กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษา : กรณีศึกษาอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายสุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-432-8

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 6 ก.พ. 2546

I19522629

ENERGY EFFICIENT STRATEGIES FOR ACADEMIC BUILDING
: A CASE STUDY OF THE FACULTY OF ENGINEERING, NARESUAN UNIVERSITY

SUTHAT YIEMWATTANA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2000

ISBN 974-346-432-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษา:กรณีศึกษาอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
โดย	สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยนุช เตาลานนท์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ปิยนุช เตาลานนท์)

....กรรมการ

(อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต)

สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา : กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษา : กรณีศึกษา อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร (ENERGY EFFICIENT STRATEGIES FOR ACADEMIC BUILDING : A CASE STUDY OF THE FACULTY OF ENGINEERING ,NARESUAN UNIVERSITY)อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ธนิต จินดาวณิค,อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ.ปิยนุช เตาลานนท์ . 238 หน้า. ISBN 974-346-432-8

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อแสวงหากลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสมในเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ ในอาคารสถานศึกษา การวิจัยครั้งนี้แยกการศึกษาออกเป็น2ส่วนหลัก คือ ส่วนแรก สำรวจ ประเมินและวิเคราะห์ระดับสภาวะแวดล้อมด้านอุณหภูมิและการใช้พลังงานในอาคาร ทำการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE2.1D นำมาใช้เป็นตัวแทนอาคารกรณีศึกษา เพื่อประเมินผลการใช้พลังงานในอาคาร การศึกษาในส่วนหลัง พิจารณาหาวิธีการปรับปรุงองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของอาคารและเสนอแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานในอาคารที่เหมาะสม

ผลการวิจัย พบว่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ในอาคารถูกนำไปใช้ในระบบปรับอากาศ เนื่องจากองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมไม่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพเพียงพอที่จะต้านทานความร้อนจากภายนอกอาคารได้ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายควบคุมอาคารกำหนดไว้ องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีปัญหา และต้องนำมาพิจารณาปรับปรุง ได้แก่ ผนังทึบ หลังคาคอนกรีต ผนังโปร่งแสง ช่องหน้าต่าง แผงกันแดดภายนอก และการรั่วไหลของอากาศ สำหรับพลังงานที่ใช้ในระบบแสงประดิษฐ์นั้น มีปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ต่อพื้นที่ผ่านตามเกณฑ์ที่กฎหมายควบคุมอาคารกำหนดไว้ในขณะที่ค่าระดับความส่องสว่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน จึงถือว่าการใช้งานในระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์จัดอยู่ในระดับที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพดี

จากการศึกษา สามารถสรุปเป็นแผนการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษาได้ 3 แนวทาง คือ แนวทางที่1 ปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทางด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารโดยมีงบประมาณในการลงทุนน้อยที่สุด โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ 9.54% ต่อปีงบประมาณลงทุน 448,660 บาท ระยะเวลาคืนทุนภายใน 4.1 ปี แนวทางที่2 ปรับปรุงอาคารให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ 12.91%ต่อปี งบประมาณลงทุน 728,733 บาท ระยะเวลาคืนทุนภายใน 5 ปี แนวทางที่3 ปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานลงมากที่สุด โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ 13.81%ต่อปี งบประมาณลงทุน 1,476,482 บาท ระยะเวลาคืนทุนภายใน 6.1 ปี

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

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**..........................

ปีการศึกษา 2543 **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**..........................

4174178525 MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD : BUILDING RETROFITTING / ENERGY CONSERVATION / ENERGY EFFICIENT

SUTHAT YIEMWATTANA : ENERGY EFFICIENT STRATEGIES FOR ACADEMIC BUILDING : A CASE STUDY OF THE FACULTY OF ENGINEERING ,NARESUAN UNIVERSITY. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. THANIT CHINDAVANIC . THESIS CO-ADVISOR : PIYANUT TAULANANDA . 238 pp. ISBN 974-346-432-8

The objective of this study was to find out an energy efficient strategies for academic building with appropriated techniques and economic. This research was conducted in two parts. The first part was surveyed , evaluated ,and analyzed existing thermal environment and energy consumption. Calibrated computer simulation models by computer program DOE2.1D were used as a tool to evaluate the energy consumption. The second part was to find out proper architectural improvements and to propose energy efficient strategies.

The result of this research indicated that a major electrical energy consumption was from an air-conditioning system due to the poor building envelope to prevent heat gain from opaque wall , concrete slab , fenestration , infiltration and shading device system.The utilization of electrical energy for the lighting system had proper efficiency since the energy utilization of the system passed building code allowed and the illumination level from the lighting system was adequalte.

The final , three energy efficient strategies were proposed. The first strategies was the retrofit of the building for energy conservation with building code required and with lowest investment cost.As a result,the annual energy consumption of the building could be reduced 9.54% with investment cost 448,660 Baths and economical retum within 4.1 years. The second strategies was the retrofit of the building for energy conservation with appropriated economic. As a result, the annual energy consumption of the building could be reduced 12.91% with investment cost 728,733 Baths and economical retum within 5 years. The third strategies was the retrofit of the building for energy conservation with the most reduction of energy consumption. As a result, the annual energy consumption of the building could be reduced 13.18% with investment cost 887,769 Baths and economical retum within 6.1 years.

Department	Architecture	Student's signature......................................
Field of study	Building Technology	Advisor's signature......................................
Academic year	2000	Co-advisor's signature..................................

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลือและอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนิต จินดาวณิค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ปิยนุช เตาลานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ พิรัส พัชรเศวต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆต่อการวิจัยด้วยดีมาตลอด ขอขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่และบุคลากร ทุกท่านจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเข้าสำรวจตรวจสอบอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ เป็นอย่างดี ขอบคุณในความช่วยเหลือของ ร.อ. หญิง ปริมลาภ วสุวัต สำหรับคำแนะนำวิธีการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1D ขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับทุนการศึกษา จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ และทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์บางส่วน จากบัณฑิตวิทยาลัย ท้ายนี้ขอขอบคุณเป็นพิเศษกับ คุณหมออิชยา ผู้เป็นกำลังใจยามอ่อนล้า

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฎ
สารบัญรูป.....ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....ฑ
สารบัญตารางและแผนภูมิ.....ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....4
1.6 ข้อจำกัดในการวิจัย.....6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....7
2.1 หลักการถ่ายเทความร้อน.....7
2.1.1 คุณสมบัติวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน.....7
2.1.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร.....7
2.1.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านการระบายอากาศ.....8
2.1.4 การถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีผ่านกระจก.....9
2.2 ระบบเครื่องปรับอากาศ.....9
2.2.1 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ.....9
2.2.2 หลักการทำงานของระบบท่อน้ำเย็น.....11
2.2.3 ประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ.....12
2.3 การคำนวณภาระปรับอากาศ.....12
2.3.1 External Cooling Load.....12
2.3.2 Internal Cooling Load.....13
2.3.3 Ventilation and Infiltration.....13
2.4 ระดับสภาวะน่าสบายของมนุษย์.....14
2.4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ.....14
2.4.2 ความเร็วลมภายในอาคาร.....15

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับแสง....15
2.5.1 ทฤษฎีการส่องสว่าง....16
2.5.2 คุณสมบัติที่สำคัญของแสง....16
2.5.3 ทฤษฎีแสงธรรมชาติ....16
2.5.4 มาตรฐานระดับความส่องสว่าง....17
2.5.5 การประมาณอัตราการใช้พลังงานในอาคารจากดวงไฟแสงสว่าง....18
2.5.6 การหาความร้อนที่เกิดจากดวงไฟแสงสว่าง....19
2.6 ทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น....19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....21
3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคาร....21
3.1.1 สำรวจและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร....21
3.1.2 สำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานรวมของอาคาร....21
3.1.3 สำรวจและเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อการควบคุมระดับสภาวะน่าสบาย....23
3.1.4 สำรวจและเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระบบแสงสว่างในอาคาร....25
3.2 การประเมินและวิเคราะห์ปัจจัยในด้านการใช้พลังงานรวมของอาคาร....31
3.2.1 ประเมินการใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร....31
3.2.2 ประเมินระดับสภาวะน่าสบาย....31
3.2.3 ประเมินระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์....31
3.2.4 ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร....31
3.3 เสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคาร....31
3.3.1 แนวทางในการป้องกันความร้อนผ่านเปลือกอาคาร....31
3.3.2 แนวทางในการควบคุมการรั่วไหลและการระบายอากาศ....32
3.3.3 แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง....32
3.3.4 แนวทางในการปรับปรุงระดับสภาวะน่าสบาย....32
3.4 การประเมินผลแนวทางในการปรับปรุงอาคาร....32
3.4.1 ประเมินผลในเชิงเทคนิค....32
3.4.2 ประเมินผลในเชิงเศรษฐศาสตร์....32
3.5 สรุปผลแผนการดำเนินการที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงอาคาร....32
3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย....32
3.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอาคาร....33
3.6.2 เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์....36
บทที่ 4 การประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา....37
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา....37

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.1.1 สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร......37
4.1.2 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร......37
4.1.3 ลักษณะการใช้งานอาคาร......42
4.2 ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร......43
4.2.1 ระบบปรับอากาศในอาคาร......43
4.2.2 ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์......46
4.2.3 ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร......46
4.2.4 ระบบลิฟท์ในอาคาร......49
4.2.5 ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งอาคาร......49
4.3 ข้อมูลการสำรวจระดับสภาวะน่าสบายในอาคาร......50
4.3.1 ระดับสภาวะน่าสบายในห้องปรับอากาศ......50
4.3.2 ระดับสภาวะน่าสบายในห้องไม่ปรับอากาศ......51
4.4 ข้อมูลการสำรวจระบบแสงสว่างภายในอาคาร......58
4.4.1 ระบบแสงสว่างธรรมชาติ......58
4.4.2 ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์......70
4.5 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร......74
4.6 การจำลองสภาพอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์......74
4.7 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์......80
4.7.1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง......80
4.7.2 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศรายวัน......80
4.7.3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศสูงสุด......80
4.7.4 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของอาคาร......83
4.8 การวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา......83
4.8.1 มาตรฐานของเครื่องทำความเย็น......83
4.8.2 มาตรฐานปริมาณการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่......83
4.8.3 มาตรฐานค่าระดับการส่องสว่างในอาคาร......84
4.8.4 มาตรฐานความเร็วลมภายในห้องปรับอากาศ......84
4.8.5 มาตรฐานการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร......84
4.8.6 มาตรฐานการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร......84
บทที่ 5 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา......86
5.1 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารกรณีศึกษา......86
5.2 วิธีการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมทางด้านเทคนิคและมีความเป็นไปได้ในการดำเนินการ......90
5.2.1 วิธีการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ......91

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.2.2 วิธีการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา......91
5.2.3 วิธีการลดการนำความร้อนและลดการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจก......91
5.2.4 วิธีการลดการรั่วไหลของอากาศ......91
5.3 เกณฑ์ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร......92
5.3.1 แนวทางปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยมีงบประมาณลงทุนน้อยที่สุด......92
5.3.2 แนวทางปรับปรุงอาคารให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์......92
5.3.3 แนวทางปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานลงมากที่สุด......93
5.4 วิธีการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา......93
5.4.1 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังทึบอาคาร......93
5.4.2 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่หลังคาอาคาร......96
5.4.3 การเปลี่ยนกระจกในส่วนหน้าต่างอาคาร......99
5.4.4 การเปลี่ยนกระจกในส่วนผนังโปร่งแสงของอาคาร......102
5.4.5 การติดตั้งแผงกันแดดภายนอกให้กับอาคาร......104
5.4.6 การปรับลดการรั่วไหลอากาศ......107
5.5 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา......109
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ......113
6.1 การประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา......113
6.1.1 ปัญหาของอาคารกรณีศึกษา......113
6.1.2 องค์ประกอบของอาคารที่ต้องปรับปรุง......113
6.2 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา......114
6.2.1 วิธีการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา......114
6.2.2 แผนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา......114
6.3 สรุปประเด็นและปัญหาที่สำคัญ......115
6.4 ข้อเสนอแนะ......116
6.4.1 ข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป......116
6.4.2 ข้อเสนอแนะสำหรับหน่วยงานเจ้าของอาคารกรณีศึกษา......117
รายการอ้างอิง......118
ภาคผนวก......120
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการสำรวจอาคารกรณีศึกษา
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการจำลองสภาพการใช้พลังงานในอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE2.1D
ภาคผนวก ง. ข้อมูลมาตรฐานผลิตภัณฑ์จากบริษัทผู้ผลิต
ประวัติผู้เขียน......238

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่2.1 อัตราอากาศรั่วเข้าห้องผ่านหน้าต่างและประตูเพื่อใช้ในการออกแบบ 9
ตารางที่2.2 สรุปลักษณะการใช้งานของเครื่องปรับอากาศแบบต่างๆ......................................11
ตารางที่2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความรู้สึกสบายของมนุษย์..................15
ตารางที่2.4 มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และIESและค่า Daylight Factor..........................18
ตารางที่3.1 เกณฑ์ในการเลือกห้องตัวแทนของอาคารเพื่อเก็บข้อมูล...24
ตารางที่4.1 การจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยในอาคารจำแนกตามชั้นและลักษณะห้อง...........................40
ตารางที่4.2 ลักษณะการใช้งานอาคารในแต่ละชั้น...43
ตารางที่4.3 Part Load ในเครื่อง Chiller รุ่น RTAA80 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ.........43
ตารางที่4.4 ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมในระบบปรับอากาศ ณ.วันที่วัดจริงโดยตรง.....................45
ตารางที่4.5 ชนิดและปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ในอาคารจำแนกตามชั้นและลักษณะห้อง............47
ตารางที่4.6 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์เครื่องใช้จำแนกตามชั้นและลักษณะห้อง.........48
ตารางที่4.7 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลิฟท์ต้องการจำแนกตามรุ่นและจำนวนครั้งที่กดใช้.........49
ตารางที่4.8 ตารางเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร......................................49
ตารางที่4.9 แสดงรายละเอียดการคำนวณหาคาา OTTV และRTTV...75
ตารางที่4.10 รายละเอียดการจัดแบ่งพื้นที่และการสำรวจข้อมูลในแต่ละZONE.........................79
ตารางที่4.11 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารวมในระบบแสงสว่าง.................................81
ตารางที่4.12 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ....................................82
ตารางที่5.1 พลังงานไฟฟ้าสูงสุดรายเดือนและพลังงานไฟฟ้ารวมในแต่ละเดือน 86
ตารางที่5.2 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีทั้งอาคาร 87
ตารางที่5.3 แสดงภาระปรับเย็นสูงสุดและภาระปรับเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาความร้อน.......89
ตารางที่5.4 ประเภทของฉนวนใยแก้วที่นำมาติดตั้งผนัง...93
ตารางที่5.5 เปรียบเทียบการปรับปรุงผนังทึบในแต่ละวิธี...94
ตารางที่5.6 ประเภทของฉนวนใยแก้วที่นำมาติดตั้งใต้หลังคาคอนกรีต...................................96
ตารางที่5.7 เปรียบเทียบการปรับปรุงหลังคาในแต่ละวิธี..96
ตารางที่5.8 ประเภทของกระจกที่นำมาเปลี่ยนหน้าต่าง...99
ตารางที่5.9 เปรียบเทียบการปรับปรุงหน้าต่างกระจกในแต่ละวิธี...99
ตารางที่5.10 ประเภทของกระจกที่นำมาเปลี่ยนผนังโปร่งแสง...102
ตารางที่5.11 เปรียบเทียบการปรับปรุงผนังกระจกอาคารในแต่ละวิธี......................................102
ตารางที่5.12 ประเภทของวัสดุที่นำมาใช้เป็นแผงกันแดด..104
ตารางที่5.13 เปรียบเทียบการปรับปรุงแผงกันแดดอาคารในแต่ละวิธี....................................104
ตารางที่5.14 เปรียบเทียบการปรับปรุงการรั่วไหลอากาศในอาคาร.......................................107
ตารางที่5.15 เปรียบเทียบแนวทางการปรับปรุงอาคารในแต่ละทางเลือก.................................110

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่1.1 อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร..3
รูปที่3.1 ผังอาคารชั้น1,2และ4 แสดงตำแหน่งห้องตัวแทนสำหรับเก็บข้อมูล...................................29
รูปที่3.2 ผังอาคารชั้น5,6และ7แสดงตำแหน่งห้องตัวแทนสำหรับเก็บข้อมูล.....................................30
รูปที่3.3 Hobo Data Logger..33
รูปที่3.4 Digital Hygro-thermometer...33
รูปที่3.5 Solomet รุ่น500e สำหรับวัดอุณหภูมิผิว..34
รูปที่3.6 Solomet รุ่น500e สำหรับวัดความเร็วลมภายในอาคาร..34
รูปที่3.7 Globe-thermometer..35
รูปที่3.8 เครื่องวัดความเร็วลม...35
รูปที่4.1 แสดงผังบริเวณโดยรอบ คณะวิศวกรรมศาสตร์...38
รูปที่4.2 รูปด้านและรูปตัดของอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์..39
รูปที่4.3 แสดงผังการติดตั้งดวงโคมแสงประดิษฐ์และวงจรเปิดปิด ในอาคารชั้น 1,2และ3.............71
รูปที่4.4 แสดงผังการติดตั้งดวงโคมแสงประดิษฐ์และวงจรเปิดปิด ในอาคารชั้น 4,5และ6.............72
รูปที่4.5 แสดงผังการติดตั้งดวงโคมแสงประดิษฐ์และวงจรเปิดปิด ในอาคารชั้น 7และรูปตัด 73
รูปที่4.6 แสดงผังรายละเอียดการจัดกลุ่มพื้นที่ภายในอาคารชั้น 1,2และ3 76
รูปที่4.7 แสดงผังรายละเอียดการจัดกลุ่มพื้นที่ภายในอาคารชั้น 4,5และ6..................................77
รูปที่4.7 แสดงผังรายละเอียดการจัดกลุ่มพื้นที่ภายในอาคารชั้น 7และชั้นหลังคา........................78

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่1.1 ผังแสดงวิธีดำเนินการวิจัย..5
แผนภูมิที่4.1 สรุปตารางการใช้งานของบุคลากร ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง......41
แผนภูมิที่4.2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมในระบบปรับอากาศ ณ.วันที่วัดจริง..............................45
แผนภูมิที่4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง....................................81
แผนภูมิที่4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ..................................82
แผนภูมิที่5.1 อัตราส่วนการใช้พลังงานจำแนกตามประเภทการใช้งาน..87
แผนภูมิที่5.2 ภาระปรับเย็นรายปีและภาระปรับเย็นสูงสุดจำแนกตามแหล่งที่มาความร้อน............89
แผนภูมิที่5.3 เปรียบเทียบภาระปรับเย็นรายปีในการปรับปรุงผนังทึบแต่ละวิธี..............................95
แผนภูมิที่5.4 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการปรับปรุงผนังทึบแต่ละวิธี..........................95
แผนภูมิที่5.5 เปรียบเทียบภาระปรับเย็นรายปีในการปรับปรุงหลังคาแต่ละวิธี...............................98
แผนภูมิที่5.6 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการปรับปรุงหลังคาแต่ละวิธี............................98
แผนภูมิที่5.7 เปรียบเทียบภาระปรับเย็นรายปีในการปรับปรุงหน้าต่างแต่ละวิธี...........................101
แผนภูมิที่5.8 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการปรับปรุงหน้าต่างแต่ละวิธี........................101
แผนภูมิที่5.9 เปรียบเทียบภาระปรับเย็นรายปีในการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละวิธี.......................103
แผนภูมิที่5.10 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการปรับปรุงผนังกระจกแต่ละวิธี..................103
แผนภูมิที่5.11 เปรียบเทียบภาระปรับเย็นรายปีในการปรับปรุงแผงกันแดดแต่ละวิธี....................106
แผนภูมิที่5.12 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการปรับปรุงแผงกันแดดแต่ละวิธี.................106
แผนภูมิที่5.13 เปรียบเทียบภาระปรับเย็นรายปีในการปรับปรุงการรั่วไหลของอากาศ...................108
แผนภูมิที่5.14 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการปรับปรุงการรั่วไหลของอากาศ................108
แผนภูมิที่5.15 เปรียบเทียบภาระปรับเย็นรายปีในการปรับปรุงอาคารแต่ละทางเลือก...................112
แผนภูมิที่5.16 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีจากการปรับปรุงอาคารแต่ละทางเลือก................112

สารบัญตารางและแผนภูมิ

หน้า

ตารางและแผนภูมิที่4.1 ข้อมูลระดับสภาวะน่าสบายในอาคารห้องตัวแทนกลุ่มที่1 52
ตารางและแผนภูมิที่4.2 ข้อมูลระดับสภาวะน่าสบายในอาคารห้องตัวแทนกลุ่มที่2 53
ตารางและแผนภูมิที่4.3 ข้อมูลระดับสภาวะน่าสบายในอาคารห้องตัวแทนกลุ่มที่3......................54
ตารางและแผนภูมิที่4.4 ข้อมูลระดับสภาวะน่าสบายในอาคารห้องตัวแทนกลุ่มที่4......................55
ตารางและแผนภูมิที่4.5 ข้อมูลระดับสภาวะน่าสบายในอาคารห้องตัวแทนกลุ่มที่5......................56
ตารางและแผนภูมิที่4.6 ข้อมูลระดับสภาวะน่าสบายในอาคารห้องตัวแทนกลุ่มที่6......................57
ตารางและแผนภูมิที่4.7 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่1......................60
ตารางและแผนภูมิที่4.8 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่2......................61
ตารางและแผนภูมิที่4.9 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่3......................62
ตารางและแผนภูมิที่4.10 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่4......................63
ตารางและแผนภูมิที่4.11 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่5......................64
ตารางและแผนภูมิที่4.12 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่6......................65
ตารางและแผนภูมิที่4.13 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่7......................66
ตารางและแผนภูมิที่4.14 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่8......................67
ตารางและแผนภูมิที่4.15 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่9......................68
ตารางและแผนภูมิที่4.16 ข้อมูลค่าระดับแสงสว่างในอาคารห้องตัวแทนตำแหน่งที่10....................69