การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร
: กรณีศึกษาอาคารใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายคมกฤช ชูเกียรติมั่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-899-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I18927668

THE REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN BUILDINGS BY UTILIZATION OF NATURAL LIGHT : A CASE STUDY OF A BUILDING AT CHULALONGKORN UNIVERSITY

Mr.Komgrit Chukiatman

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology
Department of Architecture
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-638-899-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษาอาคารใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นายคมกฤช ชูเกียรติมั่น
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

.....

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

.....กรรมการ
(อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

คมกฤช ชูเกียรติมั่น : การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษา อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (THE REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN BUILDINGS BY UTILIZATION OF NATURAL LIGHT : A CASE STUDY OF A BUILDING AT CHULALONGKORN UNIVERSITY) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ธนิต จินดาวณิค, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ, 247 หน้า. ISBN 974-638-899-1.

ในอดีตแผงกันแดดของอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อเน้นการป้องกันแสงแดดเพียงอย่างเดียว จะพบว่าปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้าสู่พื้นที่ภายในอาคารมีปริมาณแสงต่ำ ความสว่างภายในต้องใช้แสงประดิษฐ์เสริมตลอดเวลา เป็นผลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง การศึกษานี้เป็นการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารเก่าให้เหมาะสม เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง โดยนำประโยชน์จากแสงธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ วิธีการดังกล่าวยังช่วยลดภาระการทำความเย็นให้แก่อาคาร การศึกษาใช้อาคารจริงทำให้สามารถนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ได้ การศึกษานี้ได้เลือกอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอาคารกรณีศึกษา ลักษณะอาคารเป็นอาคารเก่ามีช่วงเวลาการใช้งานที่แน่นอน จากการสังเกตแผงกันแดดของอาคารมีรูปแบบที่ดี ขนาดพื้นที่ตลอดจนสภาพแวดล้อมของอาคารมีความเหมาะสม ทำให้สะดวกต่อการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการตรวจสอบอาคารกรณีศึกษาเพื่อหาข้อดี ข้อเสีย ในด้านการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ รวมถึงการป้องกันแสงแดด ระบบแสงประดิษฐ์ ความสัมพันธ์ของการเปิดและปิดแสงประดิษฐ์กับปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้ามาสู่พื้นที่ภายในอาคาร ตลอดจนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างตามช่วงเวลาการใช้งานโดยคำนึงถึงปริมาณความส่องสว่างตามมาตรฐานของอาคารสำนักงาน (500 ลักซ์) ผลที่ได้นำมาประเมินเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุง จากการตรวจสอบพบว่า วัสดุภายในที่ใช้มีสีเข้ม (ค่าการสะท้อนแสงต่ำ) อีกทั้งแผงกันแดดของอาคารเดิมเป็นอุปสรรคต่อการส่องผ่านของแสงธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่ภายใน ทำให้ปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ระบบแสงประดิษฐ์ของอาคารไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงธรรมชาติ ปริมาณแสงประดิษฐ์ของพื้นที่ภายในต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์บางส่วนไม่มีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุดังกล่าวพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ต้องใช้เพื่อให้ปริมาณความสว่างเพียงพอจากการคำนวนจึงมีอัตราสูงกว่าการใช้งานจริงถึง 4 เท่า แนวทางการปรับปรุงอาคารจึงมุ่งพิจารณาการใช้แสงธรรมชาติมาทดแทนแสงประดิษฐ์ โดยการปรับปรุงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งภายใน และภายนอก รวมถึงการปรับเปลี่ยนรูปแบบของแผงกันแดด แนวทางในการนำประโยชน์จากแสงธรรมชาติมาใช้ดังกล่าวเพื่อให้สามารถพิจารณาได้หลายแนวทาง การศึกษาจึงอาศัยการสร้างหุ่นจำลองทดสอบ การทดสอบหุ่นจำลองมีทั้งสิ้น 3 แนวทาง และกระทำภายในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า (Skydome) แนวทางการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยการคำนวนอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงถูกนำมาเปรียบเทียบอีก 2 แนวทาง การประเมินผลทางเลือกใช้หลักวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

ผลการวิจัยพบว่า การปรับปรุงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ การปรับรูปแบบแผงกันแดดที่คำนึงถึงการนำประโยชน์จากแสงธรรมชาติมาใช้ สามารถเพิ่มปริมาณความสว่างภายในได้มากถึง 58 เปอร์เซนต์ ขึ้นอยู่กับขอบเขตของการปรับปรุง แนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงอาคารเมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางการเงิน ได้แก่แนวทางในการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งภายในและภายนอกอาคาร การจัดวงจรการเปิด ปิดแสงประดิษฐ์ให้สัมพันธ์กับปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้ามาสู่พื้นที่ภายในอาคาร ตลอดจนการใช้ดวงโคมไฟแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้ถึง 44.5 เปอร์เซนต์ หรือเท่ากับ 13 เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร และมีระยะเวลาการคืนทุน 4 ปี ผลการวิจัยมีแนวโน้มความเป็นไปได้สูงในการนำไปประยุกต์ใช้จริง

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

บทคัดย่อและบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เป็นแบบเดียว

3970193625 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY
KEY WORD: DAYLIGHTING / DAYLIGHT FACTOR / BUILDING RETROFIT / ENERGY CONSERVATION
KOMGRIT CHUKIATMAN : THE REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN BUILDINGS BY UTILIZATION OF NATURAL LIGHT : A CASE STUDY OF A BUILDING AT CHULALONGKORN UNIVERSITY. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. THANIT CHINDAVANIG, THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D. 247 pp. ISBN 974-638-899-1

In the past, shading device of existing buildings are generally served only to protect direct sunlight, allowing relatively low daylight distribution through interior space. Therefore, artificial lighting was needed as lighting supplement all day resulting in a wastage of electrical energy. This study proposes an approach to utilize natural light so as to reduce electrical energy consumption, as well as decreasing the building's cooling load. The study was conducted with an existing building to enable applied usage of the research result. One of the buildings in Chulalongkorn University was selected to be a case as it was comparatively old with a certain functioning period. By observation, its shading device was physically well-designed. The selected building also provided ample spaces and convenient environment suitable for conducting the test.

The study commenced from investigation of advantages and disadvantages of natural light utilization in the building, its sunlight protection, electrical light system, the integration of on-off switches and daylight distribution through interior space, total energy consumed by electrical light in consideration with the office illumination level on the working plane of 500 lux. These results were used to specify possible approaches to retrofit the building. The investigation revealed that relatively dark interior surface (low reflectivity) and the building's shading device impeded sufficient amount of daylight distribution through the interior space. The building's lighting system was not synchronized with the amount of natural light to be gained. The interior illumination level generated by artificial light was lower than the standard illumination level. Some electrical lighting equipment was inefficient resulting in four times higher consumption level of electrical energy than the current usage. The approach of the building's retrofitting is, therefore, concentrated on substituting natural light for artificial light by modifying surface reflectivity and improving shading device. In regards to approach in utilization of natural light, physical models were carried out facilitating more assumptions to be tested. Altogether 3 models were tested and done in the skydome. In addition, approach of changing electrical equipment was introduced by calculating reduced ratio of electrical lighting energy consumption. With this approach, two assumptions were tested. The analysis of financial aspect was used as a criteria for the building retrofit.

The research showed that by improving the surface reflectivity of both the interior and the exterior, as well as adjusting the shading device in order to utilize natural light, the interior illumination level could be raised upto 58 percent depending on scope of improving. The appropriate approach to retrofit the building taking into account the financial feasibility in this case were : to increase surface reflectivity both inside and outside the building, to integrate on-off switches to be synchronized with the amount of daylight distribution through the interior space and to use more efficient lamps. Retrofitting could reduce electrical lighting energy rate by 44.5%, or 13% of total electrical energy consumption in the building. The payback period would be returned in four years. This study indicated a valid applied usage.

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี อันเนื่องด้วย ความกรุณา ความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ และน้ำใจ จากหลายสถาบัน และหลายบุคคลดังนี้

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนให้ทุนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณในความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล วิรุฬห์รักษ์ รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต จุลาลัย ที่เป็นธุระและให้คำแนะนำในการติดต่อแก่หน่วยงานในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ของสถาบันประชากรศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ของอาคารวิสิทธิ์ประจวบเหมาะทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและตรวจสอบอาคารเดิมอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณในความช่วยเหลือของพี่ปุก วัฒนา นันทรัตพันธุ์ คุณสิทธิโชค คุณปุ่ม คุณนิมิตร ที่ช่วยด้านการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ คุณ เป็งคิม และคุณสมยง พนักงานบริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล โพรเจค แอดมินิสเตรชั่น จำกัด (อินเตอร์แพค) ที่ได้สละเวลามาช่วยในการเก็บข้อมูลบางช่วง คุณไพรัช คุณอนันต์ ที่ให้ยืมอุปกรณ์ คุณยอดเยี่ยม เทพธรานนท์ สำหรับคำปรึกษาด้านวิเคราะห์การเงิน และโดยเฉพาะ คุณ รณชัย ศิริธนารัตนกุล และคุณ นพพร ชัยรุ่งปัญญา ที่ช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์เครื่องมือ และให้คำปรึกษาด้านคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทำวิจัยโดยตลอด

ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับน้ำใจของ อาจารย์พิรัส เหล่าไพศาลศักดิ์ อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน โดยเฉพาะคุณ เสริชย์ โชติพานิช ที่เต็มใจให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านสำหรับการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณครอบครัวธรรมโสภิตที่เป็นธุระดูแลความสะดวกสบายในความเป็นอยู่ทั้งกาย และใจระหว่างทำงานวิจัย คุณพรรณวดี ชูเกียรติมั่นที่ช่วยแปลบทคัดย่อภาษาอังกฤษอย่างดียิ่ง

ท้ายสุดของกราบขอบพระคุณ คุณแม่ที่คอยห่วงใยและเป็นกำลังใจเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ..... ช

สารบัญ..... ซ

สารบัญตารางประกอบ..... ฐ

สารบัญรูปภาพประกอบ..... ด

สารบัญแผนภูมิประกอบ..... ธ

บทที่ 1 บทนำ

วัตถุประสงค์ในการศึกษา..... 3

ระเบียบวิธีวิจัย..... 3

1.1. ขั้นตอนการสำรวจ ตรวจสอบ และเก็บข้อมูลการใช้งานอาคารเดิม..... 4

1.2. ขั้นตอนการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย..... 8

1.3. ขั้นตอนการกำหนดทางเลือกโดยการใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร..... 9

1.4. ขั้นตอนประเมินผล และสรุปผลทางเลือกเพื่อนำเสนอเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคาร... 10

ขอบเขตการศึกษา..... 12

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 13

บทที่ 2 ทฤษฎี และแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1. ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง..... 14

2.2. พฤติกรรมของแสง..... 15

2.3. ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง..... 18

2.4. คุณสมบัติอื่นๆของแสง..... 21

2.5. ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ..... 22

2.6. สภาพท้องฟ้า..... 22

2.7. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์..... 26

2.8. ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ..... 28

2.9. การให้แสงสว่างภายในอาคารโดยแสงประดิษฐ์..... 36

2.10. ความร้อนอันเนื่องมาจากดวงไฟแสงสว่าง..... 40

2.11. แสงประดิษฐ์ หลอดไฟฟ้า..... 41

2.12. หลอดฟลูออเรสเซนต์..... 42

2.13. หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์..... 44

2.14. มาตรฐานระดับการส่องสว่าง..... 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 เครื่องมือและหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย

3.1. ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter) 47

3.2. แคมเบลล์ เตต้าล็อกเกอร์ 21 X..... 48

3.3. ไพโรโนมิเตอร์..... 48

3.4. หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลอบ..... 50

บทที่ 4 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา และการวิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของอาคาร

4.1. รายละเอียดอาคาร..... 58

4.2. การพิจารณาประสิทธิภาพของแผงกันแดดของอาคาร..... 71

4.3. การพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุภายในอาคารอันมีผลในด้านการรำแสงธรรมชาติมาใช้งาน 79

4.4. การพิจารณาการกระจายแสงธรรมชาติ..... 79

4.5. การพิจารณาแสงสว่างประดิษฐ์..... 96

4.6. การพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉพาะส่วนแสงสว่างประดิษฐ์..... 108

บทที่ 5 การพิจารณาค่าความส่องสว่างภายใน

5.1. ค่าความสว่างภายนอกของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากรัศมีดวงอาทิตย์..... 111

5.2. การหาค่าความส่องสว่างภายนอก ไม่รวมรังสีตรง (แสงแดด) ของดวงอาทิตย์..... 115

5.3. การหาค่าความส่องสว่างภายในโดยอาศัยค่า Daylight Factor (DF) 116

5.4. การหาปริมาณความต้องการความส่องสว่างภายในเพิ่ม..... 117

5.5. การหาปริมาณความต้องการพลังงานอันเนื่องมาจากความต้องการความส่องสว่างเพิ่ม..... 119

บทที่ 6 การพิจารณาแนวทางเลือกการปรับปรุงอาคาร

6.1. เกณฑ์กำหนดแนวทางการปรับปรุง..... 157

6.2. แนวทางการปรับปรุงที่ 1..... 169

6.3. แนวทางการปรับปรุงที่ 2..... 175

6.4. แนวทางการปรับปรุงที่ 3..... 181

6.5. แนวทางการปรับปรุงที่ 4..... 187

6.6. แนวทางการปรับปรุงที่ 5..... 194

6.7. การวิเคราะห์ทางการเงิน..... 202

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 210

รายการอ้างอิง..... 219

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมโพรไฟล์ (Profile) และมุม อะซิมุธ (Azimuth) วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่างๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงข้อมูลรังสีตรง รังสีกระจาย (วัตต์ / ตรม.) และค่าความสว่างของท้องฟ้า (ลักซ์) ของวันที่ 14 - 16 มกราคม 2541 วันที่ 25 - 27 กุมภาพันธ์ 2541 เวลา 6:30 ถึง 18:00 น.

ภาคผนวก ค. ตารางแสดงเปอร์เซนต์ค่าการสะท้อนแสงและการส่องผ่านของวัสดุที่ใช้ในอาคารเดิม

ภาคผนวก ง. ตารางแสดงข้อมูลค่ารังสีตรงดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบระนาบนอน (วัตต์ / ตรม.) เฉลี่ย 10 ปี ตั้งแต่ปี 1986 - 1996 สถานีกรุงเทพฯ โดยกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

ภาคผนวก จ. ตารางแสดงการเก็บวัดค่าความสว่างเปรียบเทียบของท้องฟ้า และความสว่างภายนอกของช่องเปิดแต่ละด้านที่ตำแหน่งของอาคารในแต่ละชั้น (เปอร์เซนต์)

ภาคผนวก ฉ. ผังแสดงค่าระดับความสว่าง (ลักซ์) จากการวัดในอาคารจริง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของทุกชั้น

ประวัติผู้เขียน..... 247

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่ **หน้า**

1.1 แสดงค่า Efficacy ของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ 2

1.2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย ปี 2528 2

1.3 แสดงช่วงเวลาการใช้งานของแต่ละพื้นที่ในอาคารกรณีศึกษา 13

2.1 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน 45

2.2 ตารางเปรียบเทียบการกำหนดค่า Daylight Factor ตามมาตรฐาน CIE และ IES (USA) ตามการใช้งาน 46

3.1 ตารางแสดงค่าตัวคูณประกอบของไพโรโนมิเตอร์ 48

4.1 ตารางแสดงจำนวนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างตามการใช้งานเดิม อาคารวิสิทธิ์ ประจวบเหมาะ 69

4.2 ตารางแสดงรายละเอียดเครื่องปรับอากาศตามการใช้งานเดิม อาคารวิสิทธิ์ ประจวบเหมาะ 70

4.3 ตารางแสดงคุณสมบัติการสะท้อนและการส่องผ่านของแสงของวัสดุที่ใช้ในอาคารกรณีศึกษา 79

4.4 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องสมุด ชั้นล่าง ช่องเปิดทางทิศเหนือ 88

4.5 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องสมุด ชั้นล่าง ช่องเปิดทางทิศใต้ 89

4.6 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องประชุม ชั้น 2 ช่องเปิดทางทิศเหนือ 90

4.7 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องพักอาจารย์ ชั้น 2 ช่องเปิดทางทิศใต้ 91

4.8 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องอ่านหนังสือ ชั้น 3 ช่องเปิดทางทิศเหนือ 92

4.9 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องพักอาจารย์ ชั้น 3 ช่องเปิดทางทิศใต้ 93

4.10 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องประชุม ชั้น 2 ช่องเปิดทางทิศเหนือ 94

4.11 ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายใน และภายนอกของห้องประชุม ชั้น 2 ช่องเปิดทางทิศตะวันออก 95

4.12 ตารางแสดงค่า CU การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างจากการคำนวน และจากการวัดจริง และพลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น ล่าง - ลอย 100

4.13 ตารางแสดงค่า CU การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างจากการคำนวน และจากการวัดจริง และพลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 2 101

4.14 ตารางแสดงค่า CU การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างจากการคำนวน และจากการวัดจริง และพลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 3 102

4.15 ตารางแสดงค่า CU การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างจากการคำนวน และจากการวัดจริง และพลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 4 103

4.16 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ของอาคารเดิม 109

5.1 ตารางเปรียบเทียบค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดจริง และจาก ASHRAE,1997 ที่เส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ 112

5.2 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ห้องสมุดชั้นล่าง ช่องเปิดทิศเหนือ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 19:00 น. 122

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

5.3 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ห้องสมุดชั้นล่าง ช่องเปิดทิศใต้ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 19:00 น. 126

5.4 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ห้องสมุดชั้นลอย ช่องเปิดทิศใต้ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 19:00 น. 130

5.5 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ห้องสมุดชั้นล่าง ช่องเปิดทิศเหนือ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 19:00 น. (วันเสาร์) 134

5.6 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ห้องสมุดชั้นล่าง ช่องเปิดทิศใต้ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 19:00 น. (วันเสาร์) 137

5.7 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม ห้องสมุดชั้นลอย ช่องเปิดทิศใต้ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 19:00 น. (วันเสาร์) 140

5.8 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม สถาบันประชากรศาสตร์ ชั้น 2 ช่องเปิดทิศเหนือ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. 143

5.9 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม สถาบันประชากรศาสตร์ ชั้น 2 ช่องเปิดทิศใต้ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. 146

5.10 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม สถาบันวิจัยสังคม ชั้น 3 - 4 ช่องเปิดทิศเหนือ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. 149

5.11 ตารางแสดงค่าความส่องสว่าง และพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่ต้องการ ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม สถาบันวิจัยสังคม ชั้น 3 - 4 ช่องเปิดทิศใต้ ช่วงเวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. 152

5.12 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ตลอดปี ตามจำนวนและการใช้งานของอาคารเดิม 155

5.13 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ตลอดปี เพื่อให้มีค่าความส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด 154

6.1 ตารางแสดงค่า DF เปรียบเทียบระหว่างหุ่นจำลองอาคารเดิม และหุ่นจำลองในแนวทางที่ 1 ถึงแนวทางที่ 3 ในห้องทดสอบแสง (Sky dome) 165

6.2 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ตลอดปี ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 1 173

6.3 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ตลอดปี ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 2 179

6.4 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ตลอดปี ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 3 185

สารบัญตารางประกอบ (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

6.5 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 4 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้นล่าง - ลอย ส่วนห้องสมุด 188

6.6 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 4 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 2 ส่วนสถาบันประชากรศาสตร์ 189

6.7 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 4 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 3 ส่วนสถาบันวิจัยสังคม 190

6.8 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 4 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 4 ส่วนสถาบันวิจัยสังคม 191

6.9 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ตลอดปี ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 4 192

6.10 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 5 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้นล่าง - ลอย ส่วนห้องสมุด 195

6.11 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 5 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 2 ส่วนสถาบันประชากรศาสตร์ 196

6.12 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 5 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 3 ส่วนสถาบันวิจัยสังคม 197

6.13 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ / ตรม.) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับแนวทางการปรับปรุงที่ 5 ของแสงสว่างประดิษฐ์ ชั้น 4 ส่วนสถาบันวิจัยสังคม 198

6.14 ตารางแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ตลอดปี ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 5 199

6.15 ตารางแสดงราคา และค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอาคารแต่ละแนวทาง 204

6.16 ตารางแสดงอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า และมูลค่าใช้จ่ายสะสมของแนวทางการปรับปรุงแต่ละแนวทาง เปรียบเทียบกับอาคารเดิม 206

6.17 ตารางแสดงราคา และค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงอาคารแต่ละแนวทาง เปรียบเทียบกับอาคารเดิม เมื่อมีการพิจารณาค่าเงินบาท และอัตราเงินเฟ้อ 207

6.18 ตารางแสดงอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า และมูลค่าใช้จ่ายสะสมของแนวทางการปรับปรุงแต่ละแนวทาง เปรียบเทียบกับอาคารเดิม เมื่อมีการพิจารณาค่าเงินบาท และอัตราเงินเฟ้อ 208

สารบัญรูปภาพประกอบ

รูปที่ หน้า

1.1 รูปแสดงการวัดค่าการส่องผ่านของแสงของวัสดุ 4

1.2 รูปแสดงการวัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ 5

2.1 รูปแสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ 15

2.2 รูปแสดงการตกลีนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง 15

2.3 รูปแสดง Specular Reflection 16

2.4 รูปแสดง Perfect diffuse reflection & Semi diffuse reflection 16

2.5 รูปแสดง Combined specular & diffuse reflection 17

2.6 รูปแสดงแสงตกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน 17

2.7 รูปแสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย 18

2.8 รูปแสดง Luminous flux 18

2.9 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง candelas, lumens, lux and footcandles 20

2.10 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky 23

2.11 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky 24

2.12 รูปแสดง Bearing angle 25

2.13 รูปแสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่วันเวลาต่างๆ 26

2.14 รูปแสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์และมุมเดคลีเนชั่น 27

2.15 รูปแสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี Lumen Method 31

2.16 รูปแสดง Daylight Factor องค์ประกอบจาก SC, ERC, IRC 32

2.17 รูปแสดงกราฟการกระจายกำลังเทียนของดวงโคม 36

2.18 รูปแสดงการพิจารณาค่าระดับความส่องสว่างตามกฎกำลังสองผกผัน 36

2.19 รูปแสดงการแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้องเพื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างตามวิธี Zonial Cavity Method 38

2.20 รูปแสดงขั้นตอนการหาค่า CU จากแสงประดิษฐ์ ตามวิธี Zonal Gravity Method 39

2.21 รูปแสดงผลของ Thermal Storage ในการเกิด Cooling Load ของดวงโคมแสงสว่าง 40

2.22 รูปแสดงไดอะแกรมการแบ่งประเภทของหลอด 41

2.23 รูปแสดงรังสีอุลตร้าไวโอเลต กระตุ้นสารเรืองแสงที่ฉาบอยู่ด้านในหลอด ทำให้เกิดแสงที่ตามองเห็น 42

2.24 รูปแสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 43

2.25 รูปแสดงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทั่วไป ชนิด HO และชนิด VHO 44

3.1 รูปแสดงเครื่องมือวัดแสง ที่ใช้ในการศึกษา ลักซ์มิเตอร์ มินอลต้า โครมามิเตอร์ มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ 47

3.2 รูปแสดงเครื่องการอ่านและเก็บข้อมูล แคมเบลล์ เดต้าล็อกเกอร์ 21 X 48

3.3 รูปแสดงเครื่องมิวัดรังสีดวงอาทิตย์ ไพโรโนมิเตอร์ 49

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.4	รูปแสดงเครื่องมือแถบเงา (Shadow Band)	49
3.5	รูปแสดงการใช้อุปกรณ์ปรับเครื่องมือวัดแสง	49
3.6	รูปแสดงเครื่องมือการหามุมและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Sun Chart Diagram)	49
3.7	รูปแสดงหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย	51
3.8	รูปแสดงระดับการวางหุ่นจำลองในการวิจัย เทียบกับอาคารจริงโดยอาศัยการพิจารณามุมกระทำ	51
3.9	รูปแสดงภายในหุ่นจำลองสำหรับวัดค่าระดับความส่องสว่าง	52
3.10	รูปแสดงเครื่องมือวัดแสง พร้อมก้านติดตัวรับแสงในระดับที่ต้องการ	53
3.11	รูปแสดงหุ่นจำลองในห้องทดสอบแสง (Sky Dome)	53
3.12	รูปแสดงหุ่นจำลองชั้นล่าง - ชั้นลอย สำหรับทดสอบในห้องทดสอบแสง	54
3.13	รูปแสดงหุ่นจำลองชั้นล่าง - ชั้นลอย ที่เปลี่ยนกระจกช่วงบน	54
3.14	รูปแสดงหุ่นจำลองชั้น 2 - ชั้น 4 แผงกันแดดตามลักษณะอาคารเดิม	55
3.15	รูปแสดงหุ่นจำลองชั้น 2 - ชั้น 4 ที่ปรับรูปแบบของแผงกันแดด	55
3.16	รูปแสดงภายในหุ่นจำลองชั้นล่าง - ชั้นลอย และฝ้าเพดานตามลักษณะอาคารเดิม	56
4.1	รูปแสดงแผนผังที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา อาคารวิสิทธิ์ ประจวบเหมาะ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	59
4.2	รูปแสดงลักษณะ และสภาพด้านหน้าอาคารกรณีศึกษา	59
4.3	รูปแสดงผังพื้นอาคารชั้นล่าง แสดงการกั้นพื้นที่ใช้สอยภายในเป็นห้องสมุด	61
4.4	รูปแสดงผังพื้นอาคารชั้นลอย แสดงการกั้นพื้นที่ใช้สอยภายในเป็นห้องสมุดและห้องประชุม	61
4.5	รูปแสดงผังพื้นอาคารชั้น 2 แสดงการกั้นพื้นที่ใช้สอยภายในเป็นสำนักงานประชากรศาสตร์	62
4.6	รูปแสดงผังพื้นอาคารชั้น 3 แสดงการกั้นพื้นที่ใช้สอยภายในเป็นสถาบันวิจัยสังคม	62
4.7	รูปแสดงผังพื้นอาคารชั้น 4 แสดงการกั้นพื้นที่ใช้สอยภายในเป็นสถาบันวิจัยสังคม	63
4.8	รูปแสดงผังพื้นอาคารชั้นดาดฟ้า เป็นที่ตั้งห้องเครื่องลิฟต์	63
4.9	รูปแสดง (บน) รูปตัดอาคาร (ล่าง) รูปด้านหน้าอาคารวิสิทธิ์ ประจวบเหมาะ	64
4.10	รูปแสดง (บน) รูปด้านหลังอาคาร (ล่างซ้าย) รูปด้านข้างอาคารทิศตะวันออก (ล่างขวา) รูปด้านข้างอาคารทิศตะวันตก	65
4.11	รูปแสดงลักษณะด้านหน้าอาคารกรณีศึกษาโดยรวม	66
4.12	รูปแสดงสภาพแวดล้อมด้านหน้าอาคาร	66
4.13	รูปแสดงช่องแสงชั้นล่าง ทิศเหนือ	66
4.14	รูปแสดงแผงกันแดดด้านทิศเหนือ และทิศใต้ ของอาคาร	66
4.15	รูปแสดงแผงกันแดดด้านทิศตะวันออกของอาคาร	66
4.16	รูปแสดงแผงกันแดดด้านทิศตะวันตกของอาคาร และอาคารด้านข้าง	66
4.17	รูปแสดงการกั้นผนัง และวัสดุผนังภายใน	67

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.18 รูปแสดงวัสดุพื้นภายในเป็นกระเบื้องยาง 67
4.19 รูปแสดงฝ้าเพดานชนิดรวงผึ้ง (Waffle Slab) และโคมชนิดขาว - ขุ่น 67
4.20 รูปแสดงฝ้าเพดานชนิดฉาบเรียบ และโคมชนิดขาว - ขุ่น 67
4.21 รูปแสดงลักษณะดวงโคมชนิดสะท้อนแสงที่ใช้ในส่วนห้องสมุดชั้นล่างอาคารเดิม 67
4.22 รูปแสดงฝ้าเพดานชนิด ที - บาร์ (T - BAR) 67
4.23 รูปแสดงองค์ประกอบของช่องแสงภายในอาคาร 68
4.24 รูปแสดงหน้าต่างภายในของช่องแสงทิศตะวันตก 68
4.25 รูปแสดงบริเวณพื้นด้านหน้าของช่องแสงทิศเหนือ 68
4.26 รูปแสดงสภาพด้านหลังอาคาร 68
4.27 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน มิถุนายน ชั้นล่าง - ลอย 72
4.28 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน พฤษภาคม กรกฎาคม ชั้นล่าง - ลอย 72
4.29 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน เมษายน และสิงหาคม ชั้นล่าง - ลอย 72
4.30 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน มีนาคม กันยายน ชั้นล่าง 73
4.31 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศใต้วันที่ 21เดือน กุมภาพันธ์ และตุลาคม ชั้นลอย 73
4.32 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน มกราคม พฤศจิกายน ชั้นลอย 73
4.33 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน มีนาคม กันยายน ชั้นลอย 74
4.34 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศใต้วันที่ 21เดือน ธันวาคม ชั้นลอย 74
4.35 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน มิถุนายน พฤษภาคม และกรกฎาคม 75
4.36 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศเหนือวันที่ 21เดือน เมษายน และสิงหาคม 76
4.37 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศใต้วันที่ 21เดือนมกราคม พฤศจิกายน กุมภาพันธ์ และตุลาคม 77
4.38 รูปแสดงมุมแดดที่กระทำต่อช่องเปิดด้านทิศใต้ วันที่ 21เดือน มีนาคม กันยายน และ ธันวาคม 78
4.39 รูปแสดงตำแหน่งการตรวจสอบค่าความสว่างภายในชั้นล่างส่วนห้องสมุด ช่องเปิดทิศเหนือ 78
4.40 รูปแสดงตำแหน่งการตรวจสอบค่าความสว่างภายในชั้นลอยส่วนห้องสมุด ช่องเปิดทิศใต้ 78
4.41 รูปแสดงตำแหน่งการตรวจสอบค่าความสว่างภายในชั้น 2 ส่วนสำนักงาน ช่องเปิดทิศเหนือ และใต้ 78
4.42 รูปแสดงตำแหน่งการตรวจสอบค่าความสว่างภายในชั้น 3 ส่วนสำนักงาน ช่องเปิดทิศเหนือ และใต้ 79
4.43 รูปแสดงค่าความสว่างเฉลี่ย และค่า daylight factor ชั้นล่างส่วนห้องสมุด ช่องเปิดทิศเหนือ และใต้ 84
4.44 รูปแสดงค่าความสว่างเฉลี่ย และค่า daylight factor ชั้นลอยส่วนห้องสมุด ช่องเปิดทิศเหนือ และใต้ 84
4.45 รูปแสดงค่าความสว่างเฉลี่ย และค่า daylight factor ชั้น 2 ช่องเปิดทิศเหนือ และใต้ 84
4.46 รูปแสดงค่าความสว่างเฉลี่ย และค่า daylight factor ชั้น 3 - 4 ช่องเปิดทิศเหนือ และใต้ 85
4.47 รูปแสดงผังไฟฟ้าชั้นล่าง แสดงตำแหน่งดวงโคมและวงจรการเปิดปิดของอาคารเดิม 97
4.48 รูปแสดงผังไฟฟ้าชั้นลอย แสดงตำแหน่งดวงโคมและวงจรการเปิดปิดของอาคารเดิม 97
4.49 รูปแสดงผังไฟฟ้าชั้น 2 แสดงตำแหน่งดวงโคมและวงจรการเปิดปิดของอาคารเดิม 98

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.50 รูปแสดงผังไฟฟ้าชั้น 3 แสดงตำแหน่งดวงโคมและวงจรการเปิดปิดของอาคารเดิม 98

4.51 รูปแสดงผังไฟฟ้าชั้น 4 แสดงตำแหน่งดวงโคมและวงจรการเปิดปิดของอาคารเดิม 99

4.52 รูปแสดงผังไฟฟ้าชั้นดาดฟ้า แสดงตำแหน่งดวงโคมและวงจรการเปิดปิดของอาคารเดิม 99

5.1 รูปแสดงตำแหน่ง และความสัมพันธ์ ของการเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าระดับความส่องสว่างภายใน 115

6.1 รูปแสดงเกณฑ์การพิจารณาค่าประสิทธิภาพการนำแสงมาใช้งาน หรือค่า CU 158

6.2 รูปแสดงลักษณะแผงกันแดดที่กำหนดในการศึกษา เพื่อให้สามารถนำประโยชน์จากแสงธรรมชาติมาใช้ 159

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิประกอบ

แผนภูมิที่ **หน้า**

1.1 แผนภูมิแสดงแนวคิดหลักในการศึกษา 11

4.1 แผนภูมิแสดงค่าระดับความสว่างเฉลี่ยภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้นล่าง อันเกิดจากแสงธรรมชาติ 86

4.2 แผนภูมิแสดงค่าระดับความสว่างเฉลี่ยภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 2 อันเกิดจากแสงธรรมชาติ 86

4.3 แผนภูมิแสดงค่าระดับความสว่างเฉลี่ยภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 3 - 4 อันเกิดจากแสงธรรมชาติ 86

4.4 แผนภูมิแสดงค่าระดับความสว่างเฉลี่ยภายในโถงบันไดอาคารกรณีศึกษา อันเกิดจากแสงธรรมชาติ 87

4.5 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานเปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม และพลังงานที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ระดับความสว่างตามมาตรฐานที่กำหนด 110

5.1 แผนภูมิ แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความสว่างที่ตกกระทบบนระนาบนอน จากค่ารังสีตรงดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบนอน ข้อมูลวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2541 113

5.2 แผนภูมิ แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความสว่างที่ตกกระทบบนระนาบนอน จากค่ารังสีตรงดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบนอน ข้อมูลวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2541 114

5.3 แผนภูมิ แสดงการแบ่งพื้นที่ใต้กราฟเพื่อหาปริมาณการส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเติม 117

6.1 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า DF ของหุ่นจำลองอาคารเดิม กับหุ่นจำลองในแนวทางที่ 1 ถึง แนวทางที่ 3 ชั้นล่าง - ลอย ของช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ 166

6.2 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า DF ของหุ่นจำลองอาคารเดิม กับหุ่นจำลองในแนวทางที่ 1 ถึง แนวทางที่ 3 ชั้นล่าง - ลอย ของช่องเปิดทางด้านทิศใต้ 166

6.3 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า DF ของหุ่นจำลองอาคารเดิม กับหุ่นจำลองในแนวทางที่ 1 ถึง แนวทางที่ 3 ชั้น 2 ของช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ 167

6.4 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า DF ของหุ่นจำลองอาคารเดิม กับหุ่นจำลองในแนวทางที่ 1 ถึง แนวทางที่ 3 ชั้น 2 ของช่องเปิดทางด้านทิศใต้ 167

6.5 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า DF ของหุ่นจำลองอาคารเดิม กับหุ่นจำลองในแนวทางที่ 1 ถึง แนวทางที่ 3 ชั้น 3 - 4 ของช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ 168

6.6 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า DF ของหุ่นจำลองอาคารเดิม กับหุ่นจำลองในแนวทางที่ 1 ถึง แนวทางที่ 3 ชั้น 3 - 4 ของช่องเปิดทางด้านทิศใต้ 168

6.7 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้นล่าง ลอยเฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 1 170

6.8 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้น 2 เฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 1 171

6.9 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้น 3 - 4เฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 1 172

6.10 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อปี) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับพลังงานที่ต้องใช้ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 1 174

6.11 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้นล่าง ลอยเฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 2 176

6.12 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้น 2 เฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 2 177

6.13 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้น 3 - 4เฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 2 178

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

6.14 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อปี) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับพลังงานที่ต้องใช้ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 2 180

6.15 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้น 3 - 4เฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 3 182

6.16 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้น 2 เฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 3 183

6.17 แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล) ชั้นล่าง ลอยเฉลี่ยรายเดือนตามแนวทางการปรับปรุงที่ 3 184

6.18 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อปี) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับพลังงานที่ต้องใช้ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 3 186

6.19 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อปี) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับพลังงานที่ต้องใช้ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 4 193

6.20 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อปี) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับพลังงานที่ต้องใช้ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 5 200

6.21 แผนภูมิแสดงค่าพลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อปี) เปรียบเทียบระหว่างอาคารเดิม กับพลังงานที่ต้องใช้ตามแนวทางการปรับปรุงที่ 1 ถึงแนวทางการปรับปรุงที่ 5 201

6.22 แผนภูมิเปรียบเทียบมูลค่าใช้จ่ายสะสมของแนวทางการปรับปรุงอาคารแต่ละแนวทาง เทียบกับอาคารเดิม 205

6.23 แผนภูมิเปรียบเทียบมูลค่าใช้จ่ายสะสมของแนวทางการปรับปรุงอาคารแต่ละแนวทาง เทียบกับอาคารเดิม เมื่อพิจารณาค่าเงินบาทลอยตัวและอัตราเงินเฟ้อ 209

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย