

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณแสงธรรมชาติ
โดยใช้ข้อมูลสภาพท้องฟ้าในภูมิภาคแบบร้อนชื้น

นายกมล เกียรติเรืองกมล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-361-9

ลิขสิทธิ์ของ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**COMPUTER PROGRAM FOR DAYLIGHT PREDICTION
USING TROPICAL SKY DATA**

Mr. Kamol Keatruangkamala

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

Department of Architecture

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-361-9

: MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD: DAYLIGHT / DAYLIGHTING CALCULATION / DAYLIGHTING COMPUTER PROGRAM

KAMOL KEATRUANGKAMALA : COMPUTER PROGRAM FOR DAYLIGHT PREDICTION USING TROPICAL SKY CONDITION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D.

THESIS CO-ADVISOR : PROF. PIRAST LAOPAISALSAK, 282 pp. ISBN 974-332-361-9.

In the past, the levels of the illumination from daylight is predicted from experiment using the physical model. Since procedure is complicated. It waste time and money. Therefore, this research has proposed to determine a technique to predict levels of daylight in building. A user-friendly computer program has been developed to serve this purpose. The output of this program presents the illumination on horizontal plane at any required points. It's moreover , basically analyzed the proper level of artificial light required and calculates extra cost from using the artificial light to offset the insufficient daylight.

The studying process started from identifying advantages and disadvantages of each technique of daylight prediction in buildings. As a result, two appropriate techniques has been selected. These provide the most accurate result as well as the simplicity of use selected. The first one is base on The Lumen Method. This approach is considered to be very simple to predict the illumination. However, it is quite weak to predict the illumination from complex building which include the top lighting. The second is The Sky Factor Method. It can accurately predict the illumination from side lighting but it requires relatively complicated input and calculating procedure. Consequently, in order to satisfy the requirement of general use from various sources of daylight to use for complex building, the technique used in this research employs both calculation.

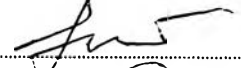
To verify the accuracy of the computer simulation. A physical model was built and illumination levels inside a model was measured and compare which the value predicted from the computer simulation. The result from the computer simulation correlate very well with the physical model. This prove to be accuracy and demonstrate the applicability of the computer simulation.

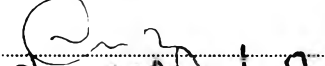
In conclusion many shapes and forms of room character were studied in order to prove the applicability of the proposed technique. It realized at the end of this study. The method used in this research is very powerful tool for general used. However, the light source from the sky is a crucial factor and careful investigation for the accurate result.


ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาคาร.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณา ความอนุเคราะห์ จากบุคคล และสถาบันต่าง ๆ ดังนี้

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณพระคุณในกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์พิริศ เหล่าไพศาลศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงตำราทางวิชาการที่มีประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยประสานงานให้งานวิจัยสามารถดำเนินงานได้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณเกษม สิริรัตน์ชูวงศ์ ที่ได้สละเวลาในการให้คำแนะนำ และ คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จนกระทั่งงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบคุณในความช่วยเหลือ ของพีโชติ คุณกนกวรรณ ชัยชาติ คุณศักดิ์ สกุลไทย และ คุณรุ่งโรจน์ สถาบันวิจัยจุฬาฯ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ เครื่องคอมพิวเตอร์ในการทำงาน

ขอขอบคุณอย่างยิ่ง สำหรับ อาจารย์พรพนชลัท สุริโยธิน อาจารย์ประจำ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ ที่ช่วยประสานงานในการดำเนินงานวิจัยนี้ รวมถึงคุณกนกวรรณ อุสันโน คุณคมกฤช ชูเกียรติมัน คุณสุภัทร สารญเลิศ ที่กรุณาให้ข้าพเจ้าใช้ข้อมูลวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัยนี้ และ พี่จันทร์รุ่ง พิสิทธิพงษ์ พี่สุภาวดี คุณศุภกกิจ คุณอวิรุทธ์ คุณพรรณจิรา เพื่อนๆ ที่ได้ร่วมทุกข์ร่วมสุข ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาอยู่ ณ สถาบันแห่งนี้

ขอขอบคุณในคำแนะนำ ที่เป็นประโยชน์ ต่อข้าพเจ้า สำหรับ คุณสุขชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ คุณกรกช บูรพาชนะ ที่เป็นกำลังใจ และเป็นห่วงเป็นใยข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณกรมล เหลืองอรุณเลิศ ที่ช่วยเหลือข้าพเจ้า เป็นอย่างดีเสมอมา และช่วยแปลและเรียบเรียงบทคัดย่อในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณในน้ำใจ และความช่วยเหลือของ คุณพนิดา เล้าชาญวุฒิ คุณณิษกานต์ บุญเกิด คุณนุจรี ไพรวลัย ที่คอยเป็นห่วง เป็นกำลังใจ และเป็นที่ปรึกษาให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยนี้ได้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณในกำลังใจจาก แมว น้องเดียร์ น้องจ๊อบ น้องก้อย น้องเอ และ น้องฝน

ขอขอบคุณครอบครัว เกียรติเรืองกมลลา โดยเฉพาะคุณพ่อ คุณแม่ คุณอากาศพร และคุณแจลิมชัย เกียรติเรืองกมลลา ที่ให้โอกาสข้าพเจ้า จนสามารถสำเร็จการศึกษาลงได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตารางประกอบ	ฅ
สารบัญรูปภาพประกอบ	ญ
สารบัญแผนภูมิประกอบ	ท
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 ปัญหาของงานวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	3
4.1 การศึกษาทฤษฎี และวิธีการนำเสนอธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร	
4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	
4.3 กำหนดรายละเอียด รูปแบบของโปรแกรม และพัฒนาโปรแกรม	
4.4 การประเมินผลของโปรแกรม และแก้ไขปรับปรุงการคำนวณของโปรแกรม	
4.5 สรุปผลการพัฒนาโปรแกรม และข้อเสนอแนะในงานวิจัย	
1.5 ขอบเขตการศึกษา	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎี และแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง	7
2.2 พฤติกรรมของแสง	8
2.3 คุณสมบัติของแสง	13
2.4 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง	16
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ	17
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์	19
2.7 การแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์	24
2.8 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า	26
2.9 สภาพท้องฟ้า	33
2.10 ทฤษฎีการให้แสงสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ	36
2.10.1 วิธี Lumen Input Method	37
2.10.2 วิธี Daylight Factor Method	42
2.11 แสงธรรมชาติในสภาพภูมิอากาศเขตร้อน	44

บทที่ 3 เครื่องมือและหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย	
3.1 เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณแสงสว่าง	46
3.2 หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย	48
บทที่ 4 แนวความคิดในการพัฒนาโปรแกรม	
4.1 แนวความคิดในการพัฒนาโปรแกรม	54
4.2 แนวทางและวิธีการคำนวณ	57
4.2.1 การคำนวณหาความสว่างภายนอก	57
4.2.2 การหาองค์ประกอบในการคำนวณ	64
4.2.3 การคำนวณหาความสว่างภายใน	77
4.3 แนวความคิดและรูปแบบการป้อนข้อมูลของโปรแกรม	93
4.4 แนวความคิดและรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม	97
บทที่ 5 หลักและวิธีการในการพัฒนาโปรแกรม	
5.1 หลักการในการคำนวณของโปรแกรม	103
5.2 โครงสร้างของโปรแกรม	108
5.3 การวิเคราะห์ การทำงานของโปรแกรม	114
5.4 การวิเคราะห์การนำเสนอผลการคำนวณของโปรแกรม	134
บทที่ 6 โปรแกรมและการแสดงผลของโปรแกรม	
6.1 การใช้งานโปรแกรม	150
6.2 การป้อนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	154
6.3 การทำงานของโปรแกรม	162
6.4 การแสดงผลของโปรแกรม	169
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
บทสรุป	181
ข้อเสนอแนะ	182
ตารางสมการ	184
บรรณานุกรม	192
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในรอบปี ณ เวลาต่าง ๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ(กรุงเทพมหานคร)	195
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่าความสว่างท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากเส้นรุ้ง (Latitude) ของตำแหน่งที่ตั้ง และ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างและปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์.....	196
ภาคผนวก ค. หน่วยความส่องสว่าง	199
ภาคผนวก ง. รายละเอียดข้อมูลของภาษาคอมพิวเตอร์ ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม (Source Code and Algorithm)	201
ประวัติผู้เขียน	282

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่าความส่องสว่าง ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตรฐาน CIE	14
2.2	แสดงที่ตั้งของจังหวัดต่างๆ ที่สำคัญ ในประเทศไทย ในแต่ละภูมิภาค ตามแนวละติจูด และลองจิจูด	20
2.3	แสดงที่ตั้งของเส้นแบ่งเวลาที่สำคัญของโลก	21
2.4	ค่าคงที่ของความส่องสว่างท้องฟ้า (Sky Zenith Illuminance) ที่เซนิท สำหรับท้องฟ้าในลักษณะเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky)	27
2.5	แสดงค่าเคยไลท์แฟกเตอร์ ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ	43
4.1	ค่าความสว่างดวงอาทิตย์	58
4.2	สัมประสิทธิ์สมการถดถอย ของ bo,b1,b2,b3 สำหรับวันที่ 21 ธันวาคม	60
4.3	สัมประสิทธิ์สมการถดถอย ของ bo,b1,b2,b3 สำหรับวันที่ 21 มิถุนายน	60
4.4	สัมประสิทธิ์ตัวประกอบ c จากสมการถดถอย	61
4.5	สัมประสิทธิ์ตัวประกอบ a จากสมการถดถอย	61
4.6	สัมประสิทธิ์ตัวประกอบ a จากสมการถดถอย	62
4.7	สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิว ภายนอกอาคาร	64
4.8	แสดงสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงผ่านวัสดุ ที่เป็นช่องเปิด	67
4.9	ค่าความสกปรกและฝุ่นผงของช่องเปิดบนระนาบที่มีความลาดชัน	71
4.10	ตารางแสดงค่ามุมองศาต่ำสุดที่ต้องการในการป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์	72
4.11	ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงธรรมชาติ ที่มีค่าการสะท้อน แสงของอุปกรณ์บังแดดที่ 10, 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ	73
4.12	ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงธรรมชาติ ที่มีค่าการสะท้อน แสงของอุปกรณ์บังแดดที่ 90 เปอร์เซ็นต์ (ต่อ)	74
4.13	แสดงค่าตัวประกอบ C ที่ใช้ในการคำนวณ	87
5.1	ตารางแสดงผลการทดสอบค่าความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิดด้วยหุ่นจำลอง	135
5.2	ตารางแสดงผลการทดสอบ ค่าความสว่างสะท้อนกระจาย ด้วยหุ่นจำลอง	138
5.3	ผลการคำนวณค่าความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	142
5.4	ผลการคำนวณค่าความสว่างสะท้อนกระจาย ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	143

สารบัญรูปภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ	7
2.2	สเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น เกิดการหักเหไม่เท่ากัน ของความยาวคลื่นที่แสงที่แตกต่างกัน	8
2.3	พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ	9
2.4	การดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบบัวกลาง	9
2.5	การสะท้อนแสงกลับแบบกระจเง (Specula Reflection)	10
2.6	การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection)	10
2.7	การสะท้อนของแสงแบบผสม (Combined Specula and Diffuse Reflection)	11
2.8	แสงตกกระทบบัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน	12
2.9	แสงทะลุผ่านบัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย	12
2.10	ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous Flux)	13
2.11	ความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง	14
2.12	แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ที่ระยะต่างๆ จากแหล่งกำเนิดแสง	15
2.13	ความเปรียบต่าง (contrast) ความส่องสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียงในการมองเห็น	17
2.14	สเปกตรัมที่มาจากรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีความยาวคลื่นต่างกันสามลักษณะ	18
2.15	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุมอัลติจูด (a , altitude) และมุมอะซิมูท (a_z , azimuth)	19
2.16	ค่าของมุมต่างๆ ที่ใช้ในสมการ	28
2.17	ค่าความส่องสว่างรังสีตรงดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูด และ อัลซิมูทของดวงอาทิตย์	30
2.18	ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งในแต่ละมุมอัลติจูดและอัลซิมูทของดวงอาทิตย์ สำหรับความสว่างเต็มท้องฟ้า	31
2.19	ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอนในแต่ละมุมอัลติจูดและอัลซิมูทของดวงอาทิตย์ สำหรับความสว่างครึ่งท้องฟ้า	32
2.20	รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)	33
2.21	รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) และมุมแบริง (Bearing angle)	34
2.22	รูปแสดงท้องฟ้าเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky)	36
2.23	ความส่องสว่างที่ระยะความลึกต่างๆ ของท้อง ด้วยวิธีการคำนวณแบบลูเมน	38
2.24	เดย์ไลท์แฟกเตอร์ เมื่อ a) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (sky component ,SC), b) การสะท้อนแสงภายนอก (Exterior reflective component ,ERC), c) การสะท้อนแสงภายใน (Interior reflective component ,IRC)	43
3.1	เครื่องมือที่ใช้วัดความสว่าง (Quantum / Radiometer / Photometer)	46

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	การติดตั้งควอนตัมมิเตอร์ พร้อมตัววัดแสง (Sensor) ภายในหุ่นจำลอง	47
3.3	ขนาดของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย	50
3.4	หุ่นจำลองเพื่อทดสอบปริมาณความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในเท่ากับ 0.06	51
3.5	หุ่นจำลองเพื่อทดสอบปริมาณความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในเท่ากับ 0.92	51
3.6	แท่นติดตั้งอุปกรณ์รับแสง (Sensor) ในระดับทำงาน และก้านจับ สำหรับเลื่อนตำแหน่ง	52
3.7	สภาพภายในห้องท้องฟ้าจำลอง (Sky dome)	52
4.1	เปรียบเทียบค่าการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในแต่ละประเภท เมื่อเทียบกับแสงธรรมชาติ	54
4.2	การศึกษาปริมาณแสงธรรมชาติภายในด้วยหุ่นจำลอง	55
4.3	กราฟแสดงความส่องสว่างแสงธรรมชาติในระนาบนอน และระนาบตั้ง (ลักร์) ของ รังสีรวม และรังสีกระจายของดวงอาทิตย์ ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง	63
4.4	แสงกระจายในระนาบนอนที่ประกอบด้วย A) รังสีกระจายในระนาบตั้งจากท้องฟ้า B) รังสีกระจายในระนาบนอนที่สะท้อนจากพื้นดิน ก่อนเข้าสู่ช่องเปิด	65
4.5	ปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร ของรังสีตรงและรังสีกระจาย	65
4.6	สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของกระจก ที่แตกต่างกัน	68
4.7	กรอบช่องเปิดอาคารมาตรฐาน ที่แตกต่างกันในแต่ละรูปแบบและค่าสัมประสิทธิ์ พื้นที่สุทธิของช่องเปิด	69
4.8	อุปกรณ์ควบคุมปริมาณรังสีตรงดวงอาทิตย์ (มู่ลี่)	72
4.9	มุมการบังแดดของมู่ลี่	75
4.10	ทิศทางของแสงอาทิตย์ รูปแบบต่างๆ ที่มาสู่ตำแหน่งที่ต้องการ	77
4.11	การอธิบายพื้นฐานของตัวแปร	79
4.12	ความสว่างบนระนาบนอน ณ ตำแหน่งที่ต้องการ จากการ dx dy บนพื้นที่ช่องเปิด สี่เหลี่ยมในระนาบตั้ง	82
4.13	ความสว่างบนระนาบนอน ณ ตำแหน่งที่ต้องการ จากช่องเปิดสี่เหลี่ยม	84
4.14	The Split-Flux Principle ในการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงภายในอาคาร (irc)	86
4.15	แสดงการแบ่งพื้นที่ได้กราฟ เพื่อพิจารณาหาพื้นที่ได้กราฟ ในส่วน A,B และ C	88
4.16	ตัวอย่างการป้อนข้อมูลหลักที่แยกออกเป็นข้อย่อย ตามประเภทของข้อมูล	96
4.17	ภาพแสดงลักษณะของการป้อนข้อมูลที่มีภาพประกอบ โดยภาพแสดงจะแปร เปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล	96

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	ภาพแสดงประกอบลักษณะของการป้อนข้อมูลที่มีการจัดองค์ประกอบของหน้าจอ เพื่อให้แลดูเป็นระเบียบ และง่ายต่อความเข้าใจ	97
4.19	ภาพแสดงการนำเสนอผลลัพธ์การคำนวณค่าความสว่างภายในอาคารที่มีลำดับ การนำเสนออย่างชัดเจน ซึ่งง่ายต่อการทำความเข้าใจ	100
4.20	กราฟสองมิติแสดงปริมาณแสงสว่าง ที่ระดับความบึกต่างๆ ของห้อง	101
4.21	กราฟสามมิติแสดงปริมาณแสงสว่างที่ระดับความลึก และระดับความกว้างของห้อง	101
4.22	การแสดงผลข้อมูลแบบข้อความและกราฟแสดงปริมาณแสงสว่าง ที่แสดงผลพร้อมกัน	102
5.1	จุดที่ต้องการทราบความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด ที่ต่างระดับ กับมุมขอบล่างของช่องเปิด	105
5.2	จุดที่ต้องการทราบความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด ระหว่างขอบช่องเปิดทั้งสองด้าน	106
5.3	กราฟแสดงค่าความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด แนวกึ่งกลางช่องเปิด (แนว P4, CI)	136
5.4	กราฟแสดงค่าความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด แนวริมของช่องเปิด (แนว P7, 3)	136
5.5	กราฟ 3 มิติแสดงค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบแสงตรงจากช่องเปิด	137
5.6	กราฟแสดงค่าความสว่างสะท้อนกระจาย แนวกึ่งกลางช่องเปิด (แนว P4 , CI)	139
5.7	กราฟแสดงค่าความสว่างสะท้อนกระจาย แนวริมช่องเปิด (แนว P7 , 3)	139
5.8	กราฟ 3 มิติแสดงค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง เพื่อทดสอบแสงกระจาย	140
5.9	เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด เมื่อทดสอบด้วยหุ่นจำลองและ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แนวกึ่งกลางช่องเปิด	144
5.10	เปรียบเทียบค่าความสว่างสะท้อนกระจาย เมื่อทดสอบด้วยหุ่นจำลอง และ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แนวกึ่งกลางช่องเปิด	145
5.11	ค่าความสว่างสะท้อนกระจาย(Indirect Component) เมื่อทดสอบด้วยหุ่นจำลอง แนวกึ่งกลางช่องเปิด	146
5.12	ค่าความสว่างสะท้อนกระจาย (Indirect Component) เมื่อคำนวณด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ แนวกึ่งกลางช่องเปิด	147
6.1	กราฟิกแสดงการติดตั้งของโปรแกรม เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์	150
6.2	กราฟิกแสดงการเตรียมเข้าสู่โปรแกรม	151
6.3	แสดงกราฟิกหน้าจอหลักของโปรแกรม	152
6.4	แสดงการใช้งานโปรแกรม เมื่อเลือกหน้าจอย่อยจากเมนู (Popup menu) หรือ ปุ่มเรียกคำสั่งแบบด่วน (Speed Button)	152

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.5	แสดงการสร้างหรือเรียกใช้งานไฟล์เดิมของโปรแกรม	153
6.6	แสดงการบันทึกข้อมูล และจบการทำงานของโปรแกรม	153
6.7	แสดงหัวข้อให้ความช่วยเหลือการใช้งานโปรแกรม	154
6.8	หน้าจอย่อยแสดงการป้อนข้อมูล วัน เดือน และเวลา เพื่อกำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์	155
6.9	หน้าจอย่อยแสดงการป้อนข้อมูลทิศทางช่องเปิด และการคำนวณหาความสว่างภายนอก	156
6.10	หน้าจอย่อยแสดงการนำข้อมูลความสว่างที่ได้จากการคำนวณมาแทนที่	156
6.11	หน้าจอย่อยแสดงการป้อนข้อมูลในส่วนของคุณภาพห้อง ขนาดช่องเปิด ตำแหน่งช่องเปิด และตำแหน่งที่ต้องการทราบความสว่างภายใน	157
6.12	หน้าจอย่อยแสดงการป้อนข้อมูลค่าการสะท้อนแสงภายในห้อง ในส่วนของเพดาน ผืนผนัง และพื้นห้อง	158
6.13	แสดงการป้อนข้อมูล ค่าการสะท้อนทะลุผ่านของวัสดุและลักษณะของช่องเปิด	159
6.14	หน้าจอย่อยแสดงการป้อนข้อมูลสภาพบรรยากาศ	160
6.15	หน้าจอย่อยแสดงการป้อนข้อมูลอุปกรณ์ ป้องกันรังสีแสงอาทิตย์ตรง ด้วยมู่ลี่	161
6.16	หน้าจอย่อยแสดงการป้อนข้อมูลช่องแสงบนหลังคา	162
6.17	หน้าจอแสดงผลการคำนวณด้วยวิธีลูเมน	163
6.18	แสดงผลการคำนวณด้วยกราฟความส่องสว่างภายใน (Daylight Curve)	164
6.19	แสดงผลการคำนวณช่องแสงบนหลังคา ด้วยวิธีลูเมน (Lumen Method)	165
6.20	แสดงผลการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติ บนตำแหน่งที่ต้องการด้วยวิธี สกายแฟกเตอร์ (Sky Factor)	166
6.21	แสดงหน้าจอการป้อนข้อมูลที่มีช่องเปิดมากกว่าหนึ่งช่องเปิด(Multi-level window)	167
6.22	แสดงหน้าจอการป้อนข้อมูลของคอนโทรล บล็อก (Control box)	169
6.23	แสดงหน้าจอการใช้งานคำสั่ง Daylight Map	170
6.24	แสดงหน้าจอการใช้งานคำสั่ง 3D Analysis Graph	171
6.25	แสดงหน้าจอการใช้งานคำสั่ง Graph area analysis	172
6.26	แสดงหน้าจอการใช้งานคำสั่ง Area Analysis	173
6.27	การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า ระหว่างอาคารที่มีการส่องสว่างและไม่มีส่องสว่างด้วยแสงธรรมชาติ ภายในอาคาร	174
6.28	แสดงหน้าจอเพื่อตรวจสอบข้อมูล ที่ใช้ในการคำนวณ	175
6.29	แสดงหน้าจอตารางข้อมูล ที่ใช้ในการคำนวณ	175

สารบัญแนภูมิ

แนภูมิที่		หน้า
4.1	แสดงขั้นตอนการประยุกต์การใช้แสงธรรมชาติ ในการออกแบบอาคาร	56
5.1	แสดงโครงสร้างขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	109
5.2	แสดงลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ด้วยวิธี Lumen Method และ Sky Factor	110
5.3	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนการคำนวณ ความส่องสว่างจาก ช่องเปิดด้านข้าง ด้วยวิธีลูเมน	117
5.4	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนการคำนวณ ความส่องสว่างจากช่องแสง ด้านบนด้วยวิธีลูเมน	120
5.5	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนการคำนวณ ความส่องสว่างจากช่องเปิด ด้านข้าง ด้วยวิธี สกายแฟกเตอร์	123
5.6	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณความส่องสว่างจากช่องเปิด ด้านข้างด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ มากกว่าหนึ่งช่องเปิด	129
5.7	แสดงรายละเอียดขยายขั้นตอนการคำนวณในส่วนของ การคำนวณแต่ละช่องเปิด (Calculating Panel)	131
6.1	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	149
7.1	ค่าความส่องสว่างแสงตรงจากช่องเปิด (เปอร์เซ็นต์)	178
7.2	ค่าความส่องสว่างแสงสะท้อนกระจายภายในอาคาร (ค่าการสะท้อนแสง 80,60,40)	179
7.3	ค่าความส่องสว่างแสงสะท้อนกระจายภายในอาคาร (ค่าการสะท้อนแสง 70,50,30)	180
7.4	ค่าความส่องสว่างแสงสะท้อนกระจายภายในอาคาร (ค่าการสะท้อนแสง 50,30,10)	180