

การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับแต่งสภาพแวดล้อม
เพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร

นางสาวกาญจนา สิริภัทรวิช



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-332-560-3
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE USE OF TREES FOR ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT
TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION IN BUILDING

Miss Kanjana Siripatrvanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Graduate School

Chulalongkron University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-560-3

กาญจนา สิริภัทรวณิช : การใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร (THE USE OF TREES FOR ENVIRONMENTAL IMPROVMENT TO REDUCE ENERGY CONSUMPTION IN BUILDING) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ 251 หน้า. ISBN 974-332-560-3

การใช้พลังงานในอาคารส่วนใหญ่ถูกใช้เพื่อปรับลดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงภายในอาคาร อันเนื่องมาจากผิวผนังภายนอกที่ร้อนขึ้น ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการลดความร้อนที่เกิดภายในอาคาร โดยใช้ต้นไม้ยืนต้นในการปรับสภาพแวดล้อม เป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ เป็นวิธีการที่ป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นแก่ผนังอาคาร โดยไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและส่งผลดีในระยะยาว

ในการวิจัยได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของเงาและพุ่มใบตัวแปรที่สำคัญของต้นไม้ยืนต้นในการควบคุมการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร สามารถแบ่งประเภทของต้นไม้ยืนต้นตามลักษณะการเกิดพลังงานความร้อนภายในได้ร่มเงา และนำไปเลือกใช้ในการลดความร้อนให้แก่ผนังอาคารที่รับรังสีจากดวงอาทิตย์ทั้ง 8 ทิศ ประเมินผลการประหยัดพลังงานในการปรับอากาศ เปรียบเทียบกับผนังอาคารที่ไม่ได้บังเงา

แนวทางการวิจัยต้นไม้แต่ละชนิด ทำโดยการวัดปริมาณการแผ่รังสีแนวตั้งภายในได้ร่มเงาด้านมะม่วง ซึ่งเสมือนเกิดที่ผนังอาคารทั้ง 8 ทิศ เปรียบเทียบกับกลางแจ้ง ทำให้ทราบถึงความสำคัญของร่มเงา และพุ่มใบที่สามารถลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการลดอุณหภูมิโซล-แอร์ ประสิทธิภาพของพุ่มใบต้นไม้จึงขึ้นอยู่กับทรงพุ่มและความหนาแน่น รวมทั้งขึ้นอยู่กับปริมาณการแผ่รังสีที่ผ่านลงมา ซึ่งมีความสัมพันธ์สำคัญกับช่วงเวลาและสัดส่วนสภาพท้องฟ้า โดยถ้าสัดส่วนสูง ต้นไม้ยืนต้นจะมีประสิทธิภาพในการสกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ได้มาก จากการวิจัยพบว่า ต้นพิกุลสามารถลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าต้นจามจุรี ณ ผิวผนังทิศตะวันออก, ทิศใต้, ทิศตะวันตก, ทิศเหนือ, ทิศตะวันออกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงใต้, ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ, และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เท่ากับ 0.8%, 0.9%, 4.7%, 0%, 0.3%, 3.5%, 0.5% และ 0.6% ตามลำดับ สำหรับในเดือนที่มีการมีการใช้พลังงานสูงสุด พบว่าต้นจามจุรี และต้นพิกุล สามารถลดภาระการปรับอากาศลงได้ 11.88% และ 13.52% และการใช้ค่าพลังงานในอาคารลดลงได้ 13.85% และ 15.63% ต่อปี โดยเปรียบเทียบกับผนังที่ไม่มีการบังเงา

ผลการวิจัยของต้นไม้ 3 ชนิด พบว่า สามารถลดปริมาณการแผ่รังสีได้ดี และสามารถลดอุณหภูมิให้แก่ผิวผนังภายนอกอาคารได้แตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะทรงพุ่มและความหนาแน่น และผลการวิจัยเปรียบเทียบต้นพิกุล สามารถสกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีกว่าต้นจามจุรี ทั้งรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีสะท้อน เนื่องจากพุ่มใบมีความหนาแน่น และลักษณะทรงพุ่มกลม โดยต้นไม้ทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถสกัดกั้นรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีในทิศที่มีการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นเวลานาน และทิศที่สกัดกั้นได้น้อย คือทิศเหนือ ซึ่งเป็นทิศที่ส่วนใหญ่ของปีเป็นรังสีกระจายและรังสีสะท้อน

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีอาคาร
ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

C 835086 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY
 KEY WORD: TREES / THE USE / ENVIRONMENTAL / ENERGY / BUILDING
 KANJANA SIRIPATRVANICH : THE USE OF TREES FOR ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT TO REDUCE
 ENERGY CONSUMPTION IN BUILDING : THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR SOONTORN
 BOONYATIKARN, Ph.D. 251 PAGE ISBN : 974-332-560-3

Usage of energy in most of buildings with purpose to minimize the temperature exist in building due to increasing heat outside wall, thus the study on minimizing heat existing within buildings by the use of trees for environmental improvement as the guidelines to reduce usage of energy protecting the sun radiation and to minimize the heat at building wall without much expenses and to take the effect in the long run.

The research conducted to study the quality of shadow and bush as significant variable for tree to control the sun radiation and the heat portion flowing into building. For which can divide into trees depending on characteristics of generation under shade and it's selected for heat minimizing for heat in wall surface absorbed the sun radiation in 8 directions evaluating on energy saving comparing which unshaded wall.

Direction of analysis in each category made by measuring the quantity of radiation on the vertical line under the mango tree shade as it happens in 8 directions of building comparing to the outdoor to perceive the shade significant and bush for which heat flowing into building can be minimized by mean of sol-air temperature reduction. Effectiveness of bush thus depend on bush feature and its density including the quantity of sun exposure along with the time and portion of clear sky condition. And as the high ratio, trees shall be more effective in protecting sun radiation. And the research has discovered that pikul tree is more effective in heat minimizing flowing into building better than jamjuree tree at the wall surface in the east, the south, the west, the north, the southeast. The southwest, the northwest and the northeast equivalent to 0.8% 0.9% 4.7% 0% 0.3% 3.5% 0.5% and 0.6%. Respectively, as for the peak month on energy usage, It's discovered that jamjuree tree and pikul tree are able to minimizing air-conditioning for 11.88% and 13.52% and the building expense can be decreased by 13.85% and 13.63% per year by comparing with unshade wall .

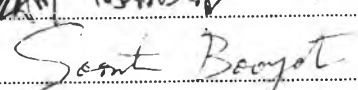
The result of tree research in 3 category of trees has the discovered that the quantity of the sun radiation is effectively reduced such as unshade wall surface depending on the features of bush and it's density and comparative analysis result has discovered that pikul tree is better than jamjuree tree in term of the sun radiation protection. Due to it's density and round features and the two categories of tree capable of protecting the sun radius in its radiating and direction for a long time. And less defensive part is in the north for which is the most part per year and scattering and reflexive radiation.

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีอาคาร.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิติ..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากความกรุณาและความมีน้ำใจจากหลาย ๆ ท่าน

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ และขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างมากให้ผ่านอุปสรรคโดยตลอด

ขอขอบคุณ รศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ ที่ช่วยให้เข้าใจแนวทางในทางความคิดต่าง ๆ ให้กว้างขึ้น ขอขอบคุณ อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน คุณคมกฤษ ชูเกียรติมั่น และอาจารย์ พิรัช เหล่าไพศาลศักดิ์ ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาหลาย ๆ อย่าง

ขอขอบคุณในความช่วยเหลือและการสละเวลาของ คุณโชติภัทร เกียรติกุล บริษัท QUARK 301 ในด้านการทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขอบคุณ คุณอภิวัฒน์ ลีละชาต บริษัท สถาปนิก 110 ที่ช่วยเหลือและให้คำปรึกษา
ขอบคุณเพื่อน ๆ ในรุ่นปี 38 คือ คุณโชติวิทย์ พงษ์เสริมผล คุณรัชต ชมภูนิช อาจารย์กนกวรรณ อูสันโน อาจารย์กรง กุลชาติ ที่ให้กำลังใจ และช่วยเหลือมาตลอด (และให้เปลี่ยนใจมาเรียนต่อ)

ขอบคุณพี่เจี๊ยบ พี่นุช พี่แสบเปิ้ล พี่โหนก คุณปจิตพงษ์ สำหรับคำปรึกษาต่างๆ

ขอบคุณคุณพร ร้าน J.PRINT ที่ช่วยให้งานเสร็จลุล่วงด้วยดี

ขอบคุณน้องหนึ่งสำหรับการมีน้ำใจที่ช่วยให้งาน Presentation ผ่านด้วยดี

และขอขอบคุณประสบการณ์ต่าง ๆ ที่ผ่านมามา ที่ช่วยให้มีความอดทนในทุก ๆ ด้าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	๗
สารบัญตารางประกอบ	ญ
สารบัญรูปประกอบ.....	ฐ
สารบัญแผนภูมิประกอบ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 การศึกษาแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 สิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสภาพอากาศ.....	9
2.2 รูปแบบและประเภทพืชพรรณต่าง ๆ	16
2.3 การนำต้นไม้มาใช้เพื่อการปรับแต่งสภาพแวดล้อม	22
บทที่ 3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการแผ่รังสีและการใช้พลังงานในอาคาร	26
3.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์.....	26
3.2 ทฤษฎีแสงธรรมชาติเกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี.....	34
3.3 สภาวะห้องฟ้า	39
3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานการแผ่รังสีและแสงธรรมชาติ.....	41
3.5 การหาค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่ส่งผลให้มีการ ใช้พลังงานในอาคาร	42
บทที่ 4 เครื่องมือตัวอย่างต้นไม้ยืนต้นและขั้นตอนการเก็บข้อมูล	45
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	45
4.2 ต้นไม้ที่ใช้ในการวิจัย	48
4.3 การเก็บข้อมูลในการเก็บข้อมูลในการวิจัย.....	59
บทที่ 5 การศึกษาตัวแปรของต้นไม้ยืนต้นที่ส่งผลต่อการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร ..	61
5.1 ตัวแปรของต้นไม้ยืนต้นที่สำคัญ	61

	5.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการแผ่รังสีภายนอกกับภายในได้ร่รเงาพู่รไบ	64
บทที่ 6	การศึกษาและแบ่งประเภทต้นไม้ยืนต้นตามลักษณะการเกิดปริมาณความร้อนภายในได้ร่รเงา.....	66
	6.1 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการกรอรงสีโดยพู่รไบแบบต่าง ๆ.....	66
	6.2 การศึกษาในการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านพู่รไบ.....	69
บทที่ 7	การวิเคราะห์และประเมินผลการลดความร้อนให้แก่ผนังอาคาร.....	148
	7.1 การหาความสัมพันธ์สำหรับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บริเวณได้ร่รเงาต้นไม้.....	148
	7.2 การประเมินผล การลดความร้อนให้แก่ผนังอาคาร.....	167
บทที่ 8	การคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผิวผนังและปริมาณพลังงานที่ใช้ในการทำควมเย็น.....	185
บทที่ 9	บทสรุปรและข้อเสนอแนะ.....	198
	9.1 บทสรุป.....	198
	9.2 ข้อเสนอแนะ.....	200
รายการอ้างอิง	201
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก.	ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์, Surface Solar Azimuth ของผิวผนังที่หันในทิศทาง 8 ทิศ ณ วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่าง ๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ	
ภาคผนวก ข.	ตารางแสดง Total Horizontal Solar Radiation on clearday ณ วันที่ 21 ของทุกเดือน เวลาต่าง ๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ	
ภาคผนวก ค.	ตารางการหาปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์แนวตั้งทั้ง 8 ทิศ ในสภาพท้องฟ้า clearsky	
ภาคผนวก ง.	ตารางแสดงข้อมูลและผลการวิเคราะห์จากการวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ วันเก็บข้อมูลของต้นจามจุรี	
ภาคผนวก จ.	ตารางแสดงข้อมูลและผลการวิเคราะห์จากการวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ วันเก็บข้อมูลของต้นพิกุล	
ประวัติผู้เขียน	251

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	แสดงขนาดโดยประมาณของต้นไม้ชนิดต่าง ๆ	21
ตารางที่ 3.1	Extraterrestrial Solar Irradiance and Related Data	29
ตารางที่ 3.2	Factor ของพื้นผิวในระนาบต่าง ๆ	31
ตารางที่ 3.3	Albedo (Reflected ratio) ของวัสดุต่าง ๆ	31
ตารางที่ 3.4	Surface Orientations and Azimuths Measured from South	33
ตารางที่ 5.1	แสดงข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีในแนวตั้งภายใต้ร่มเงาในต้นมะม่วงและ ภายนอก ณ ช่วงเวลาต่างๆ ทางทิศตะวันออก	62
ตารางที่ 6.1	แสดงข้อมูลปริมาณการส่องสว่างภายใต้ร่มเงาของต้นไม้แต่ละชนิดและ การส่องสว่างภายนอก (2/2/99)	67
ตารางที่ 6.2	แสดงค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในช่วงเวลา 8.30 - 17.30 น.	71
ตารางที่ 6.3	แสดงค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ทางทิศตะวันออก	72
ตารางที่ 6.4	การหา Ground Reflectance ในการวิจัย โดยการวิเคราะห์สภาพแวดล้อม ในบริเวณพื้นที่ที่ทำการเก็บข้อมูล	79
ตารางที่ 6.5	การหาค่ารังสีดวงอาทิตย์แบบสะท้อนที่ลดลงเมื่อ $O_g = 0.2$ ณ พื้นผิว แนวตั้งทางทิศตะวันออก ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวันเก็บข้อมูล 16,17/3/99	80
ตารางที่ 6.6	แสดงค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ พื้นผิวแนวตั้งทิศตะวันออกที่มี การปรับค่า Ground Reflectance แล้ว	81
ตารางที่ 6.7	การหา Ground Albedo ในการวิจัย โดยการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมใน บริเวณพื้นที่ที่ทำการเก็บข้อมูล	87
ตารางที่ 6.8	การหาค่ารังสีดวงอาทิตย์แบบสะท้อนที่ลดลงเมื่อ $O_g = 0.2$ ณ พื้นผิว แนวตั้งทางทิศตะวันออก ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวันเก็บข้อมูล 13/4/99	88
ตารางที่ 6.9	แสดงค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ณ พื้นผิวแนวตั้งทิศตะวันออกที่มีการปรับ ค่า Ground Reflectance แล้ว	89
ตารางที่ 6.10	แสดงการหาปริมาณการแผ่รังสีในแนวระนาบนอนทั้งหมด ณ วันที่ 16, 17/3/99	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 6.11	แสดงการหาปริมาณรังสีในแนวระนาบนอนทั้งหมด ณ วันที่ 13/4/99	92
ตารางที่ 6.12	แสดงการหา Ratio สภาพท้องฟ้าในวันเก็บข้อมูล ดันจามจรี 16,17/3/99	93
ตารางที่ 6.13	RATIO OF SKY CONDITION ON 13/4/99 (ตันพิบูล)	96
ตารางที่ 6.14	แสดงการหาปริมาณการแผ่รังสีในแนวตั้งทั้งหมดบนพื้นผิวทางทิศตะวันออก ณ วันที่ 16, 17/3/99	98
ตารางที่ 6.15	แสดงการหาปริมาณการแผ่รังสีในแนวตั้งทั้งหมดบนพื้นผิวทางทิศตะวันออก ณ วันที่ 13/4/99	99
ตารางที่ 6.16	ตารางเปรียบเทียบปริมาณ I th vertical Clearsky, I th vertical Outdoor และ Inshade ในสภาพท้องฟ้าของวันเก็บข้อมูลของดันจามจรี	100
ตารางที่ 6.17	ตารางเปรียบเทียบปริมาณ I th vertical Clearsky, I th vertical Outdoor และ Inshade ในสภาพท้องฟ้าของวันเก็บข้อมูลของดันจามจรี	101
ตารางที่ 6.18	ตารางเปรียบเทียบปริมาณ I th vertical Clearsky, I th vertical Outdoor และ Inshade ในสภาพท้องฟ้าของวันเก็บข้อมูลของดันจามจรี	102
ตารางที่ 6.19	ตารางเปรียบเทียบปริมาณ I th vertical Clearsky, I th vertical Outdoor และ Inshade ในสภาพท้องฟ้าของวันเก็บข้อมูลของดันจามจรี	103
ตารางที่ 7.1	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันออกของดันจามจรี	149
ตารางที่ 7.2	แสดงผล Regression ทางทิศใต้ของดันจามจรี	150
ตารางที่ 7.3	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันตกของดันจามจรี	151
ตารางที่ 7.4	แสดงผล Regression ทางทิศเหนือของดันจามจรี	152
ตารางที่ 7.5	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของดันจามจรี	153
ตารางที่ 7.6	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของดันจามจรี	154
ตารางที่ 7.7	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของดันจามจรี	155
ตารางที่ 7.8	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของดันจามจรี	156
ตารางที่ 7.9	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันออกของตันพิบูล	158
ตารางที่ 7.10	แสดงผล Regression ทางทิศใต้ของตันพิบูล	159
ตารางที่ 7.11	แสดงผล Regression ทางทิศตะวันตกของตันพิบูล	160

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 7.12 แสดงผล Regression ทางทิศเหนือของต้นพิกุล	161
ตารางที่ 7.13 แสดงผล Regression ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของต้นพิกุล	162
ตารางที่ 7.14 แสดงผล Regression ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของต้นพิกุล	163
ตารางที่ 7.15 แสดงผล Regression ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของต้นพิกุล	164
ตารางที่ 7.16 แสดงผล Regression ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของต้นพิกุล	165

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	Technology Integration	10
รูปที่ 2.2	Vegetation and Temperature Control	13
รูปที่ 2.3	Solar Radiation Control	14
รูปที่ 2.4	Heat Exchange Environment	15
รูปที่ 2.5	Plants Control Solar Radiation	16
รูปที่ 2.6	รูปแบบทรงพุ่ม (Form) ลักษณะต่าง ๆ	20
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างการใช้ต้นไม้เพื่อสร้างสภาพแวดล้อม	23
รูปที่ 2.8	แสดงรังสีตกกระทบบนใบไม้	24
รูปที่ 2.9	แสดงตัวอย่างการเกิดอุณหภูมิในบริเวณใต้พุ่มใบในเวลากลางวันและกลางคืน	25
รูปที่ 3.1	แสดงการโคจรและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์	28
รูปที่ 3.2	Comparison of Direct and Diffuse Solar Spectra for Low Solar Altitude Angle	30
รูปที่ 3.3	Solar Angle for Vertical and Horizontal Surfaces	33
รูปที่ 3.4	Motion of Earth Around Sun	35
รูปที่ 3.5	รูปแสดงการดูดกลืนแสงเมื่อตกกระทบบนตัวกลาง	36
รูปที่ 3.6	แสดง Specular reflection	37
รูปที่ 3.7	แสดง (a) perfect diffuse reflection & (b) semi diffuse reflection	37
รูปที่ 3.8	แสดง combined specular & diffuse reflection	38
รูปที่ 3.9	แสดงแสงตกกระทบบนตัวกลางเกิดการหักเหและทะลุผ่าน	39
รูปที่ 3.10	รูปแสดงแสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย	39
รูปที่ 3.11	ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าสภาวะ Clear Sky	40
รูปที่ 3.12	ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าสภาวะ Partly Cloudy Sky	41
รูปที่ 3.13	ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าสภาวะ Overcast Sky	42
รูปที่ 4.1	Incident Solar Energy Meter	45
รูปที่ 4.2	แสดง Cell รับแสงและการปรับระดับในแนวตั้ง	46
รูปที่ 4.3	แสดงการวัดการแผ่รังสีในแนวตั้ง	46

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.4	แสดงการวัดการส่องสว่างในแนวระนาบนอนของ Lux Meter	47
รูปที่ 4.5	แผ่นจำลองทิศทางในการวัดการแผ่รังสีแนวตั้ง	48
รูปที่ 4.6	ทรงพุ่มของต้นมะม่วง	49
รูปที่ 4.7	ความหนาแน่นของพุ่มใบของต้นมะม่วง	50
รูปที่ 4.8	ทรงพุ่มของต้นจามจุรี	51
รูปที่ 4.9	ความหนาแน่นของพุ่มใบของต้นจามจุรี	51
รูปที่ 4.10	ทรงพุ่มของต้นจำปี	52
รูปที่ 4.11	ความหนาแน่นของพุ่มใบของต้นจำปี	52
รูปที่ 4.12	ทรงพุ่มของต้นมะม่วง	53
รูปที่ 4.13	ความหนาแน่นของพุ่มใบของต้นมะม่วง	53
รูปที่ 4.14	ต้นจามจุรีที่ใช้ในการวิจัย	54
รูปที่ 4.15	แสดง Dimension ของต้นจามจุรีที่ใช้ในการวิจัย	55
รูปที่ 4.16	แสดงลักษณะของพุ่มใบของต้นจามจุรี และการกรอกรังสีที่เกิดขึ้นในวันที่ทำการเก็บข้อมูล	55
รูปที่ 4.17	แสดง LAY – OUT โดยรอบต้นจามจุรี	56
รูปที่ 4.18	ต้นพิทูลที่ใช้ในการวิจัย	57
รูปที่ 4.19	แสดง Dimension ของต้นพิทูลที่ใช้ในการวิจัย	57
รูปที่ 4.20	แสดงลักษณะของพุ่มใบของต้นพิทูล และการกรอกรังสีที่เกิดขึ้นในวันที่ทำการเก็บข้อมูล	58
รูปที่ 4.21	แสดง LAY – OUT ของต้นพิทูล	58
รูปที่ 4.22	แสดงตำแหน่งการวัดข้อมูลภายใต้ร่มเงาต้นไม้ยืนต้น	60
รูปที่ 5.1	แสดง Sol-air temperature ที่เกิดบนผนังอาคารระหว่างกลางแจ้งกับร่มเงาของต้นมะม่วง	65
รูปที่ 6.1	แสดงการวัดค่าการสะท้อนของแสงที่ส่งผลต่อค่า I reflected	73
รูปที่ 6.2	บริเวณทิศตะวันออกของต้นจามจุรี	74
รูปที่ 6.3	บริเวณทิศใต้ของต้นจามจุรี	74

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 6.4	บริเวณทิศตะวันตกของต้นจามจุรี	75
รูปที่ 6.5	บริเวณทิศเหนือของต้นจามจุรี	75
รูปที่ 6.6	แสดง Lay-out โดยรอบต้นจามจุรี	76
รูปที่ 6.7	แสดง Section ในทิศต่าง ๆ เพื่อแสดงมุมมองสะท้อนของ I reflected จาก Surrounding ต้นจามจุรี	77
รูปที่ 6.8	แสดง Section ในทิศต่าง ๆ เพื่อแสดงมุมมองสะท้อนของ I reflected จาก Surrounding ต้นจามจุรี	78
รูปที่ 6.9	บริเวณทิศตะวันออกของต้นพิกุล	82
รูปที่ 6.10	บริเวณทิศใต้ของต้นพิกุล	82
รูปที่ 6.11	บริเวณทิศตะวันตกของต้นพิกุล	83
รูปที่ 6.12	บริเวณทิศเหนือของต้นพิกุล	83
รูปที่ 6.13	แสดง Lay-out โดยรอบต้นพิกุล	84
รูปที่ 6.14	แสดง Section ในทิศต่าง ๆ เพื่อแสดงมุมมองสะท้อนของ I reflected จาก Surrounding ต้นพิกุล	85
รูปที่ 6.15	แสดง Section ในทิศต่าง ๆ เพื่อแสดงมุมมองสะท้อนของ I reflected จาก Surrounding ต้นพิกุล	86

สารบัญแผนภูมิ

	หน้า	
กราฟที่ 5.1	แสดงปริมาณเปรียบเทียบการแผ่รังสีภายใต้ร่มเงาดันมะม่วงและ ภายนอกบนผนังแนวตั้งทางทิศตะวันออก (11/3/99)	63
กราฟที่ 6.1	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างที่บริเวณใต้ร่มเงาของ ต้นไม้ 3 ชนิด และกลางแจ้ง (2/2/99)	68
กราฟที่ 6.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการแผ่รังสีแนวนอนในสภาพ Clearsky และวันเก็บข้อมูล 16/3/99 (ต้นจามจุรี)	94
กราฟที่ 6.3	กราฟแสดงสภาวะท้องฟ้า Ratio Test Day/Clearday 16/3/99 (ต้นจามจุรี)	94
กราฟที่ 6.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการแผ่รังสีแนวนอนในสภาพ Clearsky และวันเก็บข้อมูล 17/3/99 (ต้นจามจุรี)	95
กราฟที่ 6.5	กราฟแสดงสภาวะท้องฟ้า Ratio Test Day/Clearday 17/3/99	95
กราฟที่ 6.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการแผ่รังสีแนวระนาบในสภาพ Clearsky และวันเก็บข้อมูล 13/4/99 (ต้นพิทูล)	97
กราฟที่ 6.7	กราฟแสดงสภาวะท้องฟ้า Ratio Test Day/Clearday 13/4/99 (ต้นพิทูล)	97
กราฟที่ 6.8	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก 16/3/99 (ต้นจามจุรี)	104
กราฟที่ 6.9	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก 17/3/99 (ต้นจามจุรี)	105
กราฟที่ 6.10	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศใต้ 16/3/99 (ต้นจามจุรี)	107
กราฟที่ 6.11	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศใต้ 17/3/99 (ต้นจามจุรี)	108
กราฟที่ 6.12	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก 16/3/99 (ต้นจามจุรี)	110
กราฟที่ 6.13	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก 17/3/99 (ต้นจามจุรี)	111
กราฟที่ 6.14	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศเหนือ 16/3/99 (ต้นจามจุรี)	113

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

		หน้า
กราฟที่ 6.15	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศเหนือ 17/3/99 (ต้นจามจรี)	114
กราฟที่ 6.16	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก เชียงใต้ 16/3/99 (ต้นจามจรี)	116
กราฟที่ 6.17	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก เชียงใต้ 17/3/99 (ต้นจามจรี)	117
กราฟที่ 6.18	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก เชียงใต้ 16/3/99 (ต้นจามจรี)	119
กราฟที่ 6.19	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก เชียงใต้ 17/3/99 (ต้นจามจรี)	120
กราฟที่ 6.20	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก เชียงเหนือ 16/3/99 (ต้นจามจรี)	122
กราฟที่ 6.21	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก เชียงเหนือ 17/3/99 (ต้นจามจรี)	123
กราฟที่ 6.22	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก เชียงเหนือ 16/3/99 (ต้นจามจรี)	125
กราฟที่ 6.23	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก เชียงเหนือ 17/3/99 (ต้นจามจรี)	126
กราฟที่ 6.24	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก 13/4/99 (ต้นพิกุล)	132
กราฟที่ 6.25	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศใต้ 13/4/99 (ต้นพิกุล)	134
กราฟที่ 6.26	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก 13/4/99 (ต้นพิกุล)	136
กราฟที่ 6.27	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศเหนือ 13/4/99 (ต้นพิกุล)	138
กราฟที่ 6.28	แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก เชียงใต้ 13/4/99 (ต้นพิกุล)	140

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
กราฟที่ 6.29 แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก เจียงใต้ 13/4/99 (ต้นพิกุล)	142
กราฟที่ 6.30 แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันตก เจียงเหนือ 13/4/99 (ต้นพิกุล)	144
กราฟที่ 6.31 แสดงปริมาณ SOLAR RADIATION บนพื้นผิวแนวตั้งทางทิศตะวันออก เจียงเหนือ 13/4/99 (ต้นพิกุล)	146
กราฟที่ 7.1 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันออกของต้นจามจรี	149
กราฟที่ 7.2 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศใต้ของต้นจามจรี	150
กราฟที่ 7.3 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันตกของต้นจามจรี	151
กราฟที่ 7.4 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศเหนือของต้นจามจรี	152
กราฟที่ 7.5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันออกเจียงใต้ของต้นจามจรี	153
กราฟที่ 7.6 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันตกเจียงใต้ของต้นจามจรี	154
กราฟที่ 7.7 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันตกเจียงเหนือของ ต้นจามจรี	155
กราฟที่ 7.8 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันออกเจียงเหนือของ ต้นจามจรี	156
กราฟที่ 7.9 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันออกของต้นพิกุล	158
กราฟที่ 7.10 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศใต้ของต้นพิกุล	159

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

		หน้า
กราฟที่ 7.11	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันตกของต้นพิกุล	160
กราฟที่ 7.12	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศเหนือของต้นพิกุล	161
กราฟที่ 7.13	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันออกเฉียงใต้ของต้นพิกุล	162
กราฟที่ 7.14	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันตกเฉียงใต้ของต้นพิกุล	163
กราฟที่ 7.15	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันตกเฉียงเหนือของต้นพิกุล	164
กราฟที่ 7.16	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ I inshade (Y) กับ Surface Solar Azimuth จากข้อมูลจริงและการคาดการณ์บนผนังทิศตะวันออกเฉียงเหนือของต้นพิกุล	165
กราฟที่ 7.17	แสดงค่าพลังงานสูงสุดของอาคาร (จามจรี)	189
กราฟที่ 7.18	แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร (จามจรี)	190
กราฟที่ 7.19	แสดงค่าพลังงานสูงสุดของอาคาร (พิกุล)	192
กราฟที่ 7.20	แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร (พิกุล)	193
กราฟที่ 7.21	แสดงค่าพลังงานสูงสุดของอาคาร (กลางแจ้ง)	195
กราฟที่ 7.22	แสดงค่าไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร (กลางแจ้ง)	196