเภทหนึ่งสำหรับผู้ชายที่สวมเสื้อผ้ากึ่งเปลือย (เปลือยท่อนบน) และอีกประเภทหนึ่งสำหรับผู้คนที่สวมเสื้อผ้าสำหรับฤดูร้อนหน่อย หรือมูลฐานของดัชนี ET (Effective Temperature) ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศที่อิ่มน้ำ และนิ่ง ที่อัตราความเร็ว 0.12 m/s ค่า ET หาได้จากการเชื่อมระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DBT = Dry Bulb Temperature) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (WBT = Wet Bulb Temperature) และอ่านค่า ET จากเส้นที่ตรงกับค่าการเคลื่อนไหวของอากาศที่ต้องการมาตรฐาน ET นี้เป็นมาตรฐานเบื้องต้น ซึ่งไม่ได้รวมอุณหภูมิการแผ่รังสี ซึ่งถือว่ามีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ต่อมา ค.ศ. 1962 Vernon ได้เสนอแนะวิธีการแก้ไข

---

[*] Metabolism คือ ขบวนการเปลี่ยนแปลงอาหารให้เป็นพลังงานของร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการใช้อุณหภูมิจากการแผ่รังสี จากวิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่าอุณหภูมิสมประสงค์แท้ Corrected Effective Temperature (CET)

มาตรฐาน ET หรือ CET ครอบคลุมช่วงสภาพอากาศดังต่อไปนี้

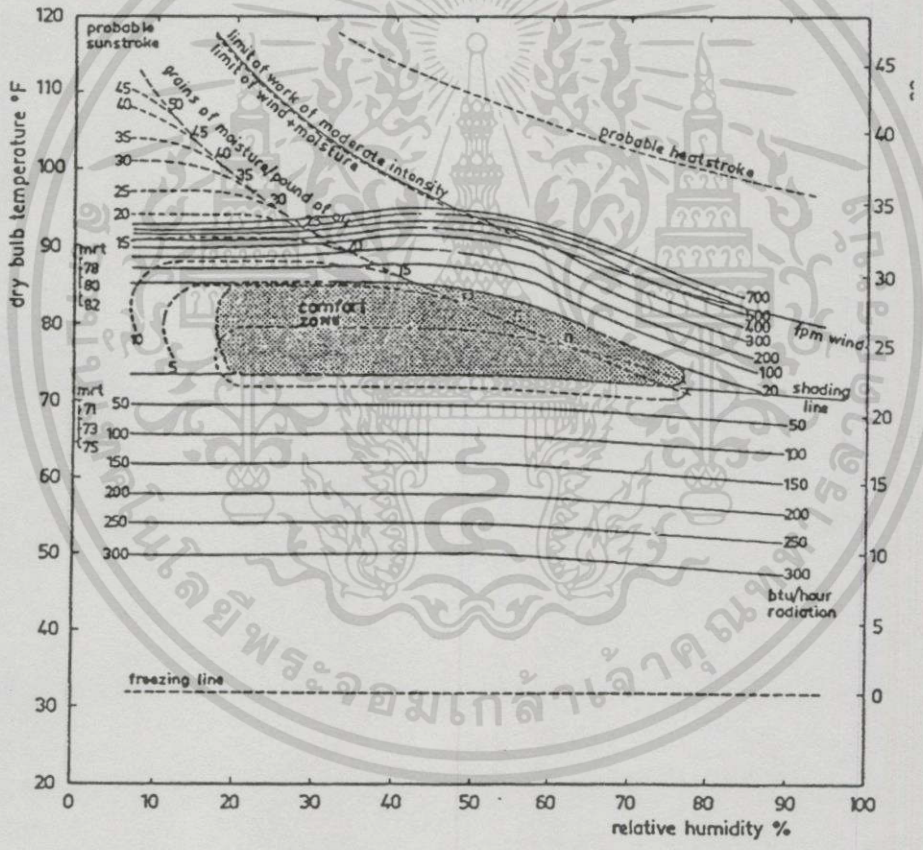
อุณหภูมิของอากาศ (DBT) 1-43 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิกะเปาะเปียก (WBT) 1-43 องศาเซลเซียส

ความเร็วลม 0.1 – 3.5 m/s (สำหรับเปลือยท่อนบน)

0.1 – 7.0 m/s (สำหรับผู้ที่สวมใส่ชุดทำงานธรรมดา)

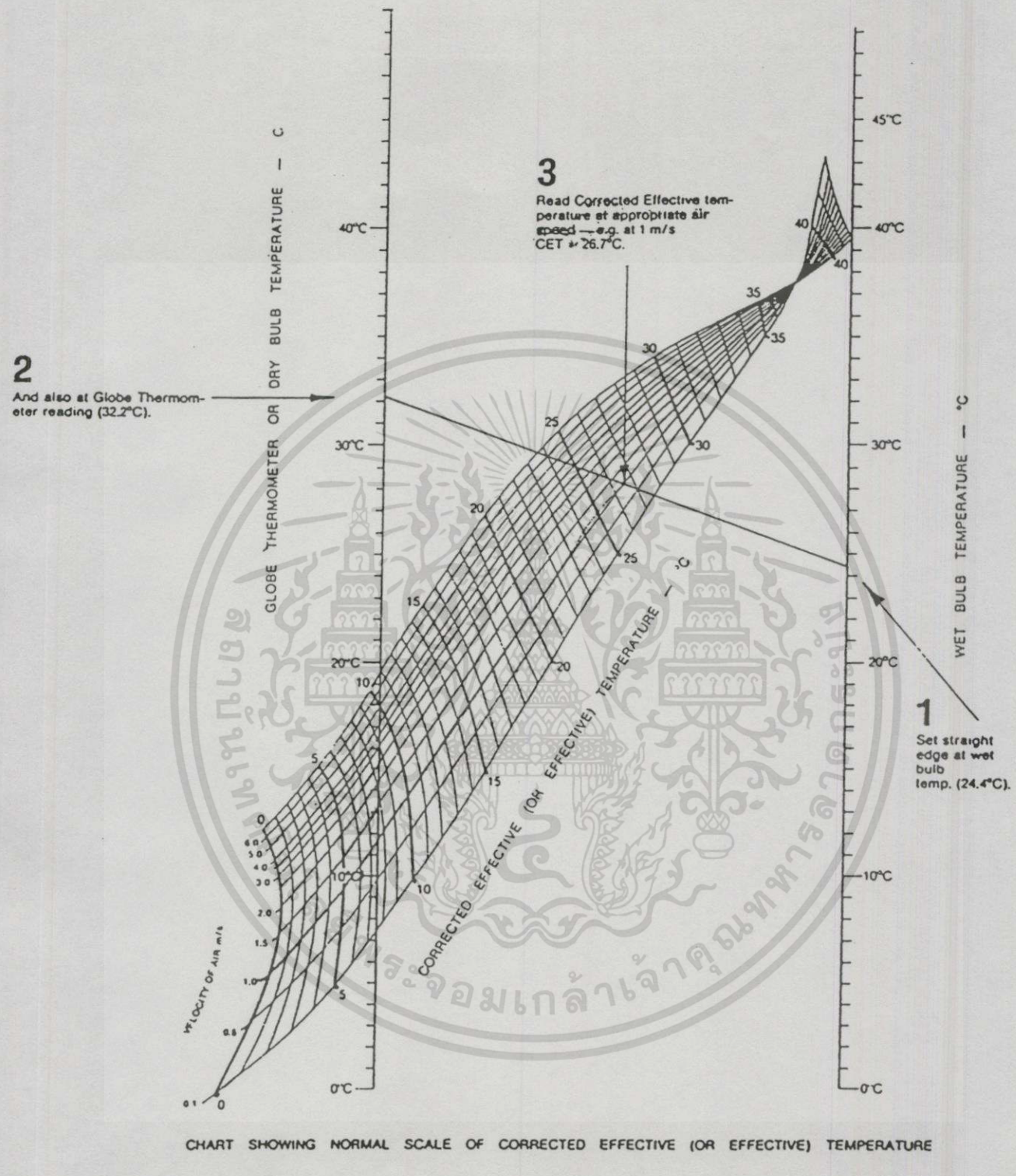
เหตุที่ใช้มาตรฐาน ET ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาหลายครั้งหลายคราวได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางและเป็นดัชนีที่เข้าใจง่ายที่สุด



BIOCLIMATIC CHART FOR LATITUDE 13° N or S

รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิ – ชีวภูมิ ของกรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดง MONOGRAM ทั่วไปของ ET หรือ CET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 หลักเกณฑ์ และวิธีการหาภาวะความสบายของกรุงเทพมหานคร

การหามาตรฐานภาวะความสบายโดยใช้มาตรฐาน Effective Temperature (ET) คือ อุณหภูมิในที่ซึ่งมีความชื้นและความเร็วลมรวมอยู่ด้วยกัน จุดประสงค์ของการหา ET ก็เพื่อจะหาอุณหภูมิที่มีผลต่อร่างกายโดยแท้จริง และใช้อุณหภูมิที่ร่างกายรู้สึกสบายนี้มาตรวจดูเวลาที่ต้องการกันแดดจากการหาอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงใน Hourly Temperature Calculator ได้

วิธีการหา Effective Temperature ของชั่วโมงต่าง ๆ ของเดือนในรอบ 1 ปี

ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการ

- ตารางแสดงภูมิอากาศของกรุงเทพฯในช่วง ค.ศ. 2494-2537 สถานีตำรวจอากาศกรุงเทพมหานคร (ตารางที่ 2.1)
- อุณหภูมิอาการจากตาราง ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean Max) และค่าเฉลี่ยต่ำสุด (Mean Min)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean Max) และค่าเฉลี่ยต่ำสุด (Mean Min)
- ความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร

2.4.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. เปลี่ยนอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DBT) จากตารางที่ 2.1 เป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก (WBT)โดย Psychrometric Chart (ดูตัวอย่างที่แสดงจากรูปที่ 2.7) ทำเช่นเดียวกันทุกเดือน ในรอบปีและนำมาบันทึกในตาราง Wet Bulb Temperature Data (ตารางที่ 2.2)
2. หา Correct Effective Temperature โดยอาศัย DBT และ WBT โดยใช้ Correct Effective Temperature Chat (ดูตัวอย่างแสดงจากรูปที่ 2.6) ทำเช่นเดียวกันทุกเดือนในรอบปี และนำมาบันทึกในตาราง Effective Temperature Data (ตารางที่ 2.2)
3. คำนวณหา Comfort Zone จากสูตร

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี (AMT)} = \frac{\text{DBT สูงสุดของปี + DBT ต่ำสุดของปี}}{2}$$

$$\text{AMT(Annual mean Temperature)} \quad \frac{32.7+24.0}{2}$$

$$= 28.4\ ^{o}C$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Center of comfort Zone $= \frac{AMT}{4} + 17.2$

$= \frac{28.4}{4} + 17.2$

$= 24.3$

Annual DBT Range = DBT สูงสุดของปี – DBT ต่ำสุดของปี

$= 32.7 - 24.0$

$= 8.7$

∴ Comfort Zone Rang = 2.5 (จากตารางที่ 2.3)

Comfort Zone (ระยะอุณหภูมิที่ร่างกายรู้สึกสบาย)

$= \text{Centre of Comfort Zone} \pm \frac{\text{Comfort zone Range}}{2}$

∴ MAX ของ Comfort Zone = 24.3 + 1.25 = 25.6 ^{o}C

MAX ของ Comfort Zone = 24.3 - 1.25 = 23.0 ^{o}C

ตารางที่ 2.2 แสดง Wet Bulb Temperature Data & Effective Temperature Data

Data	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean max												
DBT : ^{o}C	32.0	32.8	33.8	35	34.2	33.1	32.7	32.4	32.1	31.8	31.5	31.2
RH min %	49	53	55	55	60	62	63	63	65	65	58	52
WBT : ^{o}C	23.4	25	26	27.2	2.4	26.8	26.8	26.5	26.7	26.2	24.8	23.2
ET : max ^{o}C	27	28	28.8	29.7	29.7	29.1	29	28.6	28.7	28.3	27.6	26.6
Mean min												
DBT : ^{o}C	20.9	23.2	24.8	26	26	25.3	25	24.8	24.5	24.3	23	20.7
RH max	90	92	91	90	90	91	91	92	95	94	92	89
WBT : ^{o}C	19.8	22.2	23.5	24.7	24.7	24.1	23.8	23.7	23.7	23.5	22	19.4
ET : min ^{o}C	20.5	22.7	24.2	25.2	25.5	24.6	24.3	24.2	24	23.8	22.5	20.2

1. จัดทำ Effective Temperature Sheet (ตาราง 2.4) Effective Temperature Data ทำให้สามารถทราบถึงระยะอุณหภูมิซึ่งร่างกายรู้สึกสบาย (Comfort Temperature) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

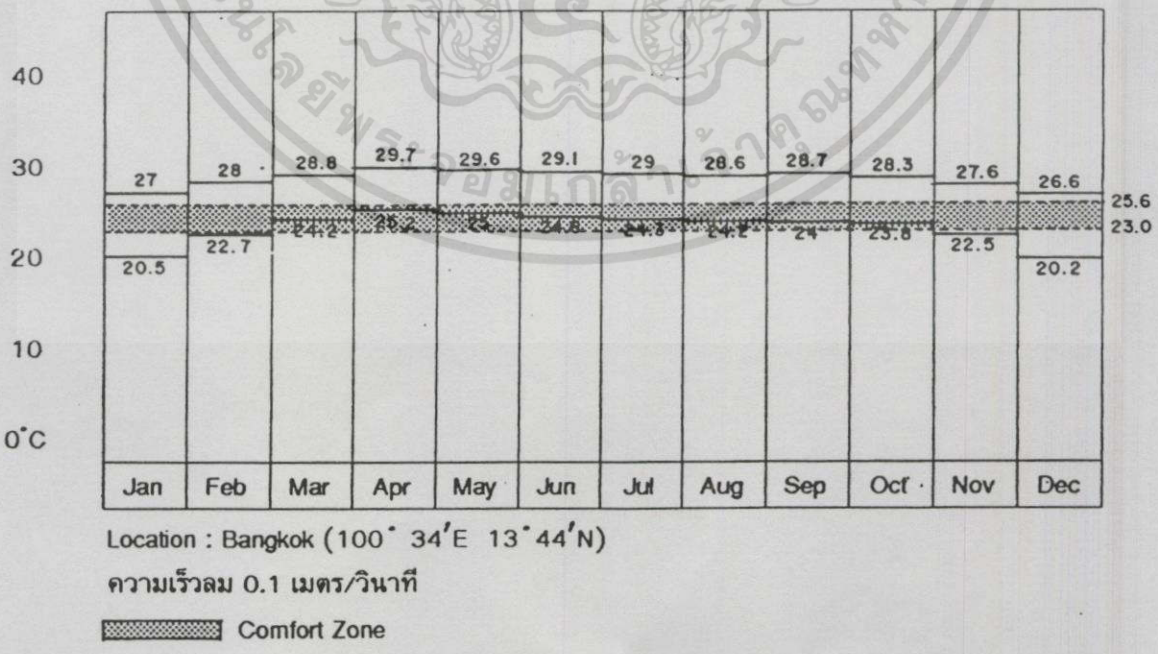
40135

2. หา Effective Temperature ของชั่วโมงต่าง ๆ ในแต่ละเดือนได้จาก Hourly Temperature Calculator (ดูตัวอย่างแสดงจากรูป 2.8) จะได้ผลของอุณหภูมิชั่วโมงต่าง ๆของทุกเดือน และบันทึกลงในตาราง (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.3 แสดงระยะของความสบาย (Comfort Zone Range)

Annual DBT Range	Comfort Zone Range (CET)
ต่ำกว่า 13	2.5
13-16	3.0
16-19	3.5
19-24	4.0
24-28	4.5
28-33	5.0
33-38	5.5
38-45	6.0
45-52	6.5
สูงกว่า 52	7.0

ตารางที่ 2.4 แสดง Effective Temperature Sheet



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงอุณหภูมิตามชั่วโมงต่าง ๆ ของเดือน

Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.00	21.8	23.8	25.2	26.1	26	25.5	25.3	25.1	25	24.7	23.6	21.6
2.00	21.3	23.5	24.8	25.8	25.7	25.2	25	24.8	24.7	24.3	23.2	21.1
4.00	20.8	23	24.5	25.5	25.3	24.8	24.7	24.4	24.2	24	22.8	20.7
6.00	20.5	22.7	24.2	25.2	25	24.6	24.3	24.2	24	23.8	22.5	20.2
8.00	21.1	23.2	24.7	25.6	25.5	25	24.8	24.7	24.5	24.2	23	20.9
10.00	24.3	25.8	26.8	27.8	27.7	27.2	27	26.8	26.7	26.3	25.5	24
12.00	26	27.2	28	29	28.9	28.3	28.2	27.9	27.9	27.5	26.8	25.7
14.00	27	28	28.8	29.7	29.6	29.1	29	28.6	28.7	28.3	27.6	26.6
16.00	26.4	27.5	28.3	29.3	29.2	28.8	28.5	28.2	28.2	27.9	27.1	26
18.00	25	26.3	27.3	28.2	28	27.7	27.4	27.2	27.2	26.8	26	24.7
20.00	23.2	24.9	26.1	27	26.9	26.5	26.2	26	26	25.6	24.7	23
22.00	22.5	24.3	25.6	26.6	26.4	26	25.8	25.5	25.5	25.1	24	22.2

จากตารางแสดง Effective Temperature เมื่อพิจารณาอุณหภูมิซึ่งอยู่ใน Comfort Zone ที่หาได้จะสามารถทราบได้ว่าในช่วง 1 ปี ที่ระยะเวลาใดบ้างในเดือนใดที่อากาศอยู่ในสภาวะสบายและเวลาที่ต้องการกันแสงแดด

2.5 การถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร

กระบวนการถ่ายความร้อนในส่วนต่างๆของอาคารจากวัตถุสิ่งของ หรือตัวบุคคลซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้รับและถูกส่งออกไปเรียกว่าการถ่ายเทความร้อน โดยตามธรรมชาติแล้วจะเป็นการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในกระบวนการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

2.5.1 **การนำความร้อน** (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งที่ต้องผ่านตัวกลาง เช่น การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังห้อง หรือกำแพงโดยผนังห้องหรือกำแพงเป็นตัวกลาง เมื่อมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันความร้อนจะไหลจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยผ่านตัวกลางนั้น

2.5.2 **การพาความร้อน** (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนในแนวดิ่งความร้อนถูกพาไปโดยตัวกลาง เช่น ภายในอาคารซึ่งความร้อนผ่านผนังอาคารเข้าโดยการนำจากนั้นผนังด้านในจะร้อนขึ้นและทำให้อากาศรอบ ๆ กำแพงด้านในร้อนขึ้นด้วย อากาศร้อยก็จะลอยตัวสูงขึ้นหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวียนกับอากาศตรงกลางห้องซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่อากาศร้อนลักษณะเช่นนี้ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและอากาศภายในห้องก็จะร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นในที่สุด

2.5.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ไม่ต้องผ่านตัวกลางใด ๆ ทั้งสิ้นเช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลกผ่านสูญญากาศ ความร้อนที่ได้รับจากการแผ่รังสีของ ดวงอาทิตย์ การแผ่ความร้อนนี้ส่งออกมาเป็นความร้อน รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ แผ่มายังโลก 2 ชนิด คือ ลักษณะเป็นคลื่นช่วงยาวและคลื่นช่วงสั้น คลื่นความร้อนดังกล่าวเดินทางด้วยความเร็วเท่ากับแสงโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ ทั้งสิ้น

คลื่นช่วงยาว (Long Wave) คือ แสงอาทิตย์ที่ให้แสงสว่างที่ทำให้เรามองเห็นสิ่งต่าง ๆได้เมื่อส่องผ่านบรรยากาศจะทำให้อากาศรอบ ๆ ตัวเราร้อนขึ้น

คลื่นช่วงสั้น (Short Wave) คือ รังสีความร้อนเป็นคลื่นรังสีที่ไม่ให้แสงสว่างและไม่ทำให้อากาศรอบ ๆ ตัวเราร้อน แต่จะทำให้วัตถุที่คลื่นรังสีนี้กระทบร้อนขึ้น รังสีคลื่นสั้นนี้จะถูกดูดซึมโดยสีดำ และจะสะท้อนกลับวัตถุที่มีผิวมันเรียบและสีอ่อน รังสีคลื่นสั้นนี้สามารถผ่านทะลุกระจกได้

อัตราการถ่ายเทความร้อน (Heat Flow) อัตราที่ความร้อนจะไหลผ่านวัตถุที่กันอยู่นี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

ก. ความแตกต่างของอุณหภูมิของผิวตรงข้ามของวัตถุ

ข. พื้นที่ผิวของวัตถุที่ความร้อนไหลผ่าน

ค. ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ของวัตถุที่ความร้อนไหลผ่านจากปัจจัยเหล่านี้สามารถจะแสดงด้วยสมการดังนี้

$$Q = U \times A \times TD_{eq} \quad \text{.....(1)(ผนังทึบ ,หลังคาทึบ)}$$

$$Q = (A \times SC \times SHGF \times CLF) + (U \times A \times TD_{eq} \quad \text{....(1.1)(กระจก)}$$

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (w)

R = ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance, $m^2 - {}^0C/W$)

A = พื้นที่ผิวที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

TD = อุณหภูมิแตกต่างกันที่ความร้อนไหลผ่านจากอุณหภูมิสูงไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (Temperature Difference, ^0C)

TD_{eq} = ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า Temperature Difference Equivalent, ^0C)

SC = Shading coefficient สำหรับกระจกชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHGF = ตัวประกอบความร้อนเพิ่มจากดวงอาทิตย์ (Solar heat gain Factor , W/M^2)

CLF = ตัวประกอบภาระความเย็น (Cooling load factor) ขึ้นอยู่กับ ชนิดของกระจกและความสามารถในการยอมให้แสงผ่าน

ความต้านทานความร้อนทั้งหมด (Total Resistance) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังหลังคา,พื้น และโครงสร้างต่างๆของอาคารเป็นการไหลผ่านฟิล์มอากาศจากด้านหนึ่งแล้วไหลผ่านวัตถุโครงสร้างที่เป็นของแข็ง จากนั้นจึงไหลผ่านฟิล์มที่เป็นอากาศจากด้านหนึ่งวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะประอบไปด้วยชั้นของวัสดุต่างชนิดกัน ซึ่งจะต้องได้รับการนำมารวมกันด้วยสมการดังนี้

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 \text{ etc} \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ R_t = ความต้านทานความร้อนทั้งหมด (Total Resistance) , $(W/M^2\ K)^{-1}$

R_1, R_2,etc = ความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชิ้น

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (Overall Coefficient of Heat Transmission) จะใช้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้จะเป็นส่วนผกผันของความต้านทางความร้อน ดังนี้คือ

$$U = \frac{1}{R_t} \quad \text{..... (3)}$$

เมื่อ U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (W/m^2)

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เกิดจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆและจากจำนวนคนภายในอาคาร ลักาณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารสามารถแบ่งลักษณะออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. การส่งผ่านความร้อนที่เกิดขึ้นจากผนังกั้นภายใน เพดาน พื้น โดยใช้สมการที่ 1
2. ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

2.1 บุคคล (People Load)

Q = จำนวน x ตัวประกอบความร้อนสัมผัส ..... (4)

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนจากสัมผัสบุคคล (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวประกอบความร้อนสัมผัสเกิดจากบุคคลที่กระทำกิจกรรมต่าง ๆที่ให้เกิดความร้อนขึ้น ดูได้จากตารางที่ 4 ภาคผนวก ค

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า (Motor or Fan Load)

Q = Hp x 0.746 / % Efficiency.....(5)

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า (W)

Hp = กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า (Horse Power)

%Eff = เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของมอเตอร์

2.3 แสงไฟฟ้า ,อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ

Q = Number of Watts x 1 (6)

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนจากแสงไฟฟ้า (W)

Number of Watts = จำนวนวัตต์ของหลอดไฟฟ้า (W)

3. ความร้อนแฝง (Latent Heat)

3.1 บุคคล

Q = จำนวนคน x ตัวประกอบความร้อนแฝง ..... (7)

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนแฝงจากบุคคล (W)

4. การถ่ายเทอากาศ (Ventilation)

4.1 บุคคล

LPS = จำนวนคน x LPS / person.....(8)

เมื่อ LPS = ปริมาณความต้องการอากาศในการถ่ายเทอากาศ (Litre/sec)

LPS/person = อัตราการถ่ายเทอากาศต่อหนึ่งคน

4.2 ความร้อนสัมผัสจากปริมาณอากาศที่ถ่ายเท

Q = 1.232 x LPS x TD..... (9)

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากอากาศที่ถ่ายเท (W)

1.232 = ค่าคงที่ในการเปลี่ยนหน่วย เป็นหน่วยเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความร้อนแฝงจากอัตราการถ่ายเทอากาศ

Q = 3012 x moisture diff x LPS .....(10)

เมื่อ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนแฝงจากอากาศที่ถ่ายเท (W)

3012 = ค่าคงที่ในการเปลี่ยนหน่วย เป็นหน่วยเมตริก

moisture diff = ผลต่างระหว่างไอน้ำในอากาศภายนอกและภายในห้อง Kg. Vapor /Kg.of dry air

ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าภาระความเย็น (Cooling Load) เพื่อการปรับอากาศ

2.6 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (The Evaluation of Building Envelope Thermal Performance)

การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารนั้น เป็นการหาการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV ย่อมาจาก Overall Thermal Transfer Value) และหลังคา (RTTV ย่อมาจาก Roof Thermal Transfer Value) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อนซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกและปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเทผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร หลักการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนี้อาศัยทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งพิจารณาว่าความร้อนที่ผ่านกรอบของอาคารเข้าสู่บริเวณภายในนั้นประกอบด้วยความร้อน 3 ส่วนคือ

ก. ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังทึบ

ข. ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจก

ค. ความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก

เมื่อนำค่าความร้อนทั้ง 3 ส่วนมาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่ก็จะได้เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ว่า

$$OTTV = \frac{A_w \times U_w \times TD_{eq}) + (A_f \times U_f \times \Delta T) + (A_f \times SC \times SF)}{A_0} \quad \ldots\ldots(1)$$

เมื่อ OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (W/m^2)

A_w คือ พื้นที่ของผนังทึบ (m^2)

U_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (W/m^2K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TD_{eq} คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference, K)

A_f คือ พื้นที่ของกระจก (m^2)

U_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (W/m^2K)

ΔT คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร (Temperature Difference, K)

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)

SF คือ ค่า Solar Factor (W/m^2)

A_0 คือ พื้นที่รวมทั้งหมด

$A_0 = A_w + A_f$ .....(2)

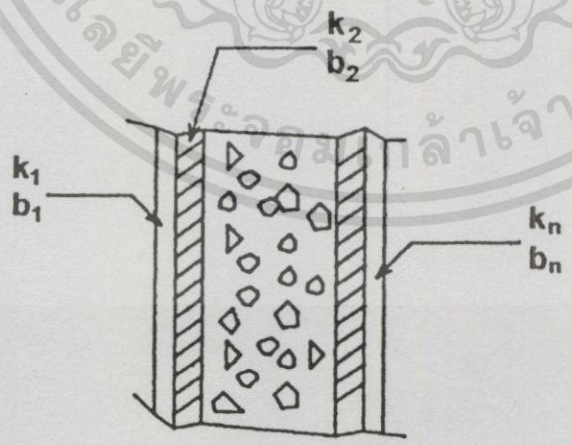
1. **การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)**

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม อาศัยหลักการพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนซึ่งสามารถเขียนสมการเพื่อการคำนวณได้เป็น

$$U = \frac{1}{R_t} \quad \text{.....(3)}$$

เมื่อ R_t คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง $(W/m^2K)^{-1}$

โดยทั่วไปผนังอาคารนั้นประกอบด้วยวัสดุมากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบของผนังอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R_t จะสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R_t = R_0 + \frac{b_1}{K_1} + \frac{b_2}{K_2} + \ldots\ldots\frac{b_n}{K_n} + R_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

เมื่อ R_0 คือ ความต้านทางความร้อนของอากาศที่ผิวด้านนอกของผนังอาคาร $(W/m^2K)^{-1}$

R_1 คือ ความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิวด้านในของผนังอาคาร $(W/m^2K)^{-1}$

B คือ ความหนาของวัสดุ (m)

K คือ สัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุ (W/mK)

N คือ จำนวนชนิดของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังอาคาร

ค่าของ R_0, R_1 และ K ของวัสดุชนิด ต่าง ๆแสดงในภาคผนวก ข.

2. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)

สัมประสิทธิ์การบังแดดเป็นอัตราส่วนระหว่างความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารทางหน้าต่างต่อความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใสหนา 3 มม .ที่ไม่มีการบังแดด

โดยปกติหน้าต่างของอาคารทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระจกและส่วนที่เป็นอุปกรณ์บังแดดดังนั้นการคำนวณหาสัมประสิทธ์การบังแดดจึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกและของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$SC = SC_1 \times SC_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

เมื่อ SC_1 = เป็นสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

SC_2 = เป็นสัมประสิทธิ์การบังแดของอุปกรณ์บังแดด

2.1 สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC_1)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกเป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตกระจกซึ่งทำการประเมินที่แสงอาทิตย์ตกกระทบทำมุกกับกระจก 45^0 จากแนวตั้งฉาก ดังแสดงในภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดนั้น มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปกรณ์บังแดด อย่างไรก็ตามจะสามารถคำนวณได้โดยอาศัยนิยามพื้นฐานของสัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งสมการคำนวณเขียนได้ดังนี้

$$SC = \frac{(A_e \times I_D)+(A \times I_D)}{A \times I_t} \quad \text{.....(6)}$$

$$= \frac{(G \times I_D) + I_D}{I_t}$$

เมื่อ G = อัตราส่วนของพื้นที่ที่โดนแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด = A_e / A

A_e = พื้นที่ของกระจกส่วนที่โดนแสง (m^2)

A = พื้นที่ของกระจก (m^2)

I_D = ฟลักซ์ของรังสีตรงอาทิตย์ (W/m^2)

I_D = ฟลักซ์ของรังสีกระจายอาทิตย์ (W/m^2)

I_t = ฟลักซ์ของรังสีรวมอาทิตย์ (W/m^2)

2.3 การคำนวณค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

โดยปกติการถ่ายเทความร้อนในสภาวะคงที่ (Steady State Heat Transfer) จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสองบริเวณ ซึ่งจะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$q = A \times U \times \Delta T \quad \text{.....(7)}$$

เมื่อ q เป็นความร้อนที่ถ่ายเท (W)

A เป็นพื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อน (W)

U เป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2C)

ΔT เป็นผลต่างของอุณหภูมิตัวกลางระหว่างสองบริเวณ (^oC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์

คือ ค่าของผลจากฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหน้าต่าง ค่านี้ได้จากผลการวัดรังสีอาทิตย์ระยะยาวทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย และได้จัดทำไว้สำหรับผนังในทิศต่างๆค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์สำหรับผนังแนวตั้งในทิศต่าง ๆคือ

$$SF = 160\ W/m^2 \quad \text{.....(8)}$$

ตัวประกอบรังสีอาทิตย์สำหรับผนังมุมเอียงในทิศต่าง ๆมีค่าไม่เท่ากันและคำนวณได้จาก

$$SF = (160)(CF)\ W/m^2 \quad \text{..... (9)}$$

โดยที่ CF = ค่าตัวประกอบแท้ (correction factor) สำหรับผนังมุมเอียงหนึ่ง ๆ ในทิศหนึ่ง ๆ ซึ่งหาได้จากตารางในภาคผนวก

สำหรับการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) สามารถคำนวณได้ จากสมการดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_r \times U_r \times TD_{eq}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_s \times SC \times SF)}{A_0} \quad \text{.....(10)}$$

เมื่อ RTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (W/m^2)

A_r คือ พื้นที่ของหลังคือส่วนทึบ (m^2)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบ (W/m^2K)

TD_{eq} คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference) ระหว่างภายนอกและภายใน (K)

A_s คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนโปร่งแสง (ช่องรับแสง) (m^2)

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนโปร่งแสง (ช่องรับ แสง)(W/m^2K)

ΔT คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย=5^0C

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหลังคาส่วนโปร่งแสง (ช่องรับแสง)

SF คือ ค่า Solar Factor (W/m^2)

A_0 คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของหลังคา (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร OTTVEE Version 1.0 a.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) โดยใช้หลักการและทฤษฎีการคำนวณที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้รับการออกแบบโปรแกรมโดย สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประมวลผลของโปรแกรม

2.6.1 การคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และ (RTTV)

2.6.2 การคำนวณการใช้พลังงานของอาคาร

2.6.3 การวิเคราะห์การลงทุน

2.8 กฎกระทรวงว่าด้วยกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. 2538) อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 และมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ว่าด้วยกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้กำหนดดังนี้

อาคารเก่า หมายความว่า อาคารที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จหรือกำลังก่อสร้างหรือยังไม่ได้ก่อสร้างแต่ได้ยื่นขออนุญาตก่อสร้างไว้ก่อนวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนด

อาคารใหม่ หมายถึง อาคารที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้างหลังวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนด

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ
    1.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่าจำ ต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตรของหลังคา
    1.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศจะต้องมีดังต่อไปนี้
        ก. สำหรับอาคารใหม่ ไม่เกินกว่า 45 วัตต์ ต่อตารางเมตร ของผนังด้านนอก
        ข. สำหรับอาคารเก่า ไม่เกินกว่า 55 วัตต์ ต่อตารางเมตร ของผนังด้านนอก
2. มาตรฐานการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในอาคารและมาตรฐานการปรับอากาศในอาคาร
3. หลักเกณฑ์ในการประเมินหาค่าการถ่ายเทความร้อนค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างในอาคารและค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากดังกล่าวข้างต้นเป็นส่วนหนึ่งที่นำมาใช้ของกฎกระทรวง (พ.ศ. 2538) ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ 2535 สำหรับรายละเอียดและวิธีการคำนวณหาค่าต่าง ๆ จะมีข้อกำหนดอยู่ในกฎกระทรวงฉบับนี้ทั้งหมด

2.9 หลักทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงอาคาร

กิจกรรมที่มนุษย์ดำเนินอยู่ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทั้งสิ้น ด้วยเหตุนี้เองจึงต้องมีการพัฒนาวิธีการผลิตพลังงานเพื่อให้ได้พลังงานมากที่สุด โดยลงทุนน้อยที่สุด แต่ได้รับผลตอบแทนมากที่สุด การลงทุนเพื่อผลิตหรือพัฒนาวิธีการใช้พลังงาน จะต้องตัดสินใจด้วยเหตุผลหลายด้าน เศรษฐศาสตร์เป็นเหตุผลหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินใจ โดยโครงการปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน จะต้องคำนึงถึง อัตราผลตอบแทน หรือ ROR (Rate of return) โดยโครงการปรับปรุงอาคาร จะคำนวณค่า ROR ในรูปของ EIRR (Real Economic Internal Rate of Return) เมื่อได้ค่า EIRR แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ อัตราผลตอบแทนที่จูงใจซึ่งต่ำที่สุด หรือ MARR (Minimum Attractive Rate of Return) โดย MARR ก็คือ ค่ากำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานการตัดสินใจ ค่า EIRR ที่คำนวณได้ควรจะมากกว่าค่า MARR จึงจะมีการลงทุนในมาตรการนั้น

การหาค่า MARR ทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับนโยบายของแต่ละโครงการและแต่ละบริษัท

1. ให้ MARR เท่ากับ อัตราดอกเบี้ยที่พึงได้รับจากการฝากเงินในธนาคาร (เปรียบเทียบว่า ควรนำเงินไปฝากธนาคาร หรือ ลงทุนในมาตรการประหยัดพลังงาน)
2. ในภาคธุรกิจเอกชน อาจหาผลตอบแทนเฉลี่ยในทุกด้านของบริษัทที่ได้รับ แล้วตั้งค่า MARR
3. กำหนดค่า MARR ในระดับสูง เพื่อเป็นเป้าหมายส่งเสริมให้มีการหาลู่ทาง ที่ทำให้มีกำไรมากกว่า และเป็นการทดแทนจากการเสี่ยงที่ต้องลงทุนมาก

โครงการอาคารธนาคารทหารไทย สาขาสำนักงานใหญ่ เลือกใช้ค่า MARR ที่ 9% (เช่นเดียวกับอาคารของรัฐ) เพื่อเปรียบเทียบกับค่า EIRR ที่คำนวณได้ในแต่ละมาตรการ โดยมาตรการที่มีค่า EIRR มากก็ควรจะถูกเลือกเป็นอันดับแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 วิธีคิดผลประหยัดแต่ละมาตรการจะถูกใช้ในโครงการปรับปรุงอาคาร

ผลประหยัดที่คำนวณได้จากแต่ละมาตรการ จะถูกใช้เป็นข้อมูลด้านผลตอบแทน เพื่อคำนวณค่า EIRR ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึง เพียงมาตรการในส่วนที่ทำการศึกษา คือ ส่วนของกรอบอาคารเท่านั้น

การบุฉนวนกันความร้อนผนังและการติดตั้งฟิล์มกรองแสง (OTTV)

ผลประหยัด (kW.hr/year)

= ผลต่าง Overall thermal transfer value: OTTV ก่อนและหลังปรับปรุง (W/m^2) x พื้นที่กรอบอาคาร (m^2) x3.414 (Btu/hr/W) x 1/12000 (ton/btu/hr) x อัตราการใช้ไฟฟ้าต่อปริมาณความเย็นที่ได้รับ (kW/ton) x %การทำงานคอมเพรสเซอร์ x ชั่วโมง (hr/day) x วัน (day/year)

การบุฉนวนกันความร้อนหลังคา (RTTV)

ผลประหยัด (kW.hr/year)

= ผลต่าง Roof thermal transfer value : RTTV ก่อนและหลังปรับปรุง (W/m^2) x พื้นที่ผิวหลังคาบริเวณปรับอากาศ (m^2) x 3.414 (Btu/hr/W) x1/12000(ton/Btu/hr) x อัตราการใช้ไฟฟ้าต่อปริมาณความเย็นที่ได้รับ(kW/ton) x % การทำงานคอมเพรสเซอร์ x ชั่วโมง (hr/day) x วัน (day/year)

2.9.2 หลักการเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณค่า EIRR

เนื่องจากการพิจารณาค่าของเงินนั้น ต้องบอกเวลาที่แน่นอนว่า ที่เวลาใด อัตราดอกเบี้ยเท่าไร อัตราเงินเฟ้อเท่าไร และอัตราภาษีเท่าไร

จากกฎของดอกเบี้ยทบต้น (Law of Compound Interest)

$$F = P(1+i)^n \quad \text{.....(a)}$$

F = ค่าเงินในปีที่ n

P = ค่าเงินปัจจุบัน

i = ค่าอัตราดอกเบี้ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่คิดดอกเบี้ยทบต้น ผลกระทบของภาษีและเงินเฟ้อ

$F = P(1+\theta)^n$

θ = อัตราดอกเบี้ยประกอบ

$$\theta = \frac{(1+t)\,i - \lambda}{1+\lambda} \quad \text{.....(b)}$$

λ = อัตราเงินเฟ้อ

t = อัตราภาษี

ในกรณีโครงการอาคารของรัฐ คิดเฉพาะ i โดย

i = 6.5% สำหรับอุปกรณ์ / เครื่องมือและค่าดำเนินการ

i = 4.5% สำหรับค่าพลังงาน (ปี คศ.2000 ขึ้นไป)

เพราะฉะนั้น

$F = P(1+0.065)$

$F = P(1+0.045)$ .....(c)

จากการแทนค่า i ลงในสมการ (c) พบว่าเทอมในวงเล็บสามารถหาค่าได้ที่ n = 0,1,2,3... ทำให้ทราบค่า F/P ดังสมการ (d)

$F/P = (1+0.065)$

$F/P = (1+0.045)$ .....(d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างค่า F/P ที่ใช้ในโครงการแสดงตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างค่า F/P ที่ i = 0.065 , i = 0.045

n	(F/P , 1% , n) i = 0.065	i = 0.045
0 : 2001	1.000	1.000
1 : 2002	1.065	1.045
2 : 2003	1.134	1.092
3 : 2004	1.208	1.141
4 : 2005	1.286	1.193
5 : 2006	1.370	1.246
6 : 2007	1.459	1.302
7 : 2008	1.553	1.360
8 : 2009	1.654	1.422
9 : 2010	1.762	1.486
10 : 2011	1.877	1.552

เพื่อให้เข้าใจวิธีการหา EIRR จึงจะอธิบายความหมาย ของค่าทางเศรษฐศาสตร์อีกค่าที่เป็นคู่กัน ซึ่งช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการลงทุนนั้น คือ ค่าเงินปัจจุบันสุทธิ = NPV (Net Present Value)

$$NPV = CF_0 + {}^{n}\Sigma_{n=1} CF_n (P/F , 1\% , n) \quad \text{.....(e)}$$

CF_0 = กระแสเงินสดปีที่ 0 (รายจ่ายที่เป็นทุน)

CF_n = กระแสเงินสดปีที่ n (Cash Flow of year n)

(P/E , 1% , n) = ส่วนกลับของ (F/P , 1% , n) ซึ่งแสดงตามตาราง

จากสมการ (e) แสดงให้เห็นว่า NPV ก็คือ การคิดรายรับและรายจ่ายทั้งหมดจากปีเริ่มต้น (ปีที่ 0) ถึงปีที่สิ้นสุด (ปีที่ n) ให้อยู่ในรูปค่าเงินปีที่เริ่มต้นโครงการ

EIRR ก็คือ ค่าอัตราดอกเบี้ยในสมการ (e) ที่ทำให้ NPV เป็นศูนย์ นั้นคือ

$$O = CF_0 + {}^{n}\Sigma_{n=1} CF_n (P/F , EIRR\% , n) \quad \text{.....(f)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPV เป็นศูนย์ หมายถึง เมื่อคิดรายรับและรายจ่ายจากปีเริ่มต้น (ปีที่ 0) จนถึงปีที่สิ้นสุด (ปีที่ n) ให้อยู่ในรูปค่าเงินปีเริ่มต้นโครงการ แล้วพบว่าส่วนของรายรับ เท่ากับ รายจ่าย นั้นคือ ได้รับทุนคืนหมดพอดี

สำหรับโครงการ อาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ ได้ใช้หลักการหาค่า EIRR ดังกล่าวมานี้ เพียงแต่คำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ OTTVEE Version 1.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

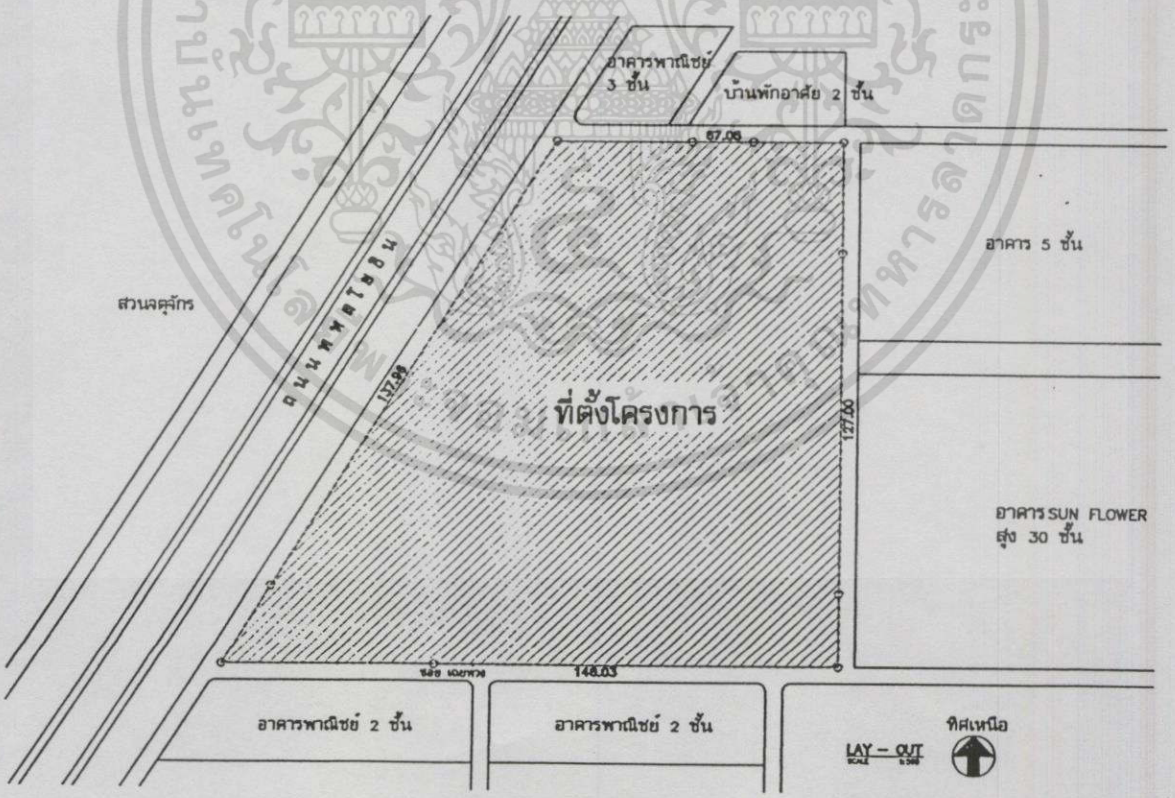
บทที่ 3
การศึกษาข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา

1.1 สภาพที่ตั้งอาคาร

อาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ ตั้งอยู่เลขที่ 3000 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ผังเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีด้านเฉียงของผังอาคารติดกับถนนพหลโยธิน เป็นอาคารประเภทสำนักงานมีจำนวน 34 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 74,521 ตารางเมตร พื้นที่โครงการประมาณ 27 ไร่ 29 ตารางเมตร พื้นที่โครงการประมาณ 27 ไร่ 29 ตารางวา

บริเวณที่ตั้งโครงการมีอาคารข้างเคียงและถนน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ทิศเหนือ	ติดกับอาคารพาณิชย์ 4 ชั้น และบ้านพักอาศัย 2 ชั้น
ทิศใต้	ติดกับซอยเฉยพ่วง และอาคารพาณิชย์ 2 ชั้น
ทิศตะวันออก	ติดกับอาคาร Sun Flower สูง 30 ชั้น
ทิศตะวันตก	ติดกับถนนพหลโยธิน



รูปที่ 3.1 แสดงสภาพที่ตั้งอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรม

3.2.1 **ลักษณะของอาคารธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)** ประกอบด้วยอาคารหลัก (อาคารA) มีความสูง 34 ชั้น (Podium ชั้นที่ 1 – 7, Tower ชั้นที่ 8 – 34) และมีอาคารจอดรถมีความสูง 7 ชั้น ซึ่งต่อเติมเป็นส่วนสำนักงาน (อาคาร B) อีก 6 ชั้น (ชั้น 8 - 13)

ลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคาร

จำนวนผู้ใช้พื้นที่	3,800	คน
พื้นที่รวมทั้งหมด	100,977	$ม^2$
แบ่งเป็น		
* พื้นที่ใช้สอยรวม (อาคาร A +B)	74,521	$ม^2$
* พื้นที่จอดรถ	26,456	$ม^2$
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (อาคาร A)	10,279	$ม^2$
พื้นที่ปรับอากาศ (อาคาร A)	54,859	$ม^2$
พื้นที่ใช้สอยรวม (อาคาร A)	65,138	$ม^2$

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดการแบ่งพื้นที่ใช้สอยของอาคาร

ชั้น	การแบ่งพื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ปรับอากาศ (M^2)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (M^2)	รวม
อาคาร A				
B	เก็บของ	1,264	960	2,224
1	การเงิน, เก็บเงิน, สำนักพหลโยธิน, รักษาความปลอดภัย	4,058	285	4,343
G	สินเชื่อทั่วไป, ฝากเงิน, ยานพาหนะ, (P2), ห้องเอกสาร	1,756	459	2,245
3	ฝ่ายการต่างประเทศ, สำนักงานปริวรรตเงิน	2,450	459	2,909
4	ฝ่ายธนบดีธนกิจ, ฝ่ายปฏิบัติการสินเชื่อ	2,320	459	2,779
5	ห้องอบรม, สำนักงานบัตรเครดิต, ศูนย์จัดการทรัพย์สิน	2,253	248	2,501
6	ห้องกีฬา, ห้องสมุด, สหกรณ์, เงินฝาก, ห้องอาหาร	3,900	630	4,503
7	กลุ่มบำรุงรักษาอาคาร (ห้องเช่า), ห้องเครื่อง Auditorium	2,032	1,658	3,690
8	ฝ่ายคอมพิวเตอร์	1,434	208	1,642
9	ฝ่ายคอมพิวเตอร์	1,434	208	1,642

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ชั้น	การแบ่งพื้นที่ใช้สอย	พื้นที่ปรับอากาศ (M^2)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (M^2)	รวม
อาคาร A				
10	ฝ่ายบริหารเงินและลงทุน	1,434	208	1,642
11	ฝ่ายสินเชื่ออุตสาหกรรม, ฝ่ายสินเชื่อโครงการ	1,434	208	1,642
12	ฝ่ายสินเชื่อบุคคลและสินเชื่อสู่ชนบท, ฝ่ายสินเชื่อพาณิชยกรรม	1,434	208	1,642
13	ฝ่ายบริการสินเชื่อ	1,434	208	1,642
14	ฝ่ายหนี้สินและนิติกร	1,434	208	1,642
15	ฝ่ายโฆษณาประชาสัมพันธ์, ฝ่ายสินเชื่อก่อสร้าง	1,410	208	1,642
16	ฝ่ายสินเชื่อธุรกิจอสังหาริมทรัพย์, ฝ่ายประเมินหลักทรัพย์	1,463	208	1,642
17	ฝ่ายการพนักงาน, ห้องพยาบาล	1,463	218	1,681
18	โถงพักคอย, ห้องอบรม, สำนักงานพัฒนาบุคคล	1,463	218	1,681
19	ห้องอบรม/สัมมนา	1,463	218	1,681
20	ฝ่ายอาคาร, ศูนย์ T"Q"S	1,463	218	1,681
22	ฝ่ายการบัญชี, ฝ่ายกิจการสาขาต่างประเทศและวิเทศน์สัมพันธ์	1,463	218	1,681
23	ฝ่ายการบัญชี	1,463	218	1,681
24	ฝ่ายธุรการ	1,463	218	1,681
25	ฝ่ายอำนวยการสาขา 1-8	1,463	218	1,681
26	ฝ่ายตรวจสอบ	1,463	218	1,681
27	ฝ่ายแผนและงบประมาณ	1,463	218	1,681
28	ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่/ที่ปรึกษาธนาคาร	1,411	218	1,629
29	ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการใหญ่	1,463	218	1,681
30	กรรมการรองผู้จัดการใหญ่อาวุโส, รองกรรมการผู้จัดการใหญ่	1,470	204	1,674
31	กรรมการผู้จัดการใหญ่, ห้องประชุมใหญ่, ห้องรับรอง	1,478	211	1,689
	รวม	54,859	10,279	65,138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 **ระบบโครงสร้าง** ใช้ระบบเสา-คาน และพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป

3.2.3 **ระบบไฟฟ้า** อาคารธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่) ซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง จัดเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่โดยซื้อไฟฟ้าในระดับแรงดัน 12 KV. แปลงเป็นแรงดันต่ำ 416/240 V โดยใช้หม้อแปลงขนาด 2500 KVA จำนวน 2 ลูก และขนาด 2500 KVA จำนวน 2 ลูก ระบบการจ่ายภาระการใช้ไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ มีการแบ่งได้ดังนี้

- หม้อแปลงลูกที่ 1 ขนาด 2500 KVA จ่ายไฟฟ้าให้กับ เครื่องทำน้ำเย็น
- หม้อแปลงลูกที่ 2 ขนาด 2500 KVA จ่ายไฟฟ้าให้กับ ปั๊มน้ำมัน ปั๊มน้ำระบายความร้อน หอผึ่งน้ำ และเครื่องส่งลมเย็น
- หม้อแปลงลูกที่ 3 และ 4 ขนาด 2,000 KVA จ่ายไฟฟ้าให้กับระบบแสงสว่าง ปลั๊กโหลด และระบบอื่น ๆ

สำหรับระบบไฟฟ้าสำรองฉุกเฉิน ได้ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองชนิด Diesel Engine ขนาด 758 KVA จำนวน 2 เครื่อง ใช้งานเฉพาะช่วงไฟฟ้าดับเท่านั้น

3.2.4 **ระบบแสงสว่าง** ระบบแสงสว่างภายในอาคารส่วนใหญ่ใช้โคมไฟฟ้าชนิด 2 หลอด/โคม และชนิด 3 หลอด/โคม ใช้หลอดฟลูออร์เรสเซนต์ขนาด 20 และ 40 วัตต์, บัลลาสต์ชนิด Rapid Star

3.2.5 **ระบบปรับอากาศ** ระบบปรับอากาศของอาคารประกอบด้วยระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดใช้เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำและเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน มีรายละเอียดดังนี้

3.2.5.1 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของอาคารประกอบได้ด้วยอุปกรณ์หลัก ดังนี้

1.1 เครื่องทำน้ำเย็น เป็นแบบ Hermetic Centrifugal Chiller ขนาดความเย็น 300 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง และขนาดความเย็น 750 ตันความเย็น จำนวน 4 เครื่อง ในภาวะปกติจะเดินเครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 750 ตันความเย็น 3 เครื่อง
(8:00 น. ถึง 17:00 น.) ถ้าในภาวะที่มีภาระ (Cooling load) น้อย เช่นช่วงฤดูหนาวจะเดินเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 75 ตันความเย็น 2 เครื่อง ร่วมกับขนาด 300 ตันความเย็น 1 เครื่อง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเย็นที่ต้องการ

1.2 ระบบน้ำเย็น เป็นระบบปริมาณการไหลคงที่ (Constant Water Volume,CWV) ประกอบด้วยปั๊มน้ำเย็น ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 93.25 kW จำนวน 4 เครื่องและในช่วงหลังเวลาทำงานปกติจะเดินเครื่องขนาด 93.25 kW จำนวน 2 เครื่อง

1.3 ระบบน้ำระบายความร้อนประกอบด้วยปั๊มน้ำระบายความร้อนขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 55.95 kW จำนวน 5 เครื่อง และขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 22.38 kW จำนวน 1 เครื่อง ในช่วงภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติจะเดินเครื่องขนาด 55.95 kW จำนวน 4 เครื่อง และในช่วงหลังเวลาทำงานปกติจะเดินเครื่องขนาด 55.95 kW จำนวน 2 เครื่อง

สำหรับหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) มีจำนวน 5 เครื่อง ขนาด 1,000 ตันความเย็น ในช่วงภาวะปกติจะเดินจำนวน 4 เครื่อง และในช่วงหลงเวลาทำงานปกติจะเดินจำนวน 2 เครื่อง

1.4 ระบบส่งลมเย็น เป็นระบบปรับปริมาณลมได้ (Variable Air Volum, VAV) โดยจะมีเซนเซอร์ (VAV BOX) ซึ่งติดตั้งไว้ในแต่ละ zone ส่งสัญญาณไปควบคุม damper ของเครื่องส่งลมเย็นให้หรี่หรือปรับปริมาณลมตามภาระโหลด สำหรับ เครื่องส่งลมเย็น (Air-Handling Units) มีทั้งชนิดตั้งพื้น และ แบบเขวน มีจำนวนรวมทั้งสิ้น 164 เครื่อง

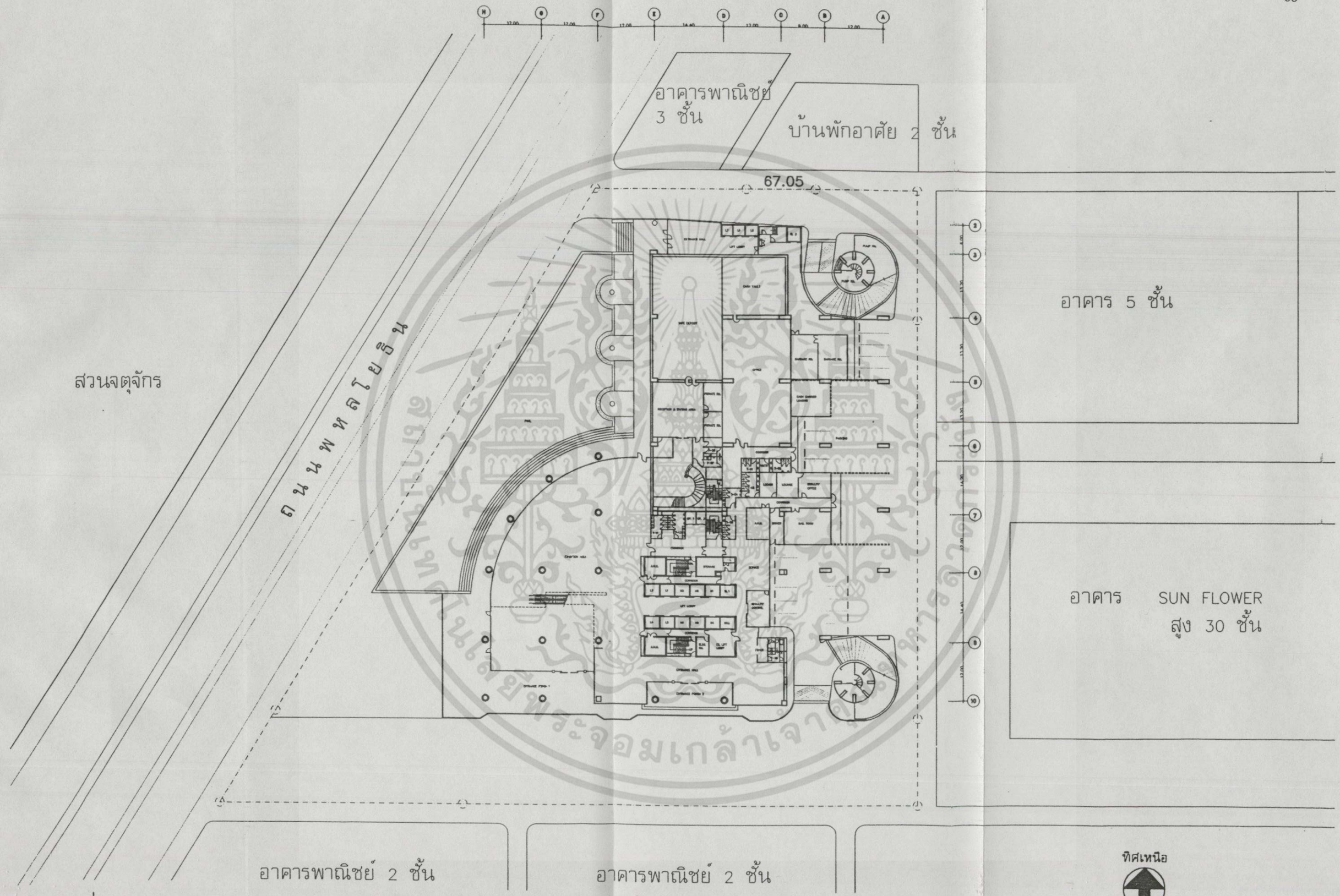
3.2.5.2 เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (Split Type Units)

อาคารมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนจำนวน 38 เครื่อง ขนาดพิกัดความเย็นรวม 95.0 ตัน ความเย็นในบริเวณที่ต้องการ การปรับอากาศตลอดเวลา เช่น ห้องควบคุม ห้องลิฟท์ ห้องศูนย์คอมพิวเตอร์ และที่มีการใช้งานไม่คงที่ เช่น ห้องเลี้ยงรับรอง ห้องประชุม และใช้ปรับอากาศเสริมบางห้องที่ระบบส่วนกลางจ่ายความเย็นให้ไม่เพียงพอ ตัวอย่างเช่น ห้องผู้บริหาร เป็นต้น

3.2.6 **ระบบประปา** ภายในโครงการใช้บริการของการประปานครหลวง โดยเชื่อมต่อกับท่อเมนขนาด 200 มม. ผ่านหน้าโครงการ

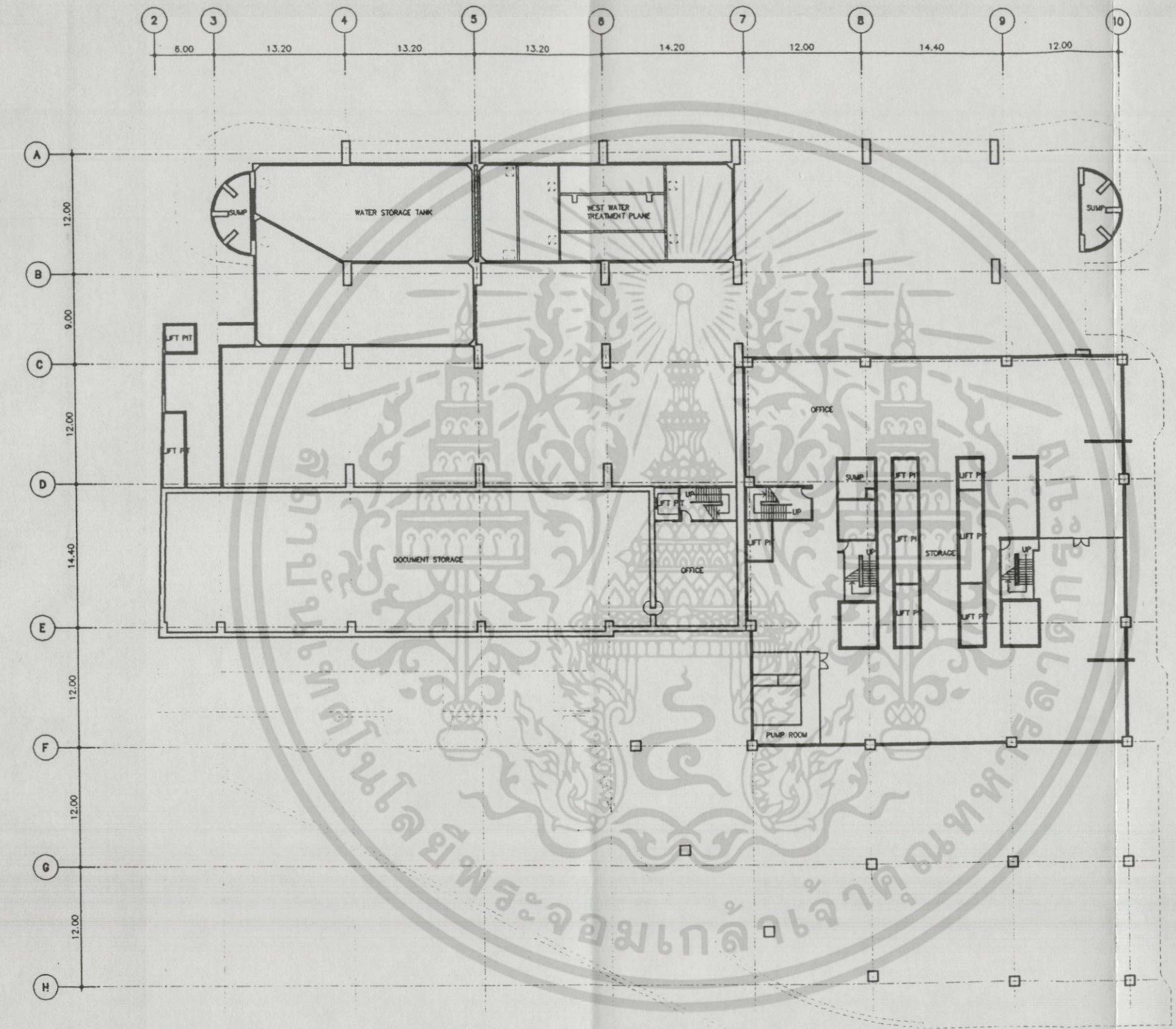
3.2.7 **ระบบโทรศัพท์** ใช้บริการขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงผังบริเวณ

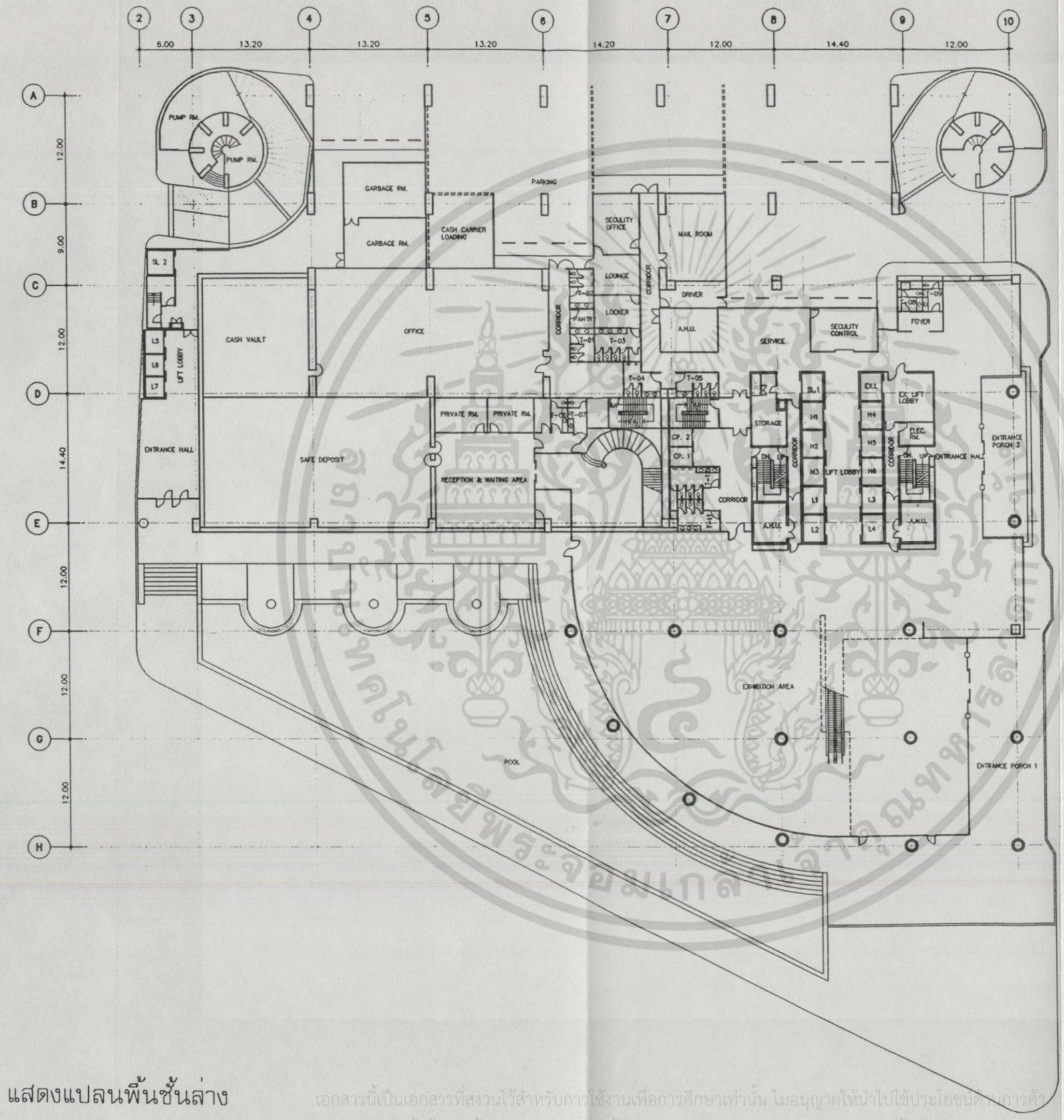
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



BASEMENT FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.3 แสดงแปลนพื้นชั้นใต้ดิน

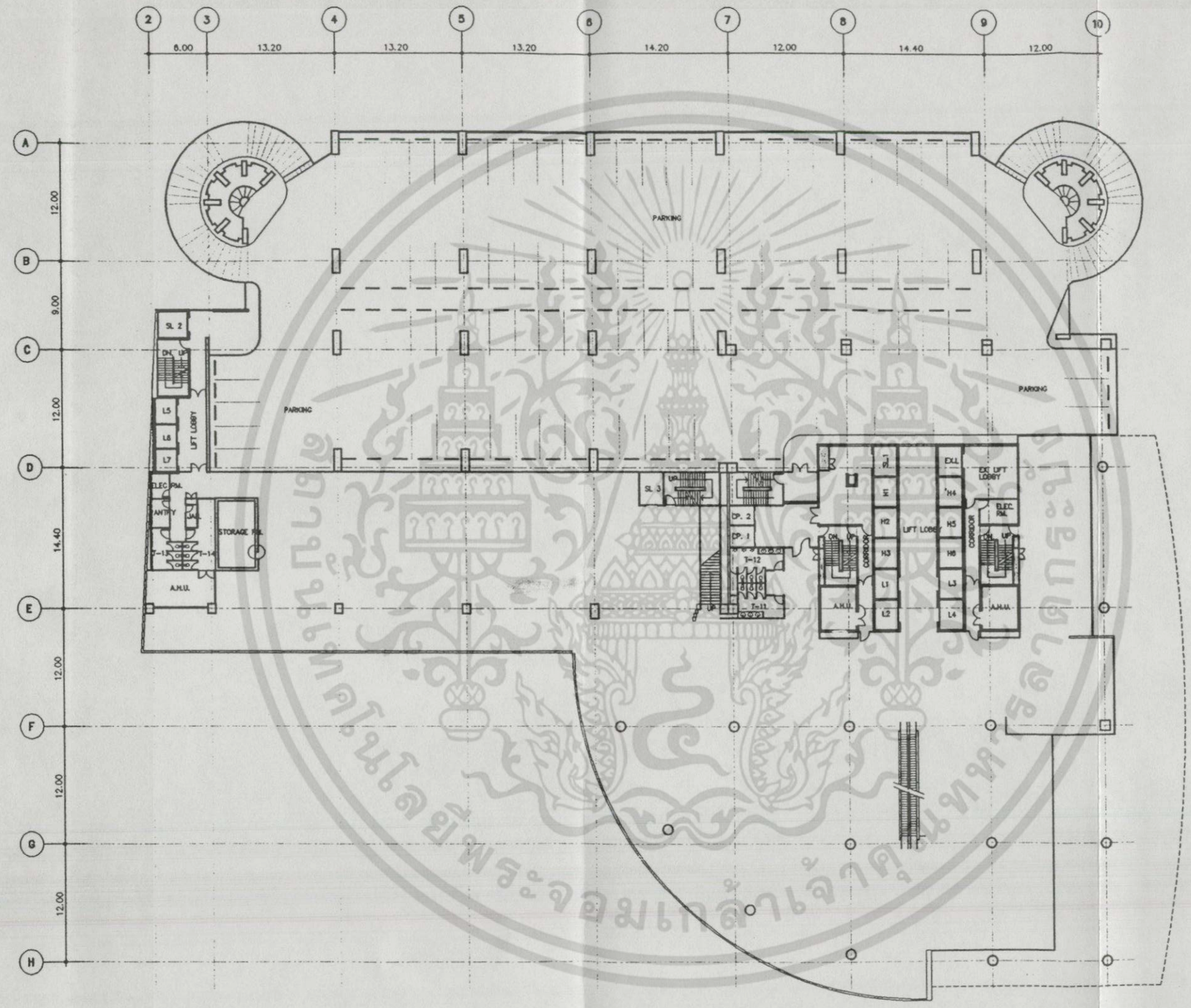
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



GROUND FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.4 แสดงแปลนพื้นชั้นล่าง

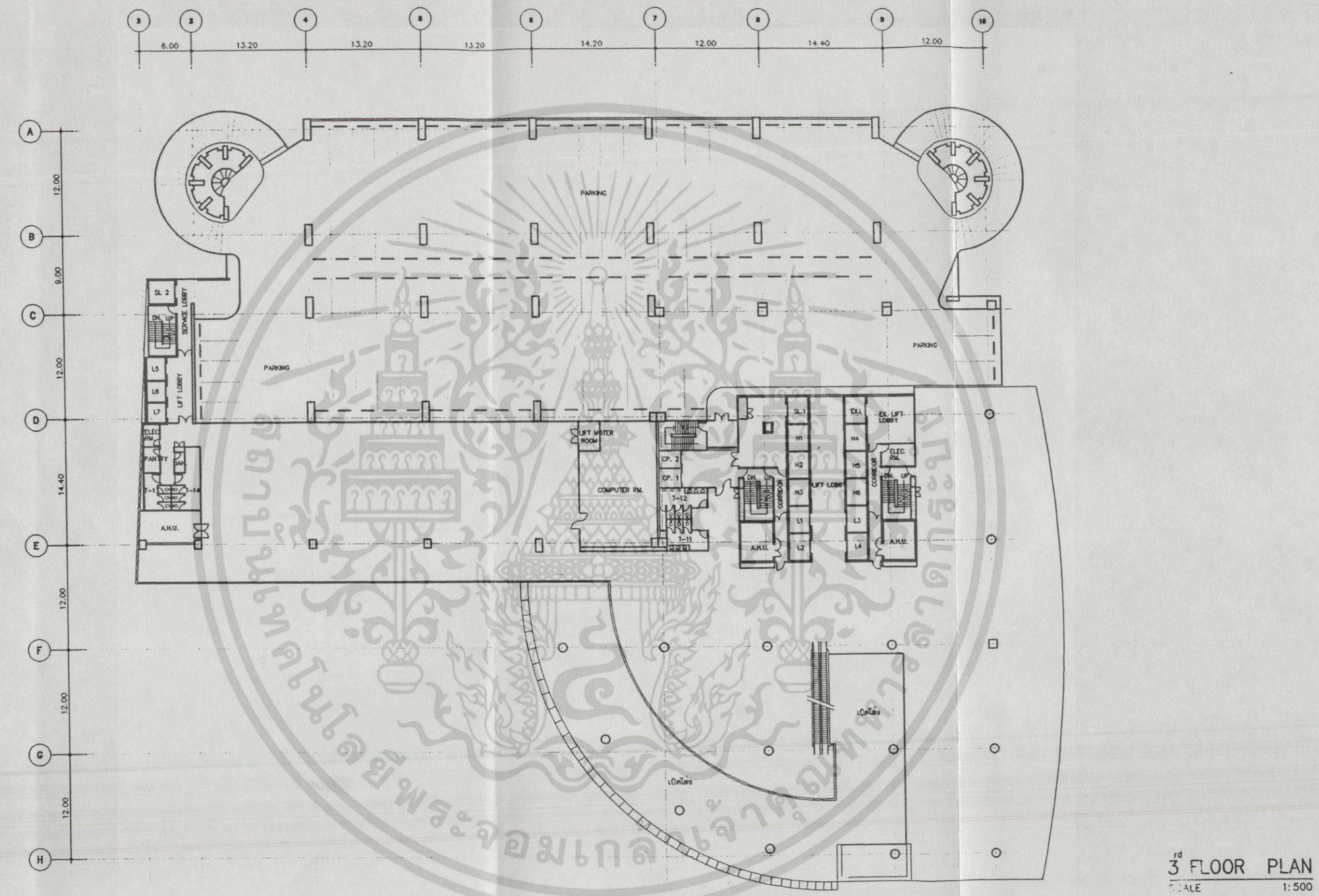
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2nd FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.5 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 2

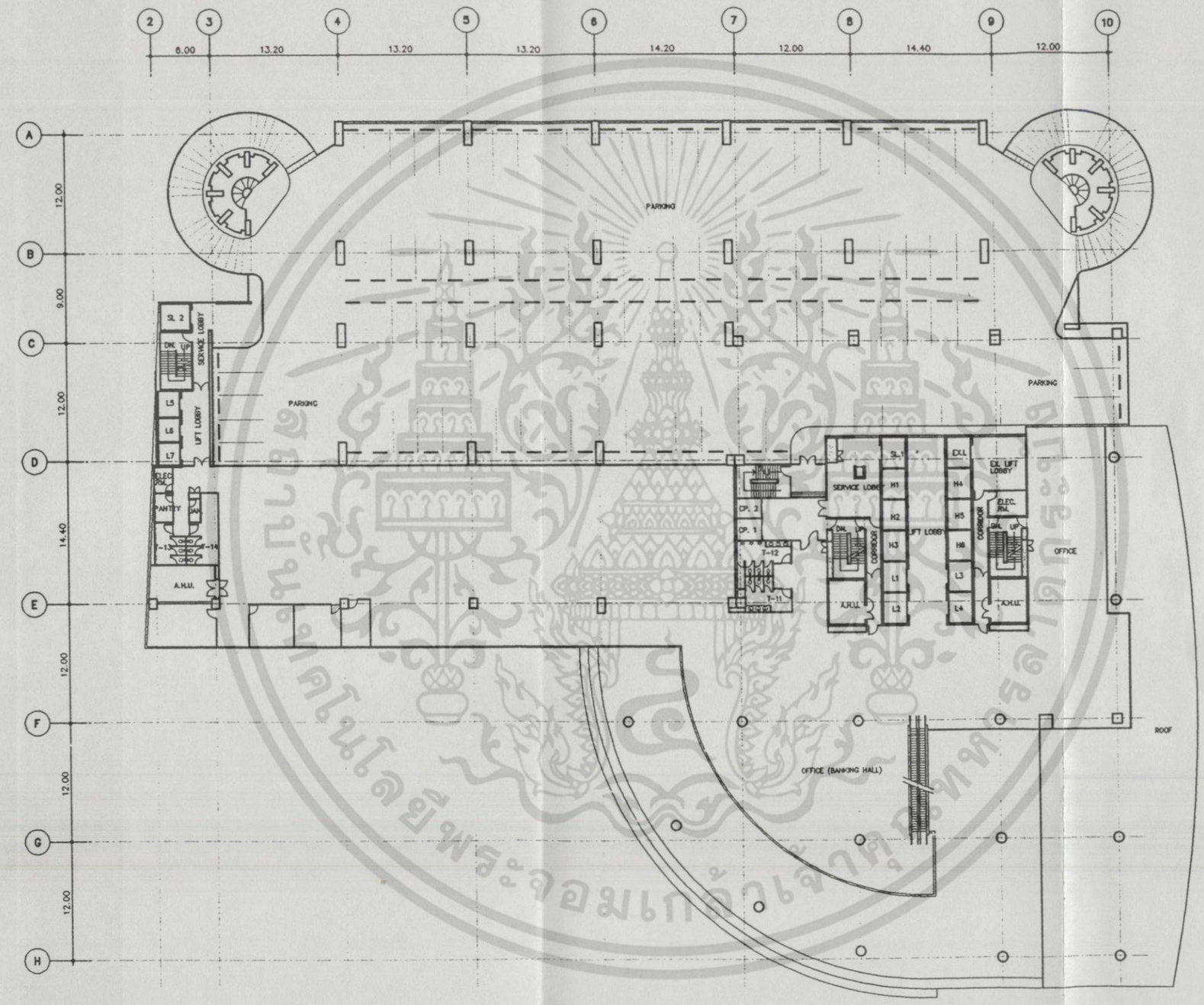
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3rd FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.6 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 3

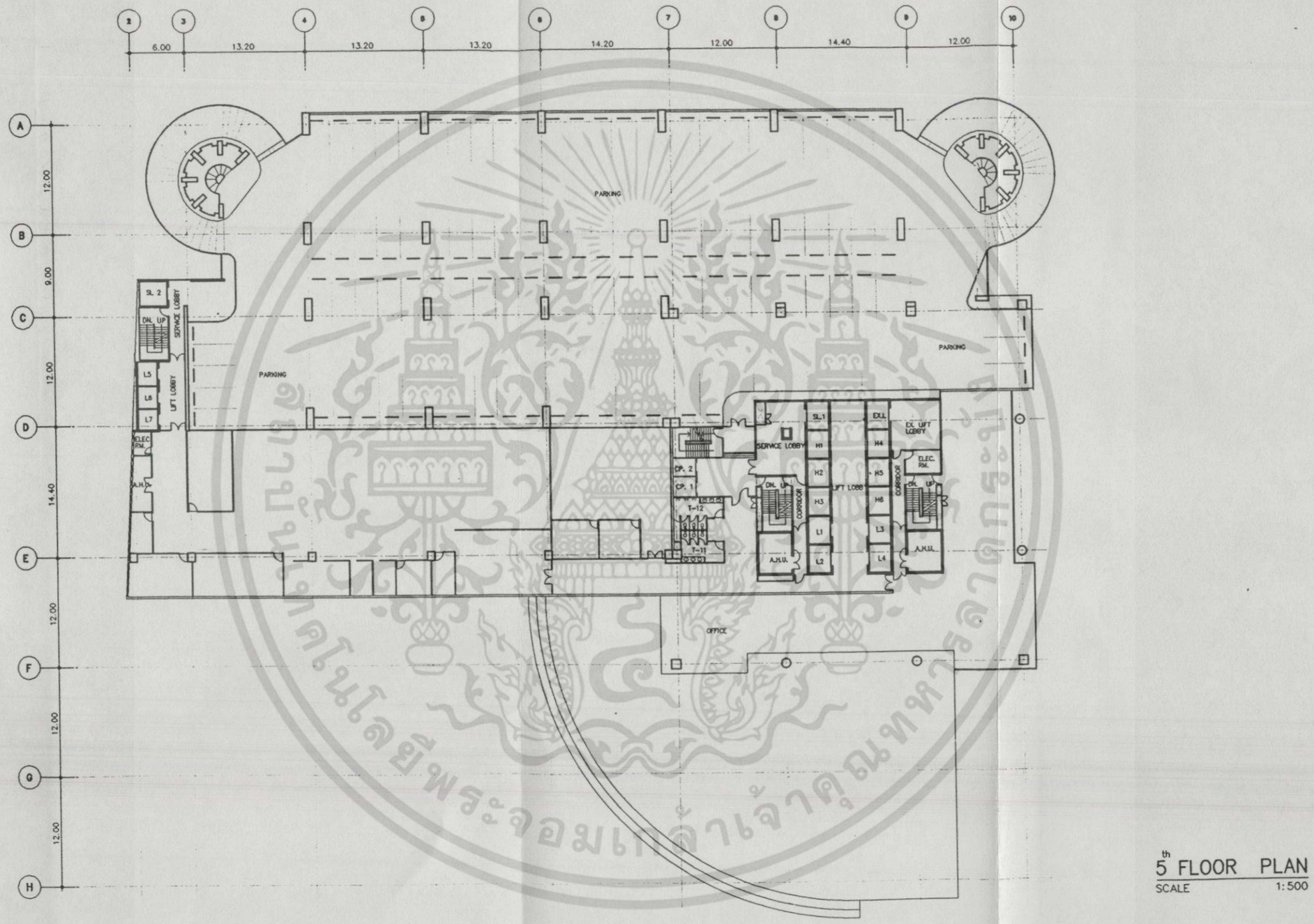
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.7 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 4

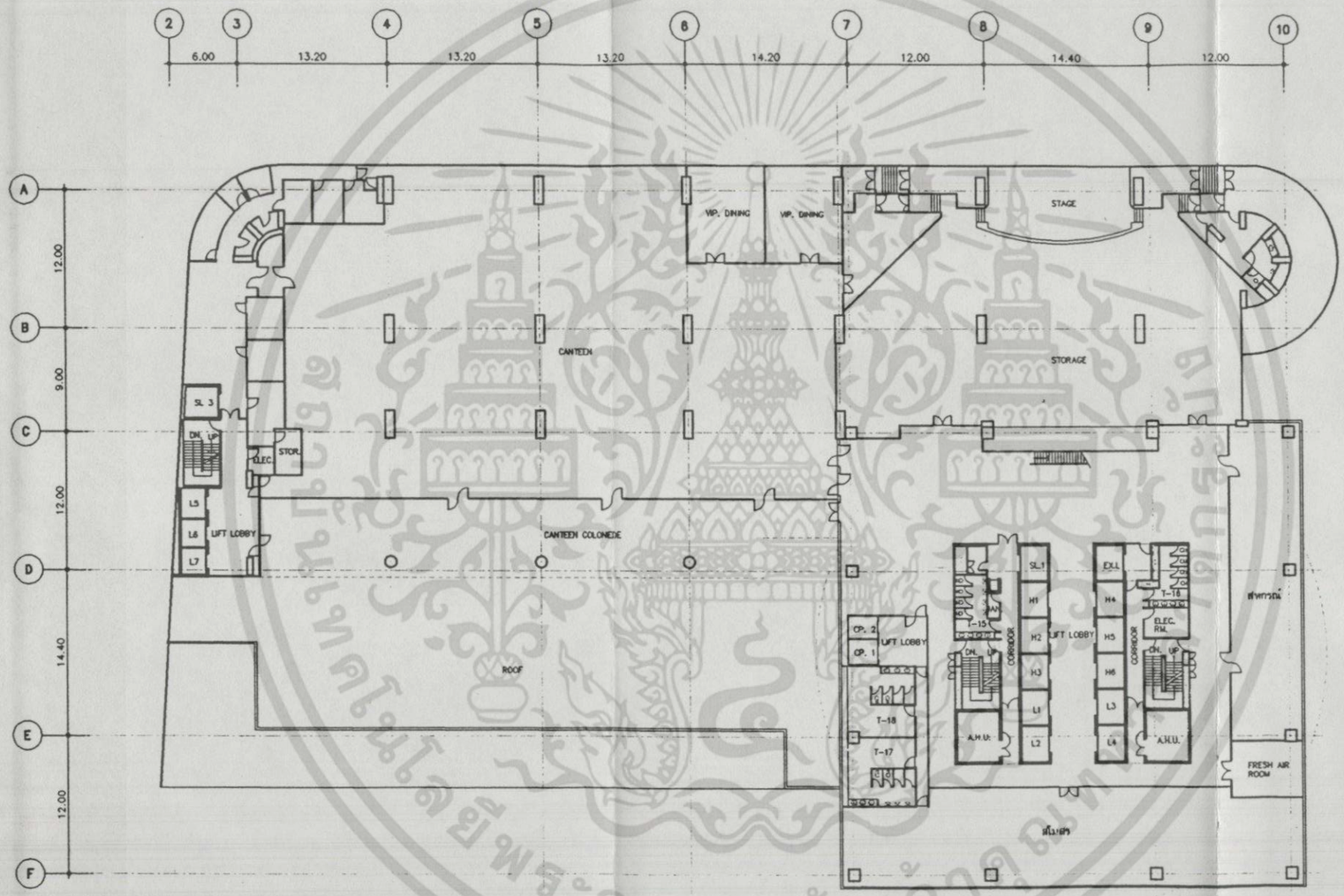
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.8 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 5

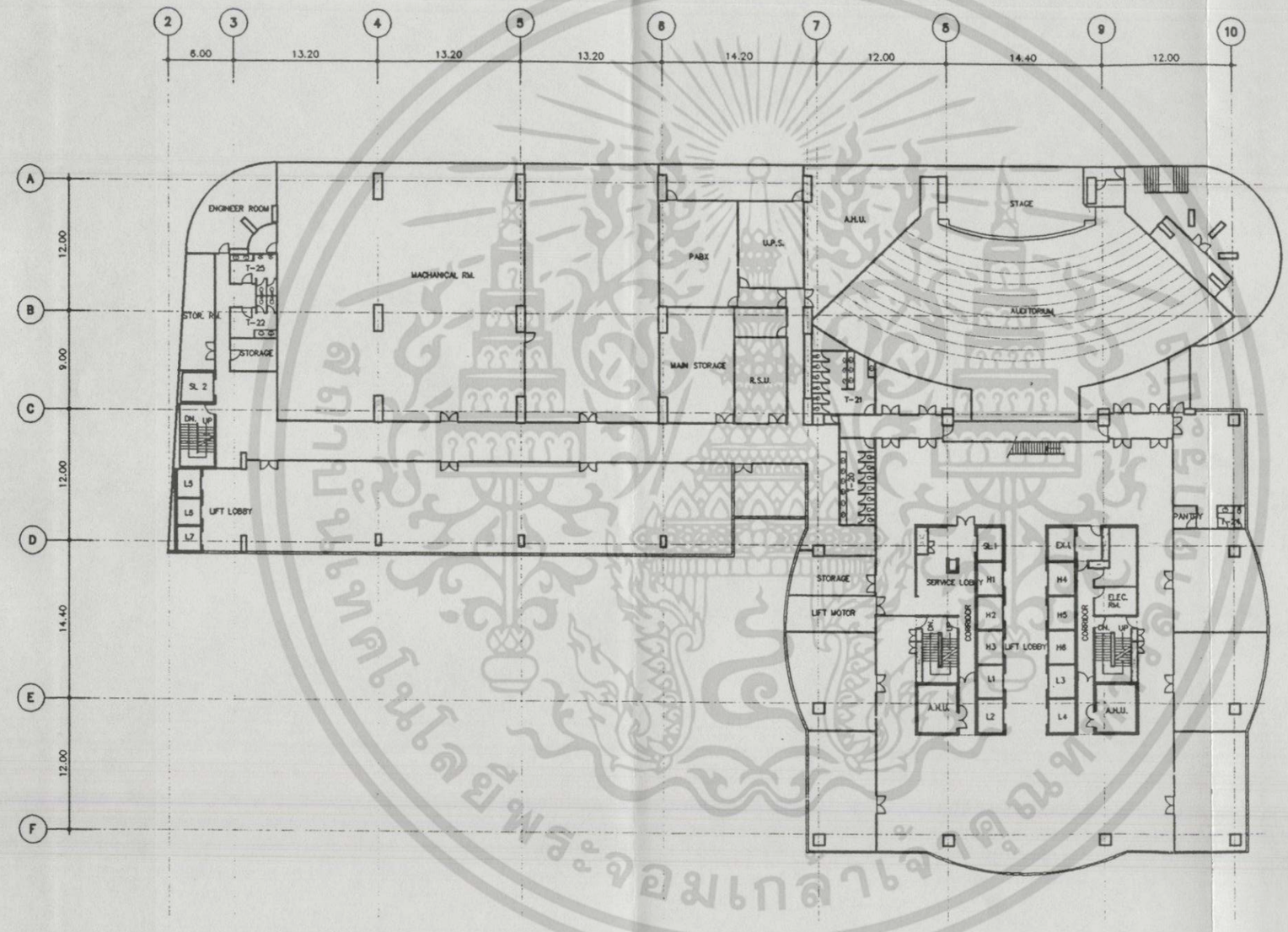
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.9 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 6

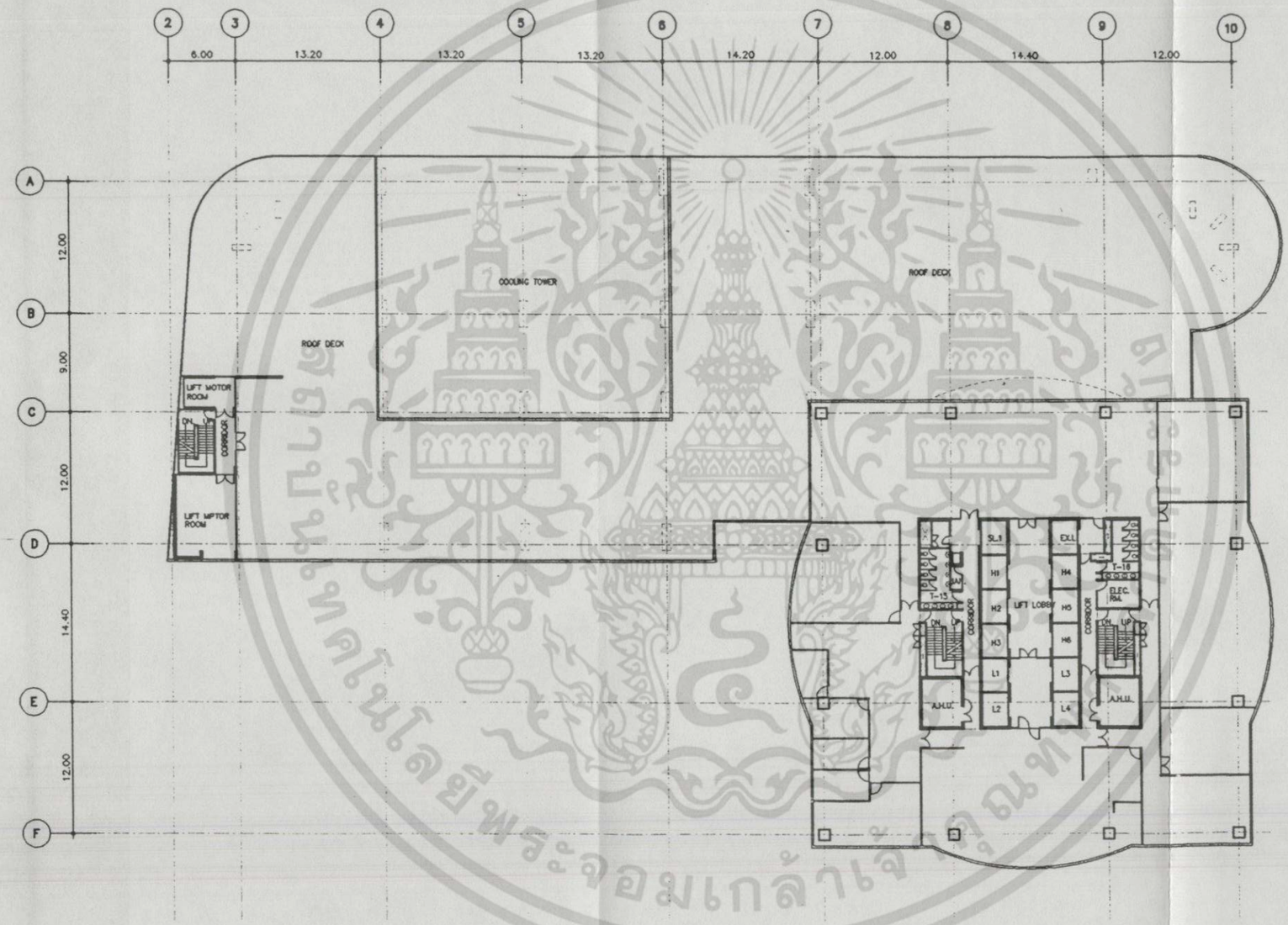
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



7th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.10 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 7

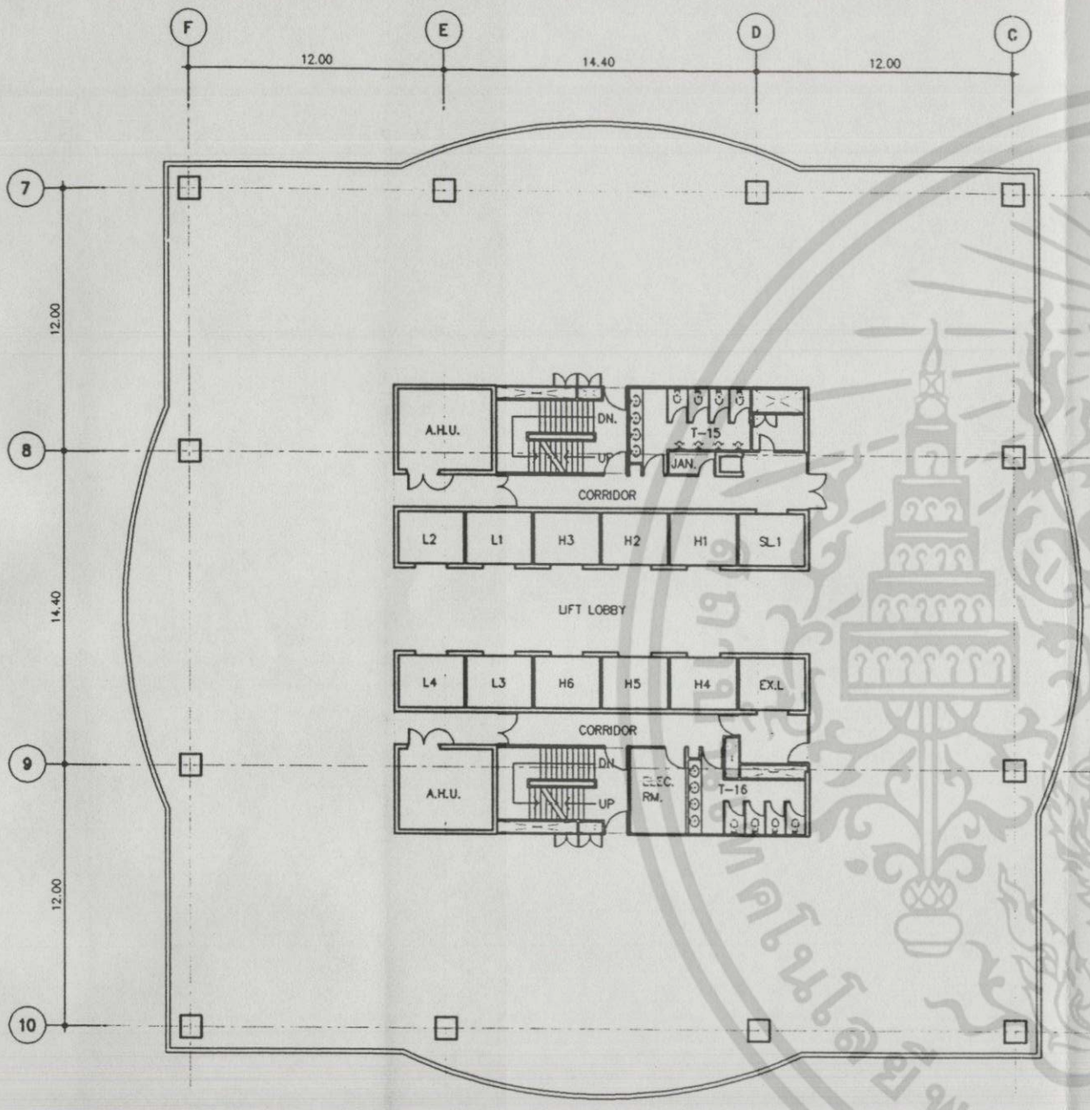
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.11 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 8

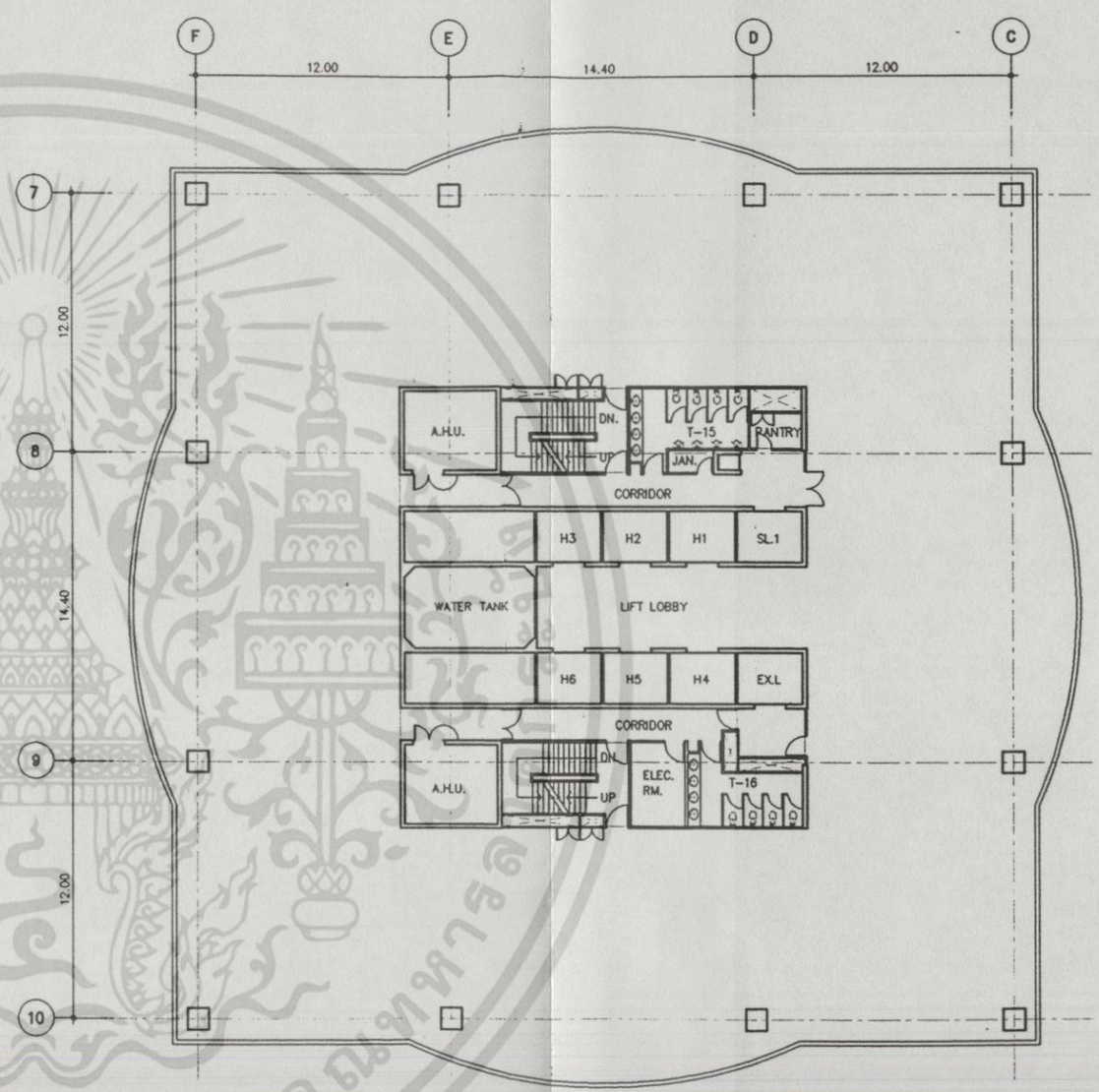
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



9th – 14th FLOOR PLAN

SCALE 1:500

รูปที่ 3.12 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 9–14

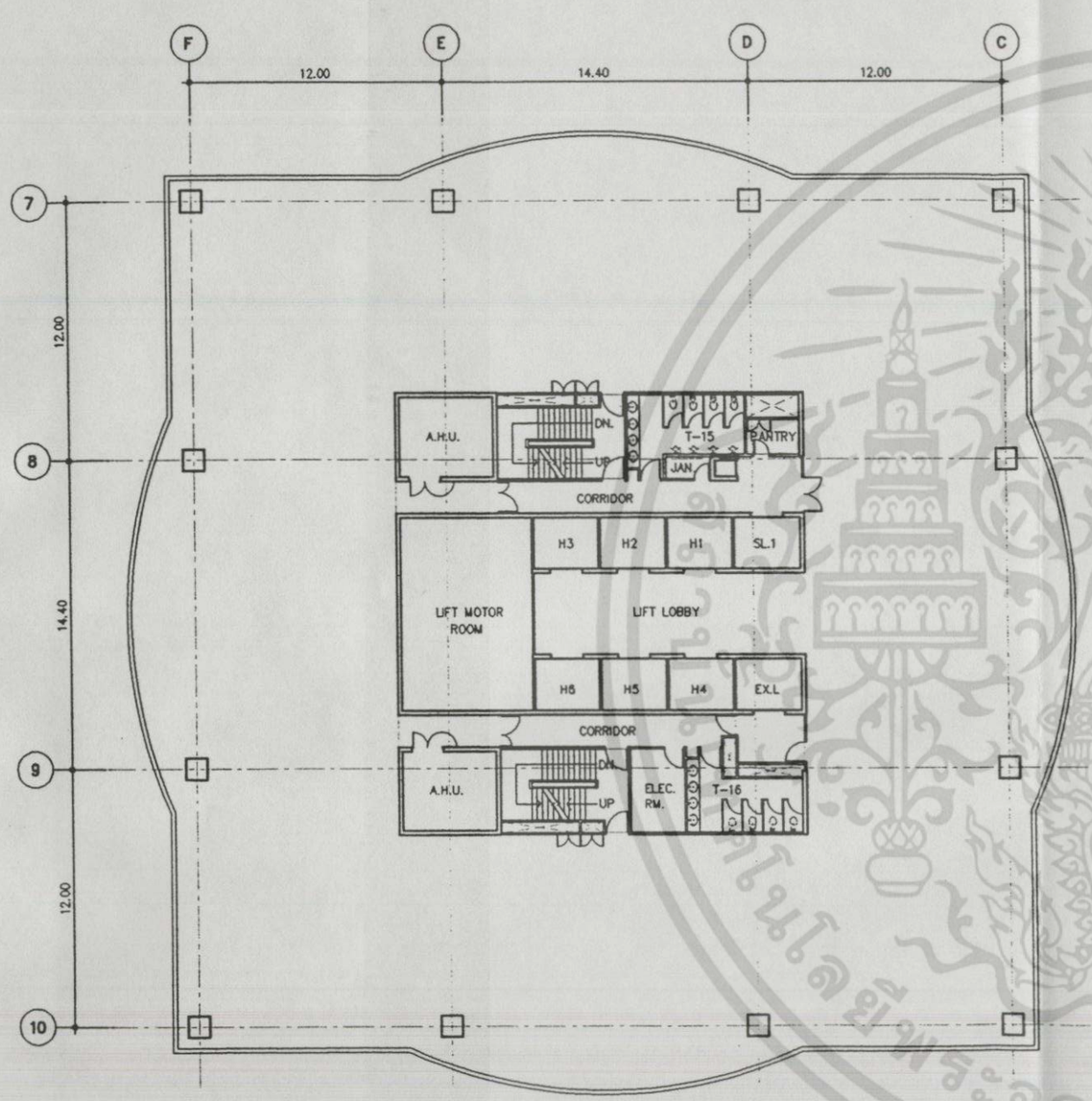


15th FLOOR PLAN

SCALE 1:500

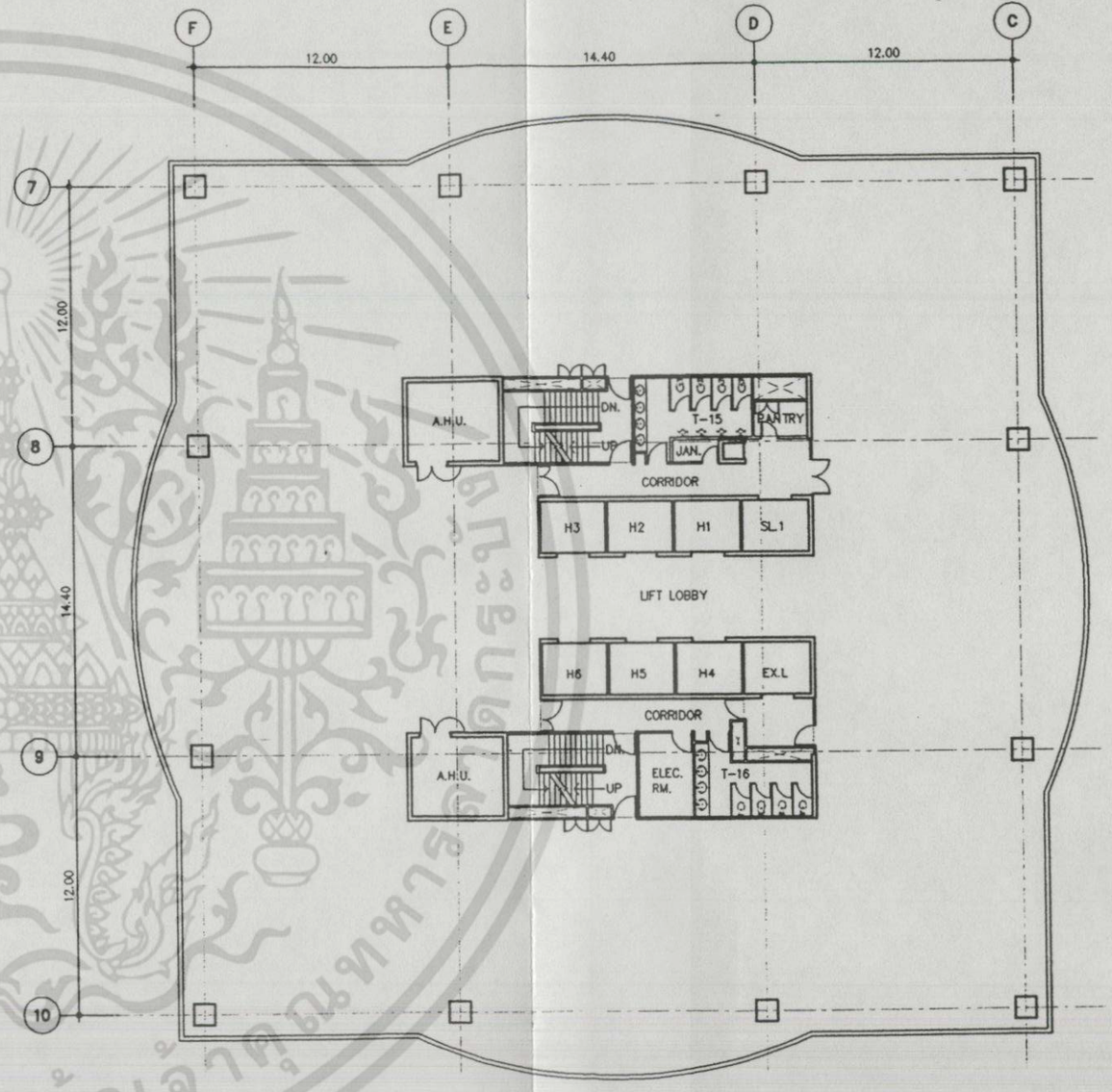
รูปที่ 3.13 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



16th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

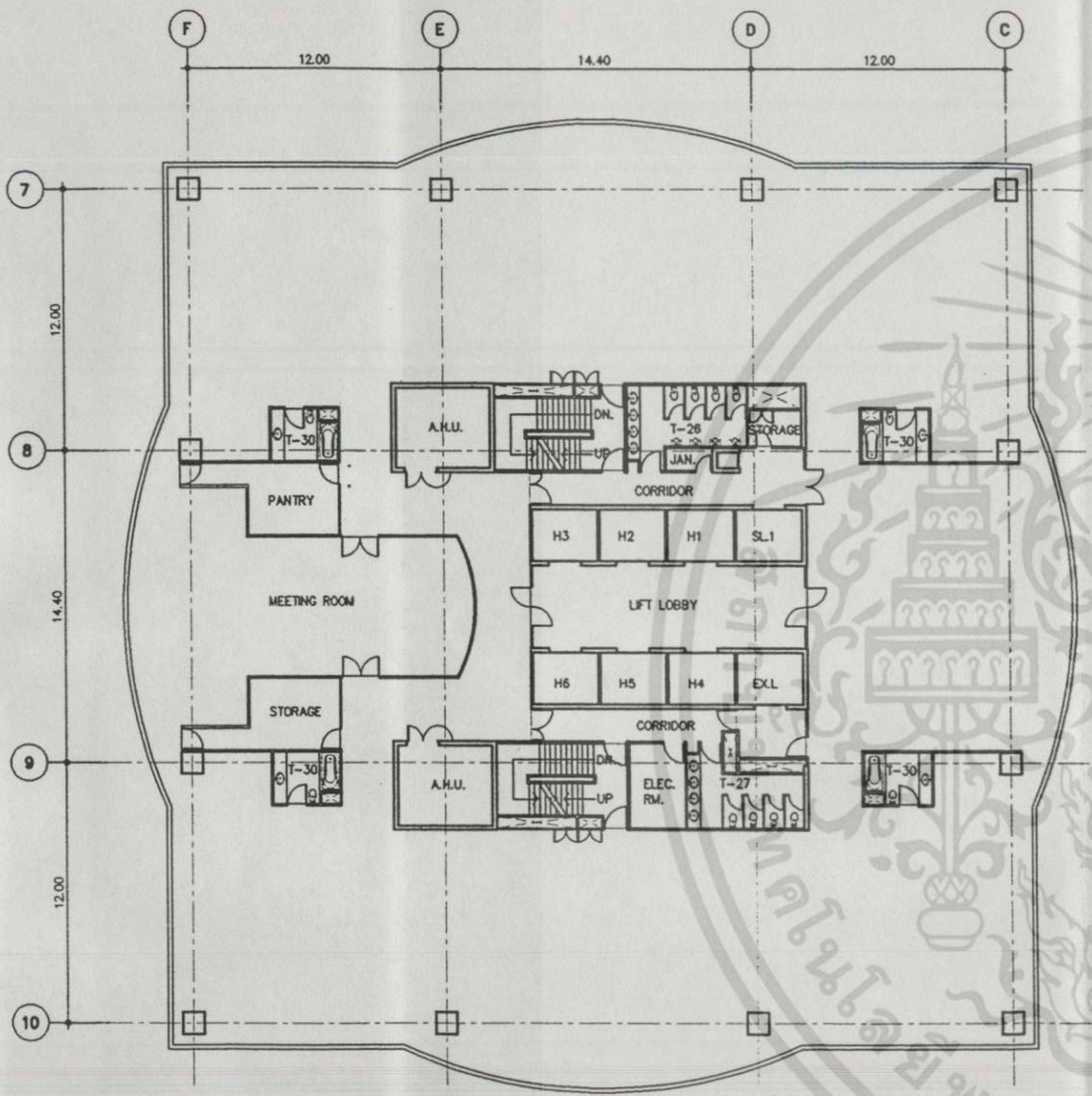
รูปที่ 3.14 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 16



17th – 29th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

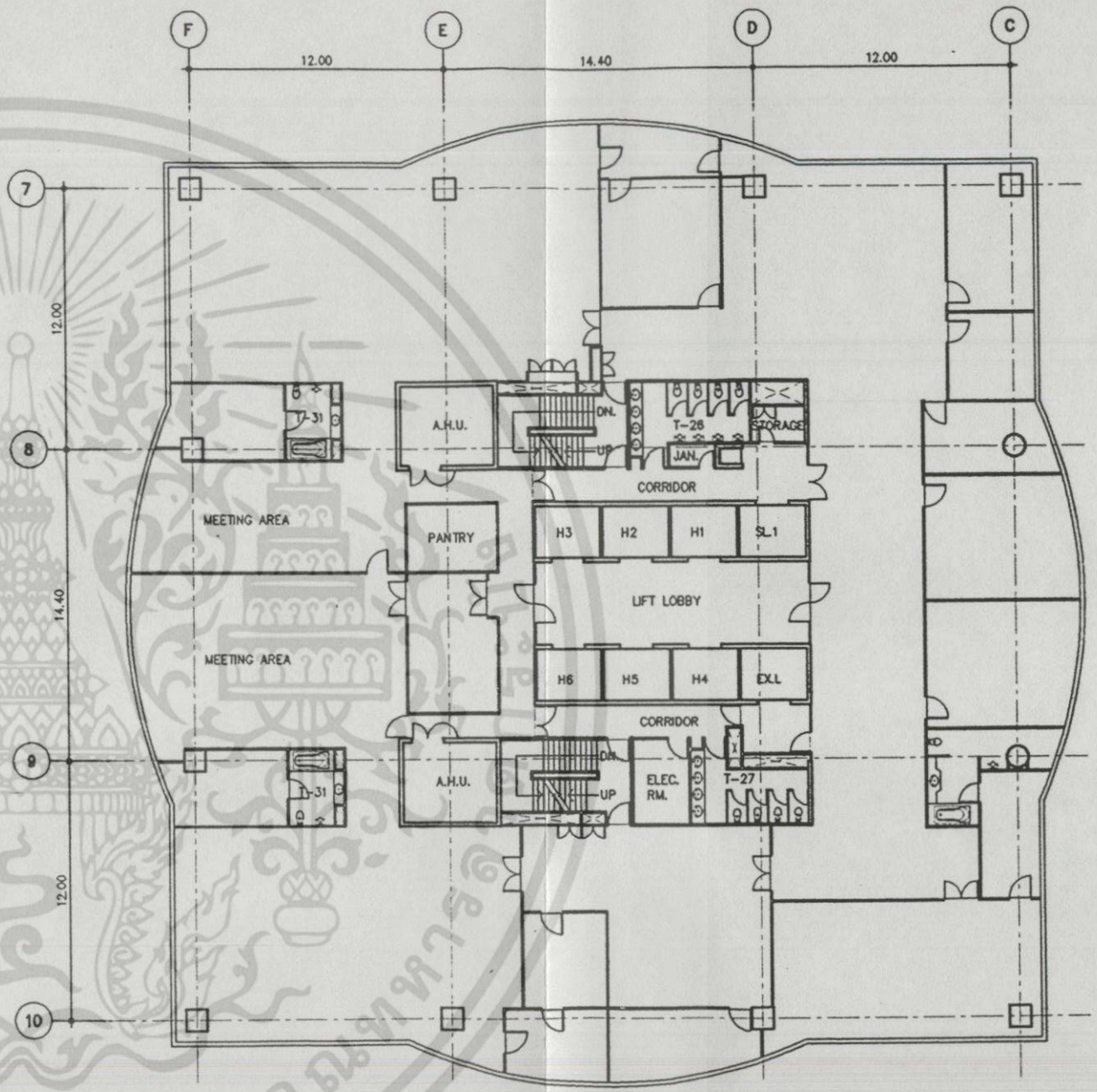
รูปที่ 3.15 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 17–29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



30th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

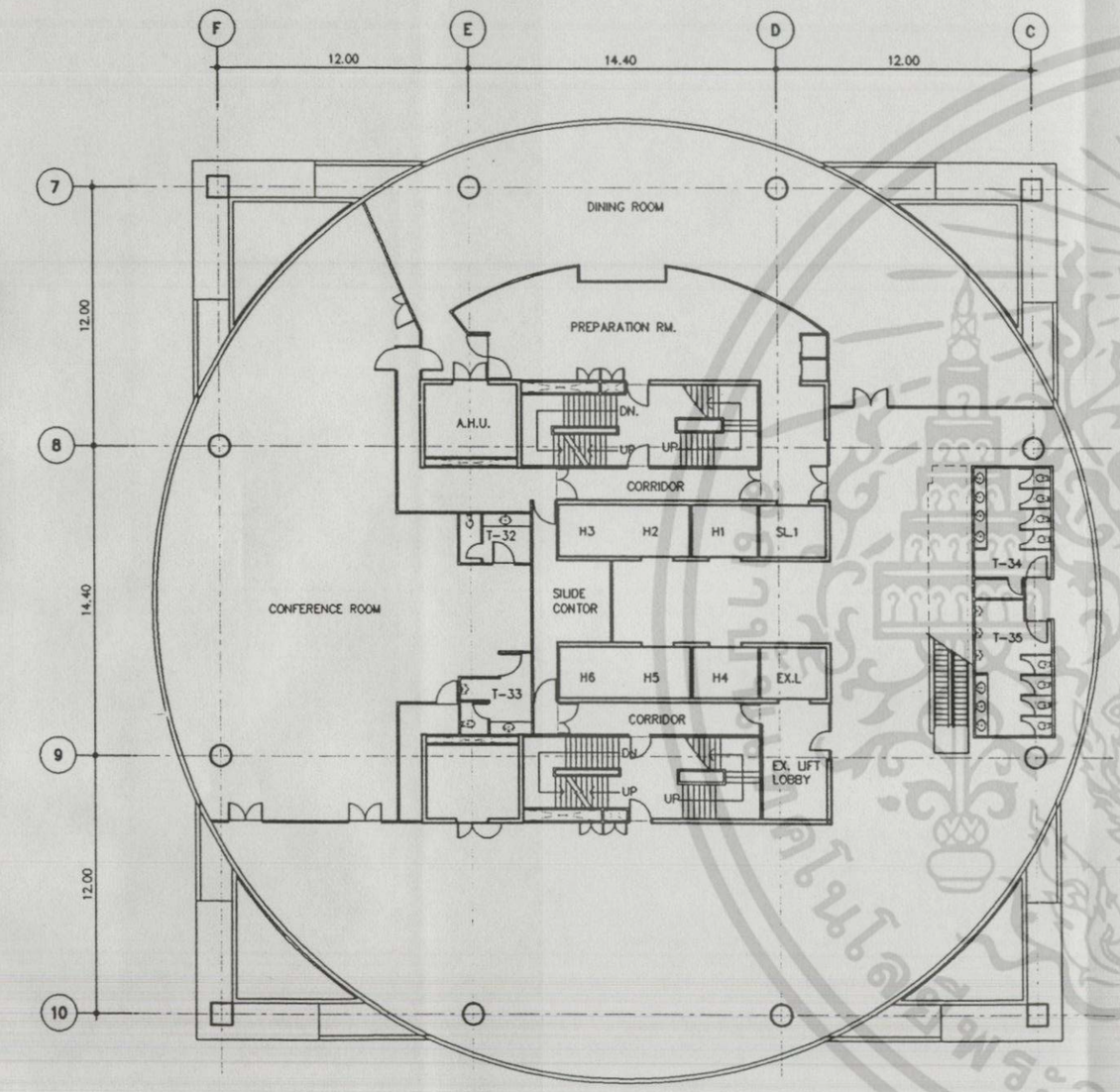
รูปที่ 3.16 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 30



31th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.17 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 31

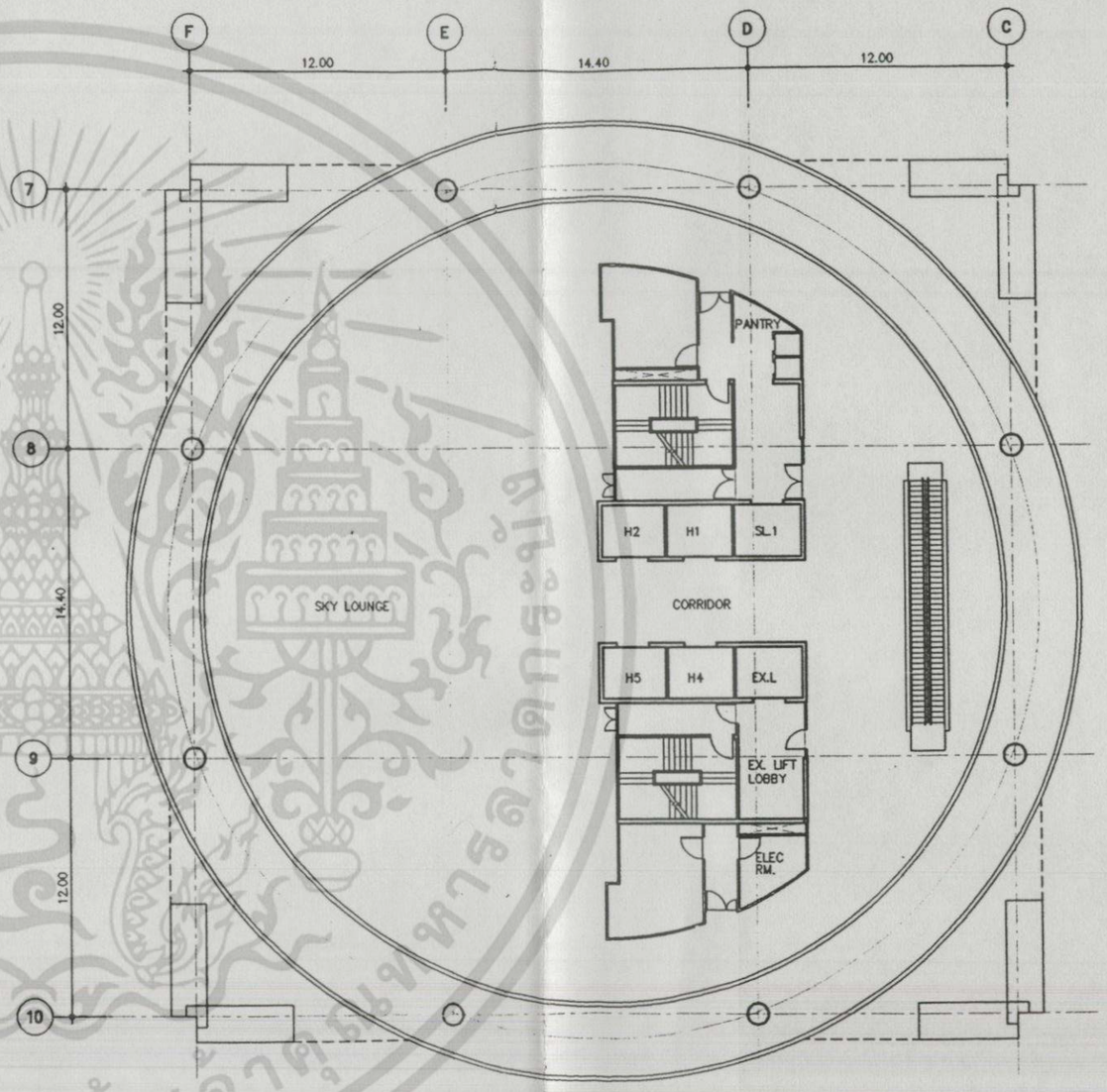
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



32th FLOOR PLAN

SCALE 1:500

รูปที่ 3.18 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 32

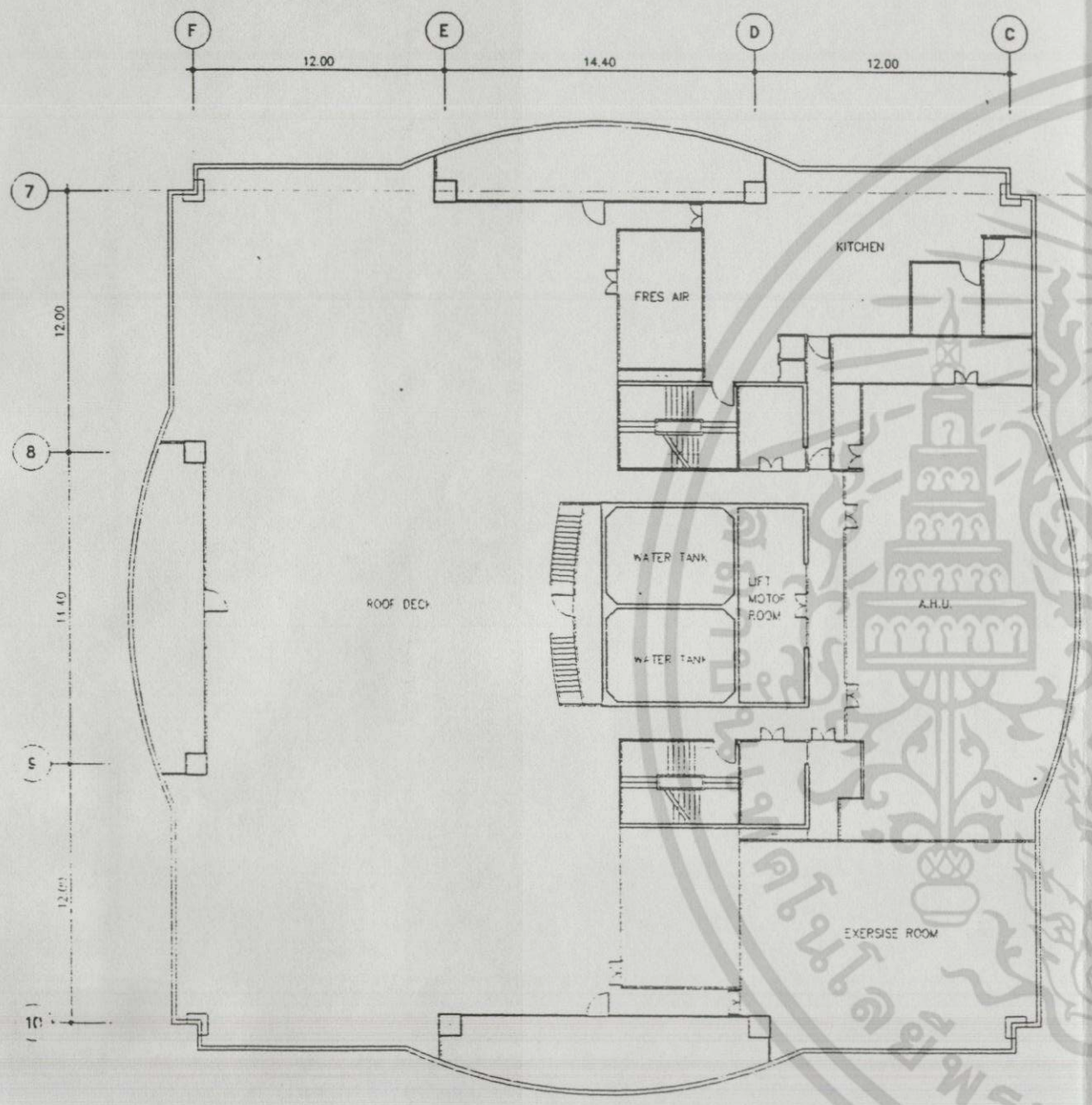


33th FLOOR PLAN

SCALE 1:500

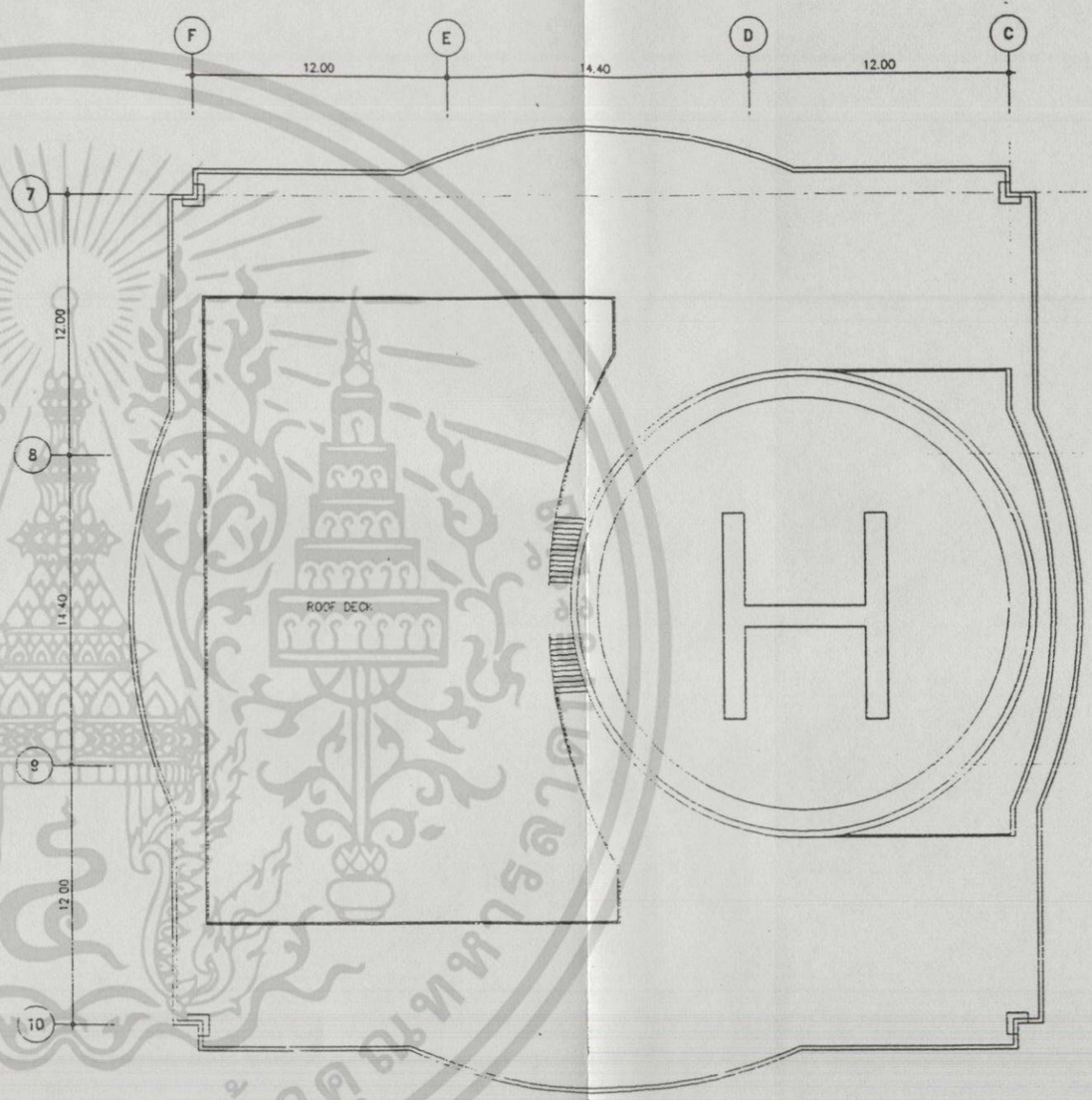
รูปที่ 3.19 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



34th FLOOR PLAN
SCALE 1:500

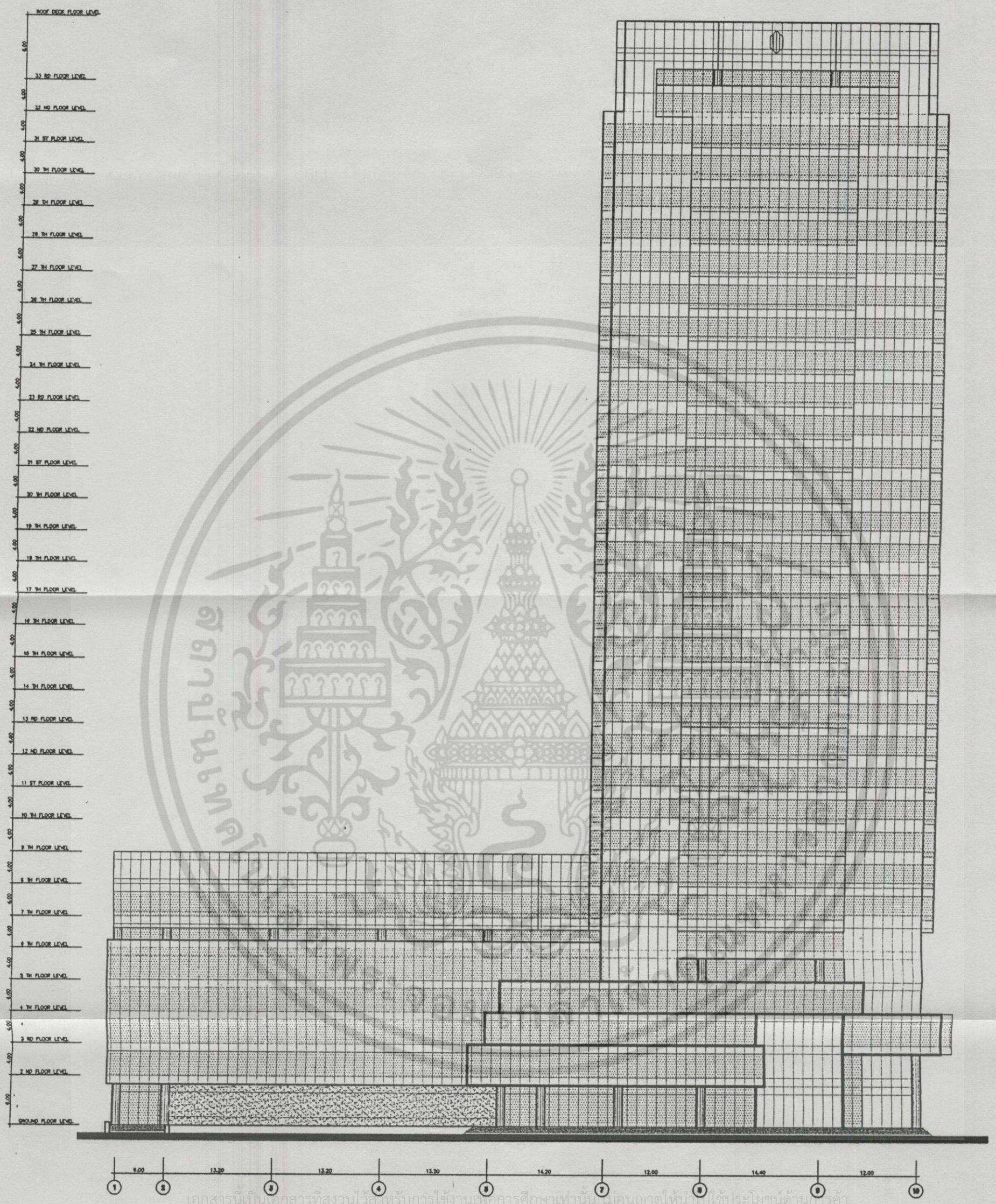
รูปที่ 3.20 แสดงแปลนพื้นชั้นที่ 34



ROOF PLAN
SCALE 1:500

รูปที่ 3.21 แสดงแปลนหลังคาและลานจอดเฮลิคอปเตอร์

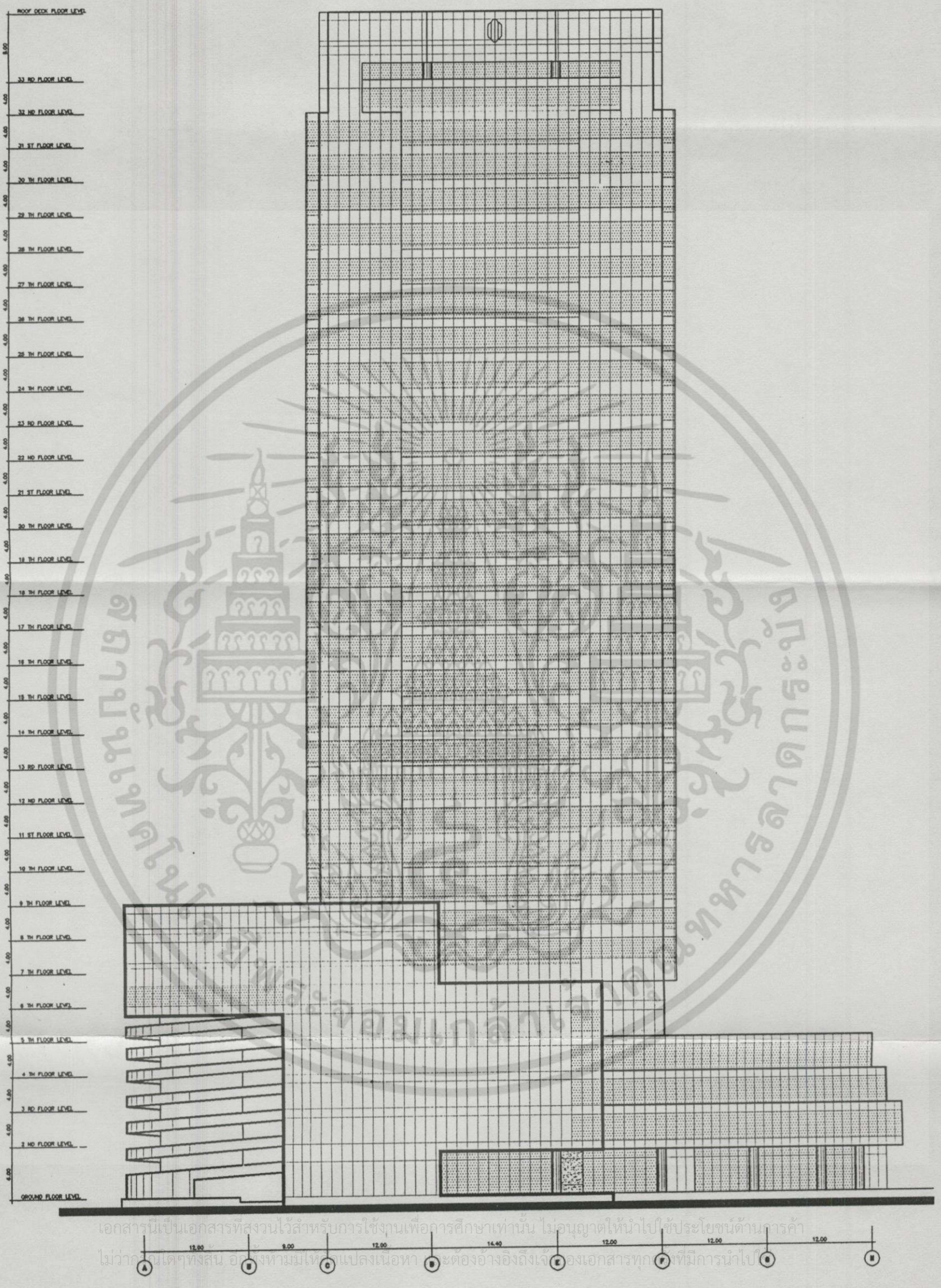
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELEVATION 1
SCALE 1:500

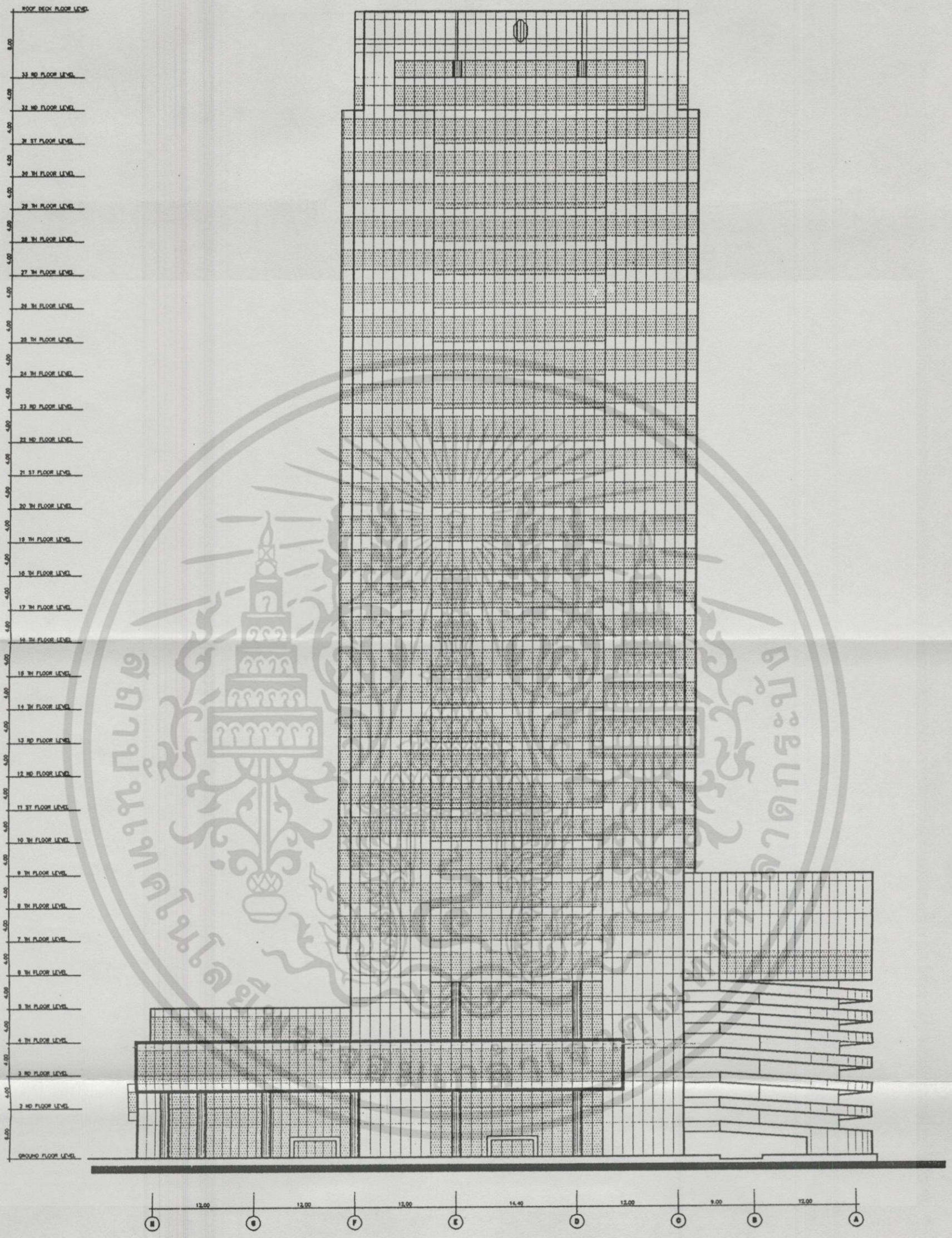
รูปที่ 3.22 แสดงรูปด้าน 1 (ทิศตะวันตก)



ELEVATION 2
SCALE 1:500

รูปที่ 3.23 แสดงรูปด้าน 2 (ทิศเหนือ)

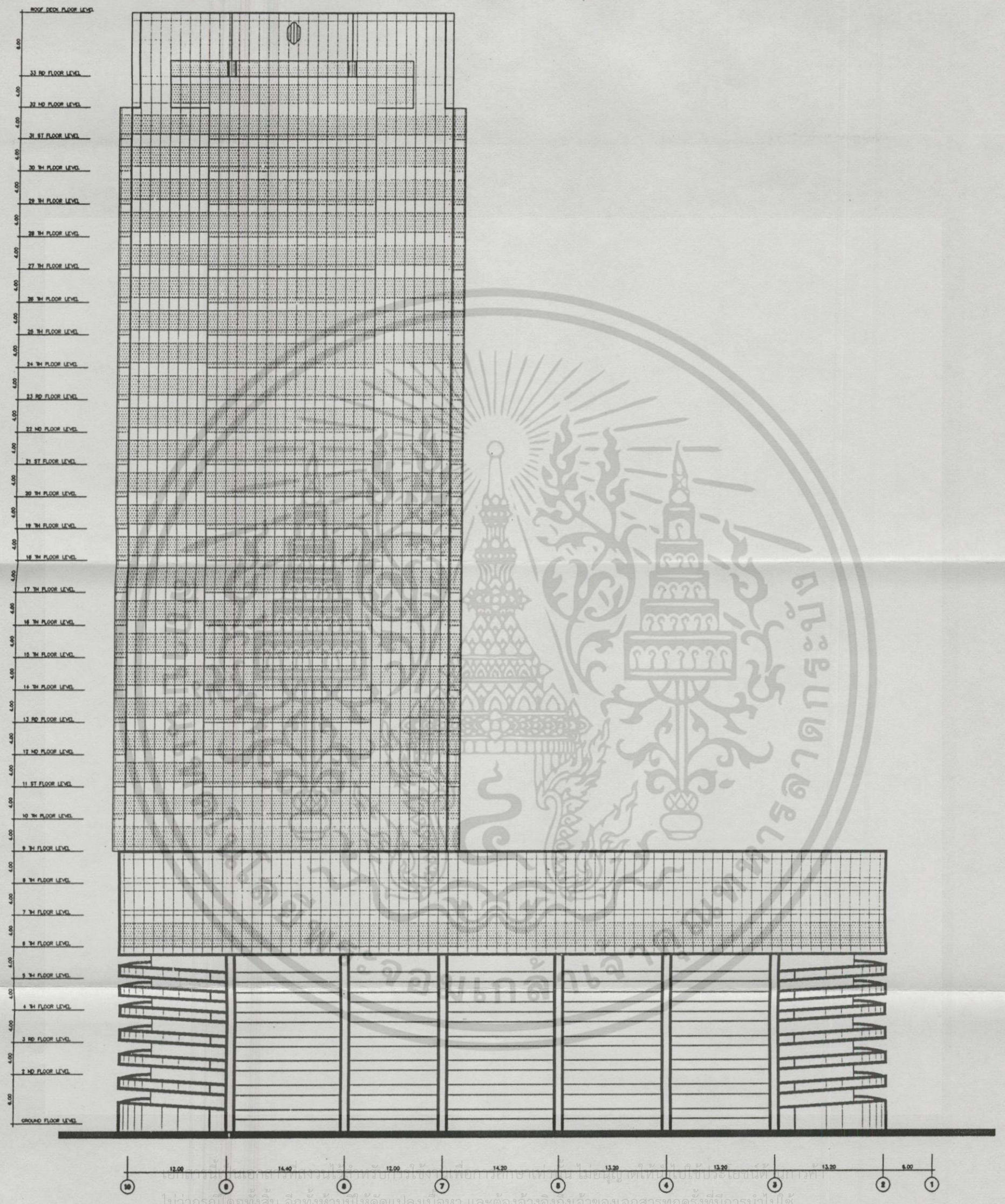
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

ELEVATION 3
SCALE 1:500

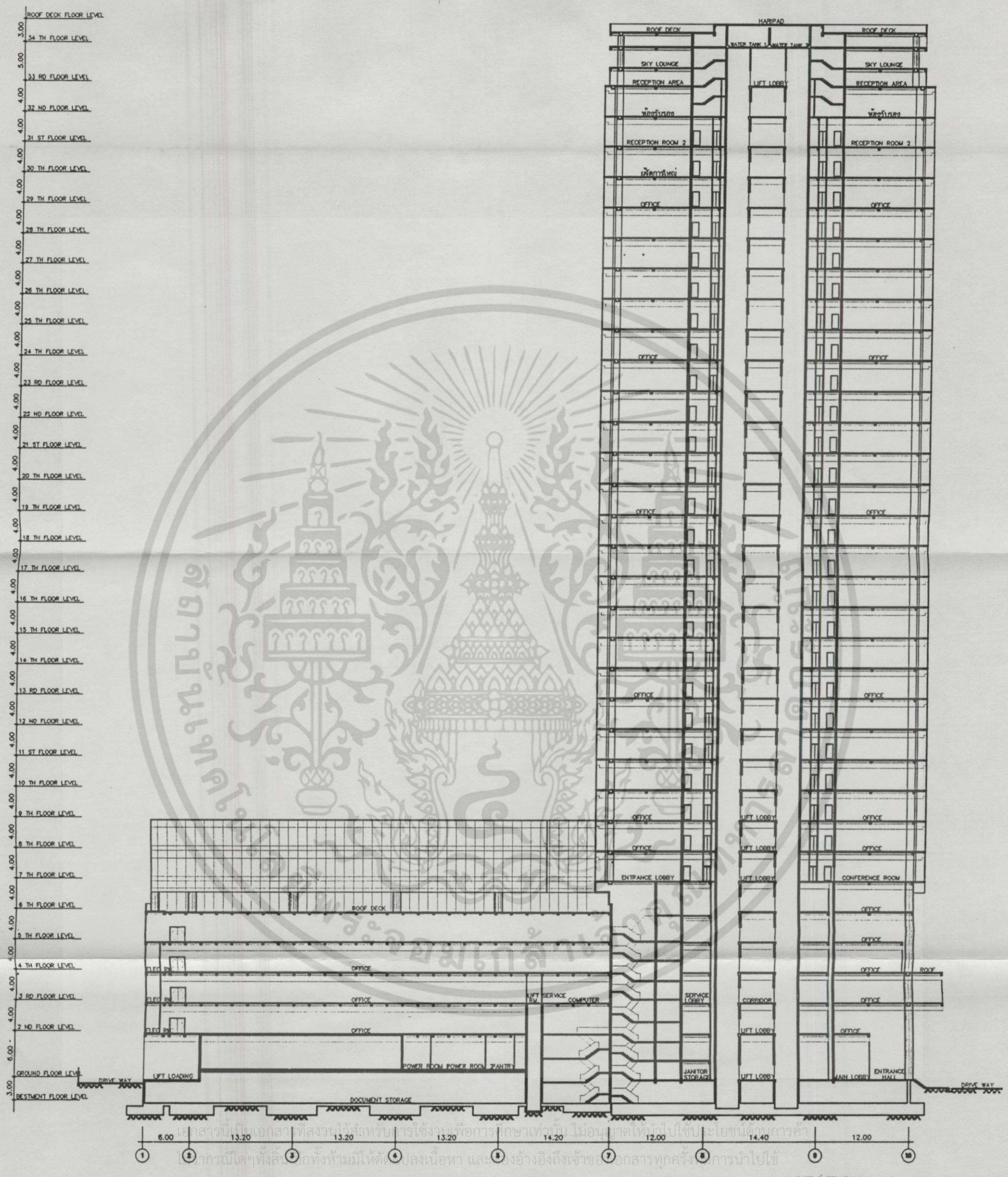
รูปที่ 3.24 แสดงรูปด้าน 3 (ทิศใต้)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELEVATION 4
SCALE 1:500

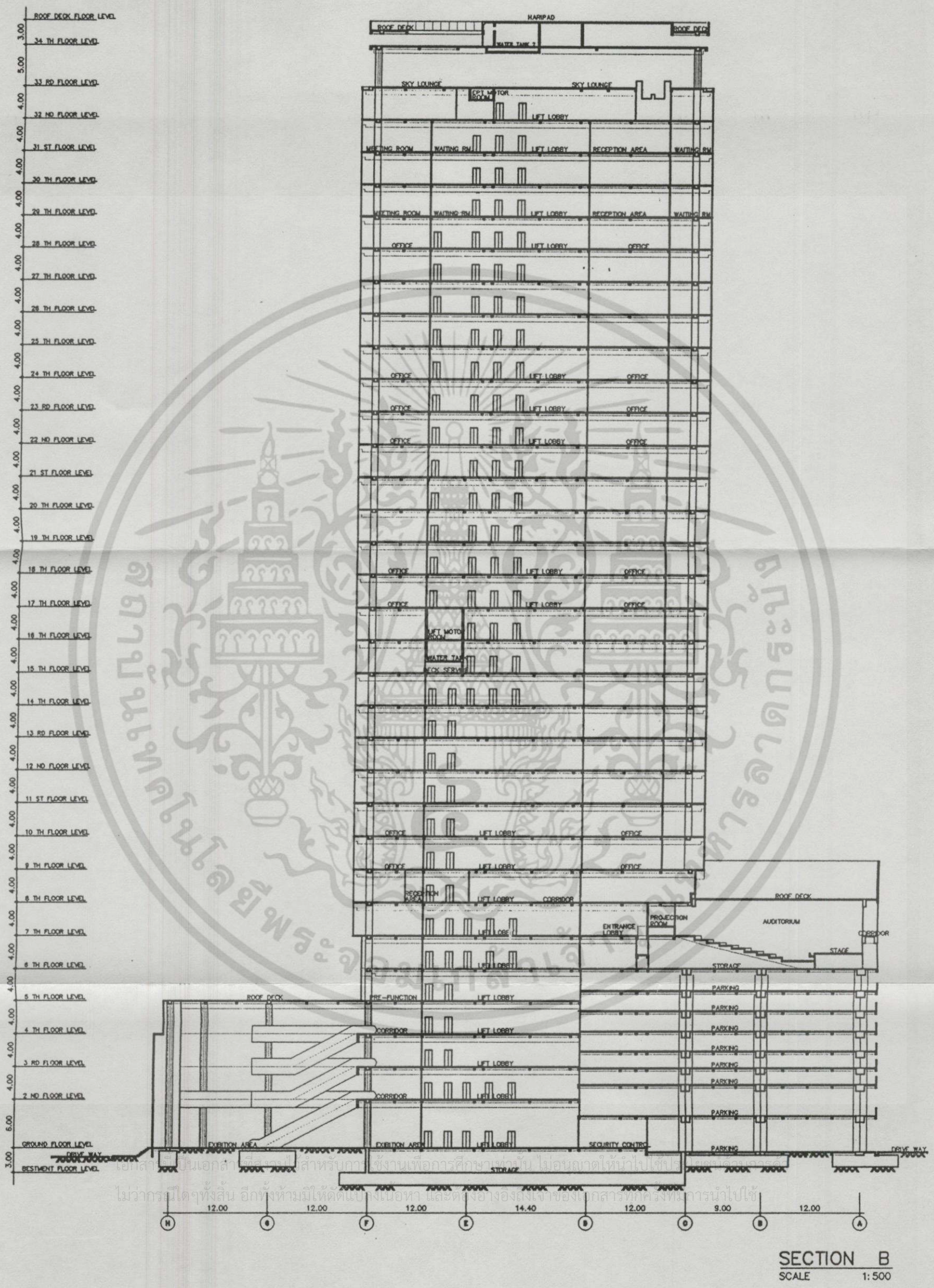
รูปที่ 3.25 แสดงรูปด้าน 4 (ทิศตะวันออก)



SECTION A
SCALE 1:500

รูปที่ 3.26 แสดงรูปตัด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในกรณีใดๆทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SECTION B
SCALE 1:500

รูปที่ 3.27 แสดงรูปตัด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

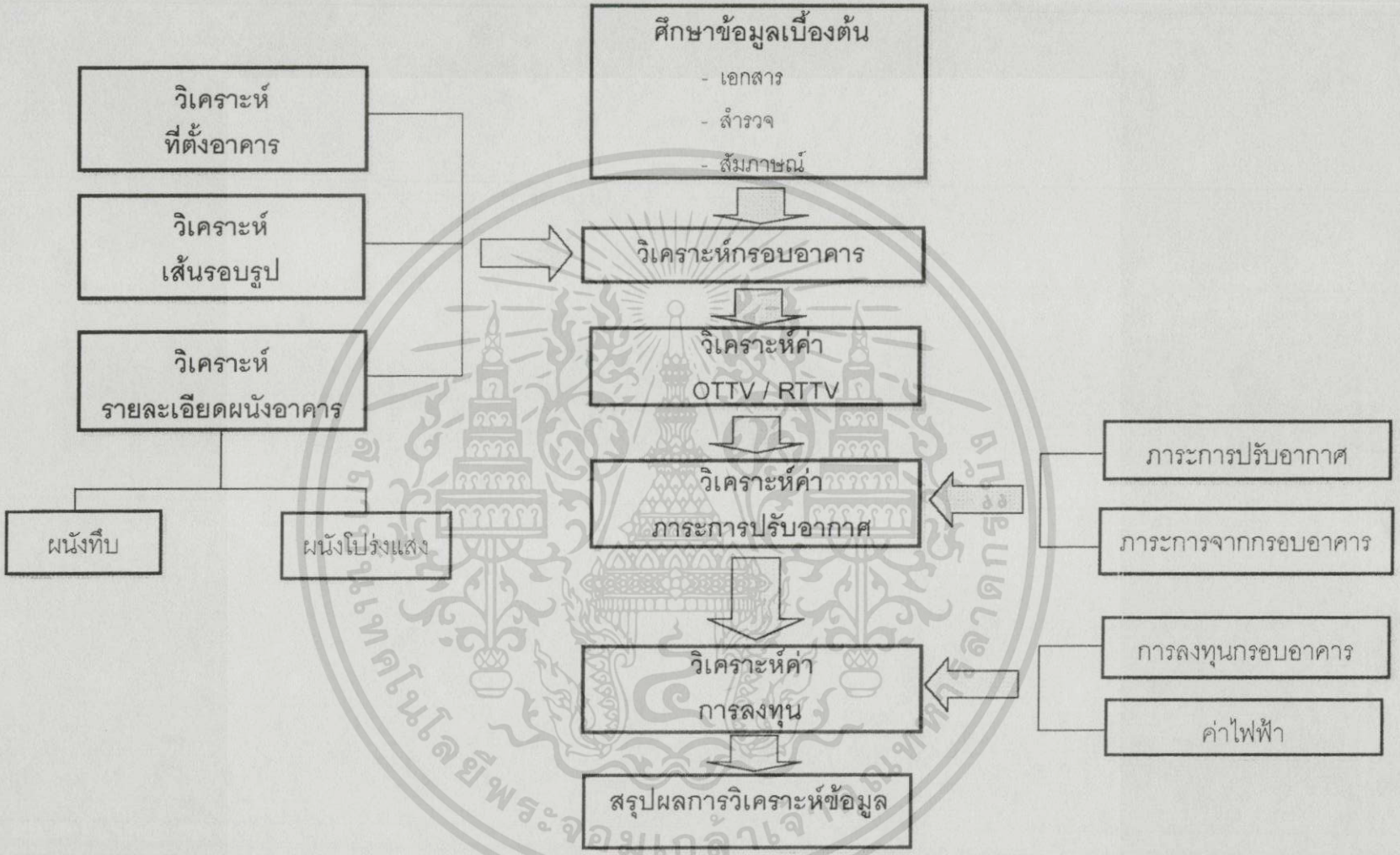
บทที่ 4
การวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะการวางทิศทางของอาคารและกรอบอาคาร

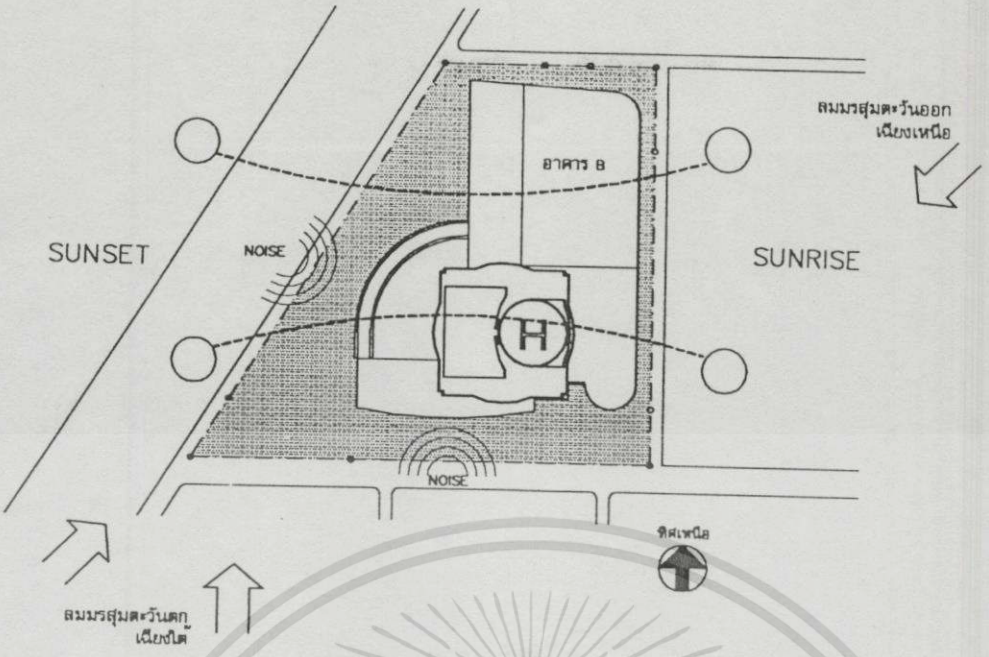
อาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ มีความสูง 34 ชั้น โดยมีส่วน Podium (ชั้นที่ 1 – 7) รูปทรงอาคารวางตามแนวทิศเหนือ – ใต้ และส่วน Tower (ชั้นที่ 8 – 34) มีรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสหันหน้าออกด้านทิศตะวันตก ติดถนนพหลโยธินและสวนจตุจักร ด้านทิศใต้ ติดกับซอยเฉยพ่วงและอาคารพาณิชย์ 2 ชั้น ด้านทิศตะวันออก ติดกับอาคาร 5 ชั้นและอาคาร Sun Flower สูง 30 ชั้น ซึ่งจะมีผลกับการบังแดดในช่วงเช้าของวัน แต่ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV) จะไม่คิดผลกระทบดังกล่าว ด้านทิศเหนือ ติดกับอาคารพาณิชย์ 3 ชั้นและอาคารพักอาศัย 3 ชั้น ฉะนั้นเสียงรบกวน (Noise) จึงมาจากถนนพหลโยธินด้านทิศตะวันตก ซึ่งเป็นถนน 8 เลนและซอยเฉยพ่วงทางด้านทิศใต้ซึ่งเป็นถนน 2 เลน บริเวณโดยรอบมีเพียงอาคาร Sun Flower ทางด้านทิศตะวันออก ซึ่งไม่มีผลกระทบกับทิศทางลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือ

การวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารจะแสดงขั้นตอนในแผนผังการวิเคราะห์ข้อมูล (รูปที่ 4.1) ซึ่งจะเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร การสำรวจ และสัมภาษณ์ จากนั้นก็วิเคราะห์ที่ตั้งอาคารและกรอบอาคาร ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ค่า OTTV / RTTV , Cooling load และการวิเคราะห์การลงทุนจะใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a ของสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและจะสรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลอาคารก่อนการปรับปรุง จากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์อาคารหลังการปรับปรุงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังการวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการวางทิศทางของอาคาร

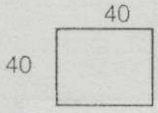
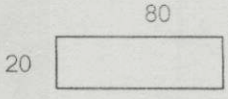
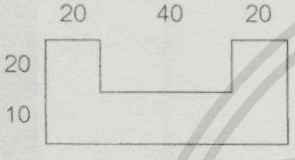
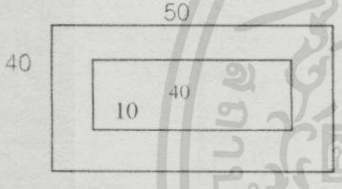
4.1.1ลักษณะรูปทรงและเส้นรอบรูปของอาคาร อาคารประกอบด้วยอาคารหลัก (อาคาร A) 34 ชั้น โดยมีส่วน Podium คือชั้นที่ 1-7 และส่วน Tower คือชั้นที่ 8-34 โดยมีชั้นใต้ดิน 1 ชั้นเป็นพื้นที่ส่วนเก็บเอกสาร, แทงค์น้ำ ชั้นที่ 1-31 จะเป็นพื้นที่ส่วนสำนักงานของธนาคารทั้งหมด ชั้นที่ 32 เป็นพื้นที่ส่วนประชุม ชั้นที่ 33 เป็น Sky lounge และชั้นที่ 34 ส่วนหนึ่งเป็นหลังคาดาดฟ้าของชั้นที่ 33 และมีพื้นที่ส่วนห้องเครื่อง, A.H.U. และแทงค์น้ำ

ลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าของอาคารส่วนของ Podium ที่วางขวางแนวทางเดินของดวงอาทิตย์ รูปทรงดังกล่าวมีผลอย่างมากกับการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารโดยเฉพาะด้านทิศตะวันตกและทิศใต้

ส่วนลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสของ Tower เป็นรูปทรงที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศเนื่องจากลักษณะรูปทรงมีพื้นที่รับความร้อนจากภายนอกน้อย (Compact Form) แต่รูปทรงของอาคารลักษณะนี้อาจจะทำให้แสงธรรมชาติ (Daylighting) ไม่สามารถส่องถึงบริเวณส่วนกลางของอาคารทำให้ต้องเพิ่มจำนวนหลอดไฟสำหรับการส่องสว่างซึ่งมีผลทำให้ค่าภาระความเย็น (Cooling load) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานในอาคารเพิ่สูงขึ้นด้วย ตั้งแต่ชั้นที่ 8–34 เป็น Typical plan รวมทั้งหมด 23 ชั้น คิดเป็นพื้นที่ร้อยละ 73.50 ของพื้นที่อาคารทั้งหมด ซึ่งหากมีการพิจารณาเลือกใช้วัสดุ, ฉนวน และระบบผนังเพื่อป้องกันความร้อนของกรอบอาคารที่เหมาะสม จะทำให้สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ลงได้นั้น หมายถึง สามารถที่จะลดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างมากเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

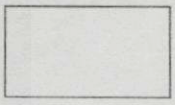
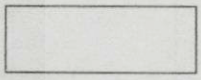
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเส้นรอบรูป / พื้นที่ ของอาคารรูปทรงต่างๆ

รูปอาคาร	เส้นรอบรูป (m)	ผนังสูง 3 ม. พื้นที่ผนัง (m^2)	เส้นรอบรูป / พื้นที่
	141	423	0.08 : 1
	160	480	0.1 : 1
	200	600	0.12 : 1
	260	780	0.16 : 1
	280	840	0.17 : 1

ข้อมูลจาก : บทความ "การออกแบบอาคารให้มีการประหยัดพลังงาน" เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการ เรื่อง การประหยัดพลังงานในอาคารและเมือง , ผศ. สมสิทธิ์ นิตยะ , กรุงเทพฯ : 2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงสัดส่วนของอาคารกับเส้นรอบรูป

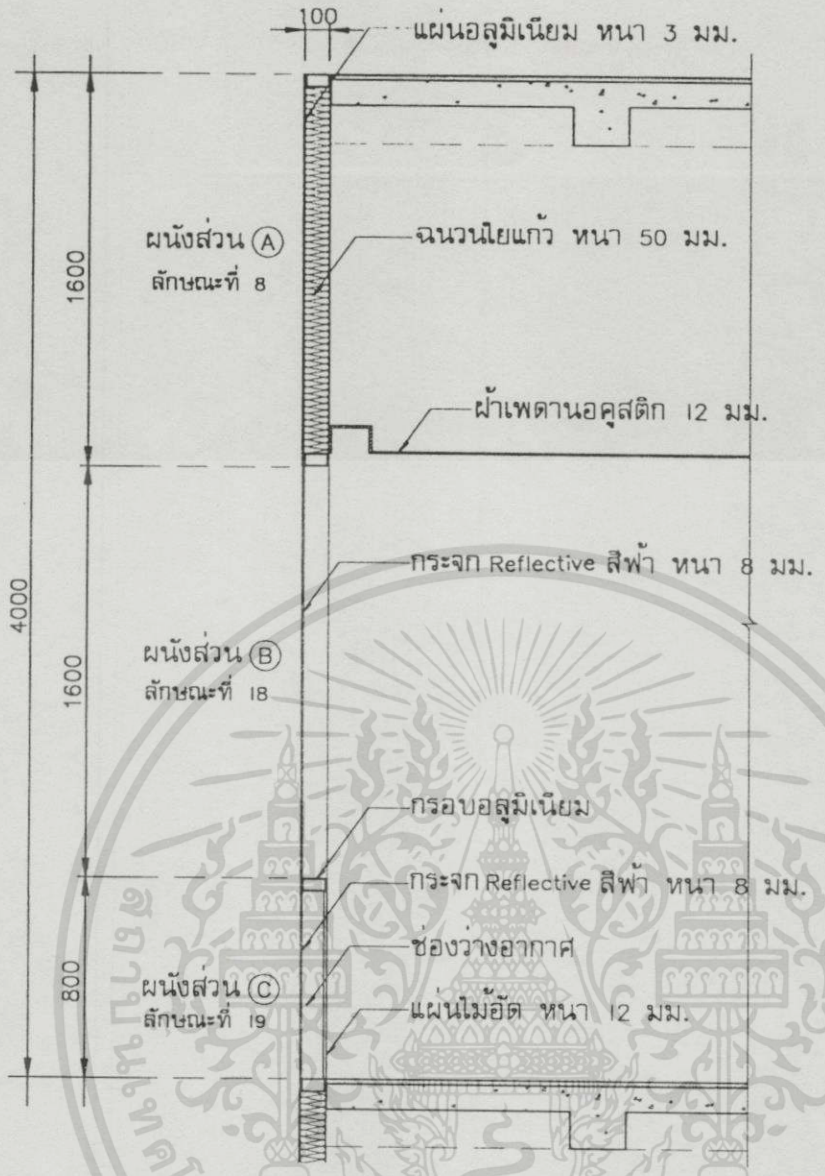
รูปอาคาร	เส้นรอบรูป (m)	พื้นที่ (m^2)	เส้นรอบรูป / พื้นที่ผนัง
	126.4	1000	1 : 1
	129	1000	1.5 : 1
	134.4	1000	2 : 1

ข้อมูลจาก : บทความ "การออกแบบอาคารให้มีการประหยัดพลังงาน" เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการ เรื่อง การประหยัดพลังงานในอาคารและเมือง , ผศ. สมสิทธิ์ นิตยะ , กรุงเทพฯ : 2529

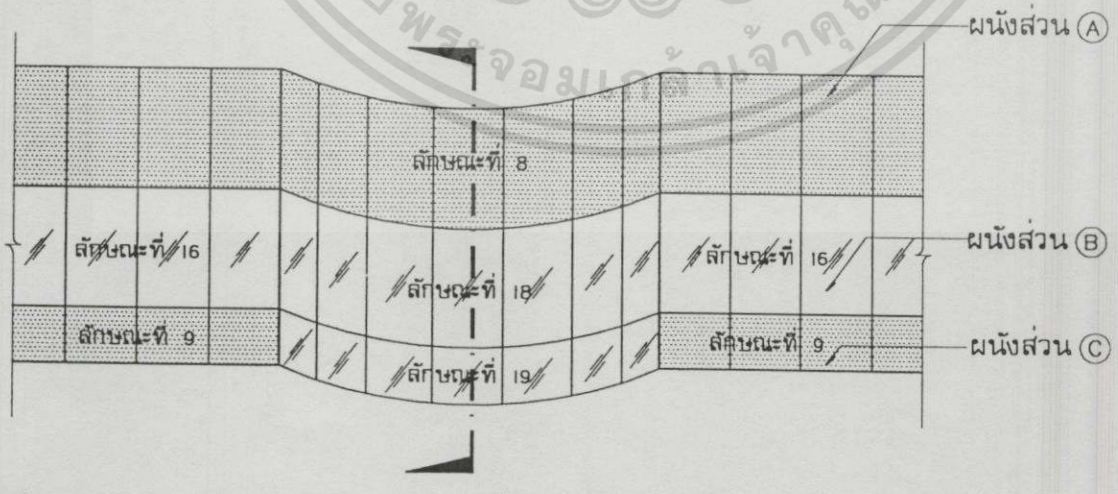
จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า รูปทรงกลมมีเส้นรอบรูปต่อพื้นที่น้อยที่สุด รองลงมา คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและเส้นรอบรูปต่อพื้นที่ของรูปทรงอื่นๆ มีมากขึ้นตามลำดับ โดยในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของอาคารกับเส้นรอบรูปที่มีพื้นที่เท่ากัน โดยมีสัดส่วน 1:1, 1:1:5 และ 1::2 อาคารที่มีเส้นรอบรูปน้อยย่อมประหยัดค่าก่อสร้างและทำให้พื้นผิวได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์น้อยเช่นกัน ส่งผลให้สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและค่าภาระการปรับอากาศภายในอาคารได้

4.1.2 ลักษณะองค์ประกอบของผนังทึบและผนังโปร่งแสงของอาคาร ลักษณะผนังส่วน Podium ของอาคารเป็นผนังกระจกใส (Tempered) ในส่วนชั้นที่ 1 และ 2 บางส่วนเป็นผนัง Aluminium cladding ในส่วนของผนังทึบ และบางส่วนเป็นผนังทึบสลับกับผนังโปร่งแสงเหมือนกับส่วน Tower (ดูรูป 4.2 และ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะองค์ประกอบของผนังทึบและผนังโปร่งแสงของอาคาร

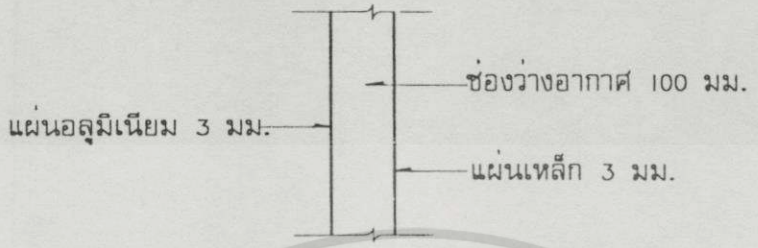


รูปที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการแบ่งส่วนของผนังอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

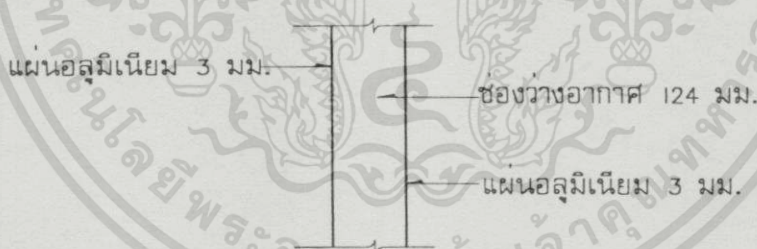
ผนังทึบ

ลักษณะที่ 1 ผนังส่วน Ⓐ

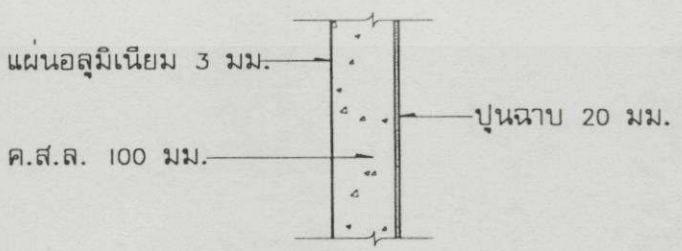


ลักษณะที่ 2 ผนังส่วนคาน ①

ลักษณะที่ 3 กรอบอลูมิเนียม



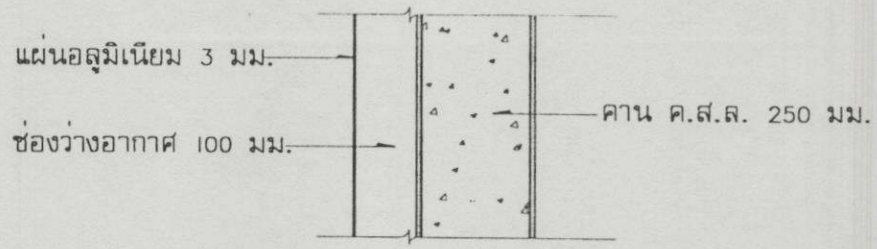
ลักษณะที่ 4 ผนังทึบ



รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดผนังทึบลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

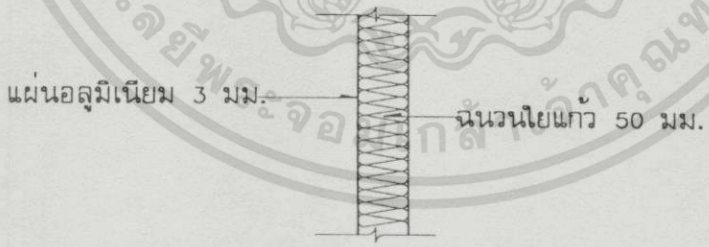
ลักษณะที่ 5 ส่วนคาน ②



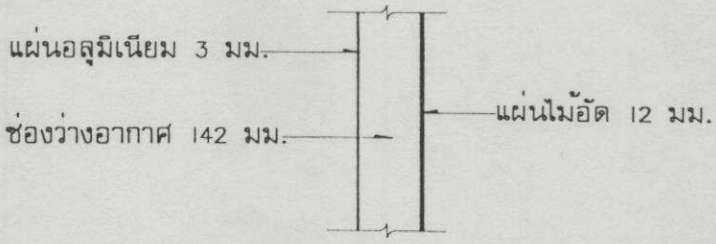
ลักษณะที่ 6 ส่วนผนังทึบ ชั้นที่ 1

ลักษณะที่ 7 ส่วนผนังทึบ ชั้นที่ 1

ลักษณะที่ 8 ผนังส่วน Ⓐ



ลักษณะที่ 9 ผนังส่วน Ⓒ

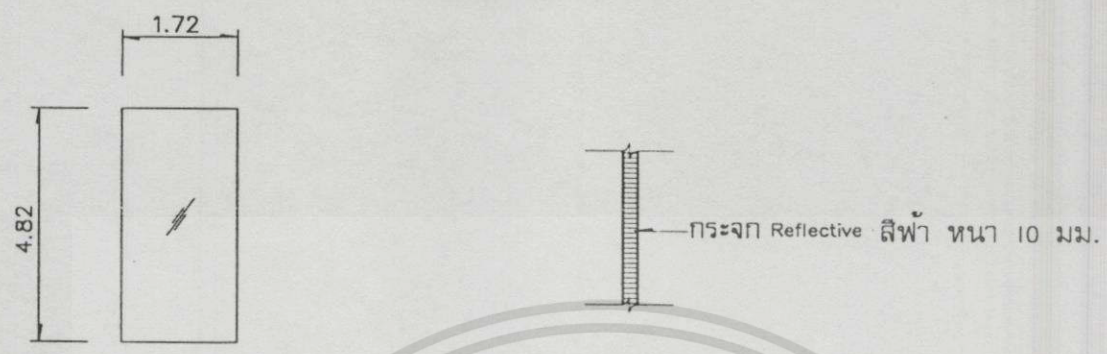


รูปที่ 4.5 (ต่อ)

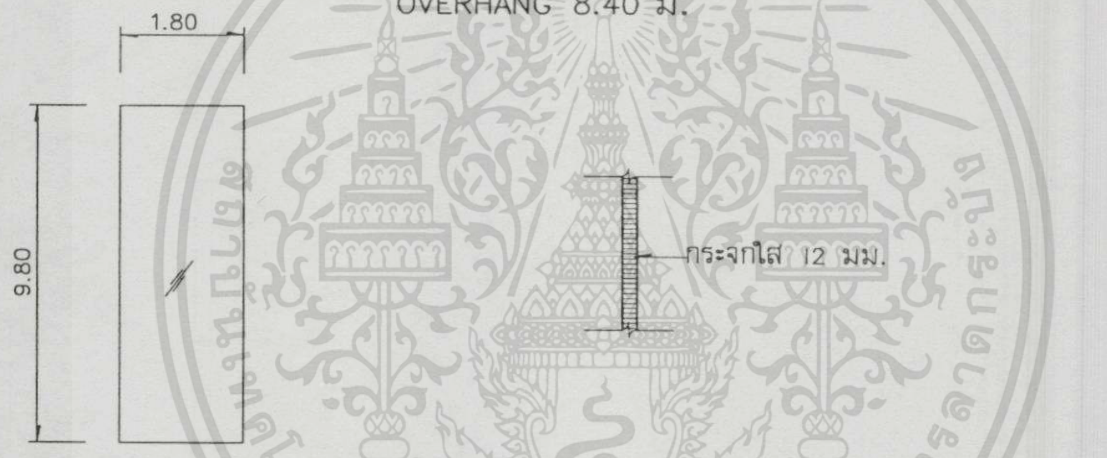
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังกระจก

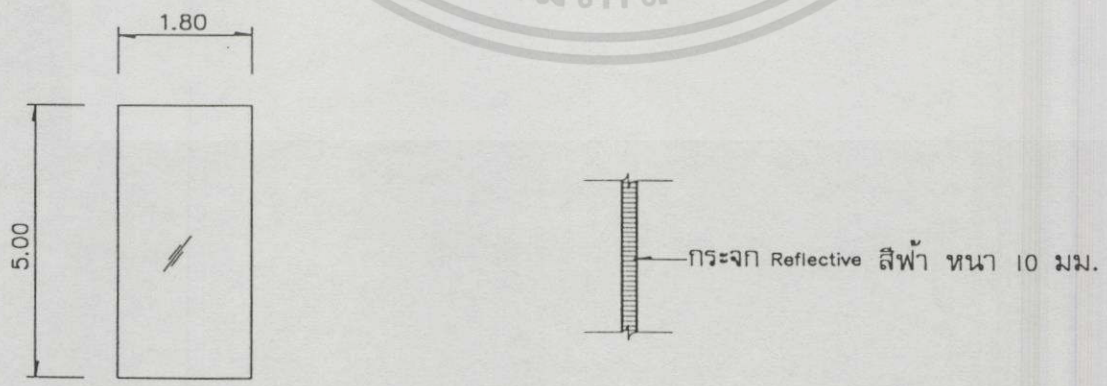
ลักษณะที่ 10 ผนังกระจกด้านข้างชั้นที่ 1
OVERHANG 7.35 ม.



ลักษณะที่ 11 ทางเข้าชั้นที่ 1
OVERHANG 8.40 ม.



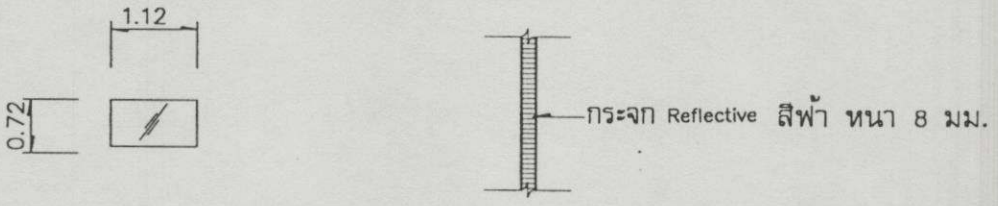
ลักษณะที่ 12 กระจกด้านข้าง ชั้นที่ 1
OVERHANG 4.90 ม.



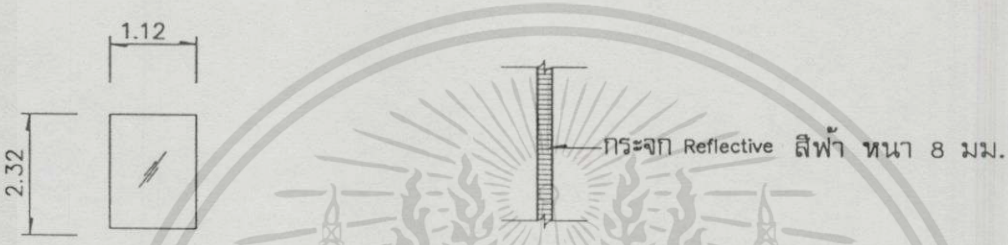
รูปที่ 4.6 แสดงรายละเอียดผนังโปร่งแสงลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

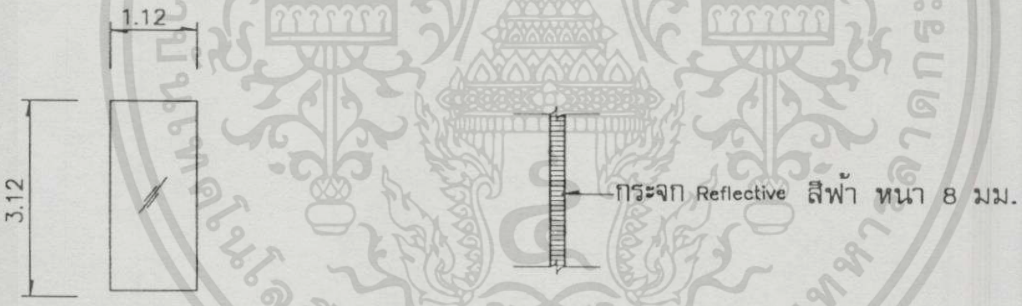
ลักษณะที่ 13 ผนังกระจกส่วน © ชั้นที่ 2–31



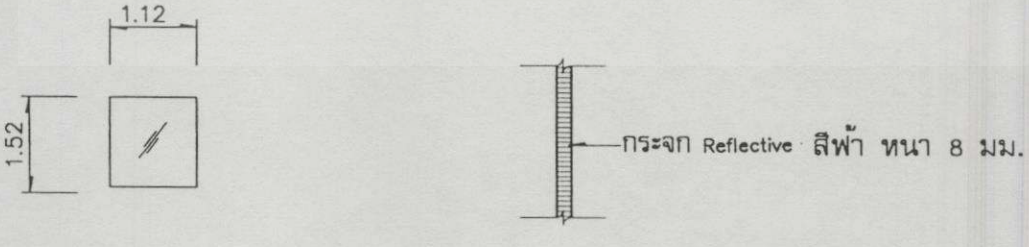
ลักษณะที่ 14 ส่วนผนังกระจกโค้ง ชั้นที่ 2–5



ลักษณะที่ 15 ผนังกระจกส่วน © ชั้นที่ 2–31



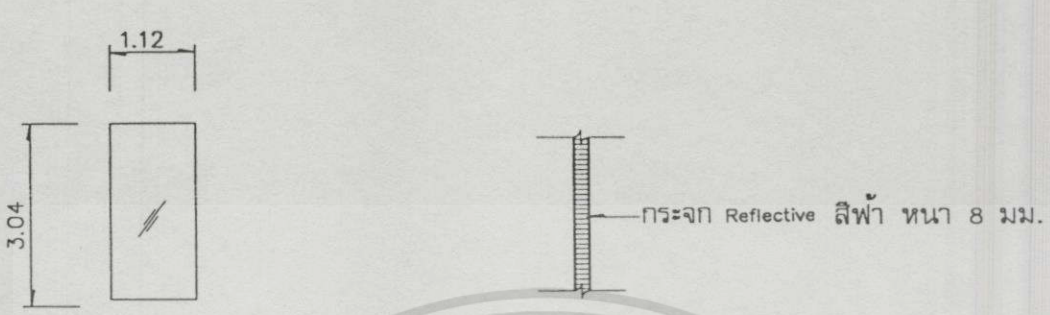
ลักษณะที่ 16 ผนังกระจกส่วน Ⓑ ชั้นที่ 2–31



รูปที่ 4.6 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่ 17 ผนังกระจกด้านข้าง ชั้นที่ 5
OVERHANG 2.40 ม.

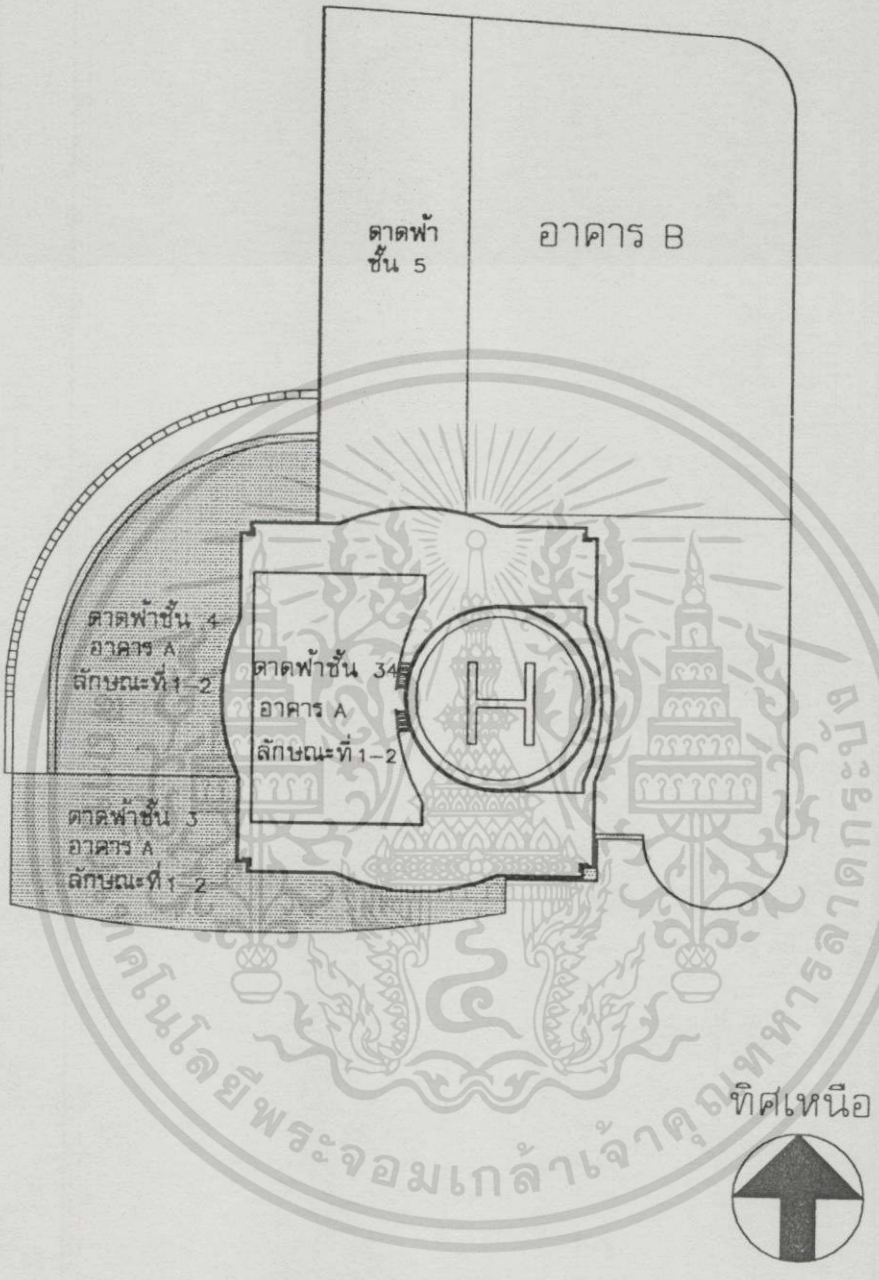


ลักษณะที่ 18 ผนังกระจกส่วน Ⓑ ชั้นที่ 7–31

ลักษณะที่ 19 ผนังกระจกส่วน Ⓒ ชั้นที่ 7–31

รูปที่ 4.6 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

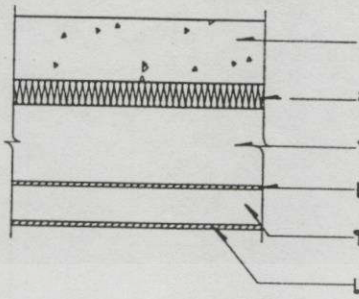


รูปที่ 4.7 แสดงผังหลังคาลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

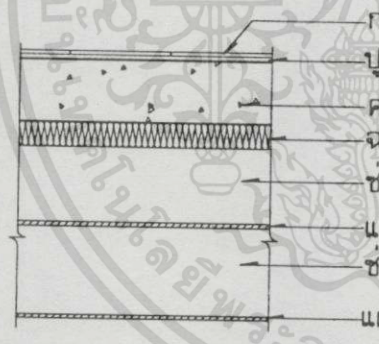
หลังคา

ลักษณะที่ 1 หลังคาราบ , สีเทา

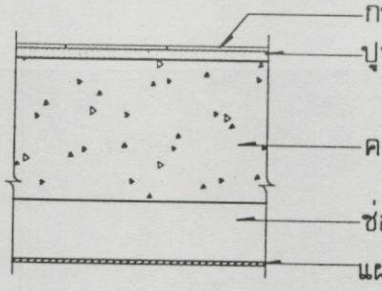


ลักษณะที่ 2 หลังคาราบ , สีเทา

ลักษณะที่ 3 หลังคาราบ , สีเทา



ลักษณะที่ 4 หลังคาราบ , สีเทา



รูปที่ 4.8 แสดงรายละเอียดหลังคาลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

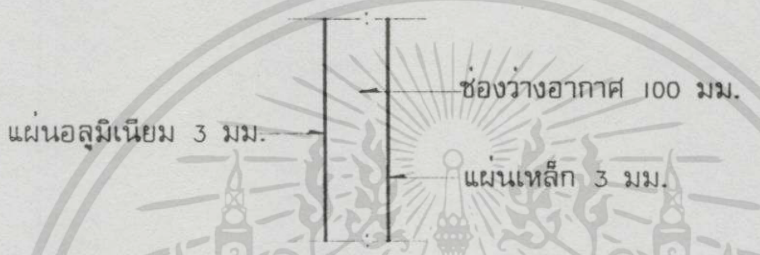
4.1.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (U_w) และค่าผลต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังทึบ

กำหนดให้ Δx คือ ความหนาของวัสดุ (m)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/mk)

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน (W/m^2k)

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม ($W/m^2 - {}^0C$)



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะโครงสร้างของผนังทึบ (ลักษณะ 1)

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดการคำนวณค่า U_w

โครงสร้าง	$\frac{\Delta x}{K}$	R $(W/m^2K)^{-1}$	หมายเหตุ (ดูตารางในภาคผนวก ข)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	ตารางที่ 4
2. แผ่นอลูมิเนียม 3 มม.	$\frac{0.003}{211}$	0.0000142	ตารางที่ 3
3. ช่องว่างอากาศ 100 มม.		0.160	ตารางที่ 5
4. แผ่นเหล็ก 3 มม.	$\frac{0.003}{47.6}$	0.000063	ตารางที่ 3
5. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	ตารางที่ 4
ความต้านทานความร้อนรวม (R_t)		0.324	

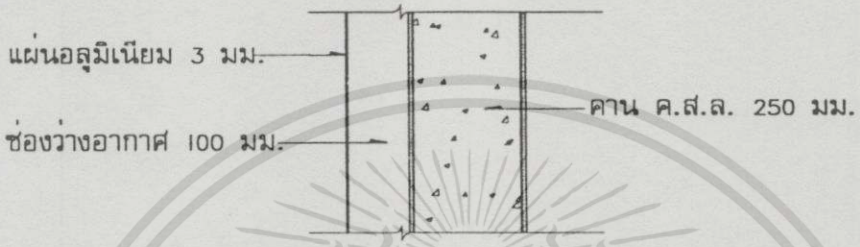
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_w = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0.324} = 3.083 \quad W/m^2 - {}^0C$$

มวลผนัง = (2672) (3.086) + (7840) (3.086)

= 8245.79 + 24194.24 = 32440.03 Kg / m^2

วัสดุผิวสีอ่อน TD_{eq} = 10^0C (จากตารางที่ 1 และ 6)



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของคานคอนกรีต (ลักษณะที่ 5)

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า U_w

โครงสร้าง	$\frac{\Delta x}{K}$	R $(W/m^2K)^{-1}$	หมายเหตุ (ดูตารางในภาคผนวก ข)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	ตารางที่ 4
2. แผ่นอลูมิเนียม 3 มม.	$\frac{0.003}{211}$	0.0000142	ตารางที่ 3
3. ช่องว่างอากาศ 100 มม.	-	0.160	ตารางที่ 5
4. คาน คสล. 250 มม.	$\frac{0.250}{1.442}$	0.173	ตารางที่ 3
5. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	ตารางที่ 4
ความต้านทานความร้อนรวม (R_t)		0.497	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$U_w = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0.497} = 2.012$ $W/m^2 - {}^0C$

มวลผนัง = (2672) (0.003) + (2400) (0.25) =

8.016 + 600 = 608.016 Kg / m^2

วัสดุผิวสีอ่อน TD_{eq} = 10^0C (จากตารางที่ 1 และ 6)

4.1.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (U_f) และค่าผลต่างอุณหภูมิภายนอกและภายในของผนังที่เป็นกระจก (ΔT) ผนังกระจก Reflector สีฟ้า หนา 8 มม.

รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของกระจก Reflective (ลักษณะที่ 19)

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า U_f

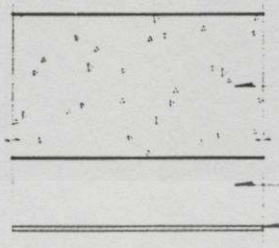
โครงสร้าง	$\frac{\Delta x}{K}$	R $(W/m^2K)^{-1}$	หมายเหตุ (ดูตารางในภาคผนวก ข)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	ตารางที่ 4
2. ผนังกระจก Reflector	0.008 / 1.053	0.0075	ตารางที่ 3
3. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	ตารางที่ 4
ความต้านทานความร้อนรวม (R_t)		0.1715	

$U_f = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0.1715} = 5.83$ $W/m^2 - {}^0C$

ΔT = $5\ ^0C$ (ค่ามาตรฐานของความแตกต่างอุณหภูมิ ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยเฉพาะส่วนของกระจกเท่านั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวมของหลังคา (U_r) และค่าผลต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะโครงสร้างของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก (ลักษณะที่ 2)

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า U_r

โครงสร้าง	$\frac{\Delta x}{K}$	R $(W/m^2K)^{-1}$	หมายเหตุ (ดูตารางในภาคผนวก ข)
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	ตารางที่ 4
2. คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.750	0.520	ตารางที่ 3
	1.442		
3. ช่องว่างอากาศ 400 มม.	-	0.174	ตารางที่ 5
4. แผ่นอคูสติก 12 มม.	0.012	0.062	ตารางที่ 3
	0.191		
5. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.162	ตารางที่ 4
ความต้านทานความร้อนรวม (R_t)		0.973	

$$U_r = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0.973} = 1.027 \quad W/m^2 - {}^0C$$

มวลของหลังคา = (2400) x (0.75) + (880) (0.12)

= 1800 + 105.6 = 190506 Kg / m^2

วัสดุสีผิวค่อนข้างเข้ม TD_{eq} = 24^0C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณพื้นที่ของกรอบอาคาร

4.2.1 การคำนวณหาพื้นที่ของกรอบอาคารส่วนที่เป็นผนัง จะคำนวณเฉพาะส่วนอาคารที่เป็นส่วนสำนักงานซึ่งเป็นพื้นที่ประโยชน์ใช้สอยหลัก โดยจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่กรอบอาคารส่วนที่เป็นผนังและพื้นที่กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคาโดยจะแยกตามทิศของผนังอาคารในแต่ละชั้นเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณโปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a ต่อไป

4.2.2 การคำนวณหาพื้นที่ของกรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา จะคำนวณชั้นที่ 3, 4, 5 แต่หลังคาส่วนบนสุดของอาคาร คือ ชั้นที่ 33 เป็นส่วนจัดเลี้ยง (Sky lounge) และชั้นที่ 34 ส่วนหนึ่งเป็นห้องเครื่อง A.H.U. ของระบบปรับอากาศ, ห้องเครื่องลิฟท์ และแทงค์น้ำ การใช้งานเป็นเพียงบางโอกาส ซึ่งมีผลกระทบต่อภาระการปรับอากาศและการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) น้อยมาก ในการคำนวณจึงมิได้คำนวณพื้นที่หลังคาส่วนนี้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 สรุปการคำนวณพื้นที่กรอบอาคารส่วนผนัง

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ						ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่		รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)			กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
1	เหนือ	1	แผ่นอลูมิเนียม	10.8	0.8	1	3	8.64	10	กระจก Reflective สีฟ้า	1.72	4.82	6	10	49.74	70.20
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100									
			แผ่น steel	-	-	-	3									
		2	แผ่นอลูมิเนียม	10.8	0.8	1	3	8.64								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100									
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	400									
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	3.18								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	20.5	-	-	-	-	-	-	49.74	70.20
	ใต้	1	แผ่นอลูมิเนียม	12	0.6	48	3	34.56	11	กระจกใส	18	9.8	22	12	388.08	639.00
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100									
			แผ่น steel	-	-	-	3									
		4	กรอบอลูมิเนียม	10.8	9.8	1.5	3	158.76								
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	100									
			ปูนฉาบ	-	-	-	20									
		5	กรอบอลูมิเนียม	12	1	48	3	57.6								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100									
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	250									
	รวม		-	-	-	-	-	250.9	-	-	-	-	-	-	388.08	639.00

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในพระบรมราชูปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมหาวชิราลงกรณ

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	ลักษณะที่	รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)			กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
1	ตะวันตก	6	แกรนิต	12	5	1	5	60.00	10	กระจก Reflective สีฟ้า	1.72	4.82	7	10	58.03	359.58
			ปูนฉาบ	-	-	-	20		11	กระจกใส	1.8	9.8	2	12	35.28	
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	100									
		7	แกรนิต	26.4	5	1	5	132.00								
			ปูนฉาบ				20									
			คอนกรีต คสล.				700									
		4	แผ่นอลูมิเนียม	72	9.8	1	3	70.56								
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	100									
			ปูนฉาบ	-	-	-	20									
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	3.71								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	266.27	-	-	-	-	-	-	93.31	359.58
	ตะวันตกเฉียงเหนือ	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	42	3	80.64	12	กระจก Reflective สีฟ้า	1.8	5	28	10	252.00	255.00
			ฉนวนใยแก้ว	-			50									
	รวม		-	-	-	-	-	80.6	-	-	-	-	-	-	252.00	332.64
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	618.3	-	-	-	-	-	-	783.1	1401.43

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
2	เหนือ	1	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56	13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	3	8	2.42	16.63	
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100		14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	3	8	7.80		
			แผ่น steel	-	-	-	3										
		2	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100										
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	400										
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	1.30									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	6.4	-	-	-	-	-	-	10.21	16.63	
	ตะวันตก	1	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	0.6	38	3	27.36	13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	38	8	30.64	219.06	
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100		14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	38	8	98.74		
			แผ่น steel	-	-	-	3										
		4	กรอบอลูมิเนียม	1.2	1	38	3	45.6									
			คอนกรีต คลล	-	-	-	100										
			ปูนฉาบ	-	-	-	20										
		3	กรอบอลูมิเนียม	-	-	-	3	16.72									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			คอนกรีต คลล	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	89.7	-	-	-	-	-	-	129.38	219.	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ						ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่		รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)			กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
2	ตะวันตก	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	42	3	88.32	15	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	3.12	46	8	160.74	265.78
	เฉียงเหนือ		ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50									
		3	กรอบอลูมิเนียม	-	-	-	3	16.72								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	105.04	-	-	-	-	-	-	160.74	256.78
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	201.1	-	-	-	-	-	-	**300.3**	**501.48**

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง							พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่		
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)		
3	เหนือ	1	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	3	8	2.42		16.63
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100			14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	3	8	7.80		
			แผ่น steel	-	-	-	3											
		5	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100											
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	250											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	1.30										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	6.4		-	-	-	-	-	-	10.21		16.63
	ใต้	1	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	0.6	48	3	34.56		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	48	8	38.71		276.45
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100			14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	48	8	124.72		
			แผ่น steel	-	-	-	3											
		5	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.0	48	3	57.6										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100											
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	250											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	20.86										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	113.0		-	-	-	-	-	-	163.43		276.45

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง							พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)		
				กว้าง	สูง							กว้าง	สูง					
3	ตะวันตก	1	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	0.6	51	3	36.72		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	51	8	41.13		293.75
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100			14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	51	8	132.52		
			แผ่น steel	-	-	-	3											
		5	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.0	51	3	61.2										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100											
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	250											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	22.19										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	120.11		-	-	-	-	-	-	173.64		293.75
	ตะวันตกเฉียงเหนือ	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	44	3	84.48		15	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	3.12	44	8	153.75		253.44
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	15.21										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	99.7		-	-	-	-	-	-	153.75		253.44
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	339.2		-	-	-	-	-	-	501.0		840.28

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง							พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)		
				กว้าง	สูง							กว้าง	สูง					
4	เหนือ	1	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	3	8	2.42		16.63
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100			14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	3	8	7.80		
			แผ่น steel	-	-	-	3											
		5	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100											
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	250											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	1.30										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	6.42		-	-	-	-	-	-	10.21		16.63
	ใต้	1	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	0.6	20	3	14.4		16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	36	8	61.29		297.59
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100			15	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	3.12	36	8	125.80		
			แผ่น steel	-	-	-	3											
		5	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.0	20	3	24.00										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100											
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	250											
		4	แผ่นอลูมิเนียม	10.8	4.8	1	3	51.48										
			ช่องว่างอากาศ		-		100											
			คอนกรีต คสล.		-		20											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	20.27										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	11.05		-	-	-	-	-	-	187.08		297.59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	ลักษณะที่	รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)			กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
4	ตะวันตก	1	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	0.6	49	3	35.28	13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	40	8	32.26	334.07
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100		14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	40	8	103.94	
			แผ่น steel	-	-	-	3									
		5	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.0	49	3	58.80								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100									
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	250									
		4	แผ่นอลูมิเนียม	10.8	4.8	1	3	51.84								
			คอนกรีต คสล	-	-	-	100									
			ปูนฉาบ	-	-	-	20									
		9	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	3.2	9	3	34.56								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100									
			แผ่นไม้อัด	-	-	-	12									
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	17.40								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	197.88	-	-	-	-	-	-	136.19	334.07
	ตะวันตกเฉียงเหนือ	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	44	3	82.56	14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	3.12	43	8	150.26	247.71
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50									
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	14.89								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	97.5	-	-	-	-	-	-	153.75	247.71
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	412.3	-	-	-	-	-	-	483.8	896.01

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)	
				กว้าง	สูง							กว้าง	สูง				
5	เหนือ	1	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	3	8	2.42	56.95
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100			14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	3	8	7.80	
			แผ่น steel	-	-	-	3										
		5	แผ่นอลูมิเนียม	3.2	0.8	1	3	2.56									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100										
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	250										
		4	แผ่นอลูมิเนียม	8.4	4.8	1	3	40.32									
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	100										
			ปูนฉาบ	-	-	-	20										
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	1.30									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	6.42		-	-	-	-	-	-	10.21	56.95
	ใต้	1	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	16	3	30.72		17	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	3.04	16	8	54.48	144.01
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100										
			แผ่น steel	-	-	-	3										
		5	แผ่นอลูมิเนียม	10.8	4.8	1	3	51.84									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100										
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	250										
		3	แผ่นอลูมิเนียม	--	-	-	3	6.97									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	89.5		-	-	-	-	-	-	54.48	144.01

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
5	ตะวันตก	1	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	0.6	50	3	36.00	17	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	3.04	16	8	54.48	483.85
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	50	8	40.32	
			แผ่น steel	-	-	-	3		14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32	50	8	129.92	
		5	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.0	50	3	60.00								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	100									
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	250									
		4	แผ่นอลูมิเนียม	10.8	4.8	2	3	103.68								
			คอนกรีต คสล	-	-	-	100									
			ปูนฉาบ	-	-	-	20									
		8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	16	3	30.72								
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50									
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	28.73								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	259.13	-	-	-	-	-	-	224.72	483.85
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	395.40	-	-	-	-	-	-	289.41	684.81

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
6	ใต้	4	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	4.0	18	3	86.40	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	20	8	34.05	182.40	
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	100		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	20	8	16.13		
			ปูนฉาบ	-	-	-	20										
		8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	20	3	38.4									
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50										
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	7.42									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	132.2	-	-	-	-	-	-	-	-	182.40
	ตะวันออก	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	45	3	86.4	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	45	8	76.61	216.00	
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	45	8	36.29		
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	16.70									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	103.1	-	-	-	-	-	-	112.90	216.00	
	ตะวันตก	4	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	4.0	18	3	86.40	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	17	8	28.94	288.9	
			คอนกรีต คลล.	-	-	-	100		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	17	8	13.71		
			ปูนฉาบ	-	-	-	20		14	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	2.32		8	109.13		
		8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	17	3	32.64									
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50										
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	18.14									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	137.18	-	-	-	-	-	-	151.78	288.96	

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ผนังโปร่งแสง							พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)	ลักษณะที่	รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)		
				กว้าง	สูง						กว้าง	สูง					
6	ตะวันตก เฉียงใต้	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	13	3	24.96	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	13	8	22.13	62.40	
		3	ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	13	8	10.48		
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	4.83									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	29.79	-	-	-	-	-	-	32.61	62.40	
	ตะวันตก เฉียงเหนือ	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	14	3	26.88	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	14	8	23.83	69.71	
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50		13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	14	8	11.29		
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	7.71									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	34.6	-	-	-	-	-	-	35.12	69.71	
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	436.88	-	-	-	-	-	-	382.59	819.47	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง							พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่		
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)		
7	เหนือ	4	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	4.0	18	3	43.20		18	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	1.52	18	8	29.82		125.28
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	100			19	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	0.72	18	8	14.13		
			ปูนฉาบ	-	-	-	20											
		8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	20	3	34.56										
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	3.57										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	81.3		-	-	-	-	-	-	43.95		125.28
	ใต้	4	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	4.0	18	3	86.40		18	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	1.52	18	8	29.82		168348
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	100			19	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	0.72	18	8	14.13		
			ปูนฉาบ	-	-	-	20											
		8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	45	3	34.56										
			ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50											
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	3.57										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	124.5		-	-	-	-	-	-	43.95		168.48

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง							พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่		
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)		
7	ตะวันตก	4	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	4.0	18	3	86.40		16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	46	8	78.31		389.32
			คอนกรีต คสล.	-	-	-	100			13	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	0.72	46	8	37.09		
			ปูนฉาบ	-	-	-	20			18	กระจกReflective สีฟ้า	1.09	1.52	18	8	29.82		
		8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	13	3	122.88		19	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	0.72	18	8	14.13		
		3	ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	20.69										
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124											
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3											
	รวม		-	-	-	-	-	229.97		-	-	-	-	-	-	159.35		389.32
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	435.83		-	-	-	-	-	-	247.25		683.08

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ							ผนังโปร่งแสง							พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)	ลักษณะที่	รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)		
				กว้าง	สูง						กว้าง	สูง					
8-31	เหนือ	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	846	3	1624.32	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	432	8	735.44	4086.65	
			ฉนวนใยแก้ว	-	-		50		18	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	1.52	432	8	715.74		
		9	แผ่นอลูมิเนียม	1.121	0.72	432	3	348.36	19	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	0.72	432	8	339.03		
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นไม้อัด	-	-	-	12										
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	323.76									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	2296.4	-	-	-	-	-	-	1709.21	4086.65	
	ใต้	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	846	3	1624.32	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	432	8	735.44	4086.65	
			ฉนวนใยแก้ว	-	-		50		18	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	1.52	432	8	715.74		
		9	แผ่นอลูมิเนียม	1.121	0.72	432	3	348.36	19	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	0.72	432	8	339.03		
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นไม้อัด	-	-	-	12										
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	323.76									
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124										
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3										
	รวม		-	-	-	-	-	2296.4	-	-	-	-	-	-	1790.21	4086.65	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชั้นที่	ทิศ	ลักษณะที่	ผนังทึบ						ลักษณะที่	ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
			รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่		รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา	พื้นที่	
				กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)			กว้าง	สูง		(mm.)	(m^2)	
8-31	ออก	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	846	3	1624.32	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	432	8	735.44	4086.65
			ฉนวนใยแก้ว	-	-		50		18	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	1.52	432	8	715.74	
		9	แผ่นอลูมิเนียม	1.121	0.72	432	3	348.36	19	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	0.72	432	8	339.03	
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นไม้อัด	-	-	-	12									
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	323.76								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	2296.4	-	-	-	-	-	-	1709.21	4086.65
	ตก	8	แผ่นอลูมิเนียม	1.2	1.6	846	3	1624.32	16	กระจก Reflective สีฟ้า	1.12	1.52	432	8	735.44	4086.65
			ฉนวนใยแก้ว	-	-		50		18	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	1.52	432	8	715.74	
		9	แผ่นอลูมิเนียม	1.121	0.72	432	3	348.36	19	กระจก Reflective สีฟ้า	1.09	0.72	432	8	339.03	
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นไม้อัด	-	-	-	12									
		3	แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3	323.76								
			ช่องว่างอากาศ	-	-	-	124									
			แผ่นอลูมิเนียม	-	-	-	3									
	รวม		-	-	-	-	-	2296.4	-	-	-	-	-	-	1790.21	4086.65
	รวมทั้งสิ้น		-	-	-	-	-	9185.8	-	-	-	-	-	-	7160.8	16346.59

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.8 สรุปการคำนวณพื้นที่กรอบอาคารส่วนหลังคา

บริเวณอาคาร	ลักษณะ	ผนังทึบ						ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
		รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)	รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)	
			กว้าง	ยาว					กว้าง	สูง				
หลังคาชั้นที่ 3	1	คอนกรีต คสล.	-	-	1	250	481.25	-	-	-	-	-	-	481.25
		ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50		-	-	-	-	-	-	-
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	291		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นยิปซั่ม	-	-	-	9		-	-	-	-	-	-	-
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	1.300		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นฝ้าอะคูสติก	-	-	-	12		-	-	-	-	-	-	-
	2	คอนกรีต คสล.	-	-	1	750	63.75	-	-	-	-	-	-	63.75
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	400		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นฝ้าอะคูสติก	-	-	-	12		-	-	-	-	-	-	-
รวม		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	545.0
หลังคาชั้นที่ 4	1	คอนกรีต คสล.	-	-	1	250	691.78	-	-	-	-	-	-	691.78
		ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50		-	-	-	-	-	-	-
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	291		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นยิปซั่ม	-	-	-	9		-	-	-	-	-	-	-
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	1.300		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นฝ้าอะคูสติก	-	-	-	12		-	-	-	-	-	-	-
	2	คอนกรีต คสล.	-	-	1	750	112.50	-	-	-	-	-	-	112.50
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	400		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นฝ้าอะคูสติก	-	-	-	12		-	-	-	-	-	-	-
รวม		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-		804.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

บริเวณอาคาร	ลักษณะ	ผนังทึบ						ผนังโปร่งแสง						พื้นที่รวม (m^2)
		รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)	รายละเอียด	ขนาด		จำนวน	ความหนา (mm.)	พื้นที่ (m^2)	
			กว้าง	ยาว					กว้าง	สูง				
หลังคาชั้นที่ 5	3	กระเบื้องเซรามิค	-	-	1	5	581.88	-	-	-	-	-	-	581.88
		ปูนผสมทราย	-	-	-	20		-	-	-	-	-	-	-
		คอนกรีต คสล.	-	-	-	250		-	-	-	-	-	-	-
		ฉนวนใยแก้ว	-	-	-	50		-	-	-	-	-	-	-
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	291		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นยิปซั่ม	-	-	-	9		-	-	-	-	-	-	-
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	1.000		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นฝ้าอะคูสติก	-	-	-	12		-	-	-	-	-	-	-
	4	กระเบื้องเซรามิค	-	-	1	5	83.4	-	-	-	-	-	-	83.40
		ปูนผสมทราย	-	-	-	20		-	-	-	-	-	-	-
		คอนกรีต คสล.	-	-	-	600		-	-	-	-	-	-	-
		ช่องว่างอากาศ	-	-	-	600		-	-	-	-	-	-	-
		แผ่นฝ้าอะคูสติก	-	-	-	12		-	-	-	-	-	-	-
	รวม	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	665.28
	รวมทั้งสิ้น	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2014.56

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดวัสดุ, ค่าความหนาแน่น, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของผนังทึบ

ลักษณะที่	ชนิดวัสดุ	ชั้นที่ (Layer)	วัสดุ	ความหนา (mm.)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m^0C)	ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2{}^0C/W$)	สีทาภายนอก
1	ผนังส่วน A	1	แผ่นอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	สีบรอนซ์
		2	ช่องว่างอากาศ	100	-	0.625	0.174	-
		3	แผ่นเหล็ก	3	7,840	47.6	-	-
2	ผนังส่วนคาน 1	1	แผ่นอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	สีบรอนซ์
		2	ช่องว่างอากาศ	100	-	0.625	0.160	-
		3	คอนกรีต คสล.	400	2,400	1.442	-	-
3	กรอบอลูมิเนียม	1	กรอบอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	สีบรอนซ์
		2	ช่องว่างอากาศ	124	-	0.775	0.160	-
		3	กรอบอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	-
4	ผนังส่วนผนังทึบ	1	กรอบอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	สีบรอนซ์
		2	คอนกรีต คสล.	100	2,400	1.442	0.069	-
		3	ปูนฉาบ	20	1,568	0.533	0.061	-
5	ผนังส่วนคาน 2	1	กรอบอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	สีบรอนซ์
		2	ช่องว่างอากาศ	100	-	0.625	0.160	-
		3	คอนกรีต คสล.	250	2,400	1.442	0.173	-
6	ผนังส่วนผนังทึบ ชั้นที่ 1	1	แกรนิต	5	2,640	2.927	0.002	สีส้มแก่
		2	ปูนฉาบ	20	1,568	0.533	0.061	-
		3	คอนกรีต คสล.	100	2,400	1.442	0.069	-
7	ผนังส่วนผนังทึบ ชั้นที่ 1	1	แกรนิต	5	2,640	2.927	0.002	สีส้มแก่
		2	ปูนฉาบ	20	1,568	0.533	0.061	-
		3	คอนกรีต คสล.	100	2,400	1.442	0.485	-
8	ผนังส่วน A	1	แผ่นอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	สีบรอนซ์
		2	ฉนวนใยแก้ว	50	16	0.039	1.389	-
9	ผนังส่วน C	1	แผ่นอลูมิเนียม	3	2,672	211	-	สีบรอนซ์
		2	ช่องว่างอากาศ	142	-	0.775	0.160	
		3	แผ่นไม้อัด	12	528	0.138	0.056	

ตารางที่ 4.10 แสดงรายละเอียดวัสดุ, ค่าการนำความร้อน, ค่าสัมประสิทธิ์การกันแดดและอุปกรณ์กันแดดของผนังโปร่งแสง (กระจก)

ลักษณะที่	ชนิดวัสดุ	ชั้นที่ (Layer)	วัสดุ	ความหนา (mm.)	มวลของกระจก (kg/m^2)	ค่าการนำความร้อน ($W/m\ ^oC$)	Shading Coefficient (SC1) (1)	อุปกรณ์บังแดด
10	ส่วนผนังกระจกด้านข้าง ชั้นที่ 1	1	กระจก Reflective สีฟ้า	10	1000	4.7	0.443	Overhang กว้าง 7.35ม. ห่างจากขอบบน 0 ม.
11	กระจกทางเข้า ชั้นที่ 1	1	กระจกใส	12	1200	5.5	0.95	Overhang กว้าง 8.4ม. ห่างจากขอบบน 0 ม.
12	ส่วนผนังกระจกด้านข้าง ชั้นที่ 1	1	กระจก Reflective สีฟ้า	10	100	4.7	0.396	Overhang กว้าง 4.9ม. ห่างจากขอบบน 0 ม.
13	ส่วนผนังกระจกส่วน C ชั้นที่ 2-31	1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	800	4.7	0.5	-
14	ส่วนผนังกระจกส่วนโค้ง ชั้นที่ 2-31	1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	800	4.7	0.5	-
15	ส่วนผนังกระจกส่วน C ชั้นที่ 2-31	1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	800	4.7	0.5	-
16	ส่วนผนังกระจกส่วน B ชั้นที่ 2-31	1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	800	4.7	0.5	-
17	ส่วนผนังกระจกด้านข้าง ชั้นที่ 5	1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	800	4.7	0.30	Overhang กว้าง 2.4ม. ห่างจากขอบบน 0 ม.
18	ส่วนผนังกระจกส่วน B ชั้นที่ 7-31	1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	800	4.7	0.5	-
19	หน้าต่างกระจกส่วน C ชั้นที่ 7-31	1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	800	4.7	0.5	-

ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดวัสดุ, ค่าความหนาแน่น, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อนของหลังคา

ลักษณะที่	ชั้นที่ (Layer)	วัสดุ	ความหนา (mm.)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m^0C) (K)	ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2{}^0C/W$) (R)	สีทาภายนอก	ลักษณะรูปทรงของหลังคา
1	1	คอนกรีต คสล.	250	2,400	1.442	0.173	สีเทา	หลังคาราบ
	2	ฉนวนใยแก้ว	50	16	0.039	1.389	-	-
	3	ช่องว่างอากาศ	291	-	1.672	0.174	-	-
	4	แผ่นยอปซั่ม	9	880	0.191	0.047	-	-
	5	ช่องว่างอากาศ	1,300	-	2.838	0.458	-	-
	6	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	900	0.191	0.056	-	-
2	1	คอนกรีต คสล.	750	2,400	1.442	0.520	สีเทา	หลังคาราบ
	2	ช่องว่างอากาศ	400	-	2.298	0.174	-	-
	3	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	900	0.191	0.056	-	-
3	1	กระเบื้องเซรามิค	5	2,640	1.298	0.015	สีเทา	หลังคาราบ
	2	ปูนผสมทราย	20	1,568	0.533	0.038	-	-
	3	คอนกรีต คสล.	250	2,400	1.442	0.173	-	-
	4	ฉนวนใยแก้ว	50	60	0.039	1.389	-	-
	5	ช่องว่างอากาศ	291	-	1.672	0.174	-	-
	6	แผ่นยอปซั่ม	9	880	0.191	0.047	-	-
	7	ช่องว่างอากาศ	1,000	-	2.183	0.458	-	-
	8	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	880	0.191	0.056	-	-
4	1	กระเบื้องเซรามิค	5	2,100	1.298	0.015	สีเทา	หลังคาราบ
	2	ปูนผสมทราย	20	1,568	0.533	0.038	-	-
	3	คอนกรีต คสล.	600	2,400	1.442	0.416	-	-
	4	ช่องว่างอากาศ	600	-	3.448	0.174	-	-
	5	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	900	0.191	0.056	-	-

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.3 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (โปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a)

การคำนวณหาค่า OTTV / RTTV ของกรอบอาคารจะคำนวณโดยใช้โปรแกรม OTTVEE ซึ่งย่อมาจาก Overall Thermal Transfer Value and Energy Estimation Version 1.0 a ของสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยในส่วนของ Podium จะไม่คำนวณด้านทิศตะวันออก (ยกเว้น Canteen) เนื่องจากมีส่วนจอดรถความสูง 5 ชั้น เป็น Buffer space ซึ่งการคำนวณหาค่า OTTV จะไม่คำนวณส่วนของอาคารที่ไม่ได้เปิดสู่ภายนอกและรับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยตรง เช่นเดียวกับส่วนของ Basement และด้านทิศเหนือของชั้นที่ 6 ซึ่งเป็นส่วนร้านค้า, เตรียมอาหาร และ Service Lift ซึ่งเป็น Buffer space ให้กับส่วน Canteen แต่จะคำนวณส่วน Canteen ในด้านทิศตะวันออก เนื่องจากส่วนนี้อยู่บนส่วนจอดรถ Façade เปิดสู่ภายนอกโดยตรง

เนื่องจากกรอบอาคารมีลักษณะผนังหลายแบบและโปรแกรมไม่สามารถรายงานผล (Out– put) ให้ทราบถึงลักษณะของผนังว่าเป็นลักษณะใด จึงได้แสดงรายละเอียดของผนังในแต่ละลักษณะไว้ในตารางที่ 4.7 (ผนังทึบ), ตารางที่ 4.8 (ผนังโปร่งแสง), ตารางที่ 4.9 (ผนังส่วนหลังคา) เพื่อเป็นข้อในการป้อนโปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV)

รายงานการคำนวณ OTTV และ RTTV

ชื่อโครงการ	ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)	หน้าที่-1
ชื่อบริเวณ	อาคารสำนักงาน 31 ชั้น	
ชนิดบริเวณ	อาคารสำนักงาน	
ที่ตั้งโครงการ	กรุงเทพมหานคร	
ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ	4,058.0 ตารางเมตร	
ความสูงของบริเวณ (FL.to FL.)	4 เมตร	

ค่า OTTV ของอาคาร **89.36** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

ค่า RTTV ของอาคาร **0.00** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

รายละเอียดค่า OTTV และ RTTV

	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	รวม	
ทิศ N	31.58	77.83	64.37	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ENE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ E	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ESE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ S	29.47	197.83	131.71	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ W	26.23	89.04	42.53	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NW	8.40	81.66	63.91	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
หลังคา	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

Calculated by OTTVEE Version 1.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

ชื่อโครงการ ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่) หน้าที่-2

ชื่อบริเวณ อาคารสำนักงาน 31 ชั้น

รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

N	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-1	ผนังทึบ	8.6	3.100	14.0	-	-	373.24
	รายการที่-2	ผนังทึบ	8.6	1.700	9.0	-	-	132.19
	รายการที่-3	ผนังทึบ	3.2	3.100	14.0	-	-	138.88
	รายการที่-4	ผนังโปร่งแสง	49.7	5.700	5.0	111.4	0.443	3,868.27
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			20.4	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			644.31	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**31.58**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			49.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			3,868.27	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**77.83**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**64.37**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

S	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-5	ผนังทึบ	34.6	3.100	14.0	-	-	1,499.90
	รายการที่-6	ผนังทึบ	158.8	3.400	9.0	-	-	4,859.28
	รายการที่-7	ผนังทึบ	57.6	2.000	9.0	-	-	1,036.80
	รายการที่-8	ผนังโปร่งแสง	388.1	5.700	5.0	178.2	0.950	76,777.05
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			251.0	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			7,395.98	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**29.47**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			388.1	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			76,777.05	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**197.83**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**131.71**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

W	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-9	ผนังทึบ	60.0	3.400	12.0	-	-	2,448.00

Calculated by OTTVEE Version 1.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

ชื่อโครงการ	ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)		หน้าที่-3
ชื่อบริเวณ	อาคารสำนักงาน 31 ชั้น		

รายการที่-10	ผนังทึบ	132.0	1.400	12.0	-	-	2,217.60
รายการที่-11	ผนังทึบ	70.6	3.400	9.0	-	-	2,159.14
รายการที่-12	ผนังทึบ	3.7	3.100	14.0	-	-	160.58
รายการที่-13	ผนังโปร่งแสง	58.0	5.700	0.0	171.5	0.323	3,214.92
รายการที่-14	ผนังโปร่งแสง	35.3	5.700	5.0	171.5	0.675	5,092.94
รวม	พื้นที่ผนังทึบ			266.3	ตารางเมตร		
	Q ของผนังทึบ			6,985.32	วัตต์		
	ค่า OTTV ของผนังทึบ			**26.23**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
	พื้นที่ผนังโปร่งแสง			93.3	ตารางเมตร		
	Q ของผนังโปร่งแสง			8,307.86	วัตต์		
	ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**89.04**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
	ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**42.53**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

NW	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
รายการที่-15	ผนังทึบ	80.6	0.600	14.0	-	-	677.38
รายการที่-16	ผนังโปร่งแสง	252.0	5.700	5.0	134.2	0.396	20,578.08
รวม	พื้นที่ผนังทึบ			80.6	ตารางเมตร		
	Q ของผนังทึบ			677.38	วัตต์		
	ค่า OTTV ของผนังทึบ			**8.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
	พื้นที่ผนังโปร่งแสง			252.0	ตารางเมตร		
	Q ของผนังโปร่งแสง			20,578.08	วัตต์		
	ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**81.66**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
	ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**63.91**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

Calculated by OTTVEE Version 1.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

รายงานการคำนวณ OTTV และ RTTV

ชื่อโครงการ	ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่)	หน้าที่-1
ชื่อบริเวณ	อาคารสำนักงาน 31 ชั้น	
ชนิดบริเวณ	อาคารสำนักงาน	
ที่ตั้งโครงการ	กรุงเทพมหานคร	
ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ	54,859.0 ตารางเมตร	
ความสูงของบริเวณ (FL.to FL.)	4 เมตร	

ค่า OTTV ของอาคาร **0.00** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

ค่า RTTV ของอาคาร **11.57** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

รายละเอียดค่า OTTV และ RTTV

	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	รวม	
ทิศ N	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ENE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ E	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ESE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ S	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ W	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
หลังคา	11.57	-	11.57	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

Calculated by OTTVEE Version 1.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ชื่อโครงการ ธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่) หน้าที่-2

ชื่อบริเวณ อาคารสำนักงาน 31 ชั้น

รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

หลังคา	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-1	หลังคาทึบ	481.3	0.500	24.0	-	-	5,775.00
	รายการที่-2	หลังคาทึบ	63.8	1.000	24.0	-	-	1,530.00
	รายการที่-4	หลังคาทึบ	691.8	0.500	24.0	-	-	8,301.36
	รายการที่-5	หลังคาทึบ	112.5	1.000	24.0	-	-	2,700.00
	รายการที่-7	หลังคาทึบ	581.9	0.400	12.0	-	-	2,793.02
	รายการที่-8	หลังคาทึบ	83.4	1.100	24.0	-	-	2,201.76

รวม	พื้นที่ผนังทึบ	2,014.7	ตารางเมตร
	Q ของผนังทึบ	23,301.14	วัตต์
	ค่า OTTV ของผนังทึบ	**11.57**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
	พื้นที่ผนังโปร่งแสง	-	ตารางเมตร
	Q ของผนังโปร่งแสง	-	วัตต์
	ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
	ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**11.57**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

Calculated by OTTVEE Version 1.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 เป็นตัวอย่างการรายงานผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) อาคารธนาคารทหารไทย เฉพาะชั้นที่ 1 และการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ชั้น 3, 4 และ 5 เท่านั้น โดยผลการคำนวณค่า OTTV , RTTV และค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนัง (Q) –ของอาคารทั้งหมด สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.14 สรุปรายละเอียดพื้นที่ผนังค่า OTTV, และค่า Q ของอาคาร

ชั้นที่	พื้นที่ผนังอาคาร (m^2)	ค่า OTTV (W/m^2)	ค่า Q (W/)
1	1401.43	89.36	117,018.9
2	501.48	72.08	36,143.18
3	840.28	75.63	63,557.61
4	896.01	71.84	54,500.01
5	684.81	60.14	41,183.69
6	819.47	68.79	56,528.77
7	683.10	53.62	35,887.53
8-31	16346.56	57.64	942,168.25

พื้นที่ผนังอาคารรวม = 22,173.14 m^2

ปริมาณความร้อนผ่านผนังรวม (Q) = 1,346,987.94 W.

ค่าเฉลี่ย OTTV = 61.59 W / m^2

ตารางที่ 4.15 สรุปรายละเอียดพื้นที่ผนัง ค่า RTTV, และค่า Q ของอาคาร

ชั้นที่	พื้นที่ผนังอาคาร (m^2)	ค่า OTTV (W/m^2)	ค่า Q (W/)
3	545.1	13.4	7,350
4	804.3	13.68	11,001.36
5	665.3	7.51	4,994.78

พื้นที่หลังคารวม = 20,147 m^2

ปริมาณความร้อนผ่านผนังรวม (Q) = 23,301.14 W.

ค่าเฉลี่ย RTTV = 11.57 W / m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) แยกตามทิศต่างๆของอาคาร

ทิศของอาคาร	บริเวณของอาคาร (ชั้นของอาคาร)	พื้นที่ผนังทึบ (m^2)	พื้นที่ผนังโปร่งแสง (m^2)	ค่า Q ของผนังทึบ (W)	ค่า Q ของผนังโปร่งแสง (W)	ค่า OTTV (W/m^2)
ทิศเหนือ	ชั้นที่ 1	20.4	49.7	644.31	3,868.27	64.37
มุมอะซิมุท	ชั้นที่ 2	6.5	10.2	206.69	867.13	64.30
180^o	ชั้นที่ 3	6.5	10.2	213.60	865.43	64.61
	ชั้นที่ 4	6.5	10.2	213.60	865.43	64.61
	ชั้นที่ 5	46.8	10.2	1,447.39	865.43	40.58
	ชั้นที่ 7	81.4	43.9	1,923.40	3,721.69	43.80
	ชั้นที่ 8-31	2,296.5	1,790.1	40,375.77	151,594.98	46.98
รวม		**2,464.6**	**1,924.5**	**40,524.76**	**162,648.36**	**47.28**
ทิศใต้	ชั้นที่ 1	251.0	388.1	7,394.76	76,777.05	131.70
มุมอะซิมุท	ชั้นที่ 3	113.1	163.4	3,442.02	19,301.99	82.26
0^o	ชั้นที่ 4	110.5	187.1	3,522.98	22,099.07	86.10
	ชั้นที่ 5	89.5	54.5	2,568.87	4,493.07	49.04
	ชั้นที่ 6	132.2	50.1	3,288.43	5,927.27	50.52
	ชั้นที่ 7	124.6	43.9	3,090.38	5,189.02	49.14
	ชั้นที่ 8-31	2,296.5	1,790.1	40,375.77	211,459.60	61.62
รวม		**3,117.4**	**2,677.2**	**63,683.21**	**345,247.07**	**70.57**

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

ทิศของอาคาร	บริเวณของอาคาร (ชั้นของอาคาร)	พื้นที่ผนังทึบ (m^2)	พื้นที่ผนังโปร่งแสง (m^2)	ค่า Q ของผนังทึบ (W)	ค่า Q ของผนังโปร่งแสง (W)	ค่า OTTV (W/m^2)
ทิศตะวันออก มุมอะซิมุท -90^0	ชั้นที่ 6	103.1	112.9	1,450.54	13,379.72	68.66
	ชั้นที่ 8-31	2,296.5	1,790.1	40,375.77	212,175.69	118.53
รวม		**2,399.6**	**1,903.0**	**41,826.31**	**225,555.41**	**116.03**
ทิศตะวันตก มุมอะซิมุท 90^0	ชั้นที่ 1	266.3	93.3	6,985.75	8,307.86	42.53
	ชั้นที่ 2	89.7	129.3	3,308.43	14,843.06	82.88
	ชั้นที่ 3	120.1	173.6	3,658.30	19,928.08	80.31
	ชั้นที่ 4	197.8	136.2	6,188.99	15,625.72	65.29
	ชั้นที่ 5	259.1	224.7	7,319.94	24,489.99	65.75
	ชั้นที่ 6	137.1	151.7	3,705.30	18,506.47	76.28
	ชั้นที่ 7	230.0	159.3	4,574.41	18,287.01	58.72
	ชั้นที่ 8-31	2,296.5	1,790.1	40,378.80	205,431.87	60.15
รวม		**3,596.6**	**2,858.2**	**76,119.92**	**325,420.06**	**60.70**

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

ทิศของอาคาร	บริเวณของอาคาร (ชั้นของอาคาร)	พื้นที่ผนังทึบ (m^2)	พื้นที่ผนังโปร่งแสง (m^2)	ค่า Q ของผนังทึบ (W)	ค่า Q ของผนังโปร่งแสง (W)	ค่า OTTV (W/m^2)
ทิศตะวันตก เฉียงเหนือ มุมอะซิมุท 135^0	ชั้นที่ 1	80.6	252.0	6,985.75	8,307.86	42.53
	ชั้นที่ 2	105.0	160.7	1,467.54	15,450.33	63.67
	ชั้นที่ 3	99.7	153.8	1,369.74	14,778.45	63.70
	ชั้นที่ 4	97.5	150.3	1,339.73	14,783.26	64.16
รวม		**382.8**	**716.8**	**11,162.76**	**53,319.90**	**57.39**
ทิศตะวันตก เฉียงใต้ มุมอะซิมุท 45^0	ชั้นที่ 6	29.8	32.6	419.28	4,419.84	77.55
รวม		**29.8**	**32.6**	**419.28**	**4,419.84**	**77.55**
ทิศตะวันออก เฉียงใต้ มุมอะซิมุท -45^0	ชั้นที่ 6	34.6	35.1	560.40	4,871.52	77.93
รวม		**34.6**	**35.1**	**560.40**	**4,871.52**	**77.93**

สรุปการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) และหลังคา (Roof Thermal Transfer Value : RTTV) ของอาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวงดังนี้

ตารางที่ 4.17 แสดงค่า OTTV , RTTV เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง

รายการ	ผลการวิเคราะห์อาคารธนาคารทหารไทย (W/m^2)	ค่ามาตรฐานตามกฎกระทรวง (W/m^2)	ค่าความต่าง (W/m^2)	สรุป
ค่า OTTV	61.59	55	6.59	ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
ค่า RTTV	11.57	25	13.43	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ค่า OTTV เท่ากับ 61.59 W/m^2 ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ตามกฎกระทรวง 2538 (ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535) ซึ่งกำหนดให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารต้องมีค่าดังนี้

สำหรับอาคารใหม่ ไม่เกินกว่า 45 W/m^2

สำหรับอาคารเก่า ไม่เกินกว่า 55 W/m^2

สรุปค่า OTTV ของอาคารมีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานเท่ากับ 6.59 W/m^2 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจะได้ปรับปรุงกรอบผนังอาคารต่อไป

ส่วนผลการวิเคราะห์ค่า RTTV เท่ากับ 11.57 ซึ่งมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานกฎกระทรวง คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่าจะต้องมีค่าไม่เกิน 25 W/m^2 ของหลังคา และมีค่าความต่างถึง 13.43 W/m^2 จะเห็นได้ว่าค่า RTTV มีค่าต่ำและเหมาะสมกับการใช้งานอยู่แล้ว การวิจัยอาคารธนาคารทหารไทยนี้จึงจะไม่ปรับปรุงกรอบอาคารส่วนหลังคาของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การวิเคราะห์ภาระความเย็น (Cooling Load)

ภาระความเย็นที่ต้องการ ภายในแต่ละส่วนของพื้นที่การปรับอากาศนั้น มีองค์ประกอบต่างๆ ที่จะนำมาคิดคำนวณค่าภาระความเย็นเริ่มตั้งแต่ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร,พื้นที่กรอบอาคาร, จำนวนผู้ใช้อาคาร , จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าและการถ่ายเทอากาศ โดยแบ่งเป็นหัวข้อสำคัญดังนี้

1. ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Heat gain) ได้แก่ ความร้อนที่ไหลผ่านผนังทึบของอาคาร , ผนังโปร่งแสง (กระจก) , หลังคาทึบและหลังคาโปร่งแสงด้านนอกอาคาร

2. ความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านความร้อน (Transmission Heat load) ได้แก่ ความร้อนที่ไหลผ่านผนังภายในที่กั้นระหว่างห้อง , ฝ้าเพดาน และพื้นที่ห้อง

3. ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat load) ได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากร่างกายของคน , ความร้อนจากมอเตอร์ไฟฟ้า, ความร้อนจากการให้แสงสว่างของหลอดไฟ และความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

4. ความร้อนแฝง (Latent Heat load) ในการคำนวณภาระความเย็นนี้จะหมายถึง ความร้อนแฝงที่เกิดจากร่างกายคน ซึ่งขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำ (Metabolism)

ความร้อนต่างๆ ที่กล่าวมานี้จะเป็นภาระการทำความเย็น (Cooling load) การเลือกชนิดและขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับภาระความเย็นที่เกิดขึ้นในอาคาร

4.4.1 การคำนวณหาค่าภาระความเย็น (Cooling load) การคำนวณค่าภาระความเย็นของเครื่องปรับอากาศจะใช้ข้อมูลในการคำนวณและกรรมวิธีที่แนะนำโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยหรือ ASHRAE Hand Book of Fundamentel

การคำนวณหาค่าภาระความเย็นของเครื่องปรับอากาศสำหรับการศึกษาวิจัยอาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่นี้ จะใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a ซึ่งมีโปรแกรมคำนวณค่าภาระความเย็นรวมอยู่ด้วย โดยจะต้องป้อนข้อมูลพื้นฐานให้กับโปรแกรมคำนวณค่าการใช้พลังงานในอาคาร ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิที่ต้องการในการออกแบบ	เท่ากับ	25	^{0}C
2. ความชื้นที่ต้องการในการออกแบบ	เท่ากับ	55	%
3. ข้อมูลภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร เฉลี่ย		10	ปี
4. การรั่วไหลของอากาศในบริเวณปรับอากาศ		0.1	ครั้ง / ชม.
5. กิจกรรมของผู้ใช้อาคาร	นั่งทำงานในสำนักงาน		
6. จำนวนผู้ใช้อาคาร		16.50	ตร.ม. / คน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ปริมาณการระบายอากาศ 2.5 ลิตร / วินาที / คน

(ค่าปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการระบายอากาศของห้องที่ไม่สูบบุหรี่)

8. การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง

ใช้รูปแบบการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างภายในสำนักงาน

1) ภายในบริเวณปรับอากาศ

ฟลูออเรสเซนต์ 628.24 kw. + บัลลาสต์ธรรมดา 40 w. สูญเสีย 10 w.

อื่น ๆ 191.67 kw.

2) ภายนอกบริเวณปรับอากาศ

ฟลูออเรสเซนต์ 83.15 kw. + บัลลาสต์ธรรมดา 40 w. สูญเสีย 10 w.

อื่น ๆ 17.06 kw.

9. การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า

1) ภายในบริเวณปรับอากาศ

ชนิดอุปกรณ์	พิกัดกำลังไฟฟ้า (kw)	จำนวน (ชุด)
คอมพิวเตอร์	0.30	430
อุปกรณ์ทั่วไป	3	1
ระบบขนส่งภายใน	561.1	1

2) ภายนอกบริเวณปรับอากาศ

ชนิดอุปกรณ์	พิกัดกำลังไฟฟ้า (kw)	จำนวน (ชุด)
ระบบประปา	149.2	1
ระบบระบายอากาศ, อัดอากาศ	57.4	1
ระบบดับเพลิง	22.4	1
อุปกรณ์ทั่วไป	2	1

สรุปจากการคำนวณการใช้พลังงานภายในอาคารของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ภาระการปรับอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 37.25 ตร.ม./ ตัน, ขนาดระบบปรับอากาศ 1,485.02 ตัน โดยจะแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.18

เมื่อป้อนข้อมูลต่างๆ ของการใช้พลังงานภายในอาคารแล้ว โปรแกรมจะแสดงผลข้อมูลในแต่ละวันเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปีและแสดงผลเป็นกราฟวงกลมเทียบเป็นเปอร์เซนต์ของภาระปรับอากาศวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด, การใช้พลังงานวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด, ภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ และแสดงผลเป็นกราฟแท่งได้แก่ การใช้พลังงานตลอดปี และค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารตลอดปี ดังแสดงในรูปที่ 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ ซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงโดยซื้อไฟฟ้าในระดับแรงดัน 12 Kv. สำหรับการใช้พลังงานภายในอาคาร อัตราค่าไฟฟ้าของอาคารเป็นแบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD Rate) มีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge)

2) ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Charge)

On - Peak ช่วงเวลา 18.30 – 21.30 น.

Partial - Peak ช่วงเวลา 08.30 – 18.30 น.

(คิดค่าความต้องการไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On- Peak)

Off - Peak ช่วงเวลา 21.30 – 08.30 น.

(ไม่คิดค่าความต้องการพลังงาน)

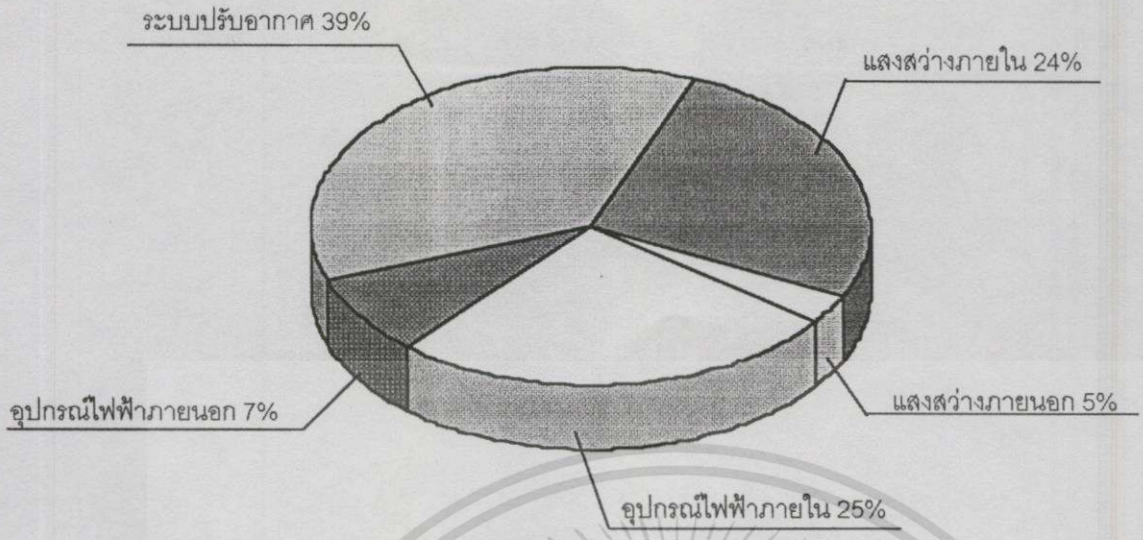
ตารางที่ 4.18 แสดงราคาระบบปรับอากาศ และค่าไฟฟ้าต่อปีก่อนการปรับปรุง

ชั้นที่	ขนาดระบบปรับอากาศ		ราคาระบบปรับอากาศ	ค่าไฟฟ้าทั้งปี
	(ตัน)	เฉลี่ย ($ม^2$/ตัน)	(บาท)	(บาท/ปี)
1	108.72	37.32	5,544,966.19	1,049,375.38
2	56.35	31.70	2,873,749.44	752,138.01
3	78.89	31.05	4,023,507.91	941,527.72
4	78.58	29.52	4007,476.70	929,320.20
5	59.48	37.88	3,033,384.12	631,780.89
6	71.60	54.47	3,651,753.70	866,542.71
7	50.01	40.63	2,550,537.38	722,079.72
8-31	981.39	35.45	50,050,844.98	14,727,743.85
รวม	**1,485.02**	**37.25**	**75,736,220.42**	**20,620,508.48**

สรุปภาระการปรับอากาศทั้งหมดและค่าไฟฟ้าของอาคาร

ขนาดระบบปรับอากาศ	=	1,485.02	ตัน
เฉลี่ย	=	37.25	ตร.ม./ ตัน
ราคาระบบปรับอากาศ	=	75,736,220.42	บาท
ค่าไฟฟ้าทั้งปี	=	20,620,508.48	บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

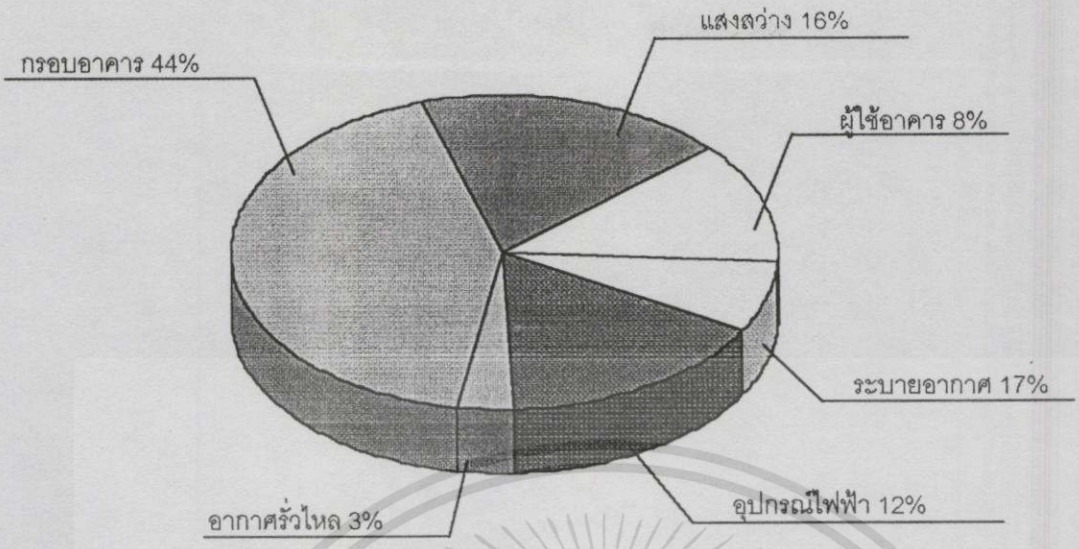


รูปที่ 4.13 แสดงการใช้พลังงานวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด

ตารางที่ 4.19 แสดงการใช้พลังงานในอาคาร

ชั้นที่	ระบบปรับอากาศ (kw / hr)	แสงสว่างภายใน (kw / hr)	แสงสว่างภายนอก (kw / hr)	อุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน (kw / hr)	อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก (kw / hr)
1	976	406	58	408	94
2	432	281	62	408	94
3	620	457	49	408	94
4	615	444	43	408	94
5	457	220	32	293	94
6	633	402	96	293	94
7	402	273	133	293	94
8 - 31	8,808	6,793	634	6,748	2,156
รวม	**12,943**	**9,276**	**1,107**	**9,259**	**2,814**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

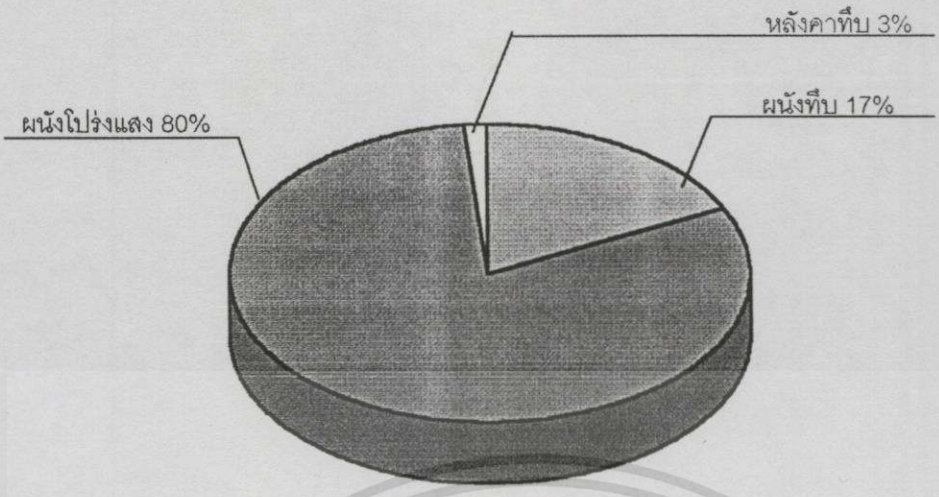


รูปที่ 4.14 แสดงภาระปรับอากาศวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุด

ตารางที่ 4.20 แสดงภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ

ชั้นที่	กรอบอาคาร (kw / hr)	แสงสว่าง (kw / hr)	อุปกรณ์ไฟฟ้า (kw / hr)	ผู้ใช้อาคาร (kw / hr)	ระบายอากาศ (kw / hr)	อากาศรั่วไหล (kw / hr)	ภาระทั้งหมด (kw / hr)
1	1,971	319	220	216	238	33	2,997
2	521	221	220	95	225	45	1,326
3	823	360	220	131	308	62	1,904
4	846	349	220	124	292	59	1,890
5	611	173	159	120	283	57	1,402
6	674	316	159	208	490	99	1,945
7	445	215	159	108	255	51	1,234
8 - 31	10,954	5,343	3,646	1,854	4,373	879	27,047
รวม	**16,845**	**7,296**	**5,003**	**2,856**	**6,464**	**1,285**	**39,745**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

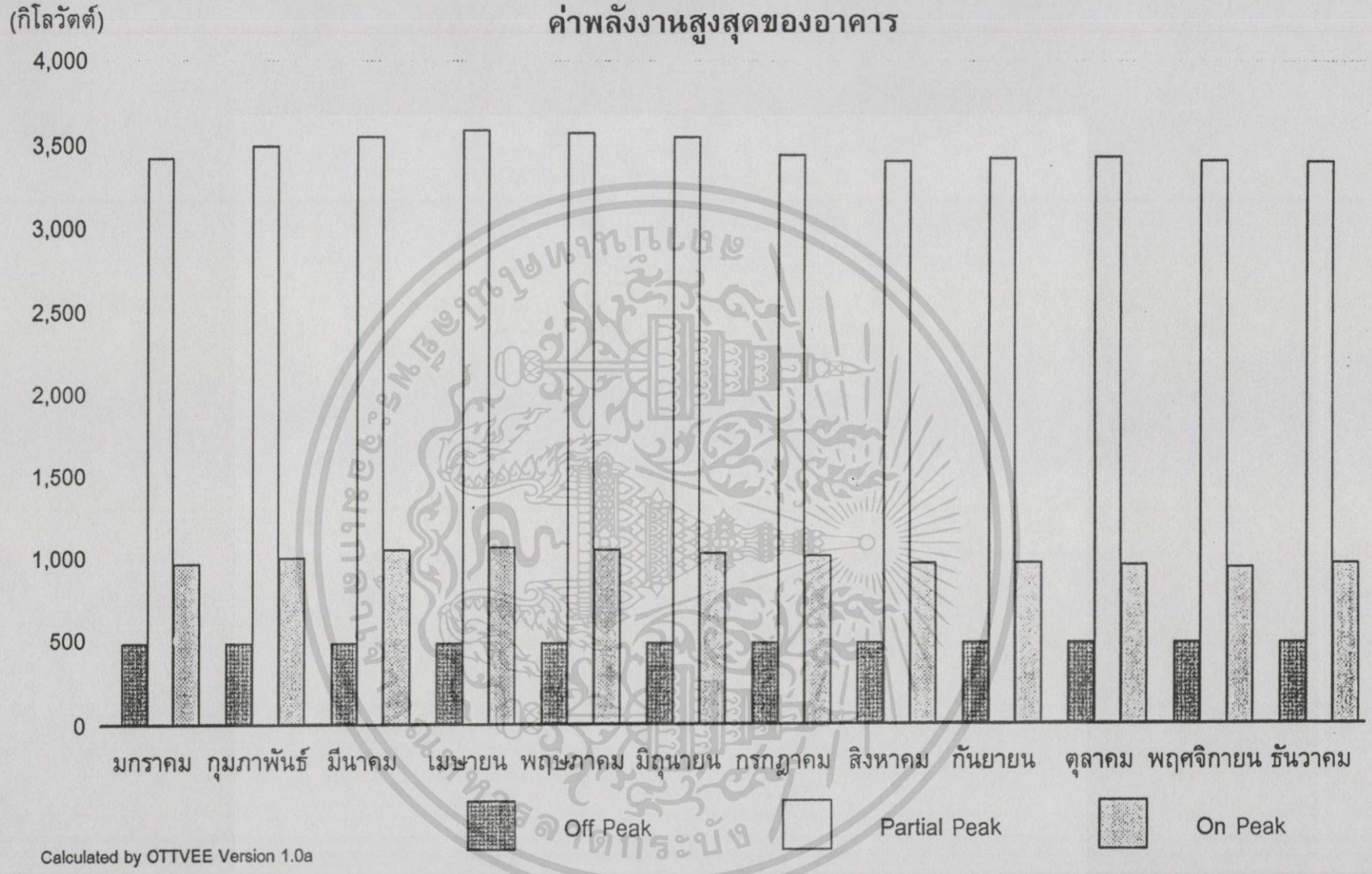


รูปที่ 4.15 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ

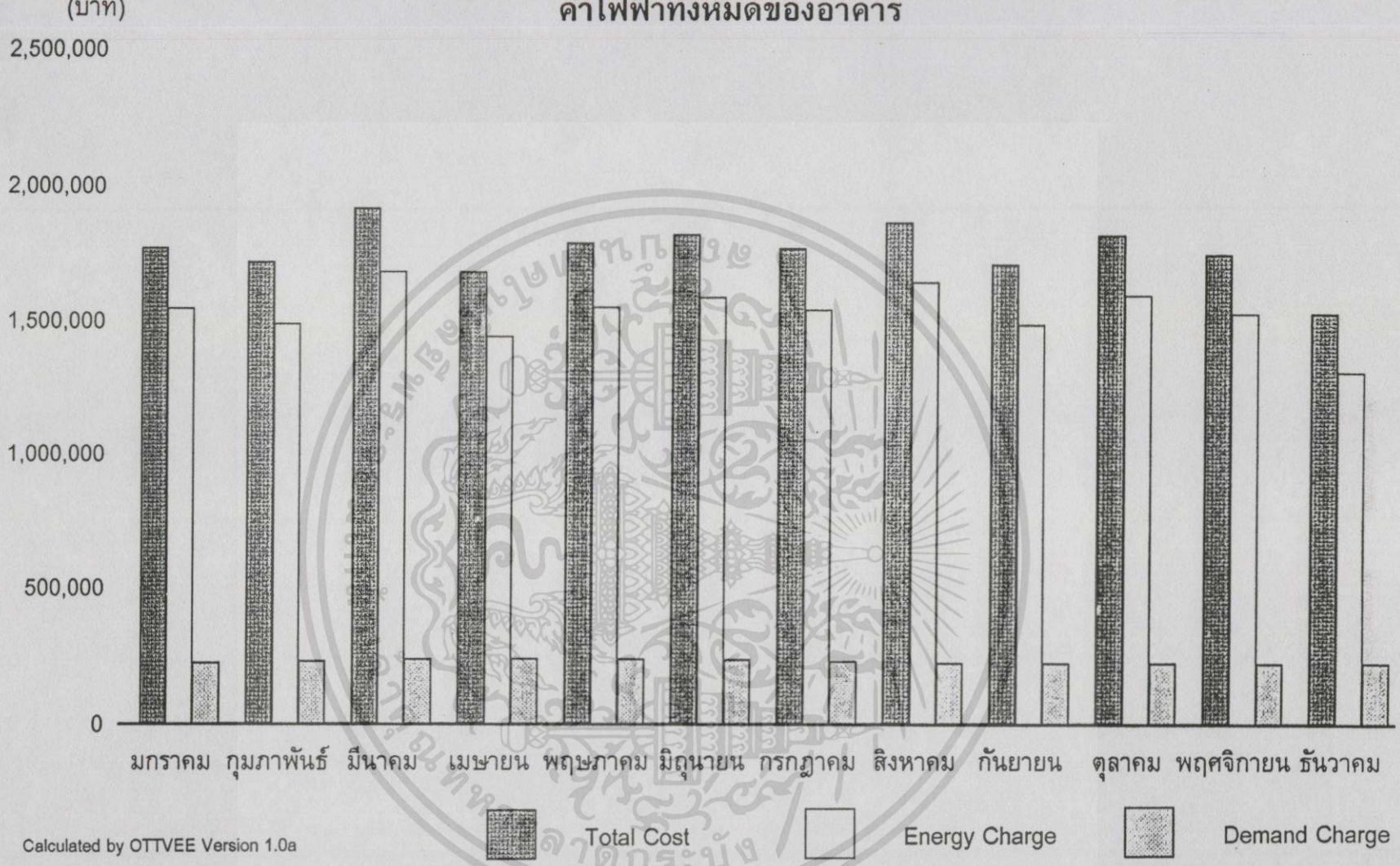
ตารางที่ 4.21 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ

ชั้นที่	ภาระในระบบปรับอากาศ						ภาระกรอบอาคาร
	ผนังทึบ (kw / hr)	ร้อยละ (%)	ผนังโปร่งแสง (kw / hr)	ร้อยละ (%)	หลังคาทึบ (kw / hr)	ร้อยละ (%)	(kw / hr)
1	170	9	1,801	91	-	-	1,971
2	68	13	453	87	-	-	521
3	104	13	658	80	61	7	823
4	136	16	616	73	94	11	846
5	130	21	402	66	78	13	611
6	114	17	559	83	-	-	674
7	103	23	342	77	-	-	445
8 - 31	2,149	20	8,805	80	-	-	10,945
รวม	**2,974**	**17**	**13,636**	**80**	**233**	**3**	**16,845**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงค่าพลังงานสูงสุดของอาคาร



รูปที่ 4.17 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร

4.5 การวิเคราะห์การลงทุนของกรอบอาคาร

อาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่เป็นอาคารสำนักงานที่มีการออกแบบกรอบอาคารที่ใช้ในระบบของกระจกเป็นผนังภายนอก (Curtain wall) สลับกับการใช้ Aluminium Cladding เป็นส่วนใหญ่ โดยมีผนังทึบบางส่วนเป็นคอนกรีต และผนังโปร่งแสงบางส่วนเป็นกระจกใส การลงทุนกรอบอาคารจะแยกเป็นแต่ละชั้น และรวมค่าการลงทุนกรอบอาคารทั้งหมด (ซึ่งใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a คำนวณในส่วนการใช้พลังงานในอาคาร) ไว้ในตารางที่ 4.19 และแสดงรายละเอียดราคาวัสดุผนังทึบ, ผนังโปร่งแสง และหลังคา ในตารางที่ 4.20, 4.21, 4.22 ดังนี้

ตารางที่ 4.22 แสดงการวิเคราะห์การลงทุนกรอบอาคารก่อนการปรับปรุง

ชั้นที่	ราคากรอบอาคาร (บาท)
1	4,761,971.40
2	1,845,175.4
3	3,205,060.80
4	3,444,057.30
5	2,881,251.80
6	3,325,231.50
7	2,707,831.70
8 - 31	69,952,659.60
รวม	92,123,239.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 แสดงรายละเอียดวัสดุผนังทึบและราคาวัสดุ

ผนังลักษณะที่ 1 (ผนังส่วน A)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	รวมการติด
2	ช่องว่างอากาศ	100	-	-	-	ตั้งนั่งร้าน
3	แผ่นเหล็ก	3	325	170	495	
				รวมทั้งสิ้น	5295	

ผนังลักษณะที่ 2 (ผนังส่วนคาน 1)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	
2	ช่องว่างอากาศ	100	-	-	-	
3	คอนกรีต คสล.	400	640	150	790	
				รวมทั้งสิ้น	5590	

ผนังลักษณะที่ 3 (แผ่นอลูมิเนียม)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	
2	ช่องว่างอากาศ	100	-	-	-	
3	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	
				รวมทั้งสิ้น	9600	

ผนังลักษณะที่ 4 (ผนังทึบ)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	
2	คอนกรีต คสล.	100	160	150	310	
3	ปูนฉาบ	20	100	50	150	
				รวมทั้งสิ้น	5260	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

ผนังลักษณะที่ 5 (ผนังส่วนคาน 2)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	
2	ช่องว่างอากาศ	100	-	-	-	
3	คอนกรีต คสล.	250	400	150	550	
				รวมทั้งสิ้น	5350	

ผนังลักษณะที่ 6 (ผนังทึบชั้นที่ 1)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แกรนิต	5	2400	200	2600	
2	ปูนฉาบ	20	100	50	150	
3	คอนกรีต คสล.	100	160	150	310	
				รวมทั้งสิ้น	3060	

ผนังลักษณะที่ 7 (ผนังทึบชั้นที่ 1)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แกรนิต	5	2400	200	2600	
2	ปูนฉาบ	20	100	50	150	
3	คอนกรีต คสล.	700	1120	150	1270	
				รวมทั้งสิ้น	4020	

ผนังลักษณะที่ 8 (ผนังส่วน A)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	รวมการติด
2	ฉนวนใยแก้ว	50	230	35	265	ตั้งตะแกรง
				รวมทั้งสิ้น	5065	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

ผนังลักษณะที่ 9 (ผนังส่วน C)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	
2	ช่องว่างอากาศ	142	-	-	-	
3	แผ่นไม้อัด	12	435	40	475	
				รวมทั้งสิ้น	5275	

ตารางที่ 4.24 แสดงรายละเอียดวัสดุผนังโปร่งแสง (กระจก) และราคาวัสดุ

ผนังลักษณะที่ 10 (ผนังกระจกด้านข้างชั้นที่ 1)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	10	840	1500	2340	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2340	

ผนังลักษณะที่ 11 (ทางเข้าชั้นที่ 1)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกใส	12	2390	1500	2220	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2220	

ผนังลักษณะที่ 12 (ผนังกระจกด้านข้างชั้นที่ 1)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	10	840	1500	2340	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2340	

ผนังลักษณะที่ 13 (ผนังกระจกส่วน C ชั้นที่ 2-31)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2170	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 (ต่อ)

ผนังลักษณะที่ 14 (ผนังกระจกโค้ง ชั้นที่ 2-5)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2170	

ผนังลักษณะที่ 15 (ผนังกระจกส่วน C ชั้นที่ 2-31)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2170	

ผนังลักษณะที่ 16 (ผนังกระจกส่วน B ชั้นที่ 2-31)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2170	

ผนังลักษณะที่ 17

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2170	

ผนังลักษณะที่ 18

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2170	

ผนังลักษณะที่ 19

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจกReflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2170	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 แสดงรายละเอียดวัสดุหลังคาและราคาวัสดุ

หลังคาลักษณะที่ 1 (หลังคาราบ , สีเทา)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	คอนกรีต คสล.	250	400	150	550	
2	ฉนวนใยแก้ว	50	100	35	135	รวมการติด
3	ช่องว่างอากาศ	291	-	-	-	ตั้งตะแกรง
4	แผ่นยิปซั่ม	9	200	120	320	
5	ช่องว่างอากาศ	1300	-	-	-	
6	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	350	25	375	
				รวมทั้งสิ้น	1380	

หลังคาลักษณะที่ 2 (หลังคาราบ , สีเทา)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	คอนกรีต คสล.	750	1200	150	1350	
2	ช่องว่างอากาศ	-	-	-	-	
3	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	350	25	375	
				รวมทั้งสิ้น	1725	

หลังคาลักษณะที่ 3 (หลังคาราบ , สีเทา)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระเบื้องเซรามิค	5	240	120	360	
2	ปูนทราย	20	100	50	150	
3	คอนกรีต คสล.	250	400	150	550	
4	ฉนวนใยแก้ว	50	100	35	135	
5	ช่องว่างอากาศ	291	-	-	-	
6	แผ่นยิปซั่ม	9	200	120	320	
7	ช่องว่างอากาศ	1000	-	-	-	
8	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	350	25	375	
				รวมทั้งสิ้น	1890	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 (ต่อ)

หลังคาลักษณะที่ 4 (หลังคาราบ , สีเทา)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระเบื้องเซรามิค	5	240	120	360	
2	ปูนทราย	20	100	50	150	
3	คอนกรีต คสล.	600	960	150	1110	
4	ช่องว่างอากาศ	600	-	-	-	
5	แผ่นฝ้าอะคูสติก	12	350	25	375	
				รวมทั้งสิ้น	1995	

ข้อมูลจาก : ใบแจ้งราคาสินค้า / การสอบถามตัวแทนจำหน่ายหรือผู้ผลิตสินค้า และบริษัทรับเหมาก่อสร้าง

หมายเหตุ : ราคาวัสดุและค่าแรงเป็นราคาปัจจุบัน (พ.ศ. 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร

5.1 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร

เนื่องด้วยในการปรับปรุงกรอบอาคาร ธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ ในการวิจัยนี้จะไม่ปรับปรุงในส่วนที่กระทบกับความมั่นคงและแข็งแรงในด้านวิศวกรรมและในส่วนของรูปด้านของอาคารก็จะไม่ให้มีผลกระทบกับรูปแบบและเอกลักษณ์ที่สะท้อนถึงแนวความคิดในการออกแบบของผู้ออกแบบเดิม

ดังนั้น การปรับปรุงกรอบอาคารจึงมีข้อจำกัดในการปรับปรุงได้เฉพาะส่วนของการปรับเปลี่ยนวัสดุ การใช้ฉนวนเพื่อป้องกันการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร การลดสัดส่วนผนังกระจกลงหรือการติดฟิล์มกรองแสงเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน ทำให้จะต้องพิจารณาวัสดุที่จะนำมาใช้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

เนื่องจากอาคารได้เปิดดำเนินการเมื่อปี พ.ศ. 2535 ซึ่งเป็นปีเดียวกันกับที่ได้มีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ออกบังคับใช้เช่นกัน โดยในกฎกระทรวง (พ.ศ. 2538) ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 มาตรา 19 ในหมวด 1 ขอบเขตการบังคับใช้ ข้อ 2 ให้คำจำกัดความว่า " อาคารเก่า" หมายความว่า อาคารที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จ หรือกำลังก่อสร้าง หรือยังไม่ได้ก่อสร้าง แต่ได้ยื่นขออนุญาตก่อสร้างไว้ก่อนวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุม ตามมาตรา 18 มีผลใช้บังคับ

หมวด 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ข้อ 3 หัวข้อย่อยที่

(1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่าจะต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์ ต่อ ตร.ม. ของหลังคา

(2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ จะต้องมีค่าดังต่อไปนี้

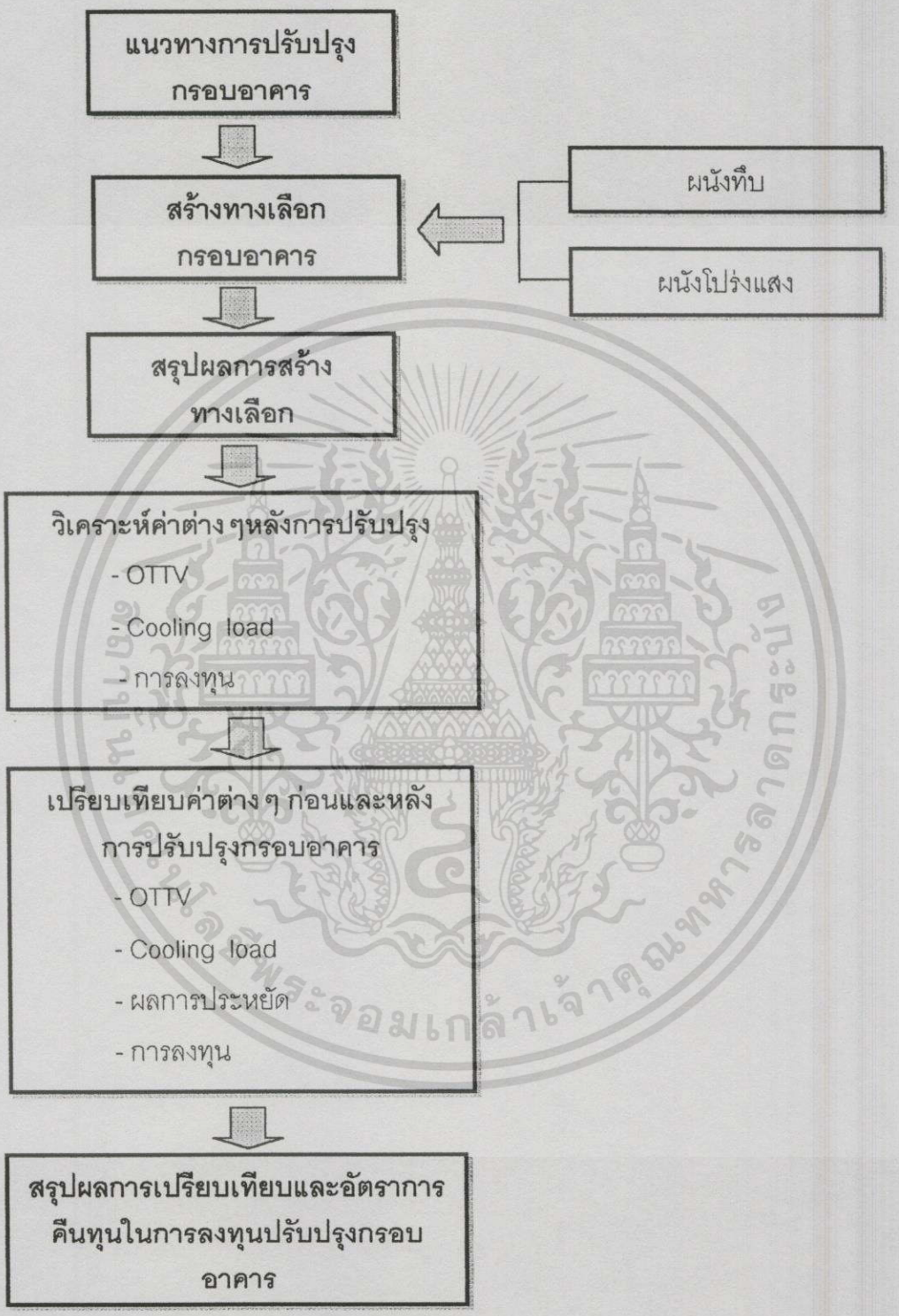
(ก) อาคารใหม่ ไม่เกินกว่า 45 วัตต์ ต่อ ตร.ม. ของผนังด้านนอก

(ข) อาคารเก่า ไม่เกินกว่า 55 วัตต์ ต่อ ตร.ม. ของผนังด้านนอก

อาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ จึงอยู่ในขอบเขตการบังคับใช้หมวด 1 ข้อ 2 เป็น "อาคารเก่า" ที่จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ไม่เกินกว่า 55 วัตต์ ต่อ ตร.ม. และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาภายนอกอาคารไม่เกินกว่า 25 วัตต์ ต่อ ตร.ม. การปรับปรุงกรอบอาคารจึงกำหนดเกณฑ์การปรับปรุงให้ได้ตามพระราชบัญญัติการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลตามแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร จะแสดงในแผนผังการวิเคราะห์ข้อมูลการปรับปรุงกรอบอาคารในรูปที่ 5.1 ดังนี้



รูปที่ 5.1 แสดงแผนผังการปรับปรุงกรอบอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อพิจารณาในการเลือกวัสดุฉนวน

5.2.1 ประเภทของวัสดุฉนวน ในการแยกประเภทของฉนวนป้องกันความร้อนสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหรือข้อกำหนด วิธีหนึ่งที่แบ่งฉนวนป้องกันความร้อน (Themal Insulation) เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. ฉนวนมวลสาร (Mass Insulation)
2. พื้นผิวสะท้อนความร้อน (Reflective Surface)

วัสดุฉนวนที่ใช้เพื่อปรับปรุงกรอบอาคารควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. คุณสมบัติของวัสดุ
   1.1 ความสามารถในการกันความร้อน (Thermal Conductivity)
   1.2 การกันน้ำและความชื้น (Resistance to water penetration)
   1.3 ช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน (Suitability for service temperature)
   1.4 อันตรายจากเพลิงไหม้ (Fire & Explosion Hazards)
   1.5 ความปลอดภัยต่อสุขภาพ (Health Hazards)
2. การติดตั้งสะดวก , รวดเร็ว
3. ราคาของวัสดุ

5.2.2 การพิจารณาเลือกวัสดุฉนวนในการปรับปรุงกรอบอาคาร เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการผลิตฉนวนป้องกันความร้อนในรูปแบบต่างๆขึ้นเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ การจำแนกชนิด Thermal Insulation ที่จัดทำขึ้นโดย American Society for Testing and Material (ASTM) เป็นการให้ Identification Number กับฉนวนป้องกันความร้อนแต่ละชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงฉนวนป้องกันความร้อนบางชนิดที่สำคัญ ๆ ดังนี้

1) Calcium Silicate (แคลเซียมซิลิเกต)

เป็นฉนวนป้องกันความร้อนแบบ Granular ประกอบด้วยไฮดรัสแคลเซี่ยมซิลิเกต โดยระหว่างกรรมวิธีการผลิต ไอน้ำจะเปลี่ยนรูปหินปูนและซิลิกาไปเป็นไฮดรัสแคลเซี่ยมซิลิเกต นิยมนำไปใช้ในการหุ้มท่อและภาชนะในกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูง และจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความทนแรงอัดสูง

2) Cellulose (ใยเซลลูโลส)

เป็นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตขึ้นจากการนำไม้ หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (recycle) โดยการแผ่และดึงให้กระจายออก ทำการย่อยจนละเอียด จากนั้นทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสานเข้าด้วยกันด้วยกรดบอแร็กซ์ ส่วนผสมทั้งสองนี้จะช่วยให้มีสภาพต้านทานการลุกไหม้และการดูดซับความชื้น การประยุกต์ใช้งานอาจใช้ในลักษณะของ Loose fill ในช่องผนังหรือเพดานของอาคารใช้ในลักษณะของ Batts} Blankers หรือเป็นโฟมฉีด สำหรับเป็นฉนวนป้องกันความร้อนใต้ดาดฟ้าหรือหลังคา

ข้อจำกัดของฉนวนป้องกันความร้อนแบบนี้ในการใช้งานก็คือ ถ้าไม่สามารถควบคุมให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานที่กำหนด (41.65 – 48.06kg/m^3) เช่น มีอากาศพ่นเข้าไปในเครื่องจักรผลิตฉนวนมากเกินไป ทำให้มีความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐาน ฉนวนนั้นจะยุบตัวลงทีละน้อย ทั้งจากผลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การสั่นสะเทือน หรือความชื้น เป็นสาเหตุทำให้สภาพการต้านทานความร้อน และความหนาลดลง และเนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นเส้นใยธรรมชาติ (organic fibrous) ซึ่งติดไฟได้ ดังนั้นจะต้องมีการผสมสารที่หน่วงไฟไหม้ในอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วย

3) Elastomeric Foam (โฟมซนิดสารยืดหยุ่น)

หรืออีกชื่อหนึ่งคือ Expanded rubber foam (โฟมยางแบบขยาย) เป็นฉนวนที่ยืดหยุ่นได้ด้วยการพ่นให้ขยายตัวในแบบ (mold) มีความจุของเซลล์ที่ชิดกันมากทำให้สามารถต้านทานการแทรกซึมของไอน้ำได้ดี จึงเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ในระบบท่อส่งความเย็น

4) Glass Fiber (ใยแก้ว)

ผลิตจากการนำก้อนแก้ว (glass) มาฟั่นและปั่นจนเป็นเส้นเกลียวบาง แล้วจึงนำมาทำเป็นฉนวนป้องกันความร้อนในลักษณะของ loose fill แบบแผ่นอัด (boards) และแบบคลุมหรือห่ม (blankets) ข้อจำกัดในการใช้งานฉนวนป้องกันความร้อนประเภทนี้ คือ การติดไฟของวัสดุที่ใช้เป็นตัวประสาน (binder) ซึ่งสามารถลุกไหม้ได้ และผิวหน้าซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วยกระดาษเคลือบแอสฟัลต์ หรือกระดาษแผ่นบางๆ ซ้อนทับกัน ดังนั้นถึงแม้ว่าตัววัสดุพื้นฐานที่ใช้ทำฉนวนจะเป็นวัสดุที่ไม่ลุกไหม้ (เนื่องจากเป็นสารอนินทรีย์) ก็ตาม แต่ในการใช้งานจึงไม่สามารถนำมาใช้โดยหันผิวหน้าของวัสดุเข้าหาเปลวไฟ หรือพื้นที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 80 องศาเซลเซียสได้ เพราะอาจเกิดการลุกไหม้ของผิวหน้า หรือเกิดควันที่เป็นอันตรายได้

5) Mineral Fiber (ใยแร่)

หรืออาจเรียกว่า Mineral rock (หินแร่) หรือ Slag wool (ฝอยขี้โลหะ) หรือ Rock Wool มีกรรมวิธีการผลิตคล้ายคลึงกับฉนวนป้องกันความร้อนประเภทใยแก้ว โดยการนำวัสดุประเภทแร่ เช่น ขี้โลหะจากการผลิตเหล็กกล้า ทองแดง หรือตะกั่ว มาใช้เป็นวัสดุหลักแทน ฉนวนใยแร่นี้จะมีรูปแบบและข้อจำกัดในการใช้งานทั่วไปเหมือนกับฉนวนป้องกันความร้อนประเภทใยแก้วเช่น ปัญหาการติดไฟของตัวประสาน (binder) และการลุกไหม้ของผิวหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) Polystyrene Foam **(โพลีสไตรีนโฟม)**

ฉนวนป้องกันความร้อนประเภทนี้ มีการผลิตขึ้นมาใช้งาน 2 รูปแบบ คือ แบบโฟมอัดรีด (Extruded) และแบบโฟมหล่อ (Molded) แต่เนื่องจาก polystyrene เป็นวัสดุประเภท Organic cellular material ซึ่งสามารถติดไฟและลุกไหม้ได้ ดังนั้นในการนำมาใช้งาน จึงต้องมีเปลือกที่ต้านทานเปลวไฟได้หุ้มอยู่ เช่น ยิบซั่มบอร์ด นอกจากนี้แล้วยังต้องป้องกันไม่ให้วัสดุกระทบกับแสงอาทิตย์โดยตรง เพราะจะทำให้เปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเสื่อมสภาพได้ อุณหภูมิใช้งานสูงสุดเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ถ้ามีการใช้งานในอุณหภูมิสูงกว่านี้อาจเป็นสาเหตุทำให้วัสดุอ่อนตัวลงได้

7) Polyurethane / Polyisocyanurate Foam **(โพลียูรีเทย / โพลีไอโซไซยานูเรตโฟม)**

เป็นวัสดุฟลูออโรคาร์บอนที่พ่นให้เป็นโฟม มีทั้งการหล่อเป็นรูปแบบฐานแผ่นแข็งล่วงหน้า ที่อาจจะมีพื้นผิวอัดเป็นแผ่น หรือเป็นแบบฉนวนที่ใช้ฉีดเป็นฟอง หรือสเปร์ในชิ้นงาน ความแข็งแรงของวัสดุขึ้นอยู่กับการบ่ม สภาพนำความร้อน (k) ของวัสดุชนิดนี้จะต่ำมาก เนื่องจากภายในเซลล์เป็นก๊าซฟลูออโรคาร์บอน (ฟรีออน-11) ซึ่งมีสภาพนำความร้อนต่ำกว่าอากาศ ในการผลิตเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพื่อการใช้งานโดยมาก ต้องมีการหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟไหม้ เพราะ Polyurethane และ Polyisocyanurate Foam จัดเป็นวัสดุประเภท Organic cellular material ที่สามารถลุกไหม้ได้ โฟมทั้งสองชนิดเมื่อถูกเผาไหม้จะให้ควันมาก และเกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนต์ (HCN) ซึ่งเป็นก๊าซพิษที่เป็นอันตรายถึงชีวิต

8) Vermiculite **(เวอร์มิคูไลท์)**

ทำจากแร่ไมกาซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดๆคล้ายกระจกโดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิตอนุภาคจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วจนเกิดการล่อนเป็นเกล็ดของชั้นไมกา การใช้งานจะเป็นลักษณะของฉนวนป้องกันความร้อนแบบเทบรรจุเข้าไปในบล็อค หรือโพรงผนัง หรือถ้านำไปผสมกับปูนซีเมนต์หรือทราย จะได้เป็นคอนกรีตเวอร์มิคูไลท์ ที่มีสภาพนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตปกติถึง 10 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของวัสดุฉนวน

ชนิดของฉนวน	ข้อดี	ข้อจำกัด
Calcium Silicate (แคลเซียมซิลิเกต)	• ไม่ติดไฟ • Temperature limits (50 องศาเซลเซียส) • คุณภาพทางกายภาพ และความร้อนไม่เปลี่ยนแปลง	• สภาพการนำความร้อนปานกลาง • การซึมผ่านของไอน้ำสูง • การดูดซึมน้ำสูง • ราคาแพง
Cellulose (ใยเซลลูโลส)	• สภาพนำความร้อนต่ำ • ราคาถูก • ไม่เป็นพิษ	• ติดไฟได้ • การดูดซึมน้ำสูง • อาจมีการยุบตัวตามอายุการใช้งาน
Elastomeric Foam (โฟมชนิดสารยืดหยุ่น)	• สภาพนำความร้อนต่ำ • ติดตั้งง่าย / ราคาถูก • ไม่เป็นพิษ	• ติดไฟได้ และเกิดควันสูง • ไวต่อแสงอุลตร้าไวโอเลต • Temperature limits ต่ำ (105 องศาเซลเซียส)
Fiber Glass (ใยแก้ว)	• สภาพนำความร้อนต่ำ • ราคาถูก • ไม่เป็นพิษ • การดูดซึมน้ำต่ำ	• ตัวประสาน (binder) ลุกไหม้ได้ • สภาพการซึมผ่านของไอน้ำสูง • Temperature limits ปานกลาง (700 องศาเซลเซียส)
Mineral Fiber หรือ Rock Wool (ใยแร่)	• สภาพนำความร้อนต่ำ • ราคาถูก • ไม่ติดไฟ • ไม่เป็นพิษ	• ตัวประสาน (binder) อาจลุกไหม้ได้ • สภาพการซึมผ่านของไอน้ำสูง • Temperature limits สูง (1300 องศาเซลเซียส)
Perlite or Expanded Silica (เพอร์ไลท์หรือซิลิกาโฟม)	• สภาพนำความร้อนต่ำ • ไม่ติดไฟ • ไม่เป็นพิษ	• การซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำสูง • ต้องมีเปลือกหุ้มกันไอน้ำ
Polystyrene Foam (โพลีสไตรีนโฟม)	• สภาพนำความร้อนต่ำ • ใช้เป็นตัวผนึก หรือกันซึมได้ • สภาพการซึมเข้าของน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ • ไม่เป็นพิษ	• ติดไฟได้ • Temperature limits ต่ำ (82 องศาเซลเซียส) • ราคาปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ชนิดของฉนวน	ข้อดี	ข้อจำกัด
Polyurethane / Polyisocyanurate Foam (โพลียูรีเทน / โพลีไอโซไซยานูเรตโฟม)	• สภาพการนำความร้อนต่ำที่สุด • ใช้เป็นตัวผนึก หรือกันซึมได้ • สภาพการซึมเข้าของน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ	• ติดไฟได้ • เกิดควันที่เป็นพิษ ขณะลุกไหม้ แก้ไขโดยใส่สารกันไฟลาม • ราคาปานกลางถึงสูง
Vermiculite (เวอร์มิคูไลท์)	• Temperature limits สูง (405 องศาเซลเซียส) • ไม่ติดไฟ • ไม่เป็นพิษ	• สภาพนำความร้อนสูง • การดูดซึมน้ำสูง • ราคาปานกลาง

ตารางที่ 5.2. เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวน

ชนิดของฉนวน (Insulation)	ราคา (Price)	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (Temperature Range)	ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)	การป้องกันไฟ (Fire protection)	การดูดซับความชื้น (Moisture Absorbsion)	ความเป็นพิษ (Toxic)	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environment Effected)
Rockwool	+ +	+ +	+	+ +	+	+	+
Glasswool	+ +	+	+	+ +	++	+	+
Polyurethene	-	-	+	--	+	-	-
Polystyrene	0	-	0	--	+	-	-
polyethylene	-	-	0	---	+	-	-
Cellulosic Fiber	-	0	0	0	--	+	0
Calcium Silicate	-	-	+	+ +	0	0	-

+ + + ดีที่สุด + + ดีมาก + ดี 0 ปานกลาง - พอใช้ -- ไม่ดี --- แย่

ข้อมูลจาก : Building Isulation "Architectural Graphic Standards" by Ramsey / Sleeper John Wiley & Sons, Inc.New York : 1988 (Page 754)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 **การพิจารณาเลือกความหนาของฉนวนใยแก้ว** การพิจารณาความหนาของฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass) ได้สร้างแบบจำลอง (Model) ทางเลือก (Alternative) โดยการสร้างชั้นผนังซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) แผ่นอลูมิเนียม หนา 3 มม.

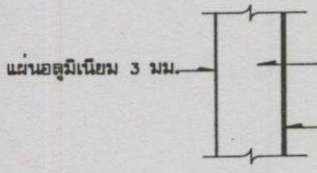
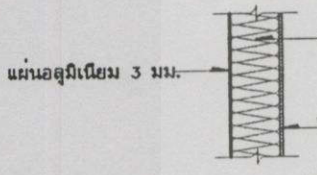
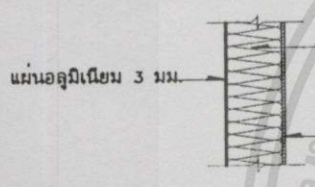
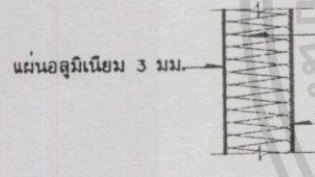
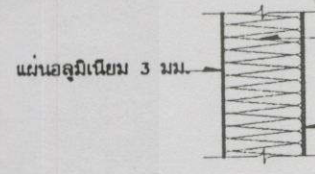
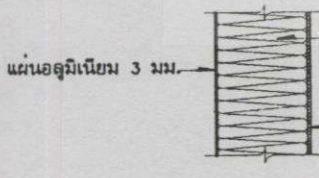
2) ฉนวนใยแก้ว หนา 25, 50, 75, 100 และ 125 มม.

3) แผ่นยิบซั่ม หนา 9 มม.

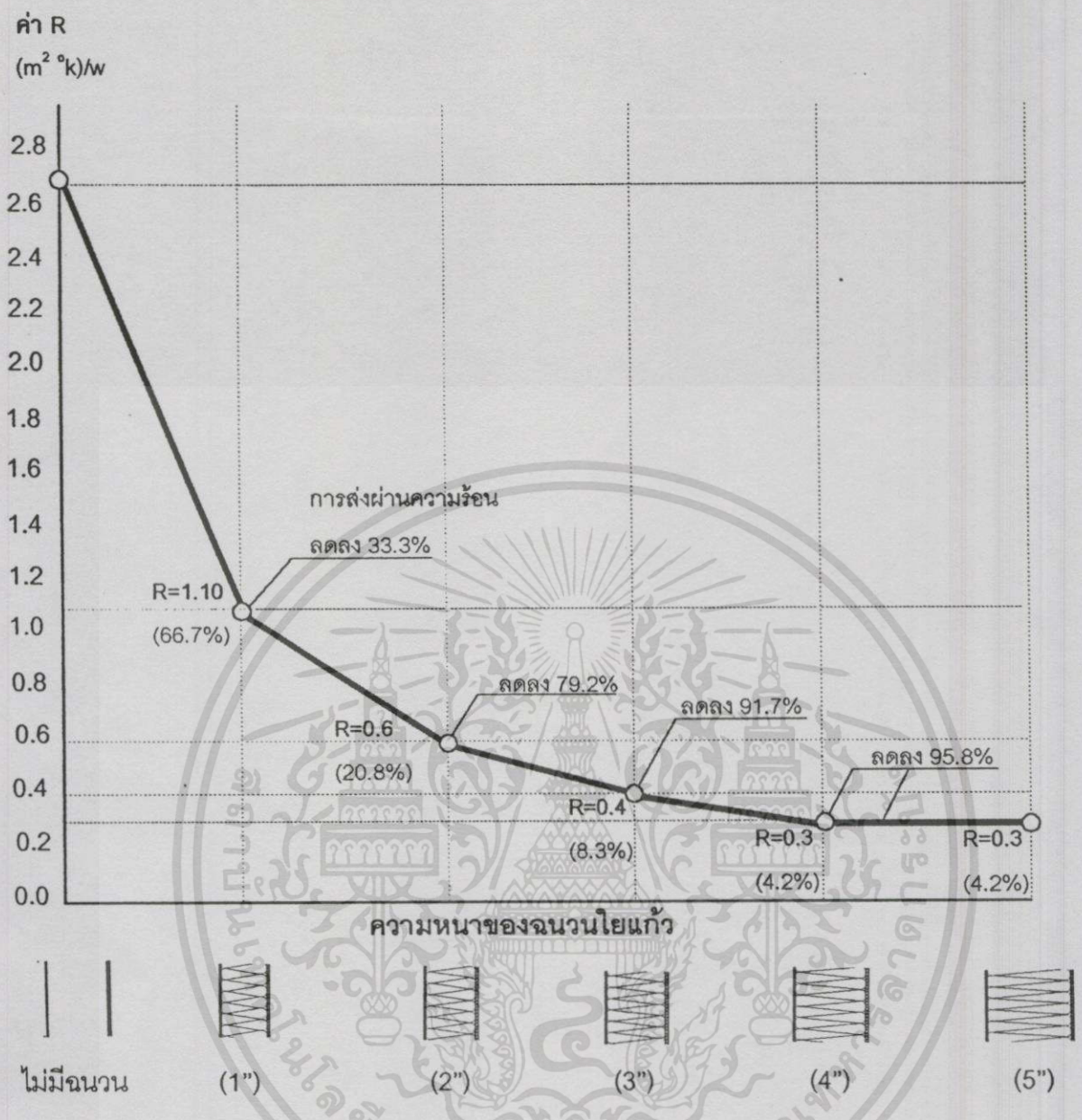
จากการคำนวณค่า U, ค่า R และค่า OTTV ของทางเลือกชั้นผนังที่ไม่มีฉนวนใยแก้ว, มีฉนวนใยแก้วหนา 25, 50, 75, 100 และ 125 มม. ตามลำดับ โดยใช้พื้นที่ในการคำนวณแต่ละทางเลือกชั้นผนังที่ 1 ตร.ม. ดังจะแสดงในตารางที่ 5.3 และแสดงค่าความต้านทานความร้อน (R) เป็นกราฟเส้นในรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า U, ค่า R และค่า OTTV เปรียบเทียบจากฉนวนใยแก้วที่ความหนา 1, 2, 3, 4, และ 5 นิ้ว

ความหนาของฉนวนใยแก้ว	ค่า U ($W/m^2 - {}^0k$)	ค่า R ($m^2 - {}^0k)/W$	ค่า OTTV (W/m^2)	ค่าการส่งผ่านความร้อนคิดเป็นเปอร์เซนต์
	0.37	2.70	37.80	100 %
	0.90	1.10	15.40	66.66 %
	1.66	0.60	11.90	20.83 %
	250	0.40	9.80	8.33 %
	3.30	0.30	8.40	4.16 %
	3.30	0.30	7.56	4.16 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อน (R)

จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นค่า U, ค่า R และค่า OTTV ที่แตกต่างกันโดยอัตราส่วนที่ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะเห็นได้ว่า ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว สามารถลดค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากผนังอลูมิเนียมที่ไม่มีฉนวนใยแก้วได้ประมาณ 33.3%, ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ประมาณ 79.2%, ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ลดลงได้ 91.7% แสดงว่า ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่มีการใส่ฉนวนใยแก้วไม่ได้เป็นอัตราส่วนที่แปรผันโดยตรงกับอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ดังนั้นการใช้ความหนาของฉนวนใยแก้วที่มากเกินไปจึงอาจจะไม่คุ้มกับค่าการลงทุนที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนเปอร์เซ็นต์การลดลงของฉนวนใยแก้วที่หนา 1 นิ้ว = 66.7%, 2 นิ้ว = 20.8%, 3 นิ้ว = 8.3%, 4 นิ้ว และ 5 นิ้ว = 95.8% ตามลำดับ ข้อมูลดังกล่าวทำให้พิจารณาเลือกฉนวนใยแก้วที่ความหนา 2 นิ้ว ในการปรับปรุงกรอบอาคารเพราะสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 79.2%

ส่วนฉนวนใยแก้วความหนา 3 นิ้ว ถึงแม้จะลดค่าการถ่ายเทความร้อนได้มากถึง 91.7% ก็ตามแต่จากช่วงความหนาของฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ถึง 3 นิ้ว นั้นก็ลดลงเพียง 8.3% เท่านั้น ซึ่งนับว่าน้อยกว่าช่วงไม่มีฉนวนใยแก้วถึงความหนา 1 นิ้ว และ 1 นิ้ว ถึง 2 นิ้ว อยู่มาก สิ่งที่ควรพิจารณาอีกประการหนึ่ง คือ ความสะดวกในการจัดซื้อ-จัดหา และติดตั้ง เนื่องจากปริมาณร้านขายวัสดุโดยทั่วไปจะมีฉนวนใยแก้วที่ความหนา 1 นิ้ว, 1½ นิ้ว และ 2 นิ้ว การจัดซื้ออาจเกิดความยุ่งยากเนื่องจากจะต้องสั่งทำพิเศษที่ความหนา 3 นิ้ว และการติดตั้งอาจจะต้องใช้ขนาด 1½ นิ้ว มาประกบกัน 2 ชั้น

5.2.4 การพิจารณาเลือกความหนาแน่นของวัสดุฉนวนใยแก้ว การพิจารณาเลือกความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว (Glass Wool หรือ Fiber Glass) จะพิจารณาเปรียบเทียบจากคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการเลือกฉนวนใยแก้วที่มีค่าการนำความร้อน (k)* ที่เหมาะสมกับการใช้งานได้สะดวก-รวดเร็วในการติดตั้ง รวมทั้งราคาที่เหมาะสม โดยทั่วไปฉนวนใยแก้วจะมีค่าความหนาแน่น 10-80 Kg/m^3 และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมมีดังนี้

ฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass)	Density (kg/m^3)	K-value W/(m – °k)
a) แบบม้วน (Blanket)	10 - 24	0.038
b) แบบแผ่น (Rigid Board)	32 - 48	0.033
c) แบบท่อสำเร็จ (Rigid Pipe Section)	56 - 80	0.038

จากข้อมูลดังกล่าวฉนวนใยแก้วแบบแผ่น (Rigid Board) มีค่าความหนาแน่น 32-48 kg/m^3 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) เท่ากับ 0.033 ซึ่งดีกว่าฉนวนใยแก้วแบบม้วน (Blanket) ความหนาแน่น 10-24 kg/m^3 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) เท่ากับ 0.038 สรุปจึงพิจารณาเลือกฉนวนใยแก้วแบบแผ่นเนื่องจากมีค่า K ที่ดีกว่าแบบม้วน (Blanket) การติดตั้งยัง

---

* ค่าการนำความร้อน (k) การคำนวณของโปรแกรม OTTV Version 1.0 a. ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่าการนำความร้อนเฉลี่ยในช่วง 30 – 50 °C ของวัสดุก่อสร้างที่ทำการทดสอบโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะดวก รวดเร็ว และเลือกชนิดที่มีฟอยล์เพื่อความปลอดภัยต่อสุขภาพ ส่วนฉนวนใยแก้วแบบท่อสำเร็จนั้นไม่เหมาะสมกับการใช้งานกรอบอาคาร อย่างไรก็ตามราคาก็เป็นเกณฑ์สำคัญในการพิจารณาเลือกฉนวนใยแก้ว จึงจะเปรียบเทียบราคาฉนวนใยแก้วความหนาแน่นชนิดต่างๆ ทั้งที่มีฟอยล์และไม่มีฟอยล์ ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นและราคาของฉนวนใยแก้ว

ฉนวนใยแก้ว	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ไม่มีฟอยล์ ราคา (บาท/$ม^2$)	มีฟอยล์ ราคา (บาท/$ม^2$)
แบบม้วน (Blanket) 25 มม.	16	65	95
แบบม้วน (Blanket) 50 มม.	16	130	155
แบบม้วน (Blanket) 25 มม.	24	90	125
แบบม้วน (Blanket) 50 มม.	24	180	210
แบบแผ่น (Rigid Board) 25 มม.	32	120	160
แบบแผ่น (Rigid Board) 50 มม.	37	230	280
แบบแผ่น (Rigid Board) 25 มม.	48	170	250
แบบแผ่น (Rigid Board) 50 มม.	48	350	380

ข้อมูลจาก : ใบแจ้งราคาสินค้า บริษัท ไมโครไฟเบอร์อุตสาหกรรม จำกัด
ประกาศใช้เมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2542

จากตารางที่ 5.4 เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นและราคาของฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์และไม่มีฟอยล์มีราคาแตกต่างกันประมาณ 30-35 บาท/ตร.ม. แต่ฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์จะช่วยสะท้อนรังสีความร้อนได้ถึงประมาณ 95% และยังเป็นส่วนที่ช่วยป้องกันความชื้นและไอน้ำ (Vapour Barrier) รวมทั้งเป็นส่วนป้องกันการฟุ้งกระจายของผงฝุ่น (particle) ของฉนวนใยแก้วขณะทำงานที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอีกด้วย

การพิจารณาเลือกฉนวนใยแก้วจึงสรุปว่า ควรเลือกฉนวนใยแก้วความหนาแน่น 32 kg/m^3 ชนิดมีฟอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การพิจารณาเลือกวัสดุกระจก

วัสดุโปร่งแสงหรือกระจก นับเป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญในการก่อสร้างในปัจจุบัน โดยเฉพาะในอาคารสูงมีการนำกระจกมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบผนังภายนอกอาคาร เนื่องจากคุณสมบัติด้านความทนทานและความสวยงาม ผนังโปร่งแสง (Fenestration) จึงเป็นส่วนสำคัญต่อการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงาน เพราะเป็นส่วนที่ได้รับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคารได้มากที่สุด ในขณะเดียวกันก็เป็นส่วนที่จะได้รับแสงสว่างเข้าสู่อาคารด้วยเช่นกัน การพิจารณาเลือกใช้กระจกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมจึงควรคำนึงถึงคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของกระจกแต่ละชนิด เช่น

1) ค่าการต้านทานความร้อนสูง (R-Value)
2) ค่า Shading Coefficient (SC) ต่ำ
3) ค่า Light Transmission สูง
4) กันการรั่วซึมของอากาศ, ความชื้น และน้ำได้ดี
5) น้ำหนักเบา, หาง่าย, ราคาประหยัด
6) ค่าบำรุงรักษาต่ำ, ทนทาน

สำหรับการปรับปรุงอาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ ในส่วนของกระจกนั้น เนื่องจากกระจกมีคุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานอยู่แล้ว (ดูตารางที่ 5.5) และที่สำคัญคือ กระจกในโครงการนั้นเป็นกระจกแบบ Curtain Wall หากเปลี่ยนชนิดกระจกหรือเปลี่ยนพื้นที่ผนังกระจกเป็นผนังทึบย่อมส่งผลต่อรูปแบบและเอกลักษณ์ที่สะท้อนถึงความคิดในการออกแบบของผู้ออกแบบเดิมอย่างแน่นอน การปรับปรุงกรอบอาคารนี้จึงจะไม่เปลี่ยนชนิดกระจกและพื้นที่กระจก เพื่อคงไว้ซึ่งแนวความคิดของผู้ออกแบบเดิมแต่จะใช้ฟิล์มกรองแสงเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนลง

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติกระจก

ชนิดกระจก	ความหนาแน่น kg/m^3	ค่าการนำความร้อน (K) $W/(m-{}^{\circ}k)$	ค่าความต้านทานความร้อน (R) $(m^2-{}^{\circ}k)/m^2$	สัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)
กระจกใส	2,500	0.960	0.009	0.95
กระจกสีชา	2,500	0.913	0.008	0.65
กระจกสะท้อนแสง	2,500	0.913	0.007	0.50

ข้อมูลจาก : คู่มือการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม : 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 การพิจารณาเลือกฟิล์มกรองแสง จากการวิเคราะห์ค่าภาระการปรับอากาศในส่วนของกรอบอาคารได้แสดงผลให้ทราบว่า ภาระของกรอบอาคารส่วนผนังโปร่งแสงคิดเป็น 80% เมื่อเทียบสัดส่วนแล้วจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังโปร่งแสง เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารให้ลดลงให้ได้ตามเกณฑ์ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

เนื่องจากข้อจำกัดในการปรับปรุงกรอบอาคารนั้นจะไม่ให้มีผลกระทบกับโครงสร้างหลักทางวิศวกรรม และไม่ให้มีผลกระทบกับรูปแบบเอกลักษณ์ที่สะท้อนถึงแนวคิดของผู้ออกแบบเดิมดังกล่าว การปรับปรุงโดยการติดฟิล์มกรองแสงเพื่อช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของอาคารจึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงคุณสมบัติและราคาของฟิล์มกรองแสง

ฟิล์มกรองแสงติดที่กระจกใส 6 มม. ภายในอาคาร

Code รหัส	Colour สี	VLT % แสงผ่านฟิล์มรวมกระจก	VLR % แสงผ่านฟิล์มบนกระจก	SC สัมประสิทธิ์การบังแดด	Heat Reduction % การลดค่าความร้อน	Price (ราคา/ตร.ฟุต)
-	CLEAR	88	8	0.94	-	-
RE-35 AMARL	BLUE SILVER	30	55	0.30	68	110
LE-30 CUARL	COPER	32	28	0.34	64	เลิกผลิต
TNTHR-5	DARK	8	5	0.65	31	120
RE-70 NEARL	NATURAL	66	99	0.76	19	เลิกผลิต
RE-50 NEARL	NATURAL	51	15	0.60	30	80
RE-35 NEARL	NATURAL เทา	37	20	0.51	46	110
RE-20 NEARL	NATURAL ดำ	16	17	0.39	59	160
P-18	SILVER	19	58	0.26	72	80
P-43 ARL	SLATE	43	14	0.57	40	100
S-CLEAR 400	CLEAR	86	11	0.91	3	150
S-35 NEARL	NATURAL	37	20	0.51	46	160
S-20 SIARL	SILVER	19	55	0.27	71	160

ข้อมูลจาก : บริษัท ฟิล์มกรองแสง 3M จำกัด

ประกาศใช้เมื่อ เดือน กุมภาพันธ์ 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 แสดงคุณสมบัติและราคา (ต่อ ตร.ม.) ของฟิล์มกรองแสงที่เลือก

ฟิล์มกรองแสงติดที่กระจกใส 6 มม. ภายในอาคาร

Code รหัส	Colour สี	Price (ราคา/ตร.ม)	หมายเหตุ
-	CLEAR	-	ไม่ติดฟิล์ม
RE-35 AMARL	BLUE SILVER	366.50	-
LE-30 CUARL	COPER	-	เลิกผลิต
TNTHR-5	DARK	399.6	
RE-70 NEARL	NATURAL	-	เลิกผลิต
RE-50 NEARL	NATURAL	266.4	
RE-35 NEARL	NATURAL เทา	366.5	
RE-20 NEARL	NATURAL ดำ	532.8	
P-18	SILVER	266.4	
P-43 ARL	SLATE	333	
S-CLEAR 400	CLEAR	499.5	
S-35 NEARL	NATURAL	532.8	
S-20 SIARL	SILVER	532.8	

ข้อมูลจาก : บริษัท ฟิล์มกรองแสง 3M จำกัด

ประกาศใช้เมื่อ เดือน กุมภาพันธ์ 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.6 การพิจารณาเลือกฟิล์มกรองแสงได้เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ตามลำดับ ดังนี้

1) เลือกเปอร์เซ็นต์การลดค่าความร้อน

2) เลือกค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

3) เลือกเปอร์เซ็นต์แสงผ่านฟิล์มรวมกระจก

4) สีและราคา

สรุปการพิจารณาเลือกฟิล์มกรองแสงเพื่อปรับปรุงผนังกระจก

1) รหัส RE – 35 AMARL, สี BLUE SILVER ซึ่งเป็นสีฟ้าที่ใกล้เคียงกับสีกระจกเดิม คือ กระจก Reflective สีฟ้า มีเปอร์เซ็นต์การลดค่าความร้อน 68 เปอร์เซ็นต์, ค่า SC = 0.30 และค่าเปอร์เซ็นต์แสงผ่านฟิล์มรวมกระจก 30 เปอร์เซ็นต์ ราคา 110 บาท ต่อ ตร. ฟุต เพื่อปรับปรุงผนังกระจกลักษณะที่ 13, 15 และ 17

2) รหัส P – 18 SILVER มีเปอร์เซ็นต์การลดค่าความร้อน 72 เปอร์เซ็นต์, ค่า SC = 0.26 และค่าเปอร์เซ็นต์แสงผ่านฟิล์มรวมกระจก 19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีการปรับปรุงเป็นผนังทึบ คือ บุภายในด้วยยิบซั่ม 9 มม. อยู่แล้วทำให้เปอร์เซ็นต์แสงผ่านฟิล์มรวมกระจกซึ่งไม่มีผลกับการใช้แสงธรรมชาติ (Day light) ราคา 80 บาท ต่อ ตร.ฟุต

5.4 การพิจารณาออกแบบชั้นวัสดุของกรอบอาคาร

การพิจารณาออกแบบชั้นวัสดุของกรอบอาคาร มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการประหยัดพลังงานของอาคาร ผู้ออกแบบจะต้องมีความเข้าใจถึงสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ที่มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสูงในขณะเดียวกันก็มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเช่นกัน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้เป็นองค์ประกอบของกรอบอาคาร โดยจะพิจารณาแยกชั้นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับแต่ละชั้นวัสดุ (Layer) ดังนี้

1) ผนังภายนอก (Finishing) ส่วนของผนังภายนอกควรเป็นวัสดุที่แข็งแรง, ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย มีสีและผิวที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนได้สูง หากเป็นผนังกระจก (Curtain wall) ควรมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ต่ำ

2) ช่องว่างอากาศ (Air Space) ช่องว่างอากาศมีส่วนทำให้สามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายนอกเข้าสู่อาคาร เนื่องจากเมื่อมีช่องว่างอากาศความร้อนไม่สามารถผ่านเข้าสู่อาคารโดยการนำความร้อน (Conduction) จึงส่งผ่านความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ซึ่งสามารถส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยกว่าการนำความร้อน

3) วัสดุป้องกันความชื้น (Vapour Barrier) วัสดุส่วนนี้จะอยู่ในส่วนถัดจากผนังส่วนนอกหรือถัดจากช่องว่างอากาศก็ได้ (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ) เพื่อป้องกันความชื้นและไอน้ำไม่ให้ผ่านเข้ามาภายในอาคาร

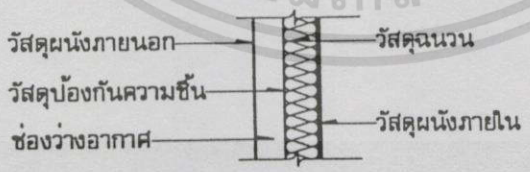
จากการวิเคราะห์* พบว่า จุดน้ำค้าง (Dew Point) ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงประมาณ 23 – 27°C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารหากไม่มีระบบกันความชื้นที่ดีแล้วจะพบว่าจุดน้ำค้างจะตกอยู่ในบริเวณส่วนฉนวน Fiber Glass ซึ่งเป็นส่วนที่อ่อนไหว (Sensitive) ต่อการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำก็จะทำให้ฉนวนสูญเสียประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนไปโดยสิ้นเชิง (เป็นคุณสมบัติเฉพาะของฉนวนประเภท Fiber Glass)

ในส่วนของอาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ จะเลือกใช้ฟอยล์ (Foil) ในชั้นผนังส่วนนี้และฟอยล์ยังสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ถึง 95%

4) วัสดุฉนวน (Insulation material) การใช้วัสดุฉนวนเป็นชั้นผนัง (Layer) ส่วนที่สำคัญมากที่สุดที่จะช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกวัสดุฉนวนประเภทต่างๆ ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและตอบสนองวัตถุประสงค์การใช้งานได้ตรงกับความต้องการของผู้ออกแบบ จึงจำเป็นที่จะต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุฉนวนชนิดต่างๆ กันเพื่อนำมาเปรียบเทียบ

5) วัสดุผนังภายใน (Interior Finishing) ทำหน้าที่เป็นผนังภายในเพื่อความสวยงาม, แข็งแรง, ทนทาน บางชนิดจะช่วยทำหน้าที่ในการดูดซับเสียง บางชนิดอาจช่วยเพิ่มค่าการกันไฟให้กับทั้งระบบผนังและหลังคา (ฝ้าเพดาน).

ชั้นวัสดุต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วนั้นจะใช้เป็นเกณฑ์พื้นฐานในการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารแต่ละลักษณะผนังที่มีค่าปริมาณความร้อนผ่านเข้าสู่ภายในอาคารได้สูงต่อไป



รูปที่ 5.2 แสดงการออกแบบชั้นวัสดุของกรอบอาคาร

---

* ข้อมูลจาก : เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการ "วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยี การออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน" สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ : 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การพิจารณาเลือกปรับปรุงกรอบอาคาร

การปรับปรุงกรอบอาคารจะพิจารณาเลือกลักษณะผนังที่จะปรับปรุงที่เหมาะสมและคุ้มค่าการลงทุน

5.1.1 การพิจารณาเลือกปรับปรุงผนังทึบ มีรายละเอียดดังนี้

1) จากค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV)
2) พิจารณาจากภาระการปรับอากาศ (Cooling load)
3) พิจารณาจากพื้นที่ใช้สอยและพื้นที่กรอบอาคาร
4) พิจารณาจากรายละเอียดและพื้นที่ผนังทึบ

1) การพิจารณาจากค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV)

เปรียบเทียบค่า (OTTV) ในแต่ละชั้น

1) ชั้นที่ 1 = 89.36 W/m^2
2) ชั้นที่ 3 = 75.63 W/m^2
3) ชั้นที่ 2 = 72.08 W/m^2
4) ชั้นที่ 4 = 71.84 W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 1 – 4 (ส่วน Podium)

เปรียบเทียบค่า (OTTV) ในแต่ละทิศ

ทิศเหนือ
- ชั้นที่ 3 = 64.61 W/m^2
- ชั้นที่ 4 = 64.61 W/m^2
- ชั้นที่ 1 = 64.37 W/m^2
- ชั้นที่ 2 = 64.30 W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 1 – 4

ทิศใต้
- ชั้นที่ 1 = 131.70 W/m^2
- ชั้นที่ 4 = 86.10 W/m^2
- ชั้นที่ 3 = 82.26 W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 1, 3, 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศตะวันออก	ชั้นที่ 8-31	=	118.53	W/m^2
	ชั้นที่ 6	=	68.66	W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 6 และ ชั้นที่ 8 - 31

ทิศตะวันตก	ชั้นที่ 2	=	82.88	W/m^2
	ชั้นที่ 3	=	80.31	W/m^2
	ชั้นที่ 6	=	76.28	W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 2, 3 และ ชั้นที่ 6

ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	ชั้นที่ 4	=	64.16	W/m^2
	ชั้นที่ 3	=	63.70	W/m^2
	ชั้นที่ 2	=	63.67	W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 4, 3 และ ชั้นที่ 2

ทิศตะวันตกเฉียงใต้	ชั้นที่ 6	=	77.55	W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 6

ทิศตะวันออกเฉียงใต้	ชั้นที่ 6	=	77.93	W/m^2

สรุป ควรปรับปรุงชั้นที่ 6

จากการพิจารณาค่า OTTV แยกเป็นแต่ละชั้นและแยกเป็นแต่ละทิศแล้ว สรุปได้ว่าควรปรับปรุงค่า OTTV ดังนี้

1) ปรับปรุง ชั้นที่ 1, 2, 3 และ 4

2) ปรับปรุง

ทิศเหนือ	ชั้น 1, 2, 3 และ 4
ทิศใต้	ชั้น 1, 3 และ 4
ทิศตะวันออก	ชั้น 6 และชั้น 8 - 31
ทิศตะวันตก	ชั้น 2, 3 และ 6
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	ชั้น 2, 3 และ 4
ทิศตะวันตกเฉียงใต้	ชั้น 6
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	ชั้น 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ชั้น 1, 2, 3 และชั้น 4 ของส่วน Podium ซึ่งมีพื้นที่ผนังกระจกมากทำให้ต้องปรับปรุงค่า OTTV และชั้นที่ 6 ก็เป็นทิศตะวันออก กับ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันออกเฉียงใต้มีพื้นที่ผนังน้อยจึงทำให้มีค่า OTTV ในด้านนี้สูง ในส่วนของ Tower นั้นค่า OTTV จะสูงในด้านทิศตะวันออกเท่านั้น เมื่อทราบว่าชั้นและทิศใดจะต้องปรับปรุงก็จะเข้าไปพิจารณาต่อว่ามีผนังลักษณะใดบ้างที่ควรจะปรับปรุง

2) การพิจารณาจากค่าภาระความเย็น (Cooling load)

โดยจะนำค่าภาระของกรอบอาคารในระบบปรับอากาศทั้งหมดของอาคารมาเปรียบเทียบ เป็นแต่ละชั้น ดังนี้

ชั้นที่	1	66 %
ชั้นที่	2	39 %
ชั้นที่	3	43 %
ชั้นที่	4	42 %
ชั้นที่	5	40 %
ชั้นที่	6	35 %
ชั้นที่	7	36 %
ชั้นที่	8 - 31	40 %

สรุปควรปรับปรุงค่า OTTV ชั้นที่ 1, 3 และ ชั้นที่ 4

การพิจารณาภาระความเย็นนี้เป็นการพิจารณาในภาพรวมว่าชั้นใดมีภาระความเย็น (Cooling load) มาก และจำทำการพิจารณาว่าชั้นนั้นๆ มีผนังชนิดใด ก็จะทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 4 การพิจารณารายละเอียดและพื้นที่ผนังที่บต่อไป

3) การพิจารณาจากพื้นที่ใช้สอย

การพิจารณาพื้นที่ใช้สอยถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยของ OTTV จะไม่สูงมากนักก็เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญเช่นกัน เนื่องจากเมื่อมีสัดส่วนพื้นที่มากหากสามารถปรับปรุงผนังในส่วนนั้นก็จะทำให้ค่า OTTV ลดลงได้มากตามสัดส่วนพื้นที่ใช้สอยนั้นๆ เช่นกัน

1) ส่วน Podium	มีพื้นที่ใช้สอย	5,826	ตร.ม.
	คิดเป็น	36.5	%
2) ส่วน Tower	มีพื้นที่ใช้สอย	16,346	ตร.ม.
	คิดเป็น	73.5	%

จากข้อมูลดังกล่าว จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญในการที่จะปรับปรุงผนังในส่วนของ Tower (ชั้นที่ 8 – 31) ซึ่งเป็น Typical Plan ถึง 23 ชั้น และจะทำได้พิจารณาว่ามีผนังชนิดใดบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผนังทึบของส่วน Tower (ชั้นที่ 8 – 31) มีทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 3, 8 และลักษณะที่ 9

1) ลักษณะที่ 3 มีพื้นที่มาก และค่า U สูง ควรปรับปรุง
2) ลักษณะที่ 8 ผนังบุฉนวนใยแก้ว ค่า U ต่ำ ไม่ควรปรับปรุง
3) ลักษณะที่ 9 มีพื้นที่มาก ควรปรับปรุง

ส่วน Tower จึงควรปรับปรุงผนังทึบ 2 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 3 และ ลักษณะที่ 9 หากดูจากค่า OTTV ของส่วน Tower ที่แยกเป็นแต่ละทิศ จะเห็นได้ว่าทิศตะวันออกมีค่าสูงที่สุด แต่การปรับปรุงจะปรับปรุงเหมือนกันทุกทิศ (4 ด้าน)

4) การพิจารณาจากรายละเอียดและพื้นที่ผนังทึบ

ผนังลักษณะต่างๆ ที่จะปรับปรุงเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) นี้แบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ คือ ผนังทึบและผนังโปร่งแสง ซึ่งจะต้องพิจารณาว่าเหมาะสมและคุ้มค่าการลงทุนหรือไม่ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 5.8 แสดงการพิจารณารายละเอียดผนังทึบที่จะปรับปรุง

ลักษณะที่	พื้นที่ผนังทั้งหมด	ค่า U	การปรับปรุง	ข้อพิจารณา
1	354.9	3.1	ปรับปรุง	- ค่า U มาก - ผนังภายในเป็นแผ่นเหล็ก
2	11.2	1.7	ไม่ปรับปรุง	- เป็นส่วนคาน คสล. 400 ม. - พื้นที่น้อย
3	1,569.7	3.7	ปรับปรุง	- พื้นที่มาก - ค่า U มาก
4	825	3.4	ไม่ปรับปรุง	- เป็นผนัง คสล. 100 มม.
5	378.7	2.0	ไม่ปรับปรุง	- เป็นส่วนคาน คสล. 250 มม.
6	60	3.4	ไม่ปรับปรุง	- พื้นที่น้อย - ผนัง คสล. 700 คสล. - มี Over Hang 7.35 ,"
7	132	1.4	ไม่ปรับปรุง	- เป็นผนัง คสล. 700 มม. - มีค่า U ต่ำ
8	7,265.4	0.6	ไม่ปรับปรุง	- เป็นผนังอลูมิเนียมบุฉนวนใยแก้ว 50 มม. - พื้นที่มาก แต่ค่า U ต่ำอยู่แล้ว
9	1,428.1	2.6	ปรับปรุง	- พื้นที่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปว่าผนังทึบควรที่จะทำการปรับปรุงทั้งหมดมี 3 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 1, 3, 9 และ 19 โดยผนังที่ทำการปรับปรุงส่วนใหญ่จะมีข้อพิจารณา ดังนี้

1) มีพื้นที่มาก

2) มีค่า U สูง

3) สามารถปรับปรุงได้ง่าย

ส่วนผนังทึบที่ไม่ทำการปรับปรุงส่วนใหญ่เป็นส่วนคานคสล. หรือเป็นผนัง คสล. ที่มีความหนา 100 – 700 มม. ซึ่งมีลักษณะเป็นมวลสาร (Mass Insulation) ที่มีค่าการหน่วงความร้อน (Time Lag) ที่ดีทำให้ลด Peak Cooling load ในช่วงกลางวันได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อพิจารณาในการไม่ปรับปรุงอื่นๆ อีก ดังนี้

1) มีพื้นที่น้อย

2) มีค่า U ต่ำ

3) ปรับปรุงได้ยาก (ส่วนคาน คสล.)

5.5.2 การพิจารณาเลือกปรับปรุงผนังโปร่งแสง (กระจก) การพิจารณาเลือกปรับปรุงผนังกระจกโดยภาพรวมแล้วกระจกสะท้อนแสง (Reflective) มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนได้ดีและมีค่า Shading Coefficient (SC) ต่ำอยู่แล้ว แต่เนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ผนังกระจกต่อพื้นที่ผนังรวม (Window to Wall Ratio : WWR) มีถึง 0.46 หรือเท่ากับ 46% ของผนังทั้งหมด ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารยังคงมีค่าสูงอยู่ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาปรับปรุงผนังโปร่งแสง (กระจก) ด้วยเช่นกัน

การพิจารณาเลือกปรับปรุงผนังกระจกของอาคาร มีขั้นตอนการพิจารณาเช่นเดียวกันกับส่วนของผนังทึบ คือ

1) พิจารณาจากค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV)

2) พิจารณาจากภาระการปรับอากาศ

3) พิจารณาจากรายละเอียดและพื้นที่ผนังกระจก

1) พิจารณาจากค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ขั้นตอนดังกล่าว จะพิจารณาค่า OTTV ของชั้นและทิศที่ค่า OTTV สูงว่าอยู่ในชั้นที่เท่าไหร่, ผนังด้านทิศไหน และจะพิจารณาดูต่อไปว่าผนังลักษณะใดที่ควรปรับปรุง

2) พิจารณาจากภาระการปรับอากาศ ขั้นตอนในการพิจารณาในส่วนของภาระการปรับอากาศเหมือนกับผนังทึบ คือ พิจารณาว่าชั้นใดมีค่าภาระของกรอบอาคารในระบบปรับอากาศสูงก็จะเลือกปรับปรุงชั้นนั้น และจะพิจารณาลักษณะผนังกระจกในรายละเอียดและพื้นที่ ดังในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 5.9 เช่นเดียวกันกับการพิจารณาจากค่า OTTV ที่พิจารณาชั้น, ทิศ ในภาพโดยรวมแล้วจึงพิจารณาดูรายละเอียดผนังอีกที

4) จากรายละเอียดทั้งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC), การมีอุปกรณ์บังแดด (Shading Device) และปริมาณพื้นที่ โดยจะแยกลักษณะผนังกระจก ดังนี้

ตารางที่ 5.9 แสดงการพิจารณารายละเอียดผนังกระจกที่จะปรับปรุง

ลักษณะที่	พื้นที่ทั้งหมด	ค่า SC	การปรับปรุง	ข้อพิจารณา
10	107.7	0.323	ไม่ปรับปรุง	- พื้นที่น้อย - ค่า SC ต่ำ - มี Over Hang 7.35 ม.
11	423.1	0.95	ไม่ปรับปรุง	- อาจมีผลกระทบกับรูปแบบและแนวคิดของผู้ออกแบบเดิม - มี Over Hang 8.40 ม.
12	252	0.396	ไม่ปรับปรุง	- พื้นที่น้อย - ค่า SC ต่ำ - มี Over Hang 4.90 ม.
13	327.8	0.5	ปรับปรุง	- ไม่บังมุมมองในระดับสายตา (เหมือนส่วน C ของ Tower) - กระจกสูง' 3.12 ,"
14	876	0.5	ไม่ปรับปรุง	- เป็นส่วนที่อยู่ในระดับสายตา อาจทำให้ความแจ่มชัดทางทัศนียภาพภายนอกน้อยลง (ผนังกระจกส่วน B)
15	375.8	0.5	ปรับปรุง	- อยู่ด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
16	3,331.2	0.5	ไม่ปรับปรุง	- เป็นส่วนที่อยู่ในระดับสายตา อาจทำให้ความแจ่มชัดทางทัศนียภาพภายนอกน้อยลง (ผนังกระจกส่วน B)
17	109	0.5	ปรับปรุง	เป็นกระจกด้านทิศใต้
18	2,952.2	0.5	ไม่ปรับปรุง	- เป็นส่วนที่อยู่ในระดับสายตา อาจทำให้ความแจ่มชัดทางทัศนียภาพภายนอกน้อยลง (ผนังกระจกส่วน B)
19	1,398.3	0.5	ปรับปรุง	- ไม่บังมุมมองในระดับสายตา (ผนังกระจกส่วน C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าถึงแม้ผนังบางลักษณะจะมีปริมาณพื้นที่มาก แต่ก็ไม่ได้เลือกปรับปรุงเนื่องจากอยู่ในส่วนที่มีอุปกรณ์บังแดด หรืออาจจะกระทบต่อมุมมองของทัศนียภาพภายนอกอาคาร และบางลักษณะอาจมีผลกระทบกับรูปแบบและแนวคิดของผู้ออกแบบเดิม

สรุปการพิจารณาเลือกปรับปรุงผนังโปร่ง (กระจก) มีทั้งหมด 4 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 13, 15, 17, และ ลักษณะที่ 19

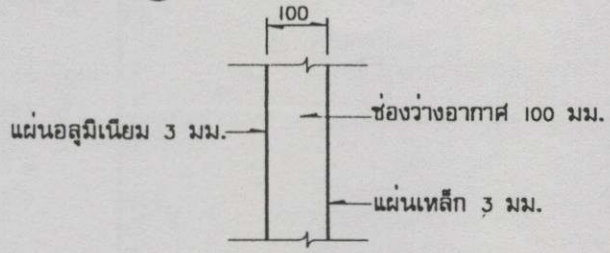
5.6 การสร้างทางเลือก (ALTERNATIVE) เพื่อปรับปรุงกรอบอาคาร

หลังจากที่ได้เลือกที่จะปรับปรุงผนังทึบ คือ ผนังลักษณะที่ 1, 3, 9, และ ลักษณะที่ 19 แล้วได้พิจารณาว่าชั้นวัสดุของผนังลักษณะนั้นๆ มีความเหมาะสมเพียงใด และควรจะปรับปรุงชั้นวัสดุชั้นใด โดยการสร้างทางเลือกปรับปรุงนี้จะใช้เกณฑ์การพิจารณาออกแบบชั้นวัสดุตามหัวข้อที่ 5.4 โดยจะสร้างทางเลือกของผนังทึบ มีดังนี้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

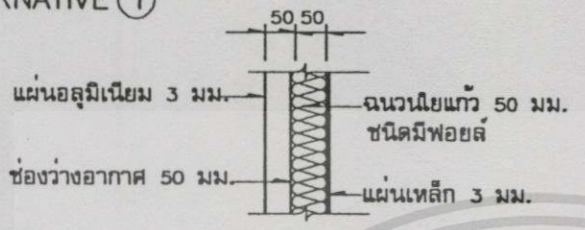
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังลักษณะที่ ①



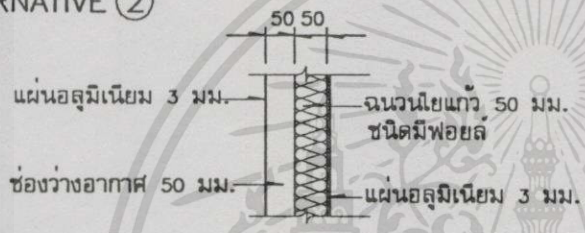
U = 3.10 W/m²–°K
OTTV = 43.40 W/m²

ALTERNATIVE ①



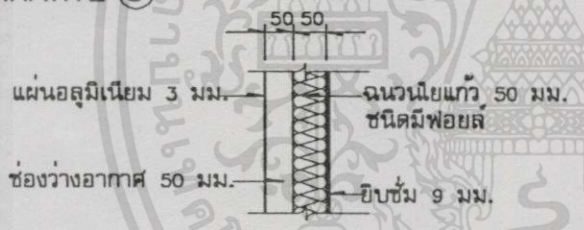
U = 0.60 W/m²–°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ②



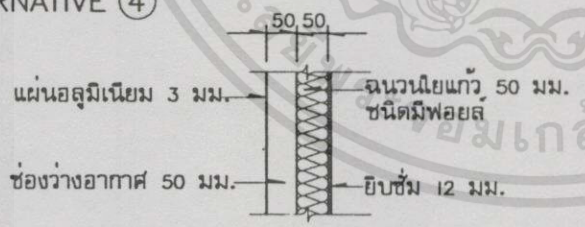
U = 0.60 W/m²–°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ③



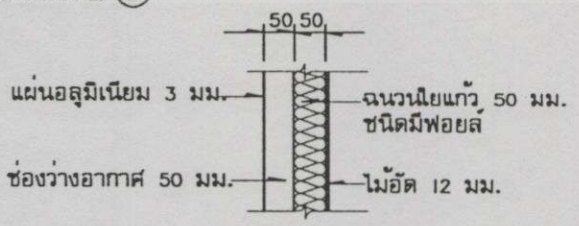
U = 0.60 W/m²–°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ④



U = 0.60 W/m²–°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ⑤

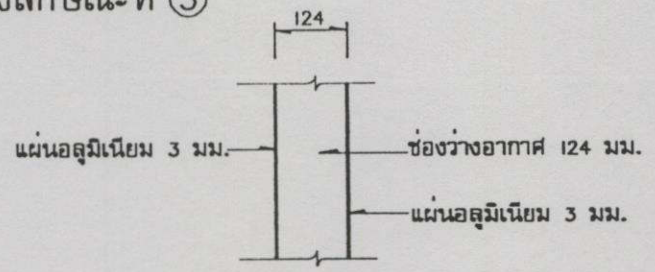


U = 0.50 W/m²–°K
OTTV = 7.00 W/m²

รูปที่ 5.4 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังทึบ

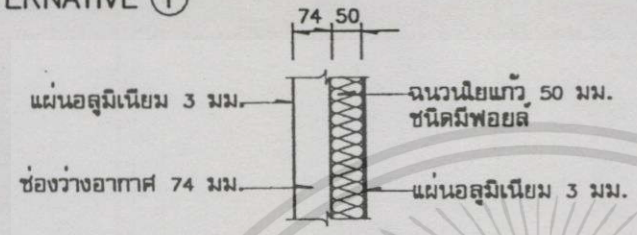
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังลักษณะที่ ③



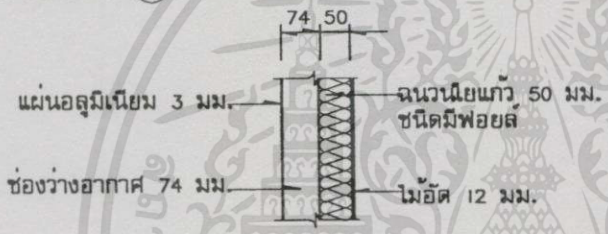
U = 3.10 W/m²-°K
OTTV = 43.40 W/m²

ALTERNATIVE ①



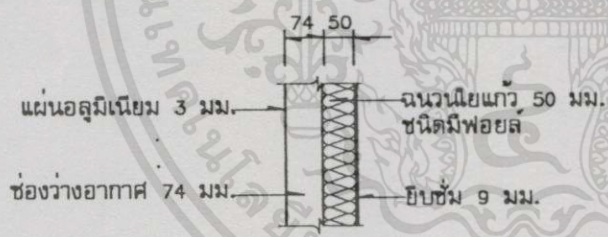
U = 0.60 W/m²-°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ②



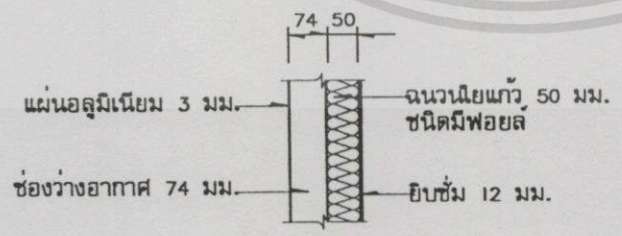
U = 0.50 W/m²-°K
OTTV = 7.00 W/m²

ALTERNATIVE ③



U = 0.60 W/m²-°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ④

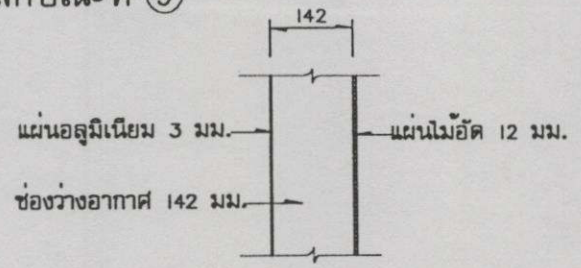


U = 0.60 W/m²-°K
OTTV = 8.40 W/m²

รูปที่ 5.5 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังทึบ

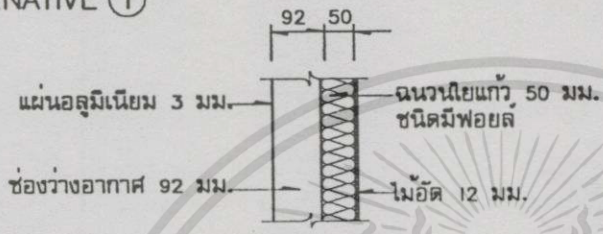
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังลักษณะที่ ⑨



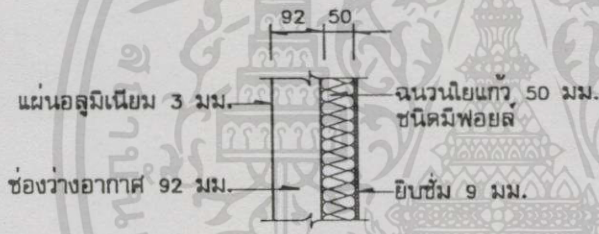
$U = 2.60\ W/m^2\text{-}^\circ K$
$OTTV = 36.40\ W/m^2$

ALTERNATIVE ①



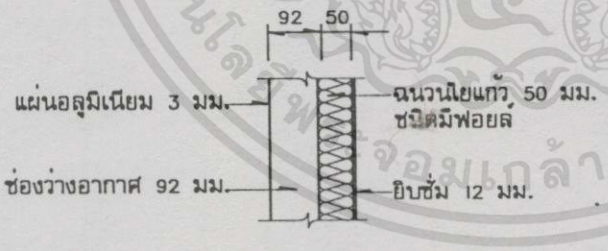
$U = 0.60\ W/m^2\text{-}^\circ K$
$OTTV = 8.40\ W/m^2$

ALTERNATIVE ②



$U = 0.60\ W/m^2\text{-}^\circ K$
$OTTV = 8.40\ W/m^2$

ALTERNATIVE ③

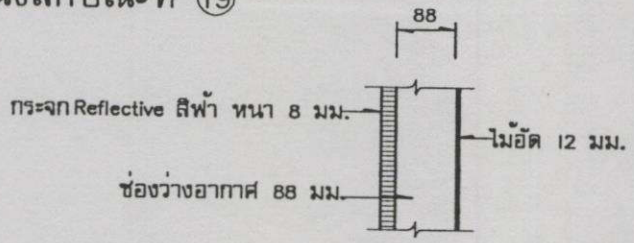


$U = 0.60\ W/m^2\text{-}^\circ K$
$OTTV = 8.40\ W/m^2$

รูปที่ 5.6 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังทึบ

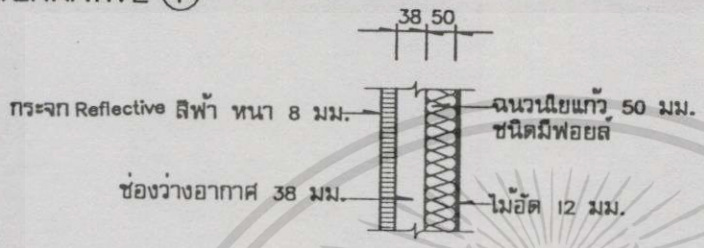
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังลักษณะที่ ⑲



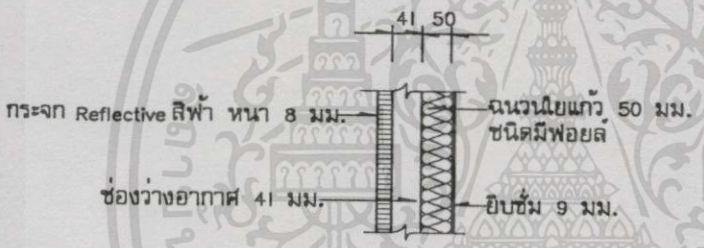
U = 2.40 W/m²-°K
OTTV = 33.60 W/m²

ALTERNATIVE ①



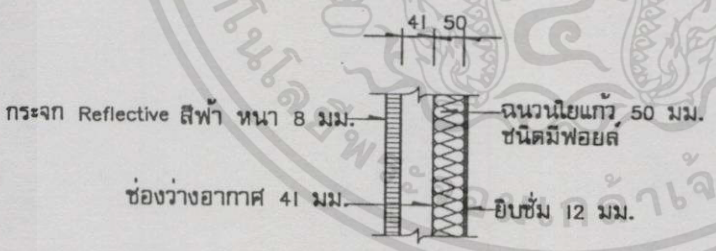
U = 0.60 W/m²-°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ②



U = 0.60 W/m²-°K
OTTV = 8.40 W/m²

ALTERNATIVE ③



U = 0.60 W/m²-°K
OTTV = 8.40 W/m²

รูปที่ 5.7 แสดงทางเลือกการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการสร้างทางเลือกเพื่อปรับปรุงผนังทึบ

ลักษณะที่ 1 เลือก ALTERNATIVE ที่ 1

และ ALTERNATIVE ที่ 3

เนื่องจากผนังภายในของลักษณะที่ 1 เดิมเป็นแผ่นเหล็กและบางส่วนนั้นอยู่ตรงส่วนของผนัง Service Lift และบันไดหนีไฟด้านทิศเหนือชั้นที่ 1 – 7 จึงยังคงใช้ผนังภายในเป็นแผ่นเหล็กและเพิ่มฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. ชนิดมีฟอยล์ เข้าไปเท่านั้น (ALTERNATIVE 1)

บางส่วนของผนังลักษณะที่ 1 จะเลือกใช้ผนังภายในเป็นแผ่นยิบซั่ม หนา 9 มม. (ALTERNATIVE 3) ซึ่งมีค่า U = 0.6 เท่ากันกับแผ่นยิบซั่ม หนา 12 มม. (ALTERNATIVE 4) และผนังภายในไม้อัด 12 มม. (ALTERNATIVE 5) ซึ่งมีค่า U = 0.5 ซึ่งน้อยกว่าแต่ก็จะไม่เลือกใช้เนื่องจากเป็นวัสดุที่ไม่ป้องกันการลามไฟและไม่ช่วยในการดูดซับเสียง, การตกแต่งภายใน (Interior Finishing) ทำได้ยากกว่าแผ่นยิบซั่ม ส่วนผนัง ALTERNATIVE 2 นั้นวัสดุภายในเป็นแผ่นอลูมิเนียมซึ่งมีราคาแพงที่สุด ในขณะที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (ค่า U) เท่ากันกับแผ่นเหล็กและยิบซั่ม 9 มม.

ลักษณะที่ 3 เลือก ALTERNATIVE ที่ 1

และ ALTERNATIVE ที่ 3

เนื่องจากผนังลักษณะที่ 3 ผนังภายในเดิมเป็นแผ่นอลูมิเนียม 3 มม. ตรงส่วนของ Service lift ด้านทิศเหนือ ชั้นที่ 1 – 7 จึงยังคงใช้ผนังอลูมิเนียมเช่นเดิมและเพิ่มฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. ชนิดมีฟอยล์ (ALTERNATIVE 1)

บางส่วนของผนังลักษณะที่ 3 เลือกใช้ผนังภายในเป็นแผ่นยิบซั่ม เนื่องจากประโยชน์ใช้สอยที่เหมาะสมไม่ได้อยู่ตรงส่วนของ Service lift ซึ่งมีค่า U = 0.6 เท่ากันกับ ALTERNATIVE 1, 3, 4 ส่วน ALTERNATIVE 2 ผนังภายในเป็นไม้อัด หนา 12 มม. ค่า U = 0.5 แต่เนื่องจากไม้อัดเป็นวัสดุที่ไม่ทนไฟและไม่ป้องกันการลามไฟ ส่วน ALTERNATIVE 4 ผนังภายในเป็นยิบซั่ม 12 มม. ซึ่งมีคุณสมบัติเท่ากับ ALTERNATIVE 3 แต่มีราคาแพงกว่า

ลักษณะที่ 9 เลือก ALTERNATIVE ที่ 2

ผนังลักษณะที่ 9 มี 3 ALTERNATIVE เลือก ALTERNATIVE 2 ซึ่งบุฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. ชนิดมีฟอยล์ ภายในบุด้วยแผ่นยิบซั่ม หนา 9 มม. ค่า U = 0.6 เท่ากับแผ่นยิบซั่ม หนา 12 มม. ซึ่งมีราคาแพงกว่า ส่วนแผ่นไม้อัดเป็นวัสดุไม่ทนไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่ 19 เลือก ALTERNATIVE ที่ 2

ผนังลักษณะที่ 19 มี 3 ALTERNATIVE เลือก ALTERNATIVE 2 ใช้วัสดุภายในบุด้วยแผ่นยิบซั่ม หนา 9 มม. ค่า U = 0.6 ถูกกว่า ALTERNATIVE 3 ที่ใช้แผ่นยิบซั่ม หนา 12 มม. และดีกว่ากว่า ALTERNATIVE 1 ที่ใช้วัสดุภายในเป็นไม้อัด 12 มม. ซึ่งไม่ทนไฟ

5.7 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของกรอบอาคารหลังการปรับปรุง

การคำนวณค่า OTTV ของกรอบอาคารที่เดิมยังไม่ทำการปรับปรุงนั้นได้ค่าเฉลี่ย OTTV เท่ากับ 61.59 วัตต์/ตร.ม. ส่วนการคำนวณค่า OTTV ของอาคารหลังการปรับปรุงแล้วได้ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 48.09 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน 13.50 วัตต์/ตร.ม. ทำให้ค่า OTTV ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งกำหนดให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารเก่ามีค่าไม่เกินกว่า 55 วัตต์/ตร.ม.

ตารางที่ 5.10 ตารางเปรียบเทียบค่า OTTV ก่อนและหลังการปรับปรุง

ชั้นที่	พื้นที่ผนังอาคาร (m^2)	ค่า OTTV ก่อนการปรับปรุง (W/m^2)	ค่า OTTV หลังการปรับปรุง (W/m^2)
1	1401.43	89.36	69.08
2	501.48	72.08	51.28
3	840.28	75.63	36.47
4	896.01	71.74	44.83
5	684.81	60.14	32.77
6	819.47	68.79	51.60
7	683.10	53.62	45.39
8-31	16,346.56	57.64	47.56
เฉลี่ย		48.09	61.59

พื้นที่ผนังอาคารรวม	=	22,173.14	m^2
ค่าเฉลี่ย OTTV ก่อนการปรับปรุง	=	48.09	W / m^2
ค่าเฉลี่ย OTTV หลังการปรับปรุง	=	61.59	W / m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 การวิเคราะห์ภาระความเย็น (Cooling Load) หลังการปรับปรุงกรอบอาคาร

การคำนวณภาระความเย็น (Cooling Load) หลังการปรับปรุงกรอบอาคาร สามารถลดภาระการปรับอากาศได้ ดังนี้

ตารางที่ 5.11 แสดงราคาระบบปรับอากาศและค่าไฟฟ้าต่อปีหลังการปรับปรุง

ชั้นที่	ขนาดระบบปรับอากาศ		ราคาระบบปรับอากาศ	ค่าไฟฟ้าทั้งปี
	(ตัน)	เฉลี่ย ($ม^2$/ตัน)	(บาท)	(บาท/ปี)
1	87.27	46.50	4,450,833.45	1,000,111.96
2	47.46	37.64	2,420,238.47	729,041.61
3	58.68	41.75	2,992,857.02	875,936.53
4	60.84	38.13	3,102,843.39	879,279.05
5	45.51	49.51	2,320,801.51	590,634.33
6	62.70	62.20	3,197,720.97	836,911.92
7	46.21	43.95	2,356,611.06	710,469.03
8-31	906.84	38.36	46,248,927.20	14,391,323.45
รวม	1,315.51	44.76	67,090,833.07	20,013,707.88

สรุปภาระการปรับอากาศทั้งหมดและค่าไฟฟ้าของอาคาร

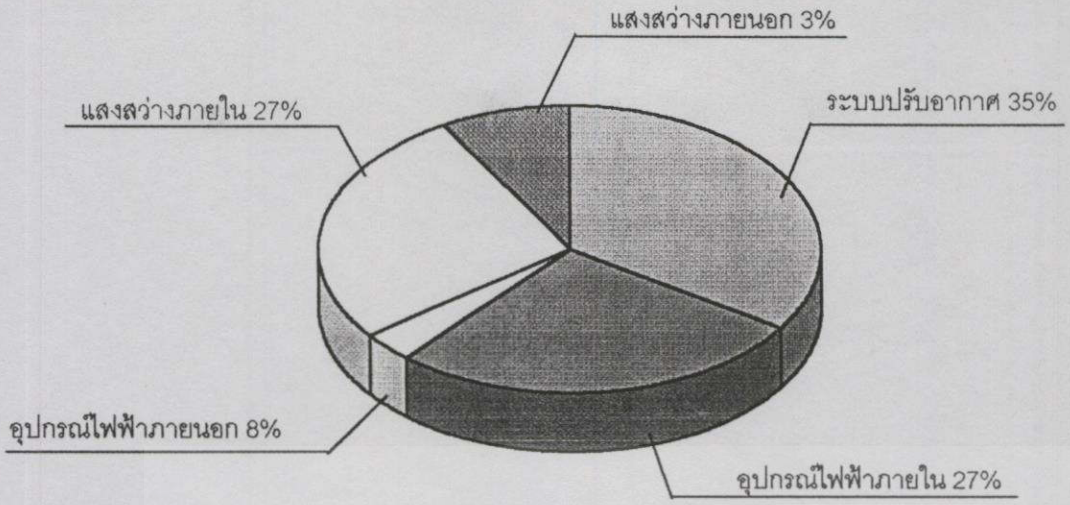
ขนาดระบบปรับอากาศ = 1,315.51 ตัน

เฉลี่ย = 164.44 ตร.ม./ตัน

ราคาระบบปรับอากาศ = 67,090,833.07 บาท

ค่าไฟฟ้าทั้งปี = 20,013,707.88 บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

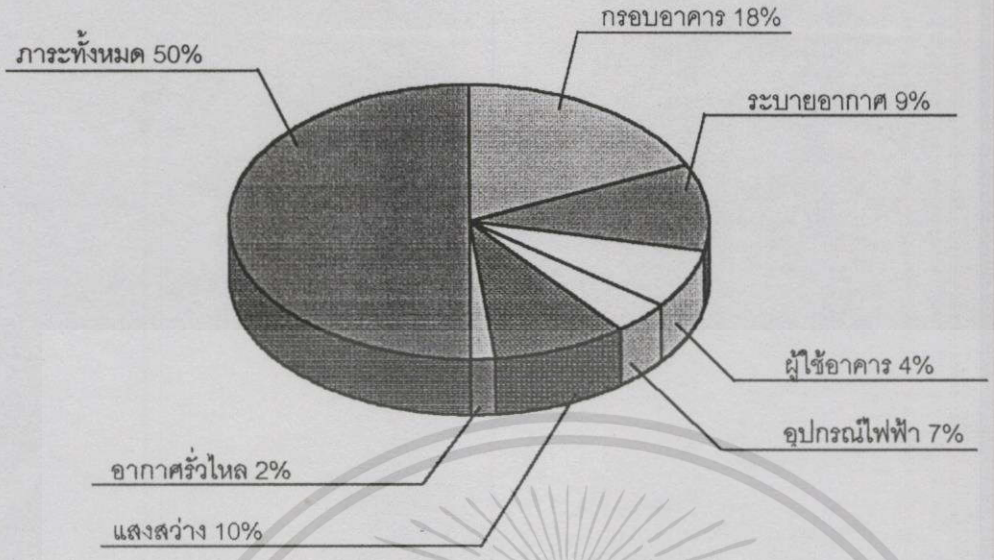


รูปที่ 5.8 แสดงการใช้พลังงานวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุดหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 5.12 แสดงการใช้พลังงานในอาคารหลังการปรับปรุง

ชั้นที่	ระบบปรับอากาศ (kw / hr)	แสงสว่างภายใน (kw / hr)	แสงสว่างภายนอก (kw / hr)	อุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน (kw / hr)	อุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอก (kw / hr)
1	771	406	58	408	94
2	383	281	62	408	94
3	499	457	49	408	94
4	514	444	43	408	94
5	377	220	32	293	94
6	574	402	96	293	94
7	380	273	133	293	94
8 - 31	8,181	6,793	634	6,748	2,156
รวม	**11,679**	**9,276**	**1,107**	**9,259**	**2,814**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

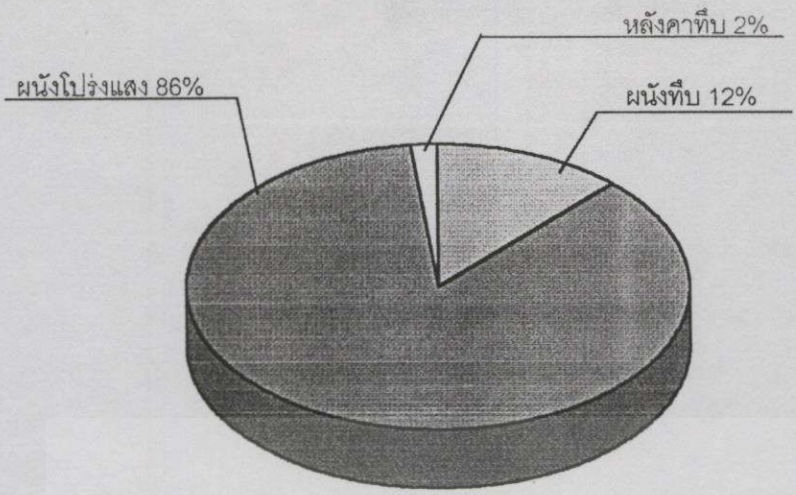


รูปที่ 5.9 แสดงภาระปรับอากาศวันที่มีการใช้พลังงานสูงสุดหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 5.13 แสดงภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศหลังการปรับปรุง

ชั้นที่	กรอบอาคาร (kw / hr)	แสงสว่าง (kw / hr)	อุปกรณ์ไฟฟ้า (kw / hr)	ผู้ใช้อาคาร (kw / hr)	ระบายอากาศ (kw / hr)	อากาศรั่วไหล (kw / hr)	ภาระทั้งหมด (kw / hr)
1	1,342	319	220	216	238	33	2,369
2	371	221	220	95	225	45	1,177
3	452	360	220	131	308	62	1,533
4	534	349	220	124	292	59	1,578
5	365	173	159	120	283	57	1,157
6	490	316	159	208	490	99	1,761
7	377	215	159	108	255	51	1,166
8 - 31	9,027	5,343	3,646	1,854	4,373	879	25,120
รวม	**12,967**	**7,296**	**5,003**	**2,856**	**6,464**	**1,285**	**35,861**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

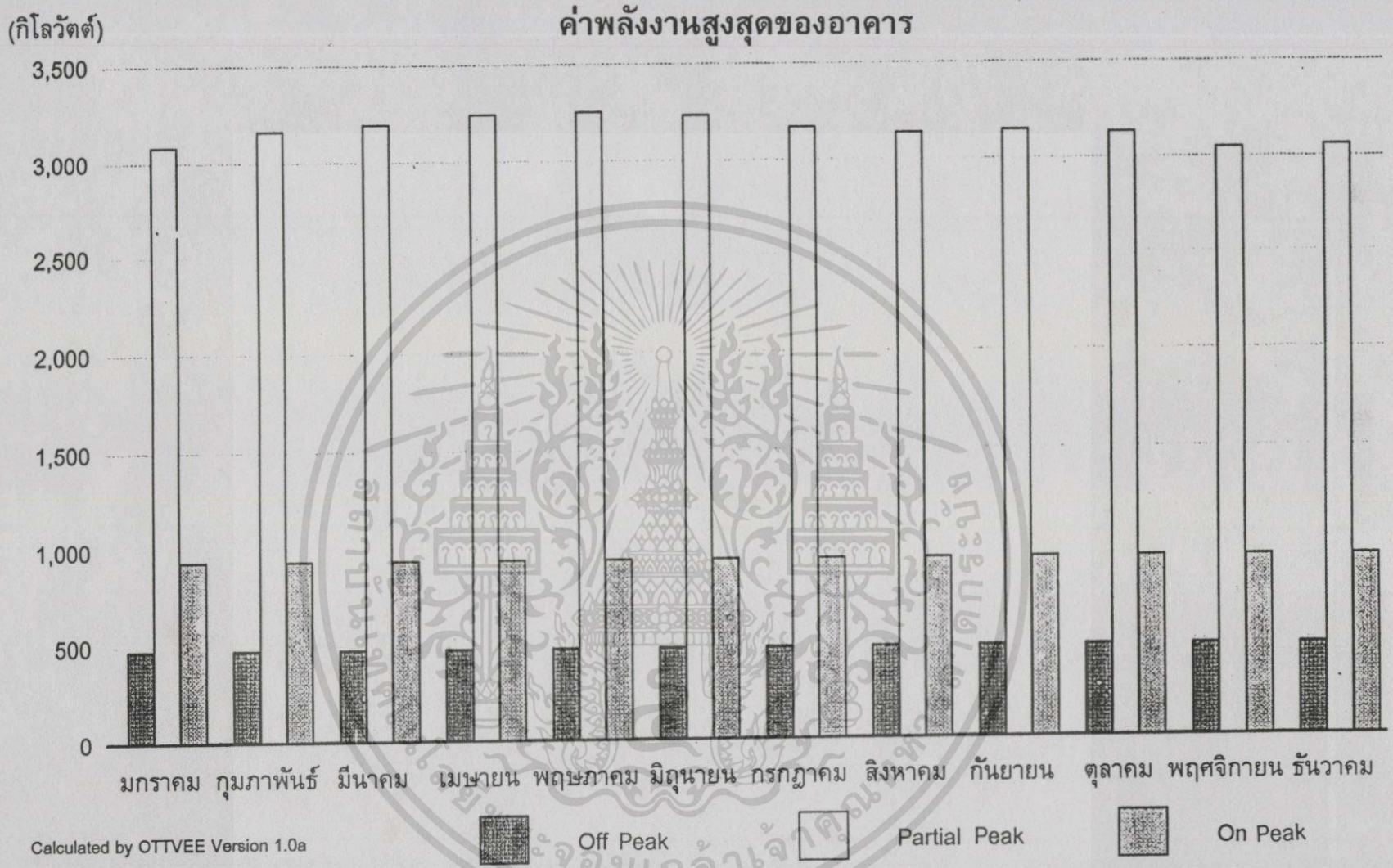


รูปที่ 5.10 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศหลังการปรับปรุง

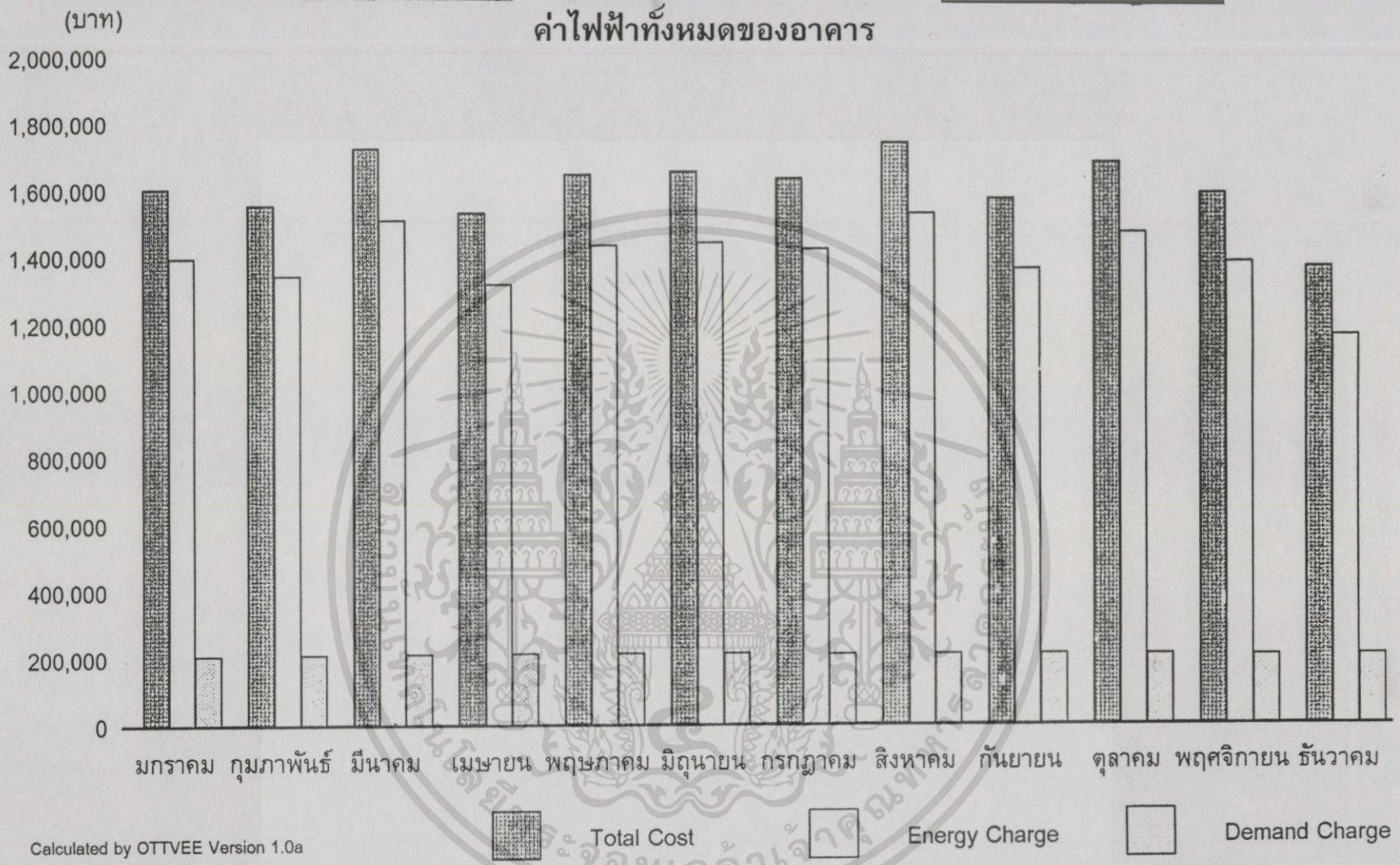
ตารางที่ 5.14 แสดงภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศหลังการปรับปรุง

ชั้นที่	ภาระในระบบปรับอากาศ						ภาระกรอบอาคาร
	ผนังทึบ (kw / hr)	ร้อยละ (%)	ผนังโปร่งแสง (kw / hr)	ร้อยละ (%)	หลังคาทึบ (kw / hr)	ร้อยละ (%)	(kw / hr)
1	139	10	1,204	90	-	-	1,342
2	34	9	338	91	-	-	371
3	44	10	347	77	61	14	452
4	71	13	369	69	94	18	534
5	80	22	207	57	78	21	365
6	85	17	405	83	-	-	490
7	89	24	288	76	-	-	377
8 - 31	1,027	11	8,000	89	-	-	9,027
รวม	**1,569**	**14.5**	**11,158**	**79**	**233**	**17.67**	**12,958**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงค่าพลังงานสูงสุดของอาคาร (ปรับปรุง)



รูปที่ 5.12 แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร (ปรับปรุง)

ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบภาระในระบบการปรับอากาศก่อนและหลังการปรับปรุง

อาคาร	ขนาดระบบปรับอากาศ		ราคาระบบปรับอากาศ (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
	ตัน	เฉลี่ย (ตร.ม./ตัน)		
ก่อนการปรับปรุง	1,485.02	37.25	75,736,220.42	20,620,508.48
หลังการปรับปรุง	1,315.51	44.76	67,090,833.07	20,013,707.88
ค่าความแตกต่าง	169.51	7.51	8,645,387.35	606,800.6

สรุปภาระการปรับอากาศทั้งหมดและค่าไฟฟ้าของอาคารที่ลดลง

ขนาดระบบปรับอากาศ = 169.51 ตัน

เฉลี่ย (เพิ่ม) = 7.51 ตร.ม./ ตัน

ราคาระบบปรับอากาศ = 8,645,387.35 บาท

ค่าไฟฟ้าทั้งปี = 606,800.6 บาท/ปี

5.9 การวิเคราะห์การลงทุนกรอบอาคารหลังการปรับปรุง

การลงทุนกรอบอาคารหลังการปรับปรุงแล้ว สามารถแบ่งการลงทุนแยกเป็นชั้นได้ดังนี้

ตารางที่ 5.16 แสดงการลงทุนกรอบอาคารหลังการปรับปรุง

ชั้นที่	การลงทุนกรอบอาคาร (บาท)
1	4,757,067.05
2	1,870,478.70
3	3,437,537.05
4	3,311,555.20
5	2,806,104.85
6	3,169,889.10
7	2,638,447.45
8 - 31	75,408,889.20
รวม	**97,399,968.60**

หลังจากทำการปรับปรุงกรอบอาคารแล้วทำให้สามารถลดค่า OTTV ของกรอบอาคารลงถึง 13.50 วัตต์/ตร.ม. และส่งผลให้สามารถลดภาระการปรับอากาศภายในอาคารด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การลงทุนจากโปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a ได้วิเคราะห์ผลการลงทุนเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ดังนี้

ตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบ การลงทุนกรอบอาคาร ระบบปรับอากาศ และค่าไฟฟ้า ก่อนและหลังการปรับปรุง

การลงทุน	ก่อนปรับปรุง (บาท)	หลังปรับปรุง (บาท)	ผลต่าง (บาท)
กรอบอาคาร	92,123,239	97,399,968	5,276,729
ระบบปรับอากาศ	75,736,220	67,090,833	8,645,387
ค่าไฟฟ้าต่อปี	20,620,508	20,013,707	606,801

สรุปผลต่างของการลงทุนก่อนและหลังปรับปรุง

กรอบอาคาร = 5,276,729 บาท

ระบบปรับอากาศ = 8,645,387 บาท

ค่าไฟฟ้า = 606,801 บาท/ปี

5.9.1 **อัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR)** อัตราผลตอบแทน (Rate of Return : ROR) ในโครงการปรับปรุงธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ ซึ่งคำนวณค่า ROR ในรูปของ EIRR (Real Economic Internal Rate of Return) ซึ่งใช้โปรแกรม OTTV Version 1.0 a ได้อัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR) มากกว่า 900% และจะคืนทุนได้ภายในเวลา 1 ปี โดยกำหนดอายุโครงการ 15 ปี ดอกเบี้ย 12.50% เงินเฟ้อ 3.0% และเมื่อนำค่า EIRR มาเทียบกับอัตราผลตอบแทนที่จูงใจต่ำที่สุด (Minimum Attractive Rate of Return : MARR) ซึ่งธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ เลือกใช้ค่า MARR ที่ 9% (เท่ากับอาคารของรัฐ)

จึงสรุปได้ว่า อัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR) นั้นมากกว่าค่าตอบแทนที่จูงใจต่ำที่สุด (MARR) อยู่มากจึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะตัดสินใจลงทุนปรับปรุงกรอบอาคาร โดยอัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR) ในระยะเวลา 15 ปี จะแสดงในตารางที่ 5.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.18 แสดงอัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR) ในระยะเวลา 15 ปี

ปีที่	อาคารก่อนปรับปรุง			อาคารหลังปรับปรุง			ค่าเปรียบเทียบ
	เงินลงทุน / ค่าใช้จ่าย	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	มูลค่าปัจจุบันสะสม	เงินลงทุน / ค่าใช้จ่าย	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	มูลค่าปัจจุบันสะสม	สำหรับหาค่า EIRR
-	167,859,459	167,859,459	167,859,459	164,409,801	164,409,801	164,409,801	3,368,658
1	21,239,123	18,879,221	186,738,680	20,614,118	18,323,661	182,814,462	625,005
2	21,876,297	14,284,975	204,023,655	21,232,542	16,776,329	199,590,791	643,755
3	22,532,586	15,825,355	219,849,010	21,869,518	15,359,661	214,950,452	663,068
4	23,208,563	14,488,992	234,338,002	22,525,604	14,062,623	229,013,076	682,960
5	23,904,820	13,265,477	248,603,479	23,201,372	12,875,113	241,888,189	703,449
6	24,621,965	12,145,281	256,748,760	23,897,413	11,787,881	253,676,070	724,552
7	25,360,624	11,119,680	270,868,440	24,614,335	10,792,460	264,468,530	746,289
8	26,121,443	10,180,684	281,049,124	25,352,765	9,881,097	274,349,627	768,677
9	26,905,086	9,320,982	290,370,107	26,113,348	9,046,693	283,396,320	791,738
10	27,712,238	8,533,877	298,903,984	26,896,749	8,282,750	291,679,070	815,490
11	28,543,606	7,813,239	306,717,222	27,703,651	7,583,318	299,262,388	839,954
12	29,399,914	7,153,454	313,870,676	28,534,761	6,942,949	306,205,337	865,153
13	30,281,911	6,549,385	320,420,061	29,390,803	6,356,655	312,561,992	891,108
14	31,190,369	5,996,325	326,416,386	30,272,528	5,819,871	318,381,863	917,841
15	32,126,080	5,489,969	331,906,355	31,180,703	5,328,415	323,710,279	945,376

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR) มากกว่า 900% คืนทุนภายใน 1 ปี

กำหนดอายุโครงการ 15 ปี ดอกเบี้ย 12.50% เงินเฟ้อ 3.0%

ตารางที่ 5.19 แสดงรายละเอียดผนังทึบและราคาวัสดุที่ปรับปรุง

ผนังลักษณะที่ 1 (ผนังด้านทิศเหนือ ชั้นที่ 1-7)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
2	ช่องว่างอากาศ	50	-	-	-	
3	ฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์	50	230	35	265	
4	แผ่นเหล็ก	3	325	170	495	
ค่าแรงการรื้อถอนแผ่นเหล็ก					100	
				รวมทั้งสิ้น	5660	

หมายเหตุ : ภายในเป็นส่วนของผนังบันไดหนีไฟและผนัง Service Lift

ผนังลักษณะที่ 1 (ทั่วไป)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
2	ช่องว่างอากาศ	50	-	-	-	
3	ฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์	50	230	35	265	
4	ยิบซั่มบอร์ด	9	200	120	320	
ค่าแรงการรื้อถอนแผ่นเหล็ก					100	
				รวมทั้งสิ้น	5485	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 (ต่อ)

ผนังลักษณะที่ 3 (ผนังด้านทิศเหนือ ชั้นที่ 1-7)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
2	ช่องว่างอากาศ	74	-	-	-	
3	ฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์	50	230	35	265	
4	แผ่นอลูมิเนียม	3	640	150	790	
ค่าแรงการรื้อถอนแผ่นอลูมิเนียม					100	
				รวมทั้งสิ้น	5955	

หมายเหตุ : ภายในเป็นส่วนของผนัง Service Lift

ผนังลักษณะที่ 3 (ทั่วไป)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	รวมการติดตั้งนั่งร้าน
2	ช่องว่างอากาศ	74	-	-	-	
3	ฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์	50	230	35	265	
4	ยิบซั่มบอร์ด	9	200	120	320	
ค่าแรงการรื้อถอนแผ่นอลูมิเนียม					100	
				รวมทั้งสิ้น	5485	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 (ต่อ)

ผนังลักษณะที่ 9

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	แผ่นอลูมิเนียม	3	3300	1500	4800	รวมการติด
2	ช่องว่างอากาศ	92	-	-	-	ตั้งนั่งร้าน
3	ฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์	50	230	35	265	
4	ยิบซั่มบอร์ด	9	200	120	320	
ค่าแรงการรื้อถอนไม้อัด 12 มม.					50	
				รวมทั้งสิ้น	5435	

ผนังลักษณะที่ 19 (ผนังส่วน C)

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจก Reflector	8	670	1500	2170	รวมการติด
2	ช่องว่างอากาศ	41	-	-	-	ตั้งนั่งร้าน
3	ฉนวนใยแก้วชนิดมีฟอยล์	50	230	35	265	
4	ยิบซั่มบอร์ด	9	200	120	320	
ค่าแรงการรื้อถอนไม้อัด 12 มม.					50	
				รวมทั้งสิ้น	2805	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.20 แสดงรายละเอียดผนังโปร่งแสงและราคาวัสดุที่ปรับปรุง

ผนังลักษณะที่ 13, 15, 17

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติด
2	ฟิล์มกรองแสง RE - 35	-	370	50	420	ตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2590	

ผนังลักษณะที่ 19

ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (มม.)	ราคา (บาท/ม^2)	ค่าแรง (บาท/ม^2)	รวม (บาท/ม^2)	หมายเหตุ
1	กระจก Reflective สีฟ้า	8	670	1500	2170	รวมการติด
2	ฟิล์มกรองแสง P - 18	-	270	50	320	ตั้งนั่งร้าน
				รวมทั้งสิ้น	2490	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปและเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการปรับปรุงกรอบอาคารและข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับการปรับอากาศ อาคารธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ เป็นอาคารประเภทสำนักงานสูง 34 ชั้น เนื่องจากเป็นอาคารปรับอากาศมีสัดส่วนพื้นที่ของผนังกระจกมาก จึงคาดว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารมากด้วยเช่นกัน

จากการวิเคราะห์รูปแบบของกรอบอาคารกรณีศึกษา การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (Overall Thermal Transfer Value : OTTV) มีค่าเท่ากับ 61.59 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้สำหรับอาคารเก่า ไม่เกิน 55 วัตต์/ตร.ม และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (Roof Thermal Transfer Value : RTTV) ของอาคารกรณีศึกษา เท่ากับ 11.57 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานตามที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้ คือ ไม่เกินกว่า 25 วัตต์/ตร.ม.

จากการวิเคราะห์รูปแบบและวัสดุของกรอบอาคารพบว่า สัดส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ทั้งหมด (Window to Wall Ratio : WWR) มีค่าเท่ากับ 0.46 ซึ่งถือว่ามีพื้นที่กระจกมากทำให้การส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารได้สูง และส่วนของผนังทึบนั้นส่วนใหญ่เป็น Aluminium Cladding หนา 3 มม. มีการใช้ฉนวนบ้างบางส่วน การปรับปรุงกรอบอาคารส่วนผนังทึบโดยการพิจารณาจากค่า OTTV , พื้นที่ผนังทึบ และค่าภาระความเย็น (Cooling load) ของอาคารแล้วจึงเลือกผนังทึบที่เหมาะสมกับการปรับปรุง ส่วนของผนังโปร่งแสงเลือกที่จะปรับปรุงโดยการติดฟิล์มกรองแสงเพื่อมิให้มีผลกระทบต่อรูปแบบภายนอกที่สะท้อนถึงแนวความคิดของผู้ออกแบบเดิม โดยสรุปการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับการปรับอากาศ มีดังต่อไปนี้

1) การปรับปรุงส่วนของผนังทึบ โดยการเลือกวัสดุฉนวนชนิดต่างๆ โดยพิจารณาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (ค่า U) ต่ำ และค่าการต้านทานการถ่ายเทความร้อน (ค่า R) สูง, การกันน้ำและความชื้น, ความปลอดภัยต่อสุขภาพ, การติดตั้งที่สะดวกรวดเร็ว และราคาวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุฉนวนแล้วจึงสรุปได้ว่า จะใช้วัสดุฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. ชนิดมีฟอยล์ ความหนาแน่น 32 kg/m^3 ชนิดแผ่น (Rigid Board)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ค่าการต้านทานความร้อน (ค่า R) พบว่า ผนังที่บุฉนวนใยแก้ว หนา 50 มม. (2") เป็นความหนาที่เหมาะสม ผลจากการสร้างแบบทดสอบสามารถลดค่าการส่งผ่านความร้อนลงได้ถึง 79.2% ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารลดลงได้มาก และคุ้มค่าการลงทุนมากที่สุด

การออกแบบปรับปรุงชั้นวัสดุของกรอบอาคาร เป็นส่วนสำคัญเช่นกันโดยชั้นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในแต่ละชั้นวัสดุ (Layer) ดังนี้

1. ผนังภายนอก (Finishing) มีความแข็งแรง ทนทาน, ค่าการสะท้อนความร้อนสูง หากเป็นกระจกก็ควรมีค่า SC ต่ำ
2. ช่องว่างอากาศ (Air Space) ลดการนำความร้อนเข้าสู่อาคาร
3. วัสดุป้องกันความชื้น (Vapour Barrier)
4. วัสดุฉนวน (Insulation Material)
5. วัสดุภายใน (Interior Finishing) แข็งแรง, การทนไฟหรือป้องกันการลามไฟ

2) การปรับปรุงส่วนของผนังโปร่งแสง (กระจก) พิจารณาเลือกปรับปรุงผนังกระจกโดยการติดฟิล์มกรองแสงในบางส่วนเพื่อมิให้กระทบกับรูปแบบและแนวความคิดของผู้ออกแบบเดิม โดยการพิจารณาคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงที่มีเปอร์เซ็นต์การลดค่าความร้อน (Heat Reduction) ได้สูง มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ต่ำ, ค่าแสงผ่านฟิล์มกระจกสูง

จากผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ก่อนการปรับปรุงเฉลี่ยได้ 61.59 วัตต์/ตร.ม. หลังการปรับปรุงได้ 48.09 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งสามารถลดค่า OTTV ลงได้ถึง 13.50 วัตต์/ตร.ม. ทำให้ภายหลังการปรับปรุงกรอบอาคาร ค่า OTTV ได้ตามเกณฑ์พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้

3) การประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ทำให้สามารถลดขนาดของระบบปรับอากาศได้ 1,69.51 ตัน. จากเดิมก่อนการปรับปรุงกรอบอาคารได้ 1,485.02 ตัน เหลือ 1,315.51 ตัน ราคาระบบปรับอากาศก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 75,736,220 บาท หลังการปรับปรุงเท่ากับ 67,090,833 บาทสามารถลดราคาค่าระบบปรับอากาศได้ 8,645,387 บาท และลดค่าไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงจาก 20,620,508 บาท เป็น 20,013,707 บาท หลังการปรับปรุงแล้วลดค่าไฟฟ้าได้ 606,801 บาท/ปี

4) การวิเคราะห์ค่าการลงทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารจากก่อนการปรับปรุงราคากรอบอาคารเท่ากับ 92,123,239 บาท เมื่อเปรียบเทียบราคากับการลงทุนปรับปรุงกรอบอาคารเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

97,399,968 บาท ซึ่งมีผลต่างเท่ากับ 5,276,729 บาท (ราคาเพิ่มขึ้นจากกรอบอาคารก่อนปรับปรุง)

5) การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (EIRR) ของโปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a ได้อัตราผลตอบแทนมากกว่า 900% คืนทุนภายใน 1 ปี โดยกำหนดอายุโครงการ 15 ปี ดอกเบี้ย 12.50% เงินเฟ้อ 3.0% ซึ่งค่า EIRR (Real Economic Internal Rate of Return) ถึง 900% มีค่ามากกว่าค่า MARR (Minimum Attractive Rate of Return) ที่ 9% (เท่ากับอาคารของรัฐ) สรุปจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุนและควรตัดสินใจลงทุนกรอบอาคาร

ความเป็นไปได้ในการลงทุนการปรับปรุงกรอบอาคารนั้น จะประเมินผลค่าการก่อสร้างกรอบอาคารและค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยเปรียบเทียบกับกรอบอาคารรูปแบบเดิมและรูปแบบของกรอบที่ได้ปรับปรุง ซึ่งสรุปได้ว่า เงินลงทุนการก่อสร้างกรอบอาคารที่เสนอแนะทำการปรับปรุงนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่ากรอบอาคารเดิม แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโดยรวมของภาระปรับอากาศและค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ลดลงทำให้มีอัตราผลตอบแทนมากกว่า

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น หากได้พิจารณาข้อมูลและทำการประเมินผลเปรียบเทียบแล้ว จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศและการบริโภคพลังงานของอาคารได้ ซึ่งจะส่งผลต่อเศรษฐกิจประเทศไทยโดยรวมเช่นกัน ข้อเสนอแนะการปรับปรุงดังกล่าว จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารประเภทเดียวกัน หรือมีลักษณะการใช้สอยใกล้เคียงกัน ตามจุดประสงค์ของการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536.

สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **คู่มือการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0** กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2542.

การฝึกอบรมเรื่อง **มาตรฐานการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน** : เอสอีอี แอสโซซิเอทส์, 2537.

การประชุมทางวิชาการเรื่อง. **การประหยัดพลังงานในอาคารและเมือง** : สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2529.

โครงการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน : สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2541.

รายงานการศึกษา **โครงการตรวจวิเคราะห์ การประหยัดพลังงานในอาคารธุรกิจ**. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2535.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. **การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์, 2521.

สมสิทธิ์ นิตยะ. **การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ปรีชญา รังสิรักษ์. **แนวความคิดในการเรื่องภาวะความสบาย**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ม.ป.ป.

วิเชียร สุวรรณรัตน์. **ภูมิอากาศวิทยา**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พาศนา ตัณทลักษณ์. **ภาวะภูมิอากาศกับการออกแบบอาคาร**. กรุงเทพฯ : พิทักษ์อักษร, 2537.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. **แสงอาทิตย์และเงาที่เกี่ยวกับอาคาร**. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. **กฎกระทรวงออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมอนุรักษ์พลังงาน. พ.ศ. 2535**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก,ม.ป.ป.

ไพศาล จันเตยูร. CLIMATE DESIGN IN TROPICAL HOUSING & BUILDING. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่ : ม.ป.ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuller Moor. **Environmental Control Systems, Heating Cooling, Lighting**, USA : Mcgraw-Hill, 1993

G.Z. Brown And V. Cart Wright. **Sun, Wind And Light Architectural Design Strategies.** USA : Vohn Wiley & Son 1985

M. David Egan. **Concept In Thermal Comfort**. New Versey USA : Prentice-Hall, 1975.

Thai Gypsum Products Public company Limited. **Energy Efficient Design Of Building In Thailand** Thai Gypsum Products Public Company Limited. n.d.

T.A. Markus, E.N. Morris. **Buildings, Climate And Energy**. Great Britain : Spottiswoode Ballanty Ltd, 1890.

Verlage Georg, D.W. Callway **Building In The Tropics** Germany : no place, 1969.

Victor Olgyay. **Design With Climate Bioclimatic Approach To Architectural Regionalism** 2nd Printing, New Versey USA : Printon, New Versey Press, 1969.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบอุปกรณ์ภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled-Water Chilled) ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ลำดับที่	หมายเลขประจำ Plant	ชนิดคอมเพรสเซอร์	พิกัดความเย็น (TR)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (kW)	อายุการใช้งาน (ปี)	ผู้ผลิต	บริเวณที่ติดตั้ง
1	CH. No. 1	Centrifugal	300	202.0	5	York	ห้องเครื่อง ชั้น 7
2	CH. No. 2	Centrifugal	750	472.5	5	York	ห้องเครื่อง ชั้น 7
3	CH. No. 3	Centrifugal	750	472.5	5	York	ห้องเครื่อง ชั้น 7
4	CH. No. 4	Centrifugal	750	472.5	5	York	ห้องเครื่อง ชั้น 7
5	CH. No. 5	Centrifugal	750	495.0	1.5	York	ห้องเครื่อง ชั้น 7

ตารางที่ 2 มอเตอร์ปั๊มน้ำเย็น ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ลำดับที่	หมายเลขประจำ Plant	อายุการใช้งาน (ปี)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (kW)	บริเวณที่ติดตั้ง
1	CHP – 1	5	44.76	ห้องเครื่อง ชั้น 7
2	CHP – 2	5	93.25	ห้องเครื่อง ชั้น 7
3	CHP – 3	5	93.25	ห้องเครื่อง ชั้น 7
4	CHP – 4	5	93.25	ห้องเครื่อง ชั้น 7
5	CHP – 5	5	93.25	ห้องเครื่อง ชั้น 7
6	CHP – 6	1	93.25	ห้องเครื่อง ชั้น 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 มอเตอร์ปั๊มน้ำระบายความร้อน ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ลำดับที่	หมายเลข ประจำ Plant	อายุการใช้งาน (ปี)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (kW)	บริเวณที่ติดตั้ง
1	CDP – 1	5	22.38	ห้องเครื่อง ชั้น 7
2	CDP – 1	5	55.95	ห้องเครื่อง ชั้น 7
3	CDP – 1	5	55.95	ห้องเครื่อง ชั้น 7
4	CDP – 1	5	55.95	ห้องเครื่อง ชั้น 7
5	CDP – 1	5	55.95	ห้องเครื่อง ชั้น 7
6	CDP – 1	1	55.95	ห้องเครื่อง ชั้น 7

ตารางที่ 4 หอผึ่งเย็น (Cooling Tower) ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ลำดับที่	หมายเลข ประจำ Plant	พิกัดขนาด (TR)	อายุการใช้งาน (ปี)	พิกัดกำลังไฟฟ้า ของพัดลม, (kW)	บริเวณที่ติดตั้ง
1	CT – 1	1,000	5	22.38	ดาดฟ้า ชั้น 7
2	CT – 2	1,000	5	22.38	ดาดฟ้า ชั้น 7
3	CT – 3	1,000	5	22.38	ดาดฟ้า ชั้น 7
4	CT – 4	1,000	5	22.38	ดาดฟ้า ชั้น 7
5	CT – 5	1,000	1	22.38	ดาดฟ้า ชั้น 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 เครื่องส่งลมเย็น (Air-Handing Units) ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ชั้นที่	จำนวน	พิกัดความเย็น		พิกัดกำลังไฟฟ้าของพัดลม, (kW)
		(Btu / h)	(TR)	
1	14	2,236,021	186.3	23.5
2	3	1,465,867	122.16	26.2
3	5	1,975,941	164.66	35.2
4	3	6,158,671	138.14	26.2
5	8	2,170,887	180.88	27.59
6	7	3,490,698	323.21	73.19
7	15	4,077,291	339.76	24.4
8-31	71	18,372,601	1,511.67	381.8
32	6	1,422,679	118.56	30.5
33	4	1,274,336	106.19	22.9
34	4	3,233,836	270.00	24.7

ตารางที่ 6 มอเตอร์พัดลมระบายอากาศและพัดลมอัดอากาศในระบบดับเพลิง

ลำดับที่	ระบบของอุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (kw)
1	มอเตอร์พัดลมระบายอากาศ ในระบบระบายอากาศ	27.4
2	พัดลมอัดอากาศ ในระบบดับเพลิง	30.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 เครื่องระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ลำดับที่	พิกัดความเย็น		พิกัดกำลังไฟฟ้า	บริเวณติดตั้ง
	(Btu/h)	(TR)	(kW)	
1	61,400	5.1	6.00	ส่วนยานพาหนะ, ชั้น P2
2	61,400	5.1	6.00	ส่วนเช็คเรียกเก็บ, ชั้น P3
3	64,400	5.1	6.00	การธนาคาร 2, ชั้น 10
4	23,200	1.9	3.50	การธนาคาร 2, ชั้น 10
5	39,400	3.3	4.80	ส่วนเช็คเรียกเก็บ, ชั้น P2
6	39,400	3.3	4.80	การธนาคาร 2, ชั้น 10
7	36,000	3.0	4.80	การธนาคาร 2, ชั้น 10
8	51,200	4.3	5.50	การธนาคาร 2, ชั้น 10
9	61,400	5.1	6.00	การธนาคาร 2, ชั้น 10
10	36,000	3.0	4.80	ห้องถ่ายเอกสาร, ชั้น P2
11	39,000	3.3	4.80	ห้องถ่ายเอกสาร, ชั้น P2
12	61,400	5.1	6.00	ห้องโรเนียง, ชั้น P2
13	22,800	1.9	1.96	หน่วยโทรพิมพ์และโทรสาร, ชั้น 3
14	51,200	4.3	5.50	หน่วยอนุมัติบัตรเครดิต, ชั้น 5
15	28,900	2.4	3.80	หน่วยประมวลผล, ชั้น 5
16	28,900	2.4	3.80	หน่วยประมวลผล, ชั้น 5
17	16,100	1.3	2.50	ห้องเคลือบบัตร, ชั้น 5
18	16,100	1.3	2.50	ห้องเคลือบบัตร, ชั้น 5
19	27,800	2.3	2.37	ห้องควบคุม IBS, ชั้น 7
20	27,800	2.3	2.37	ห้องควบคุม IBS, ชั้น 7
21	22,800	1.9	1.96	ห้อง CCTY, ชั้น 7
22	22,800	1.9	1.96	ห้อง CCTY, ชั้น 7
23	35,000	2.9	2.98	ห้อง RSU, ชั้น 7
24	35,000	2.9	2.98	ห้อง RSU, ชั้น 7
25	33,000	2.8	2.87	ห้องโทรศัพท์, ชั้น 7
26	35,000	2.9	3.00	ห้อง UPS, ชั้น 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ลำดับที่	พิกัดความเย็น		พิกัดกำลังไฟฟ้า	บริเวณติดตั้ง
	(Btu/h)	(TR)	(kW)	
27	33,000	2.8	2.87	ห้องพักพนักงานคอมฯ, ชั้น 8
28	33,000	2.8	2.87	หน่วยเตรียมข้อมูล, ชั้น 8
29	33,000	2.8	2.87	หน่วยเตรียมข้อมูล, ชั้น 8
30	11,200	0.9	0.95	Terminal, ชั้น 9
31	36,000	3.0	3.06	ห้องกลุ่มค้าเงินตราต่างประเทศ, ชั้น10
32	35,000	2.9	2.98	ห้องลิฟท์, ชั้น 16
33	35,000	2.9	2.98	ห้องลิฟท์, ชั้น 16
34	36,000	3.0	3.06	ห้องควบคุมเครื่อง ATM, ชั้น 21
35	32,000	2.7	2.72	ห้องลิฟท์, ชั้น 32
36	36,000	3.0	3.06	ห้องลิฟท์, ชั้น 33
37	36,000	3.0	3.06	ห้องลิฟท์, ชั้น 33
38	36,000	3.0	3.06	ห้องลิฟท์, ชั้น 34
รวม	1,366,600	113.88	137.07	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบประปาอาคาร

ลำดับที่	รายการ	ชนิด	บริเวณที่ตั้ง	อายุการใช้งาน (ปี)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (kW)	ปริมาณน้ำ		Total Dynamic Head	
						(US.GPM)	(m^3/h)	(Ft)	(m)
1	ปั๊มน้ำ (Low Zone)	HORIZONTAL, VOLUTE CASING, CENRTIFUGAL	ห้องปั๊ม ชั้น G	5	37.3	325	74	315	96
2	ปั๊มน้ำ (Low Zone)	HORIZONTAL, VOLUTE CASING, CENRTIFUGAL	ห้องปั๊ม ชั้น G	5	37.3	325	74	315	96
3	ปั๊มน้ำ (High Zone)	HORIZONTAL, VOLUTE CASING, CENRTIFUGAL	ห้องปั๊ม ชั้น 16	5	37.3	175	39.7	510	155
4	ปั๊มน้ำ (High Zone)	HORIZONTAL, VOLUTE CASING, CENRTIFUGAL	ห้องปั๊ม ชั้น 16	5	37.3	175	39.7	510	155
		รวม			**149.2**				

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 9 อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบดับเพลิง

ลำดับที่	รายการ	ชนิด	บริเวณที่ตั้ง	อายุการใช้งาน (ปี)	พิกัดกำลังไฟฟ้า (kW)	ปริมาณน้ำ		Total Dynamic Head		
						(US.GPM)	(m^3/h)	(psi.)	(Ft.)	(m.)
1	DIESEL FIRE PUMP HIGH ZONE	HORIZONTAL SPLIT CASE, DOUBLE SUCTION, CENRTIFUGAL	ห้องปั๊มดับเพลิง ชั้น G	5	-	750	-	173	400	-
2	DIESEL FIRE PUMP LOW ZONE	HORIZONTAL SPLIT CASE, DOUBLE SUCTION, CENRTIFUGAL	ห้องปั๊มดับเพลิง ชั้น G	5	-	750	-	112.6	260	-
3	JOCKY PUMP HIGH ZONE	VERTICLAL IN LINE PUMP	ห้องปั๊มดับเพลิง ชั้น G	5	11.2	40	9.1	-	430	131
4	JOCKY PUMP LOW ZONE	VERTICLAL IN LINE PUMP	ห้องปั๊มดับเพลิง ชั้น G	5	11.2	40	9.1	-	260	79
		รวม			**22.4**					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 10 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบขนส่งภายในอาคาร

ลำดับที่	รายการ	บริเวณใช้งาน	ชนิด	ความเร็ว (m/s)	Load capacity (kg)	Power (kW0
1	CP1	Car Park	Passenger Lift	1	800	6.3
2	CP2	Car Park	Passenger Lift	1	800	6.3
3	SL1	-	Service Lift	2	2,000	31.5
4	SL2	-	Service Lift	1	2,000	16
5	SL3	-	Service Lift	0.5	1,000	20
6	L1	-	Passenger Lift	4	1,600	39.6
7	L2	-	Passenger Lift	4	1,600	39.6
8	L3	-	Passenger Lift	4	1,600	39.6
9	L4	-	Passenger Lift	4	1,600	39.6
10	L5	Low Zone	Passenger Lift	1.75	1,150	18
11	L6	Low Zone	Passenger Lift	1.75	1,150	18
12	L7	Low Zone	Passenger Lift	1.75	1,150	18
13	H1	High Zone	Passenger Lift	5	1,600	39.6
14	H2	High Zone	Passenger Lift	5	1,600	39.6
15	H3	High Zone	Passenger Lift	5	1,600	39.6
16	H4	High Zone	Passenger Lift	5	1,600	39.6
17	H5	High Zone	Passenger Lift	5	1,600	39.6
18	H6	High Zone	Passenger Lift	5	1,600	39.6
19	EXL	-	Passenger Lift	5	1,200	31
20	DW2	-	Service Lift	0.41	150	-
21	DW3	-	Service Lift	0.41	150	-
22	SL4	-	Service Lift	0.41	150	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 หลอดและโคมไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งภายในอาคาร

ลำดับที่	สัญลักษณ์	ขนาด	วัตต์/โคม	ชนิดโคม
1	A1	1x8 W compact	28	โคมแบบฝังฝ้า ไม่มีฝาครอบ
2	A2	1x13 W	18	โคมแบบฝังฝ้า ไม่มีฝาครอบ
3	B1	1x18 W PL	18	โคมแบบฝังฝ้า ไม่มีฝาครอบ
4	M1	100 W Metal Halide	100	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า
5	M2	400 W Metal Halide	400	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า
6	M3	250 W Metal Halide	250	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า
7	M4	100 W Metal Halide	100	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า
8	EM	PLC 5 W	10	ชนิดฝังฝ้า
9	D1	50 W Halogen	50	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า
10	FA	1x40 W FL	49	โคมชนิดธรรมดา ติดผนัง ไม่มีฝาครอบ
11	FA1	1x20 W FL	26	โคมชนิดธรรมดา ติดผนัง ไม่มีฝาครอบ
12	FB	2x40 W FL	87	โคมชนิดธรรมดา ติดผนัง ไม่มีฝาครอบ
13	FC	3x40 W FL	136	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า ฝาครอบแบบตะแกรง
14	FC1	2x40 W FL	87	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า ฝาครอบแบบตะแกรง
15	FC3	3x20 W FL	73	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า ฝาครอบแบบตะแกรง
16	FD	3x20 W FL	73	โคมอลูมิเนียม ชนิดฝังฝ้า ฝาครอบแบบตะแกรง
17	FE	1x40 W FL	49	โคมชนิดธรรมดา ติดผนัง ไม่มีฝาครอบ
18	FF1-2	1x40 W FL	49	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ไม่มีฝาครอบ
19	Fauu	1x40 W FL	49	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ฝาครอบพลาสติกขุ่น
20	FG1	3x40 W FL	136	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ฝาครอบ Prismatic
21	FG2	2x40 W FL	87	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ฝาครอบ Prismatic
22	FG3	3x20 W FL	73	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ฝาครอบ Prismatic
23	FH1	1x40 W FL	49	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ฝาครอบ Prismatic
24	FH2	2x40 W FL	87	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ฝาครอบ Prismatic
25	FH3	3x20 W FL	73	โคมชนิดธรรมดา ฝังฝ้า ฝาครอบ Prismatic

หมายเหตุ โคมชนิด 2x20 W, 2x40 W ใช้บัลลาสต์ ชนิด Rapid start ขนาด 20 W และ 40 W จำนวน 1 ตัวตามลำดับ

โคมชนิด 3x20 W, 3x40 W ใช้บัลลาสต์ ชนิด Rapid start ขนาด 20 W และ 40 W จำนวน 2 ตัวตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงจำนวนวัตต์ติดตั้งที่ใช้ในระบบแสงสว่างของอาคาร

ชั้นที่	บริเวณพื้นที่	ชนิดของโคมไฟ	จำนวนหลอด	รวมวัตต์ติดตั้ง
1	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	345	15,465
		อื่น ๆ	558	23,424
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	79	3,161
		อื่น ๆ	76	2,440
2	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	467	13,775
		อื่น ๆ	234	12,328
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	111	4,292
		อื่น ๆ	67	1,438
3	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	680	30,676
		อื่น ๆ	212	9,826
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	88	3,242
		อื่น ๆ	72	1,278
4	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	426	19,044
		อื่น ๆ	317	22,946
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	83	2,962
		อื่น ๆ	51	956
5	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	1,299	17,364
		อื่น ๆ	75	1,430
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	98	2,593
		อื่น ๆ	19	286
6	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	788	20,366
		อื่น ๆ	211	16,850
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	113	4,610
		อื่น ๆ	106	4,686

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ชั้นที่	บริเวณพื้นที่	ชนิดของโคมไฟ	จำนวนหลอด	รวมวัตต์ติดตั้ง
7	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	350	14,632
		อื่น ๆ	291	10,486
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	265	10,283
		อื่น ๆ	89	1,676
8-31	ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	11,043	496,924
		อื่น ๆ	2,172	93,908
	ไม่ปรับอากาศ	ฟลูออเรสเซนต์	1,394	52,016
		อื่น ๆ	190	4,308

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางข้อมูลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ของกรอบอาคาร OTTV และ RTTV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข้อมูลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร OTTV และ RTTV

ตารางที่ 1 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับผนัง

มวลของผนัง Kg/m²	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า °C				
	ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)				
	0.1 (0-0.2)	0.3 (0.2-0.4)	0.5 (0.4-0.6)	0.7 (0.6-0.8)	0.9 (0.8-1.0)
0 - 125	14	15	16	17	18
126 - 195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

ตารางที่ 2 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับหลังคา

มวลของผนัง Kg/m²	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า °C			
	ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)			
	0.1 (0-0.2)	0.3 (0.2-0.4)	0.5 (0.4-0.6)	0.6 และมากกว่า (0.6-1.0)แ
0 – 50	20	14	28	32
51 – 200	16	20	24	28
เกินกว่า 200	12	16	20	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่าง ๆ

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น kg/m^3	ค่า k W/m-^{0}C
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	1860	0.198
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	720	0.108
3	วัสดุมุงหลังคาทำด้วยแอสฟัลท์	2240	1.226
4	บิตูเม็น (Bitumen)		1.298
5	อิฐ		
	(a) แห้ง และฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสด	1760	0.807
	(b) ความชื้น 6%	1872	1.211
	(c) ผนัง (ไม่ฉาบปูน)		1.154
6	คอนกรีต	2400	1.442
7	คอนกรีต ชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่าง ๆ	960	0.303
		1120	
		1280	
8	แผ่นไม้ก๊อก	144	0.042
9	แผ่นไฟเบอร์ (fibre board)	264	0.052
10	ไฟเบอร์กลาส (ดูใยแก้ว)		
	(a) แบบม้วน (Blanket)	10-24	0.038
	(b) แบบแผ่น (Rigid board)	32-48	0.033
	(c) แบบท่อสำเร็จ (Rigid pipe sections)	56-80	0.038
11	แผ่นกระจก	2512	1.053
12	ใยแก้ว สานเป็นแผ่น หรือสอดไส้อยู่ระหว่างวัสดุอื่น 2 แผ่น (แห้ง)	32	0.035
13	แผ่นยิบซั่ม	880	0.191
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด		
	(a) มาตรฐาน	1024	0.216
	(b) ปานกลาง	640	0.123
15	โลหะ		
	(a) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	2672	211
	(b) ทองแดง ที่มีขายเชิงพานิชย์	8784	385
	(c) เหล็กกล้า	7840	47.6
16	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	32-104	0.035-0.032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น kg/m^3	ค่า k $W/m-^0C$
17	**วัสดุใช้ฉาบหรือปิดผิว**		
	(a) **ยิบซั่ม**	880	0.191
	(b) **ปูนฉาบ น้ำหนักเบา น้ำหนักขนาดกลาง**	300	0.063
	(c) **เพอร์ไลท์**	1104	0.274
	(d) **ปูนผสมทราย**	1568	0.533
	(e) **เวอร์มิคูไลท์**	640-960	0.202-0.303
18	โพลีสไตรีน แบ่งขยายตัว	16	0.035
19	โพลียูรีเทน โฟม	24	0.024
20	วัสดุทำพื้น PVC	1360	0.173
21	ดินอัดหลวม (รวมซุย) ความชื้น 14%	1200	0.375
22	หิน		
	หินทราย	2000	1.298
	แกรนิต	2640	2.927
	หินอ่อน	2640	1.298
23	กระเบื้อง หลังคา	1890	0.836
24	ไม้		
	ไม้เนื้ออ่อน	608	0.125
	ไม้เนื้อแข็ง	720	0.138
	ไม้อัด	528	0.138
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดหยาบอัดหลวม	80-112	0.065
26	ไม้อัดซิพบอร์ด	800	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	400	0.086
28	หินล้าง	2245	0.115
29	กรวดล้าง	224	0.115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา

ชนิดของวัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ($m^2 - {}^0C / W$)
ก. กรณีของผนังอาคาร	
ก.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน (R_1)	
ก1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120
ก.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299
ก.2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก (R_0)	
(ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง)	0.044
ข. กรณีของหลังคา	
ข.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของหลังคา (R_1)	
ข.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	
ข.1.1.1 หลังคาราบ	0.162
ข.1.1.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5^0 กับแนวระดับ	0.148
ข1.1.3 หลังคาเอียงทำมุม 45^0 กับแนวระดับ	0.133
ข.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	
ข.1.2.1 หลังคาราบ	0.801
ข.1.2.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5^0 กับแนวระดับ	0.595
ข1.2.3 หลังคาเอียงทำมุม 45^0 กับแนวระดับ	0.391
ข.2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของหลังคา (R_0)	
(ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงและเอียงทำมุมใด ๆ)	0.055

หมายเหตุ

(1) ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำใช้กับกรณีที่ผิวหนังหรือหลังคาเป็นผิวสะท้อนแสง เช่น ผนังหรือหลังคาที่มีการติดแผ่นอลูมิเนียม เป็นต้น สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือเป็นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง

(2) กรณีที่หลังคาทำมุมเอียงระหว่าง 0^0 ถึง 22.5^0 ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วง (interpolation) ระหว่างค่าที่ 0^0 และ 22.5^0

(3) กรณีที่หลังคาทำมุมเอียงระหว่าง 22.5^0 ถึง 45^0 ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงระหว่างค่าที่ 22.5^0 และ 45^0

(4) กรณีที่หลังคาทำมุมเอียงมากกว่า 45^0 ให้ใช้ค่าที่ 45^0 ได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา

ชนิดของช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m^2 - C / W)		
	5 มม.	20 มม.	100 มม.
ก. กรณีช่องว่างอากาศในผนัง			
ก.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
ก.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606
ข. กรณีช่องว่างอากาศในหลังคา			
ข.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง			
ข.1.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.110	0.148	0.174
ข.1.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5^0 กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.165
ข.1.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45^0 กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.158
ข.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ			
ข.2.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.250	0.572	1.423
ข.2.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5^0 กับแนวระดับ	0.250	0.571	1.095
ค. กรณีช่องว่างอากาศในเพดาน			
ค.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง		0.458	
ค.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ		1.356	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. วัสดที่มีผิวสะท้อนแสง $[\alpha < 0.2]$	ผิววัสดุที่ฉาบด้วยดีบุก แผ่นอลูมิเนียม แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวสีอ่อน $[0.2< \alpha < 0.4]$	อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	แลคเกอร์สีขาว สีเงิน สีขาวเป็นเงา
3. วัสดุที่มีสีผิวปานกลาง $[0.4< \alpha < 0.6]$	วัสดุที่ทาสีอลูมิเนียม หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว อิฐสีเหลืองอ่อน หินอ่อนสีขาว กรวดล้าง	สีเขียวอ่อน สีน้ำเงินปานกลาง สีเหลืองปานกลาง สีส้มปานกลาง สีเขียวปานกลาง
4. วัสดุที่มีผิวค่อนข้างเข้ม $[0.6< \alpha < 0.8]$	คอนกรีตไม่ทาสี ไม้ผิวเรียบ แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส หินล้างสีเทา	สีแดง สีน้ำเงิน สีเทาอ่อน สีสนิมแก่ปานกลาง
5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม $[0.8< \alpha < 1.0]$	วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย คอนกรีตสีน้ำตาล วัสดุมุงหลังคาสีเขียว หินขนวนสีเทาแกมน้ำเงิน อิฐสีแดง อิฐแสดฟฟอร์ดสีน้ำเงิน คอนกรีตสีดำ	สีน้ำเงินแก่หรือสีเขียวแก่ สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม สีน้ำตาลแก่ สีโอลีฟเข้ม สีดำ แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ สีเทาแก่ แลคเกอร์สีดำ สีดำธรรมดา สีดำเรียบมาก

α หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกชนิดต่าง ๆ

ชนิดกระจก	ความหนา (mm)	มวลของกระจก (kg/m^2)	สัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)
กระจกโพลทใส (Clear Float Glass)	2	90	1.02
	3	180	1.00
	4	260	0.99
	5	360	097
	6	440	0.96
	8	800	0.92
	10	1000	0.90
	12	1200	0.87
	15	1700	0.84
	19	2600	0.79
กระจกสีชา (Cool Gray)	5	360	0.69
	6	440	0.64
	8	800	0.57
	10	1000	0.52
	12	1200	0.47
กระจกสีชาดำ (Dark Cool Gray)	5	360	0.66
	6	440	0.63
กระจกสีบรอนซ์ (Cool Bronze)	5	360	0.75
	6	440	0.71
	8	800	0.63
	10	1000	0.57
	12	1200	0.52
กระจกสีฟ้า (Sky Cool)	5	360	0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ของวัสดุ (Reflectivity of Material)

สี	วัสดุ	การสะท้อน
ขาว	อลูมิเนียมฟอยล์	95%
	ปูนปลาสเตอร์	93%
	แผ่นอลูมิเนียมสมัยใหม่	87%
	ทาสี	75%
	กระดาษแข็ง	64% - 70%
	แอสเบสตอสซีเมนต์	58%
	อลูมิเนียม	46%
	หินอ่อน	45%
เหลือง, เนื้อ (อ่อน)	อิฐ	48%
เหลือง, เนื้อ (แก่)	อิฐ	40%
สีทราย	หินทราย	31%
แดง	กระเบื้องดินเผา	38%
	แอสเบสตอสซีเมนต์	31%
แดงเข้ม (เลือดหมู)	อิฐ	30%
	แผ่นเหล็ก	19%
ครีม	อิฐ	64%
ฟ้า	อิฐ (stafford)	11%
เขียว	เหล็ก	24%
	หินอ่อน	34%
	ต้นไม้	25%
เขียวแก่	หญ้า	6%
น้ำตาล	กระเบื้องคอนกรีต	15%
เทาอ่อน	หินชนวน	21%
เทาแก่	หินชนวนขัดผิวเรียบ	11%
ดำ	แอสฟัลท์, น้ำมันดินและกรวด	7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางข้อมูลการคำนวณค่าภาระความเย็น (Cooling Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณภาระปรับอากาศ (Cooling Load)

1. กรรมวิธีการคำนวณ

การคำนวณหาค่าภาระปรับอากาศ เพื่อใช้ในการออกแบบหาขนาดของระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ ให้ใช้กรรมวิธีที่แนะนำโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย หรือที่ยอมรับกันหรือที่ปรากฏในหนังสือ ASHRAE Handbook of Fundamental

2. ภาวะภายในอาคารที่ใช้ในการออกแบบ

ภาวะภายในบริเวณปรับอากาศ ควรที่จะออกแบบให้มีค่าดังต่อไปนี้

(ก) ค่าออกแบบของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง	25	°ซ
(ข) ค่าสูงสุดของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง	27	°ซ
(ค) ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง	23	°ซ
(ง) ค่าออกแบบของความชื้นสัมพัทธ์	55	%
(จ) ค่าสูงสุดของความชื้นสัมพัทธ์	70	%
(ฉ) ค่าต่ำสุดของความชื้นสัมพัทธ์	40	%

3. ภาวะภายนอกอาคารที่ใช้ออกแบบ

สำหรับภาวะภายนอกอาคารที่ใช้ในการออกแบบ จะต้องใช้ค่าดังต่อไปนี้

(ก) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	35	°ซ
(ข) อุณหภูมิกระเปาะเปียก	28	°ซ

4. การระบายอากาศ

ให้ใช้อัตราการระบายอากาศในระดับที่พอเพียงตามมาตรฐานที่ยอมรับกันแต่ไม่มากเกินความจำเป็น หรือใช้ค่าที่เป็นไปตามตารางที่ 1 หรือค่าที่กำหนดอยู่ในหัวข้อ 6.1 ของหนังสือ ASHRAE Standard 62-1981 "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality" หรือเอกสารเทียบเท่าอย่างอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อยกเว้น

ปริมาณอากาศที่ระบายออกอาจมีค่าเกินกว่าที่แสดงได้ ถ้ามีความจำเป็นเพื่อการอยู่อาศัย หรือกรรมวิธีในลักษณะพิเศษ หรือเพื่อการควบคุมแหล่งของการเกิดมลภาวะในอากาศ หรือเพื่อให้สอดคล้องกับเทศบัญญัติ

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณอากาศภายนอกที่จำเป็นต้องนำมาใช้ในการระบายอากาศ

* ใช้เฉพาะกรณีไม่ทราบจำนวนคน	* ค่าประมาณการคนต่อ 27 $ม^3$ หรือต่อ 100 $ม^2$ พื้นที่ใช้สอย	ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการ		หมายเหตุ
		สูบบุหรี่	ไม่สูบบุหรี่	
1. อาคารที่ประกอบการทางพานิชย์ (สำนักงาน ร้านค้า โรงแรม สถานที่ออกกำลังกาย ฯลฯ)		ลิตร วินาที$^{-1}$ คน$^{-1}$	ลิตร วินาที$^{-1}$ คน$^{-1}$	
ห้องซักรีด				
- ใช้งานทั่วไป	10	-	7.75	เครื่องหมาย (-) แสดงถึงบริเวณดังกล่าวโดยปกติไม่ควรมีการสูบบุหรี่
-บริเวณเก็บและรับ-จ่าย	30	17.5	5.0	
ห้องขายอาหารและเครื่องดื่ม				
- ห้องรับประทานอาหาร	70	17.5	3.5	
- ห้องครัว	20	-	5.0	
- ห้องขายอาหารแบบบริการตนเอง	100	17.5	3.5	
- บาร์และสถานบริการเครื่องดื่มและการบันเทิง	100	25.0	5.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

* ใช้เฉพาะกรณีไม่ทราบจำนวนคน	* ค่าประมาณการคนต่อ 27 $ม^3$ หรือต่อ 100 $ม^2$ พื้นที่ใช้สอย	ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการ สูบบุหรี่	ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการ ไม่สูบบุหรี่	หมายเหตุ
		ลิตร วินาที$^{-1}$ ห้อง$^{-1}$	ลิตร วินาที$^{-1}$ ห้อง$^{-1}$	
โรงแรม, ห้องพัก, บ้านพัก และทัณฑสถาน				
- ห้องนอน (เดี่ยว, คู่)	5	15.0	7.5	ไม่เกี่ยวกับขนาดของห้อง
- ห้องพักอาศัย (ห้องชุด)	20	25.0	12.5	
- ห้องอาบน้ำ, สุขา (ติดกับห้องนอน)	-	25.0	25.0	ไม่เกี่ยวกับขนาดของห้อง ติดตั้งขนาดที่ สำหรับใช้งานเป็นช่วงๆ
		ลิตร วินาที$^{-1}$ คน$^{-1}$	ลิตร วินาที$^{-1}$ คน$^{-1}$	
- ห้องนั่งเล่น	30	7.5	2.5	
- ห้องประชุมเล็ก	50	17.5	3.5	
- ห้องประชุมใหญ่	120	17.5	3.5	
- ห้องเล่นเกมส์	120	17.5	3.5	
สำนักงาน				
- พื้นที่สำนักงาน	7	10.0	2.5	
- ห้องประชุม	60	17.5	3.5	
		ลิตร วินาที$^{-1}$ $ม^{-2}$	ลิตร วินาที$^{-1}$ $ม^{-2}$	
พื้นที่บริเวณส่วนรวมพื้นที่สาธารณะ				
- ทางเดินและห้องเอนกประสงค์	-	0.1	0.1	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

* ใช้เฉพาะกรณีไม่ทราบจำนวนคน	* ค่าประมาณการคนต่อ 27 ม^3 หรือต่อ 100 ม^2 **พื้นที่ใช้สอย**	ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการ สูบบุหรี่	ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการ ไม่สูบบุหรี่	หมายเหตุ
		ลิตร วินาที$^{-1}$ โถ$^{-1}$	ลิตร วินาที$^{-1}$ โถ$^{-1}$	
- ห้องสุขาสาธารณะ	100	37.5	-	
- ห้องเก็บของส่วนตัว และห้องแต่งตัว	50	17.5	7.5	

ตารางที่ 2 ตัวประกอบความร้อนเพิ่มสูงสุดจากดวงอาทิตย์ สำหรับกระจก ณ เส้นรุ้ง 14^{0}N หน่วยเป็น W/m^2 (SHGF)

	14 Deg N					
MONTH	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	HOR
Jan	96.5	186.5	674.0	789.5	601.0	804.5
Feb	105.5	317.0	735.0	724.0	453.0	885.0
Mar	112.0	454.0	715.0	610.5	261.5	927.5
Apr	124.5	552.5	728.5	460.5	134.0	913.5
May	176.5	604.0	697.0	348.5	127.5	886.5
Jun	222.5	618.5	661.0	298.5	127.5	869.0
Jul	186.5	596.5	658.0	336.0	131.0	871.0
Aug	131.0	539.5	689.5	438.5	296.5	890.0
Sep	115.5	435.5	719.0	588.5	261.5	897.5
Oct	105.5	312.5	710.0	700.5	441.5	867.5
Nov	98.0	186.5	662.5	773.0	591.5	798.0
Dec	93.0	138.5	639.0	796.5	645.5	763.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แฟคเตอร์ภาระความเย็น (CLF) สำหรับกระจกที่ไม่มีเครื่องบังแสงด้านใน

ละติจูดเหนือ หันเข้าหาทิศ	ลักษณะการสร้างห้อง	เวลาดวงอาทิตย์ , hr																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
NE	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.00
E	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
SE	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.56	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
S	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
SW	M	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
W	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
NW	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.54	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
HOR	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.56	0.47	0.38	0.32	0.26	0.24	0.19	0.16

M = โครงสร้างขนาดกลาง : ผนังคอนกรีตด้านนอกหนา 4 นิ้ว, แสลบพื้นคอนกรีตหนา 4 นิ้ว, วัสดุหนักประมาณ 341 กิโลกรัม/ตารางเมตร

ตารางที่ 4 แฟคเตอร์ภาระความเย็น (CLF) สำหรับกระจกที่มีเครื่องบังแสงด้านใน

ละติจูดเหนือ หันเข้าหาทิศ	ลักษณะการสร้างห้อง	เวลาดวงอาทิตย์ , hr																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	M	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10
NE	M	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
E	M	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
SE	M	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.57	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
S	M	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.09	0.16	0.23	0.38	0.58	0.75	0.83	0.90	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
SW	M	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
W	M	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NW	M	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
HOR	M	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.95	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 5 ปริมาณความร้อนที่คายออกจากร่างกายคนที่อาศัยอยู่ภายในห้องปรับอากาศ

ประเภทกิจกรรม	ตัวอย่างสถานที่	ความร้อนสัมผัส		ความร้อนแฝง	
		Watts	Btu / h	Watts	Btu / h
นั่งนิ่ง	โรงหนัง	60	210	40	140
นั่ง, ทำงานเบามาก เขียนหนังสือ	สำนักงาน, โรงแรม อพาร์ทเมนท์	65	230	55	190
นั่ง, กินอาหาร	ภัตตาคาร	75	255	95	325
นั่ง, ทำงานเบา พิมพ์ดีด	สำนักงาน, โรงแรม อพาร์ทเมนท์	75	225	75	255
ยืน, ทำงานเบาหรือ เดินช้าๆ	ร้านขายปลีก, ธนาคาร	90	315	95	325
งานโต๊ะช่างขนาดเบา	โรงงาน	100	345	130	435
เดิน 3 mph, งานช่างขนาดเบา	โรงงาน	100	345	205	695
โบว์ลิ่ง	เล่นโบว์ลิ่ง	100	345	180	615
เต้นรำปานกลาง	ห้องเต้นรำ	120	405	255	875
งานหนัก, งานช่าง ขนาดหนัก, ยกของ	โรงงาน	165	565	300	1035
งานหนัก, กีฬา	ห้องพละ, ยิมเนเซียม	185	635	340	1165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายบุญชัย ขจายเกียรติกำจร เกิดเมื่อวันที่ 27 มิถุนายน 2507 ที่จังหวัดนราธิวาส สำเร็จการศึกษา Bachelor Of Science In Architecture จาก University Of Northern Philippines ประเทศสาธารณรัฐฟิลิปปินส์ ปีการศึกษา 2535 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (สถาปัตยกรรม) จากวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษาวิทยาเขตเทคนิคภาคใต้ปีการศึกษา 2529

ปี พ.ศ. 2540 เข้ารับราชการในตำแหน่ง อาจารย์ 1 ระดับ 2 สถาบันราชภัฏพระนคร สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้