บทคัดย่อ

สืบเนื่องจากสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในประเทศไทย ที่มีแนวโน้มทำให้อาคารต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศตลอดทั้งปี โดยความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จะถูกส่งผ่านเข้ามาภายในตัวอาคารตามช่องทางต่าง ๆ ส่งผลทำให้พลังงานส่วนมากถูกใช้ไปกับการทำความเย็น สถาปนิก นักออกแบบ จึงพยายามค้นหาแนวทางในการลดภาระการทำความเย็น อาทิเช่น การติดตั้งแผงกันแดดหรือการปลูกพืชบนหลังคา เป็นต้น การวิจัยนี้มุ่งเน้นในการศึกษาแนวทางลดภาระการทำความเย็นผ่านเปลือกอาคารโดยใช้วิธีการเอียงหลบแดดของผนังเป็นหลัก ซึ่งการศึกษาจะครอบคลุมตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการออกแบบ ทั้งหมด 4 ตัวแปร ประกอบด้วย ทิศทางของผนังอาคาร องศาการเอียงของผนังอาคาร สัดส่วนช่องเปิดของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก ทำการทดลองโดยการจำลองอาคารตัวอย่างในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (eQUEST_3.6) ซึ่งมีจำนวนกรณีในการศึกษามากถึง 1,760 กรณี พร้อมทั้งสร้างห้องทดลองด้านพลังงานอีก 2 ห้อง ขนาดมาตราส่วนเท่าอาคารจริง เพื่อนำค่าพลังงานที่ตรวจวัดได้ไปใช้ยืนยันความถูกต้องของข้อมูลจากการจำลองอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการวิจัยพบว่า ผนังอาคารทางด้านทิศตะวันออก มีความเหมาะสมในการทำผนังเอียงมากที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียงที่มีสัดส่วนช่องเปิดของผนังอาคารต่างกันพบว่า อาคารผนังเอียงจะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานก็ต่อเมื่อ มีสัดส่วนช่องเปิดตั้งแต่ 30% ขึ้นไป นอกจากนี้การเลือกใช้กระจกที่มีคุณภาพดี (มีค่า SC ต่ำ) จะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากกว่าการทำผนังเอียง และเมื่อเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียงกับอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดที่มีระยะยื่นเป็นสัดส่วนเดียวกับผนังเอียงพบว่า อาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดจะมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมากกว่าการทำผนังเอียงเล็กน้อย

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ ทำให้สถาปนิกสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการออกแบบรูปทรงอาคารได้โดยตรง ทั้งทางด้านการเลือกองศาการเอียงของผนังอาคารให้มีความเหมาะสมกับสัดส่วนช่องเปิด รวมไปถึงสามารถกำหนดขนาดของเครื่องปรับอากาศที่จะใช้ภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อเจ้าของอาคารที่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงไปได้อย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้สถาปนิกยังสามารถนำผลการวิจัยไปใช้อ้างอิงในการออกแบบรูปทรงอาคารที่ช่วยอนุรักษ์พลังงาน

Abstract

According to hot-humid climate of Thailand, buildings are subjected to consume energy for air-conditioning year round. Energy is mostly utilized for removing cooling load which access the building from many sources. For this reason, architects attempt to design buildings with less cooling load by relying on many strategies such as installing shading device, planting on the roof, etc. This research focuses mainly on cooling load reduction through building envelope by using tilting wall angle. The study covers 4 key design variables including facade directions, degrees of tilted wall, Window to Wall Ratio (WWR), and Shading Coefficient on glass. This research was done by energy modeling in energy simulation software (eQUEST_3.6). 1,760 scenarios were simulated and compared against the results from two full-scale test cells for validity purposes.

The results illustrated that the east wall is the most appropriate for tilted wall. When comparing the building energy consumption of different WWR, tilted wall becomes effective only if WWR surpasses 30%. However, proper glass with good quality (low SC) could perform better than tilted wall. By comparing energy performance of tilted wall and shading device with similar aspect ratio, the latter could provide slight energy advantage over the former.

Results of this study benefit architects for design implementation directly. This includes the selection of proper tilted wall angle with suitable WWR and the improvement of more accurate sizing of air-conditioning system. Moreover, building owners could reduce energy expenses and, furthermore, architects could utilize research results as a reference for creating architectural form which enhances energy conservation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ดร. จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาทั้งทางด้านวิชาการและการทำงาน ช่วยแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ รวมทั้งคอยให้กำลังใจ ซึ่งเป็นแรงผลักดันอย่างดีให้กับผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี ขอกรอบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณจิรา ทิศาวิภาต และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ ที่คอยเอาใจใส่และให้ความรู้ ทั้งทางด้านการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและทางด้านเทคโนโลยีอาคาร ด้วยความเมตตามาโดยตลอด 6 ปีการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ดร. กิตตินันท์ อันนานนท์ ที่ให้ความเมตตาอนุมัติเงินทุนในการสร้างห้องทดลองด้านพลังงานตลอดจนอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทดลอง อีกทั้งยังคอยให้คำปรึกษาเรื่องการทดลองและการประยุกต์ใช้ผลการทดลองให้ได้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังให้คำแนะนำต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณกลุ่มเพื่อนที่คอยให้ความช่วยเหลือในการขนย้ายวัสดุที่ใช้สร้างห้องทดลอง ซึ่งได้แก่ นายยัญญเดช นายเกรียงไกร นายณพล นายปิยะพงษ์ นายจุลจักร นายอรุณ นายชยินท์ นายสุทธิมนต์ และนายรติวัฒน์ ขอขอบคุณนายทัตพลและทีมงานที่ช่วยสร้างห้องทดลองด้านพลังงานจนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณ คุณพิมพ์วดี คุณณัฐพรและธุรการทุกท่าน ที่คอยดำเนินการติดต่อประสานงานและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ มาโดยตลอด และขอขอบคุณบุคคลอื่น ๆ อีกมากมายที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้ เพราะถ้าขาดบุคคลเหล่านี้ ลำพังเพียงผู้วิจัยคงไม่สามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ นางฐิติรัตน์ นางภาวดี และนางสาวนันท์นภัส ผู้เป็นมารดา ป้าและน้องสาว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ซึ่งเป็นแรงผลักดันอันสำคัญยิ่งในช่วงการศึกษาตลอด 24 ปีที่ผ่านมา ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการการศึกษาและสถาปัตยกรรมไม่มากก็น้อย

อธิวัฒน์ อัศวพิทยานนท์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2553

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (1)

กิตติกรรมประกาศ ..... (3)

สารบัญตาราง ..... (7)

สารบัญภาพประกอบ ..... (10)

บทที่

1. บทนำ 1

    1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
    1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
    1.3 ขอบเขตการวิจัย 3
    1.4 สมมติฐานการวิจัย 4
    1.5 กระบวนการวิจัย 4
    1.6 ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัย 5
    1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
    1.8 คำศัพท์ในการวิจัย 7
    1.9 กรอบแนวคิดในการวิจัย 8

2. ทฤษฎี แนวคิดและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

    2.1 ลักษณะความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์ 9
    2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน 12
    2.3 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 20
    2.4 การนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม 24

3. ระเบียบวิธีวิจัย 27

3.1 ประเภทของการวิจัย 27
3.2 การเตรียมการทดลอง 27
3.3 การทดลอง..... 52

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 56

4.1 การตรวจสอบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารในแต่ละทิศ..... 56
4.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีองศาการเอียงต่างกัน . 62
4.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคาร ที่มีการปรับเปลี่ยนค่า
สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก..... 71
4.4 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดที่มี
ระยะยื่นต่างกัน 74

5. สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ 81

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษาวิจัย 82
5.2 แนวทางการออกแบบอาคารผนังเอียงให้เหมาะสมกับภูมิอากาศ
แบบร้อนชื้น 90
5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย..... 93

บรรณานุกรม..... 94

ภาคผนวก

ก ผลการทดสอบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียงทางทิศเหนือ 99

ข ผลการทดสอบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียงทางทิศตะวันออก ... 102

ค ผลการทดสอบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียงทางทิศใต้ 105

ง ผลการทดสอบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียงทางทิศตะวันตก..... 108

จ ผลการทดลองที่ได้จากห้องทดลองด้านพลังงาน เปรียบเทียบระหว่าง ผนังเอียงกับผนังตั้งฉาก..... 111

ฉ ผลการทดลองที่ได้จากห้องทดลองด้านพลังงาน เปรียบเทียบระหว่าง ผนังเอียงกับผนังที่ติดตั้งแผงกันแดด 117

ช ห้องทดลองด้านพลังงาน (Mockup for Energy Testing) 123

ประวัติการศึกษา 127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ตัวแปรที่นำมาใช้ในการจำลองอาคารในคอมพิวเตอร์	28
3.2	จำนวนกรณีศึกษาในการวิจัยโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์	31
3.3	ชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการสร้างห้องทดลองด้านพลังงาน	32
3.4	ค่าทางเทคนิคของเครื่องปรับอากาศ	36
3.5	ค่าอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิทั้ง 4 ตัว	41
3.6	ค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่อง	45
3.7	การวัดค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองผนังเอียงและผนังตั้งฉาก (ไม่มีการทำงานของเครื่องปรับอากาศ)	48
3.8	การวัดค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองผนังเอียงและผนังที่ติดตั้งแผงกันแดด (ไม่มีการทำงานของเครื่องปรับอากาศ)	51
4.1	สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ (รายเดือน)	58
4.2	สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ (แยกตามประเภทการใช้งาน)	59
4.3	ค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนช่องเปิดของผนังอาคาร	60
4.4	ค่าการใช้พลังงานรายวัน ของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ (วันที่ 6 เมษายน)	61
4.5	ค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.8)	63
4.6	การใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของกระจก (ทิศตะวันออก, เอียงทำมุม 90 องศา)	73
4.7	การใช้พลังงานของอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดที่มีระยะยื่นต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.8)	75
5.1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของผนังอาคารทางทิศตะวันออกที่มีองค์ประกอบต่างกัน	88
ก.1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของผนังอาคารทางทิศเหนือที่มีองค์ประกอบต่างกัน	99
ก.2	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศเหนือ, SC 0.2)	100

ก.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศเหนือ, SC 0.4) 100
ก.4 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศเหนือ, SC 0.6) 101
ก.5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศเหนือ, SC 0.8) 101
ข.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของผนังอาคารทางทิศตะวันออก ที่มีองค์ประกอบต่างกัน 102
ข.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.2) 103
ข.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.4) 103
ข.4 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.6) 104
ข.5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.8) 104
ค.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของผนังอาคารทางทิศใต้ ที่มีองค์ประกอบต่างกัน 105
ค.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศใต้, SC 0.2) 106
ค.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศใต้, SC 0.4) 106
ค.4 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศใต้, SC 0.6) 107
ค.5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศใต้, SC 0.8) 107
ง.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอาคารทางทิศตะวันตก ที่มีองค์ประกอบต่างกัน 108
ง.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันตก, SC 0.2) 109

ง.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันตก, SC 0.4) 109
ง.4 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันตก, SC 0.6) 110
ง.5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันตก, SC 0.8) 110
จ.1 ข้อมูลจากการทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก (วันที่ 19 เมษายน 2553) 111
จ.2 ข้อมูลจากการทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก (วันที่ 20 เมษายน 2553) 113
จ.3 ข้อมูลจากการทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก (วันที่ 21 เมษายน 2553) 115
ฉ.1 ข้อมูลจากการทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองที่ติดตั้งแผงกันแดด (วันที่ 11 เมษายน 2553) 117
ฉ.2 ข้อมูลจากการทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองที่ติดตั้งแผงกันแดด (วันที่ 12 เมษายน 2553) 119
ฉ.3 ข้อมูลจากการทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองที่ติดตั้งแผงกันแดด (วันที่ 13 เมษายน 2553) 121

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1.1	อาคารที่มีลักษณะการเอียงของผนังเพื่อหลบรังสีดวงอาทิตย์	2
2.1	การแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน	10
2.2	ความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์	12
2.3	พฤติกรรมของรังสีจากดวงอาทิตย์สู่ตัวกลาง	14
2.4	พฤติกรรมของรังสีความร้อนเมื่อตกกระทบวัตถุ	14
2.5	เปรียบเทียบค่าความเข้มการส่องสว่างของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อตกกระทบบนกระจกต่างชนิดกัน	16
2.6	เปรียบเทียบค่าการสะท้อนของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อตกกระทบบนกระจกหนึ่งชั้นและกระจกสองชั้น	17
2.7	ค่าการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจก	18
2.8	ระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็น	21
2.9	เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในระหว่างกล่องทดลองผนังตั้งฉากและผนังเอียง 45 องศา ทางด้านทิศใต้	25
2.10	อาคารศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ถนนแจ้งวัฒนะ	26
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบในการทดลอง	30
3.2	การจำลองห้องทดลองด้านพลังงานและผนังจำลองที่ใช้ในการตรวจวัดค่าพลังงาน	33
3.3	ห้องทดลองด้านพลังงาน (Mockup for Energy Testing)	35
3.4	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	37
3.5	สถานที่ที่ใช้ในการตั้งห้องทดลอง: ชั้นดาดฟ้าของอาคาร MTEC Pilot Plant	38
3.6	อุปกรณ์ที่ต้องได้รับการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ	39
3.7	เปรียบเทียบค่าการวัดอุณหภูมิของตัววัดอุณหภูมิทั้ง 4 ตัว	40
3.8	เปรียบเทียบค่าการวัดกระแสไฟฟ้าของตัววัดกระแสไฟฟ้า (ammeter clamps) ทั้ง 2 ตัว	43
3.9	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่อง	44
3.10	เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลองด้านพลังงานที่ไม่มีการทำงานของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก	47

3.11 เปรียบเทียบพื้นที่ของแสงแดดที่ส่องผ่านกระจกเข้ามาภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง 49
3.12 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ไม่มีการทำงานของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองที่ติดตั้งแผงกันแดด 50
3.13 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ในการทดลอง.... 53
3.14 กรอบระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทดลอง 55
4.1 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรวมในรอบ 1 ปีของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ..... 57
4.2 สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ (รายเดือน) 58
4.3 สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ (แยกตามประเภทการใช้งาน).. 59
4.4 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนช่องเปิด..... 60
4.5 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานรายวันของผนังอาคารทั้ง 4 ทิศ (วันที่ 6 เมษายน) . 61
4.6 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.8)..... 63
4.7 สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (SC 0.8, WWR 10%) . 64
4.8 สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (SC 0.8, WWR 20%) . 65
4.9 สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีมุมเอียงต่างกัน (SC 0.8, WWR 100%) 66
4.10 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก 68
4.11 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก (ภาพขยายอุณหภูมิภายในห้องทดลอง จากภาพที่ 4.10)... 69
4.12 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานตามลักษณะการทำงานจริงของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก..... 70
4.13 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในภาพรวมของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองผนังตั้งฉาก 71
4.14 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของผนังอาคารที่มีการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (ทิศตะวันออก, เอียงทำมุม 90 องศา) 72
4.15 สัดส่วนการใช้พลังงานของผนังอาคารที่ปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (ทิศตะวันออก, เอียงทำมุม 90 องศา, WWR 100%)..... 73

4.16 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดที่มีระยะยื่นต่างกัน (ทิศตะวันออก, SC 0.8) 75
4.17 สัดส่วนการใช้พลังงานของอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดในระยะยื่นต่าง ๆ (ทิศตะวันออก, SC 0.8, WWR 10%) 76
4.18 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองที่ติดตั้งแผงกันแดด 77
4.19 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดลองระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องที่ติดตั้งแผงกันแดด (ภาพขยายอุณหภูมิภายในห้องทดลอง จากภาพที่ 4.18) .. 78
4.20 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานตามลักษณะการทำงานจริงของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองที่ติดตั้งแผงกันแดด 79
4.21 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในภาพรวมของเครื่องปรับอากาศระหว่างห้องทดลองผนังเอียงกับห้องทดลองที่ติดตั้งแผงกันแดด 80
5.1 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียง 130 องศา กับอาคารผนังตั้งฉากที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดเท่ากัน (ทิศตะวันออก) 84
5.2 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียง 130 องศา กับอาคารผนังตั้งฉากที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่างกัน (ทิศตะวันออก) 85
5.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารผนังเอียง 130 องศา กับอาคารที่ติดตั้งแผงกันแดดที่ยื่นยาว 3.37 เมตร (ทิศตะวันออก, SC 0.8) 86
5.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานระหว่างอาคารผนังเอียง 120 องศากับอาคารผนังตั้งฉาก 90 องศา (ทิศตะวันออก, SC 0.2) 89
5.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานระหว่างอาคารผนังเอียง 110 องศากับอาคารผนังตั้งฉาก 90 องศา (ทิศตะวันออก, SC 0.4) 90
5.6 เปรียบเทียบสัดส่วนช่องเปิดของผนังอาคารเมื่อมีการปรับเปลี่ยนองศาการเอียงของผนังอาคาร 91
5.7 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานเมื่อมีการปรับเปลี่ยนองศาการเอียงของผนังอาคาร 92
ช.1 โครงสร้างของห้องทดลองด้านพลังงาน 123
ช.2 วัสดุปิดผิวและการใส่ฉนวนกันความร้อน 123
ช.3 ห้องทดลองด้านพลังงานที่เป็นผนังเอียงและผนังที่ติดตั้งแผงกันแดด 124
ช.4 การป้องกันรังสีความร้อนที่สะท้อนจากพื้นบริเวณด้านหน้าของห้องทดลอง 125

ช.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าและเก็บข้อมูล..... 125
ช.6 การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดค่าพลังงานและอุณหภูมิภายในห้องทดลอง 126
ช.7 การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิอากาศภายนอก..... 126