

ผลกระทบของรูปทรงและคุณสมบัติการสะท้อนของแสงธรรมชาติ
ภายในเอเทรียมสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น

นางสาว พัชราวดี รุ่งโรจน์ดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-760-7

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF SHAPE VARIATIONS AND INTERNAL REFLECTIVE PROPERTIES OF
DAYLIGHTING UPON ATRIUM ILLUMINATION IN HOT-HUMID CLIMATE**



Miss Pattawadee Roongrojdee

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**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

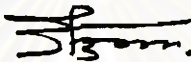
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-760-7


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของรูปทรงและคุณสมบัติการสะท้อนของแสงธรรมชาติภายในเอเทรียมสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น
โดย นางสาว พัทธวดี รุ่งโรจน์ดี
ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ


คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... รองคณบดีฝ่ายวิจัยวิชาการและการแทน
คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สังกูต)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วรสันต์ บูรณากาญจน์)


..... กรรมการ
(อาจารย์พิรส พิชรเศวต)


..... กรรมการ
(นายปราโมทย์ เอี่ยมศิริ)

พัทสวัสดิ์ รุ่งโรจน์ดี : ผลกระทบของรูปทรงและคุณสมบัติการสะท้อนของแสงธรรมชาติภายในเอเทรียม
สำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (EFFECTS OF SHAPE VARIATIONS AND INTERNAL REFLECTIVE
PROPERTIES OF DAYLIGHTING UPON ATRIUM ILLUMINATION IN HOT-HUMID CLIMATE)
อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ, 215 หน้า. ISBN 974-334-760-7

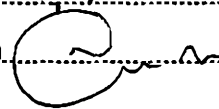
ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน เอเทรียมเป็นส่วนของอาคารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานสถาปัตยกรรม อย่างไรก็ตามความรู้ในปัจจุบันเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในเอเทรียมยังไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นแนวทางพื้นฐานให้ผู้ออกแบบคาดคะเนปริมาณความส่องสว่างภายในตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นได้ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงนำเสนอแนวทางการออกแบบที่สามารถประมาณระดับการส่องสว่าง และสร้างความเข้าใจเรื่องผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะมีนัยสำคัญต่อการส่องสว่างโดยใช้แสงธรรมชาติในเอเทรียม ตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ ทิศทางของแสง คุณสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน รูปทรง และค่าสัดส่วนทางเรขาคณิต

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้อาศัยเทคนิคจากการสร้างหุ่นจำลอง เพื่อการวิเคราะห์และทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยเอเทรียมตามลักษณะรูปทรง คือ แบบผังพื้นวงกลม สีเหลี่ยมจัตุรัส และสีเหลี่ยมผืนผ้า ที่มีค่าสัดส่วนความกว้างต่อความสูงเป็น 1 2 และ 3 ทุกกรณีมีค่าการสะท้อนแสงภายในเป็น 20% 40% 60% และ 80% การวิจัยทำการทดสอบภายในห้องจำลองสภาพท้องฟ้าและภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง การประเมินผลแบ่งออกเป็นสองแนวทางคือ การประเมินด้านปริมาณและการประเมินด้านคุณภาพ

ผลการวิจัยพบว่าการปรับเปลี่ยนรูปทรง สัดส่วนทางเรขาคณิต และคุณสมบัติการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในอาคาร สามารถเพิ่มปริมาณความส่องสว่างภายในได้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและขอบเขตการปรับปรุงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง แนวทางที่เหมาะสมแบ่งออกเป็นสองกรณีคือ กรณีแรกเมื่อพื้นผิวมีค่าการสะท้อนแสงต่ำ ตัวแปรที่มีนัยสำคัญคือ องค์ประกอบการส่องสว่างโดยตรงของแสง จากการวิจัยพบว่าเอเทรียมผังพื้นสีเหลี่ยมผืนผ้ามีค่าสัดส่วนความส่องสว่างในต่อภายนอกมากที่สุด กรณีที่สองเมื่อพื้นผิวมีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่มีนัยสำคัญคือองค์ประกอบการสะท้อนแสงภายใน ในกรณีนี้พบว่าเอเทรียมผังพื้นวงกลมมีค่าสัดส่วนความส่องสว่างในต่อภายนอกมากที่สุด

เอเทรียมแบบผังพื้นวงกลมมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากที่สุด ไม่เพียงแต่ค่าความส่องสว่างขึ้นกับองค์ประกอบที่สามารถควบคุมได้เท่านั้น แต่ยังเป็นแบบที่มีปริมาณและความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมากที่สุดอีกด้วย รองลงมาได้แก่ แบบผังพื้นสีเหลี่ยมจัตุรัส และสีเหลี่ยมผืนผ้าตามลำดับ ผลจากการวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการออกแบบเอเทรียมขั้นต้น ผู้ออกแบบจะสามารถประมาณค่าความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจริงภายในเอเทรียมได้อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการด้วยการเลือกใช้เทคนิคทางกายภาพต่างๆอย่างเป็นระบบ

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีอาคาร.....
ปีการศึกษา.....2542.....

ลายมือชื่อนิติศ นัทภาวดี รุ่งโรจน์ดี.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4174143525 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD: DAYLIGHTING / ENERGY CONSERVATION / ATRIUM ILLUMINATION

PATTAWADEE ROONGROJDEE: EFFECTS OF SHAPE VARIATIONS AND INTERNAL REFLECTIVE PROPERTIES OF DAYLIGHTING UPON ATRIUM ILLUMINATION IN HOT-HUMID CLIMATE. THESIS ADVISOR: PROF. DR. SOONTORN BOONYATIKARN, 215 pp. ISBN 974-334-760-7

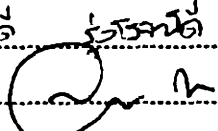
During the last few decades, atria had been widely adopted in a variety of contexts in contemporary architecture. However, current knowledge about daylighting in atrium is not sufficient enough to assist a designer in accessing luminous environment at the preliminary design stage. This study, therefore, focuses on improving the design tool that could predict daylight illumination and luminous effects in atrium spaces. This includes the combinations of interrelated factors, they are, directionality of daylight, reflective properties of surfaces, shape variations, and atrium geometry.

To reach this target, physical models were constructed and examined. They were composed of three atrium shapes: circular, square, and rectangular plans with section aspect ratios of 1,2, and 3. All types contain the interior reflection of 20, 40, 60, and 80 percent. These were all tested and analyzed in the skydome and then under the natural sky. Collected data were assessed by means of quantitative evaluation and qualitative evaluation.

The research results showed that by arranging shapes, geometric proportions, and internal surface reflectivity, the interior illumination could be raised depending on conditions and scope of improving related variables. The appropriate approaches are dichotomized. Firstly, in the case of atrium with low interior reflectance surface, direct components (solid angle, etc.) play the significant role. The maximum Daylight Factor occurs in the rectangular shape. Secondly, for the higher reflectance surface, indirect components (reflectance, etc.) render dramatical effects. The cylindrical shape was founded to maintain the highest Daylight Factor level in all cases of high surface reflection.

The cylindrical shape is the most appropriate in use. Not only because its illumination depends on the controllable components, but it also contains the highest and the most uniformed illumination. The square and the rectangular shapes yield the second and the third of illumination level respectively. The result of this study can be further used as an atrium design tool at the preliminary design stage. Designers, thus, can effectively foretell the illumination value in the atrium spaces.

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์.....
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร.....
ปีการศึกษา2542.....

ลายมือชื่อนิติศ นันทวัฒน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยด้วยดีมาตลอด กรรมการผู้ตรวจวิทยานิพนธ์และอาจารย์ทุกท่าน รองอธิบดีกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน คุณปราโมทย์ เอี่ยมศิริ รองศาสตราจารย์ เกอสม ตถาปิตานนท์ ดร. วรศักดิ์ บุญมากาญจน์ อาจารย์พิริต ทัชระศวต และอาจารย์พรรณรชต์ สุริยโยธิน ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นและตั้งคำถามในข้อผิดพลาดต่างๆ

ขอขอบคุณท่านอธิการบดีสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ อาจารย์วีรวิจิ วาตักขณ์ รวมทั้งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ และรองคณบดีฝ่ายวิจัยและพัฒนาที่ได้ให้ความสนใจ เป็นธุระคอยช่วยเหลือสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณบริษัท แอลแอนดี จำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลบางส่วน เนื่องจากทุนวิจัยส่วนหนึ่งได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้นเรียน คุณกศพร นามเทพ หรือที่จับของน้องๆ ในน้ำใจที่คอยให้ความช่วยเหลือหลายด้านเรื่องมา ที่ทราวลำหรับความเอื้อเฟื้อที่มีให้ตั้งแต่ยังไม่รู้จักกันในวงประกาศผลสอบเข้าจนกระทั่งรับสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณพี่และหุ่ยผู้มีส่วนร่วมดำเนินกิจการทดลอง ประคับประคองกันมาจนจบ ขอขอบคุณลุงคนสวนที่ดูแลต้นไม้บริเวณลานพระรูป คุณลุงต้องลำบากคอยหลบหลีก แบนสายยางรดน้ำต้นไม้เอง แทนที่จะได้ใช้สปริงเกอร์เพราะเกรงว่าน้ำจะฉีดมาถูกหุ่นจำลองหงษ์

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณยาย คุณพ่อ คุณแม่ที่คอยห่วงใย สนับสนุน และเป็นกำลังใจสำคัญเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๑
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๑
กิตติกรรมประกาศ.....	๓
สารบัญ.....	๓
สารบัญตาราง.....	๖
สารบัญรูปภาพ.....	๖
สารบัญแผนภูมิ.....	๗
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	14
2.1 เอเทรียม.....	14
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง.....	17
2.3 พฤติกรรมของแสง.....	18
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง.....	22
2.5 คุณสมบัติอื่นๆของแสง.....	24
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง ธรรมชาติ.....	27
2.7 สภาพห้องฟ้า.....	28
2.8 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์.....	31
2.9 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ.....	34
2.10 การให้แสงสว่างภายในอาคารโดยแสงประดิษฐ์.....	40
2.11 การให้แสงสว่างภายในอาคารโดยใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์.....	45
2.12 ความร้อนอันเนื่องมาจากดวงไฟส่องสว่าง.....	46
2.13 แสงประดิษฐ์.....	47
2.14 หลอดฟลูออเรสเซนต์.....	48
2.15 หลอดคอมแพคท์ฟลูออเรสเซนต์.....	50
2.16 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง.....	51

สารบัญ

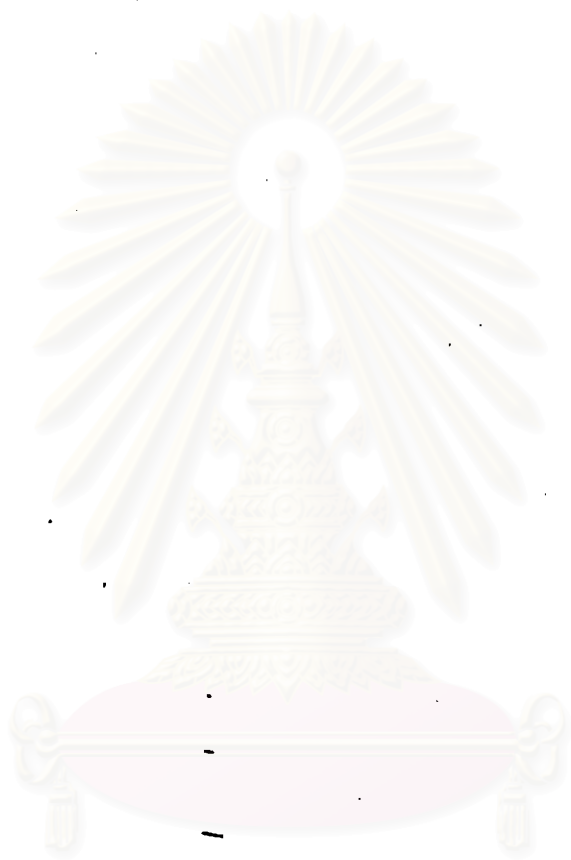
หน้า

	2.17 ประสิทธิภาพในการมองเห็น.....	54
	2.18 ผลกระทบของรูปทรงต่อการส่องสว่าง.....	55
	2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	57
บทที่ 3	เครื่องมือและหุ่นจำลองที่ใช้ในงานวิจัย.....	64
	3.1 ลักซ์มิเตอร์.....	64
	3.2 หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ.....	65
	3.3 สูตรคำนวณค่าทางเรขาคณิต.....	68
	3.4 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในงานวิจัย.....	69
บทที่ 4	ผลของการผสมผสานค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในและลักษณะทางเรขาคณิตของ Abium....	73
	4.1 อิทธิพลของค่าการสะท้อนของพื้นผิวและลักษณะของรูปทรง.....	73
	4.2 อิทธิพลของค่าการสะท้อนของพื้นผิวและลักษณะของรูปทรงต่อปริมาณ อัตราการเพิ่ม และค่าต่างความเข้มของความสว่าง	84
	4.3 ภาพรวมของการส่องสว่างที่เกิดขึ้น.....	122
	4.4 การทดสอบกับแสงธรรมชาติ.....	131
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	139
	5.1 บทสรุป.....	139
	5.2 แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งาน.....	148
	5.3 ข้อจำกัดในการวิจัย.....	166
	5.4 แนวทางการวิจัยในอนาคต.....	168
	5.5 ข้อเสนอแนะ.....	170
	รายการอ้างอิง.....	174
	ภาคผนวก.....	176
ภาคผนวก ก	การกำหนดขนาดช่องแสงด้านบน (ตัวแปรคงที่).....	177
ภาคผนวก ข	รูปแบบและลักษณะของเอเทรียม.....	179
ภาคผนวก ค	ตารางแสดงการหาค่าสะท้อนแสงของกระดาษที่ใช้เป็นพื้นผิวภายในหุ่นจำลอง.....	184
ภาคผนวก ง	ตารางแสดงค่าทางเรขาคณิตของหุ่นจำลองที่ใช้ในการทำาทดลอง.....	188
ภาคผนวก จ	ตารางแสดงการกับข้อมูลค่าความสว่างเปรียบเทียบของแสงภายนอกและแสงภายใน เอเทรียม	189
ภาคผนวก ฉ	คำศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	213

สารบัญ

หน้า

ประวัติผู้เขียน.....215



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	แสดงค่า Efficacy ของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ.....2
1.2	แสดงค่าการส่งผ่านแสงของกระจกและพลาสติก (บางส่วน).....6
1.3	แสดงค่าสะท้อนแสงของวัสดุและพื้นผิวภายนอกอาคาร (บางส่วน).....8
2.1	แสดงค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์ประเทศไทยปี 2528.....27
2.2	แสดงค่าประมาณ DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ.....40
2.3	เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน52
2.4	เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตรฐานค่า DF53
2.5	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Kr และ WI.....56
4.1	แสดงค่า DF ของ Well แต่ละประเภทเมื่อมีค่าการสะท้อนภายในต่ำ78
4.2	แสดงสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าต่างของ DF ระหว่าง Well ทั้งสามรูปทรง.....95
4.3	แสดงมุม Profile Angles ของดวงอาทิตย์ที่ละติจูด 14 องศาเหนือ (บางส่วน).....136
5.1	แสดงค่า DF ของ Atrium ที่เงื่อนไขของค้ประกอบต่างๆ.....141
5.2	แสดงผลรูปตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อค่า DF.....147
5.3	แสดงเงื่อนไขของ Atrium ที่มีค่า Daylight Factor ตามมาตรฐานที่กำหนดตามลักษณะ.....157
	การใช้งาน

สารบัญภาพ

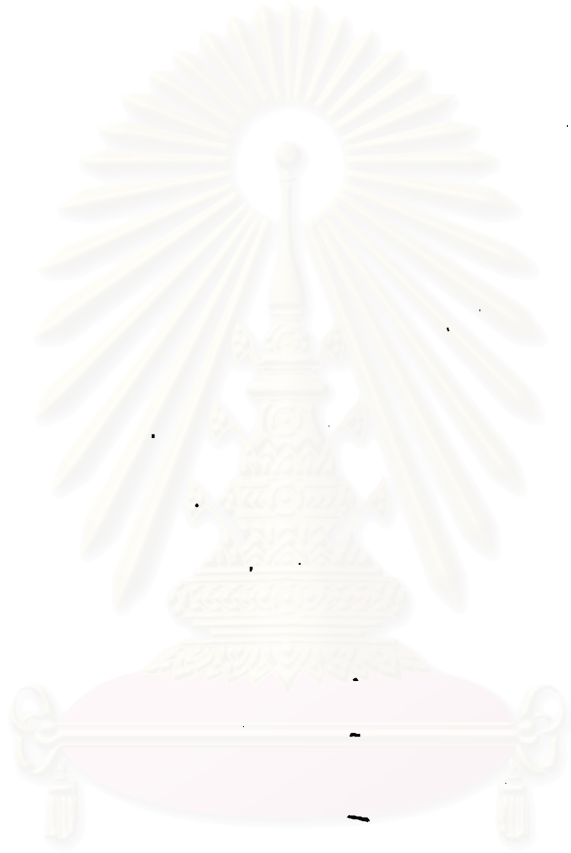
รูปที่	หน้า
1.1	แสดงช่องแสงแบบ Clearstory และการวัดค่าการส่องสว่าง.....7
1.2	แสดงสัดส่วนผนังพื้นของรูปทรง.....9
1.3	แสดงการวัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ.....10
1.4	แสดงการวัดค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุ.....10
1.5	แสดงเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในการศึกษา.....10
2.1	แสดงองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบ Atrium.....15
2.2	แสดงความถี่และความยาวคลื่นของแสงที่สามารถมองเห็นได้.....18
2.3	แสดงปรากฏการณ์ที่แสงกระทำต่อวัตถุ.....19
2.4	แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง.....19
2.5	แสดง Specular Reflection.....20
2.6	แสดง Perfect Diffuse Reflection และ Semi Diffuse Reflection.....20
2.7	แสดง Combined Specula & Diffuse Reflection.....21
2.8	แสดงแสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน.....21
2.9	แสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย.....22
2.10	แสดง Luminous Flux.....22
2.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Candela Lumen Lux และ Footcandle.....24
2.12	แสดงการจำแนกชนิดแสงบาดตาตามประเภทแหล่งกำเนิดแสง.....26
2.13	แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky.....28
2.14	แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky.....30
2.15	แสดง Bearing Angle.....30
2.16	แสดงตำแหน่งและระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์.....32
2.17	แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์และมุมเดคลิเนชัน.....33
2.18	แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี Lumen Method.....36
2.19	แสดง Daylight Factor (DF)40
2.20	แสดงการกระจายกำลังเทียนของดวงโคม.....41
2.21	แสดงการพิจารณาค่าระดับความส่องสว่างตามกฎกำลัง 2 ผกผัน.....41
2.22	แสดงวิธีคิด Zonal Cavity Method.....43
2.23	ขั้นตอนการหา Coefficient of Utilization (CU).....44
2.24	แสดงทิศทางของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์.....45
2.25	แสดงปริมาณแสง.....46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26	แสดงผล Thermal Storage ในการเกิด Cooling Load ในดวงโคมแสงสว่าง.....47
2.27	แผนภูมิแสดงการแบ่งประเภทของหลอด.....47
2.28	แสดงรังสีอุลตราไวโอเล็ตกระตุ้นสารเรืองแสงในหลอดฟลูออเรสเซนต์.....49
2.29	แสดงการกระจายพลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....49
2.30	แสดงผลของอุณหภูมิต่อปริมาณแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....50
3.1	แสดงเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในการศึกษา.....64
3.2	แสดงระดับการวางหุ่นจำลองในการวิจัยภายในห้องทดสอบแสง.....68
3.3	แสดงการตั้งระดับของแสงของหุ่นจำลองเมื่อความสูงเปลี่ยนไป.....67
3.4	แสดงตำแหน่งการอ่านค่าปริมาณแสงและบริเวณที่ทำการเปลี่ยนค่าการสะท้อน.....67
3.5	แสดงลักษณะของช่องเปิดด้านบน.....70
3.6	แสดงหุ่นจำลอง Atrium ผังพื้นวงกลม.....71
3.7	แสดงหุ่นจำลอง Atrium ผังพื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....71
3.8	แสดงหุ่นจำลอง Atrium ผังพื้นสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....72
3.9	แสดงภาพภายใน Atrium ผังพื้นวงกลม.....72
4.1	แสดงการส่องสว่างโดยใช้สภาพแวดล้อม ด้วยการสะท้อนแสงแบบกระจายจากผนังภายใน.....78
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Solid Angle ที่ลดลงเมื่อ Section Aspect Ratio (SAR) เพิ่มขึ้น.....83
4.3	แสดงแนวทึ่งกลางของทิศเหนือ-ใต้ที่ทำการวัดและนำมาแสดงค่า DF ในแผนภูมิที่ 4.10-4.13.....90
4.4	แสดงแนวทิศที่วัดเปรียบเทียบและนำมาแสดงในแผนภูมิที่ 4.14-4.25.....96
4.5	แสดงแนวทิศที่มีค่า DF เท่ากัน.....122
4.6	แสดงมุมตกกระทบและตำแหน่งของ Luminous Area.....137
4.7	แสดงมุมตกกระทบและตำแหน่งของ Luminous Area.....138
5.1	แสดง Angle Factor ของ Atrium แต่ละรูปทรง.....145
5.2	แสดงลำดับของผลการทดลอง.....146
5.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Uniformity และ Visual Comfort148
5.4	แสดงพิกัดตำแหน่งวัดค่าความส่องสว่าง.....152
5.5	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสงที่เกิดขึ้นเมื่อมีค่าการสะท้อนต่างกัน.....168
5.6	แสดงทิศทางของแสงที่เกิดจากการสะท้อนของผนัง.....170
5.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระนาบผนังและปริมาณแสงที่ได้รับที่ระดับใช้งาน.....171
5.8	แสดงตำแหน่งการติดตั้งส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์เพื่อให้ได้แสงที่คล้ายกับแสงธรรมชาติใน Atrium ตามปกติ.....172

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.9	แสดงตัวอย่างชุดอุปกรณ์ ประกอบด้วย Light projector และตัว Reflector.....	172
5.10	แสดงบรรยากาศที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปิดไฟ Hotel Allegro เมือง Bern ประเทศ Switzerland.....	173



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่

หน้า

1.1	ผังแสดงแนวความคิดหลักในการศึกษา.....	13
3.1	ผังแสดงความคลาดเคลื่อนของการทดลองในเรื่องแสง.....	70
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรง ค่า DF ค่า SAR และค่าการสะท้อนแสงที่ระดับต่างๆ.....	74
4.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าความสำคัญของรูปทรงต่อปริมาณแสงที่ค่าการสะท้อน 20%.....	79
4.3	แสดงการเปรียบเทียบค่าความสำคัญของรูปทรงต่อปริมาณแสงที่ค่าการสะท้อน 40%.....	80
4.4	แสดงการเปรียบเทียบค่าความสำคัญของรูปทรงต่อปริมาณแสงที่ค่าการสะท้อน 60%.....	81
4.5	แสดงการเปรียบเทียบค่าความสำคัญของรูปทรงต่อปริมาณแสงที่ค่าการสะท้อน 80%.....	82
4.6	แสดงอัตราการเพิ่มของค่า DF ของช่องเปิด (Well) ทั้ง 3 รูปทรง ที่ค่า SAR เป็น 1 2 และ 3..... ค่าการสะท้อนภายใน 20%	86
4.7	แสดงอัตราการเพิ่มของค่า DF ของช่องเปิด (Well) ทั้ง 3 รูปทรง ที่ค่า SAR เป็น 1 2 และ 3..... ค่าการสะท้อนภายใน 40%	87
4.8	แสดงอัตราการเพิ่มของค่า DF ของช่องเปิด (Well) ทั้ง 3 รูปทรง ที่ค่า SAR เป็น 1 2 และ 3..... ค่าการสะท้อนภายใน 60%	88
4.9	แสดงอัตราการเพิ่มของค่า DF ของช่องเปิด (Well) ทั้ง 3 รูปทรง ที่ค่า SAR เป็น 1 2 และ 3..... ค่าการสะท้อนภายใน 80%	89
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รูปทรง ค่า DF ค่า SAR 1 2 และ 3 ณ แนวกึ่งกลางของ..... ทิศเหนือ-ใต้ที่ค่าการสะท้อนแสงภายใน 20%	91
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รูปทรง ค่า DF ค่า SAR 1 2 และ 3 ณ แนวกึ่งกลางของ..... ทิศเหนือ-ใต้ที่ค่าการสะท้อนแสงภายใน 40%	92
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รูปทรง ค่า DF ค่า SAR 1 2 และ 3 ณ แนวกึ่งกลางของ..... ทิศเหนือ-ใต้ที่ค่าการสะท้อนแสงภายใน 60%	93
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รูปทรง ค่า DF ค่า SAR 1 2 และ 3 ณ แนวกึ่งกลางของ..... ทิศเหนือ-ใต้ที่ค่าการสะท้อนแสงภายใน 80%	94
4.14	แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well ทุกรูปทรง เมื่อมี SAR 1..... ค่าการสะท้อนภายใน 20%	97
4.15	แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well แต่ละรูปทรง เมื่อมี SAR 1..... ค่าการสะท้อนภายใน 20%	98
4.16	แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well ทุกรูปทรง เมื่อมี SAR 1..... ค่าการสะท้อนภายใน 20%	99

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า
4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well ทุกรูปทรง เมื่อมี SAR 3.....	115
ค่าการสะท้อนภายใน 40%	
4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well แต่ละรูปทรง เมื่อมี SAR 3	116
ค่าการสะท้อนภายใน 40%	
4.34 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well ทุกรูปทรง เมื่อมี SAR 3.....	117
ค่าการสะท้อนภายใน 60%	
4.35 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well แต่ละรูปทรง เมื่อมี SAR 3	118
ค่าการสะท้อนภายใน 60%	
4.36 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well ทุกรูปทรง เมื่อมี SAR 3.....	119
ค่าการสะท้อนภายใน 80%	
4.37 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ในทิศต่างๆของ Well แต่ละรูปทรง เมื่อมี SAR 3	120
ค่าการสะท้อนภายใน 80%	
4.38 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ค่าการสะท้อนแสง 20%.....	123
4.39 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ค่าการสะท้อนแสง 40%.....	124
4.40 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ค่าการสะท้อนแสง 60%.....	125
4.41 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ค่าการสะท้อนแสง 80%.....	126
4.42 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ค่าการสะท้อนแสง 20%.....	127
4.43 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ค่าการสะท้อนแสง 40%.....	128
4.44 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ค่าการสะท้อนแสง 60%.....	129
4.45 แสดงระดับค่า DF ที่ผนังพื้นของ Well รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ค่าการสะท้อนแสง 80%.....	130
4.46 แสดงค่า DF Atrium วงกลมภายใต้ท้องฟ้าแบบ Cloudy Sky ค่าการสะท้อน 40%.....	132
4.47 แสดงค่า DF Atrium วงกลมภายใต้ท้องฟ้าแบบ Cloudy Sky ค่าการสะท้อน 80%.....	132
4.48 แสดงค่า DF Atrium วงกลมภายใต้ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ค่าการสะท้อน 40%.....	134
4.49 แสดงค่า DF Atrium วงกลมภายใต้ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ค่าการสะท้อน 80%.....	134
5.1 แสดงค่า DF ที่เกิดจากค่าการสะท้อนภายใน ค่า WI และ Well รูปทรงต่างๆ.....	144
ที่ค่าการส่งผ่านแสง 100%	
5.2 แสดงค่า DF ที่เกิดจากค่าการสะท้อนภายใน ค่า WI และ Well รูปทรงต่างๆ.....	153
ที่ค่าการส่งผ่านแสง 90%	
5.3 แสดงค่า DF ที่เกิดจากค่าการสะท้อนภายใน ค่า WI และ Well รูปทรงต่างๆ.....	154
ที่ค่าการส่งผ่านแสง 80%	

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่

หน้า

- 5.4 แสดงค่า DF ที่เกิดจากค่าการสะท้อนภายใน ค่า WI และ Well รูปทรงต่างๆ.....155
ที่ค่าการส่งผ่านแสง 70%
- 5.5 แสดงค่า DF ที่เกิดจากค่าการสะท้อนภายใน ค่า WI และ Well รูปทรงต่างๆ.....156
ที่ค่าการส่งผ่านแสง 60%



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย