เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน

นางสาว ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-761-5

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19275067

DAYLIGHTING DESIGN TECHNIQUES THOUGH TOP APERTURE WITH FENESTRATION CONTROLS

Miss Patamaporn Siripolwutichai

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 974-334-761-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน
โดย	นางสาวปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

.....

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... รองคณบดีฝ่ายวิจัยรักษาราชการแทน
คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต)

..... กรรมการ
(นายปราโมทย์ เอี่ยมศิริ)

ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย: เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน (DAYLIGHTING DESIGN TECHNIQUES THOUGH TOP APERTURE WITH FENESTRATION CONTROLS) อ. ที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ, อ. ที่ปรึกษาร่วม: อาจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 230 หน้า. ISBN 974-334-761-5

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ทางช่องเปิดด้านบนเป็นรูปแบบหนึ่งที่ผู้ออกแบบนิยมนำมาใช้กับอาคาร ในทางปฏิบัติมักจะพบปัญหาในเรื่องของการควบคุมความแปรปรวนและปริมาณความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานภายในอาคาร การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคอย่างง่ายที่จะนำมาใช้ในการออกแบบช่องเปิดด้านบนที่สามารถควบคุมความแปรปรวนของระดับความส่องสว่างและการกระจายของแสงภายในอาคาร

การศึกษาครั้งนี้อาศัยเทคนิคการสร้างหุ่นจำลองเพื่อวิเคราะห์และทดสอบ การศึกษาประกอบด้วยรูปแบบช่องเปิดด้านบนในสองลักษณะคือ รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่ไม่มีการป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแบบช่องเปิดด้านบนที่มีการป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลา 8.00 - 16.00 น. อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกัน ได้แก่ แผงกันแดดระนาบนอนและแผงกันแดดระนาบตั้ง ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบที่ค่าสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานที่ 4% 8% และ12% และค่าการสะท้อนหลังคาเป็น 10 % 40% 60% และ 75% ทุกกรณีการทดลอง การวิจัยทำการทดสอบภายในห้องจำลองสภาพท้องฟ้าและภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง

ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่มีการใช้แผงป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์สามารถลดความแปรปรวนของปริมาณแสงภายในอันเนื่องจากอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของสภาพท้องฟ้าภายนอกได้มากกว่าช่องเปิดที่ไม่มีการใช้แผงควบคุมถึงสามเท่า เมื่อไม่มีอิทธิพลของแสงตรงจากดวงอาทิตย์พบว่าปริมาณความส่องสว่างภายในขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งาน ค่าการสะท้อนแสงของหลังคา และลักษณะของแผงควบคุมของแผงกันแดดที่ใช้ป้องกันแสงตรงของดวงอาทิตย์ รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่ให้ค่าสัดส่วนความส่องสว่างภายในต่อภายนอกสูงสุดคือรูปแบบที่ใช้แผงกันแดดระนาบตั้งที่ค่าการสะท้อนแสงสูง จากการศึกษานี้พบว่า ปริมาณแสงภายในที่ได้รับเฉลี่ยตลอดวันประกอบด้วย รังสีกระจายของท้องฟ้า 20 % แสงสะท้อนจากหลังคา 35 % และแสงสะท้อนจากแผงควบคุม 45 % ผลการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่าแผงกันแดดของช่องเปิดด้านบนมีบทบาทสำคัญต่อปริมาณความส่องสว่างภายในทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ

การนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ได้นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาเป็นเครื่องช่วยในการคาดการณ์ปริมาณความส่องสว่างภายในสำหรับการออกแบบช่องเปิดด้านบน การวิจัยนี้นำเสนอในรูปของแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของรูปแบบช่องเปิดด้านบน ขนาดช่องเปิด ค่าการสะท้อนแสงของหลังคา ค่าการสะท้อนแสงภายใน กับปริมาณความส่องสว่างภายในสำหรับการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบนในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น นอกจากนี้ผลของงานวิจัยยังสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้กับอาคารลักษณะต่าง ๆ หรือ อาคารที่มีพื้นที่ใช้งานกว้างขึ้นได้ โดยการจัดวางช่องเปิดในรูปแบบที่ต่อเนื่องกัน ตามรูปร่างของพื้นที่ใช้งาน

ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	**ลายมือชื่อนิสิต**	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาคาร	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา**	
ปีการศึกษา	2542	**ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม**	

417 41390 25: MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD : DAYLIGHTING / TOP APERTURE / FENESTRATION CONTROLS

PATAMAPORN SIRIPOLWUTICHAI: DAYLIGHTING DESIGN TECHNIQUES THOUGH TOP APERTURE WITH FENESTRATION CONTROLS, THESIS ADVISOR: PROF. DR. SOONTORN BOONYATIKARN, THESIS COADVISOR: DR. VORASAN BURANAKARN, 230 pp. ISBN 974-334-761-5

Toplighting is one of the most widespread techniques utilized in modern architecture. The main problems in design with toplighting are the ability to control the variation of inside illumination level and its distribution. This study is aimed to searching for a technique to control daylight level inside a building and establish a simple design tool for toplighting design.

The study conducted by building physical model to analyze and test the internal illumination. Types of models can be divided into 2 groups as an uncontrolled aperture and a controlled aperture that can prevent direct sun from 8.00 a.m. till 4.00 p.m.. The controlled aperture can be categorized in two types, which are horizontal shading device and vertical shading device. In this study the fenestration areas to floor areas ratios and the interior reflection were examined and control as follows; The ratios of fenestration area to working area were 4% 8% and 12% while roof reflectance were 10% 40% 60% and 75% of all cases. The experiments were conducted in the skydome and also under the natural sky condition.

The numerical results show that the controlled apertures are able to minimize variation of internal illuminant more than three times of that of the uncontrolled aperture. In case of the controlled apertures, the important factors are composed of diffuse radiation from the sky, the roof reflectance and characteristics of fenestration control. The highest daylight factor level occurs in the case of vertical shading plane. The contribution of interior illumination consists of the following; 20% from diffuse light from sky, 35% from reflected light from roof, and 45% from reflected light from fenestration controls device. It can be concluded that such a control device is the most significant element of toplighting design in terms of quality and quantity. With these control elements the direct light will be changed into scattered light, which minimize heat gain in to space below.

Data from this study were illustrated in a form of monograph to predict internal illumination level. The monograph represents the relationship of types, aperture sizes, roof reflectance and internal reflectance to interior illumination. The result of this study can be use as a good toplighting design tool for several building types in tropical climate. This technique can also be used in the large-scale building, by adding more modules to the previous areas.

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด และขอขอบคุณอาจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบความรู้และอำนวยความสะดวกในการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้จากทุนอุหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คุณฐิติมาพร ศิริผลวุฒิชัย น้องสาวผู้ให้กำลังใจอันอบอุ่นและกำลังกายอย่างมากมาย เป็นกำลังสำคัญในการจัดพิมพ์เล่มวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอบคุณมาก

คุณทศพร(พี่จุ๊บ) คุณปริมลาภ (พี่พราว) เป็นพี่ชาย พี่สาวผู้ให้ผู้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาที่ดี ตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษา รวมถึงเพื่อน ๆ เดียร์ หุย และแชมป์ ที่ช่วยเหลือกันในการวัดแสง และเป็นกำลังใจให้กันและกันเสมอ ขอบคุณมาก

ขอบคุณ คุณมด และ คุณแอน เพื่อนที่ให้ความช่วยเหลือกันมาตั้งแต่มัธยมจนถึงวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอบคุณแว่น น้องหมี พี่วิรัช นก และคุณลุงผู้ใจดีที่ต้องคอยรอให้พวกเราวัดแสงบริเวณสนามหญ้าหน้าพระฐูปจนเสร็จถึงจะได้เริ่มงาน

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 2

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 4

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 12

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 12

2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 13

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง 13

2.2 พฤติกรรมแสง 15

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง 19

2.4 คุณสมบัติอื่น ๆ ของแสงและการมองเห็น 22

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ 24

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์ 26

2.7 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ 31

2.8 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า 33

2.9 สภาพท้องฟ้า 36

2.10 ทฤษฎีการให้แสงสว่างภายในอาคารโดยแสงธรรมชาติ 40

2.11 ทฤษฎีการให้แสงสว่างภายในอาคารโดยแสงประดิษฐ์ 44

2.12 มาตราฐานระดับการส่องสว่าง 47

2.13 การให้แสงธรรมชาติ 49

3 เครื่องมือและหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย 55

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3.2 หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย 57

3.3 รูปแบบของช่องเปิดด้านบนและแผงควบคุมที่ใช้ในการวิจัย 66

4 การพิจารณาค่าความส่องสว่างภายใน 82

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอง 83

4.2 การพัฒนาแนวทางการหาค่าความส่องสว่างภายใน 156

4.3 การใช้โมโนกราฟ 160

4.4 การหาค่าความส่องสว่างภายในตลอดปี 163

5 บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ 168

5.1 สรุปผลการวิจัย 169

5.2 การประยุกต์ใช้ช่องเปิดด้านบน 174

5.3 ข้อเสนอแนะ 177

รายการอ้างอิง 179

ภาคผนวก 181

ภาคผนวก ก ตารางแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ มุมโพร์ไฟล์ (Profile) และมุม อะซิมุธ (Azimuth) สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ (กรุงเทพมหานคร) 182

ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าความสว่างของท้องฟ้า ณ เส้นรุ้ง (Latitude) ของตำแหน่งที่ตั้งต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่าง และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ 183

ภาคผนวก ค ตารางแสดงข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของสภาพท้องฟ้า (%) เฉลี่ย 18 ปี ตั้งแต่ปี 1981 – 1998 สถานีกรุงเทพฯ โดยกองอุตุนิยมวิทยา 186

ภาคผนวก ง ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย 187

ภาคผนวก จ ตารางแสดงค่าความส่องสว่างภายในเปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างภายนอกของช่องเปิดด้านบนรูปแบบต่าง ๆ 189

ภาคผนวก ฉ ตารางแสดงค่ามาตราฐานระดับความส่องสว่างภายในที่ต้องการ สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ตามมาตราฐาน IES 219

ภาคผนวก ช หน่วยความส่องสว่าง 224

ภาคผนวก ซ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องวัดแสง Minalta Lux Meter กับ Lux Meter ที่ใช้ในการวิจัย 229

ประวัติผู้เขียน 230

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงที่ตั้งของเส้นแบ่งเวลาที่สำคัญของโลกตามเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน	28
2.2	ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท (Sky zenith illuminance) สำหรับท้องฟ้าในลักษณะ Overcast Sky, ZL = 0.409 ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์	35
2.3	แสดงค่า Daylight Factor ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ	43
2.4	ตารางเปรียบเทียบมาตราฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) และมาตราฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)	48
3.1	แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ และพื้นผิวภายนอกอาคาร	60
3.2	แสดงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ (Typical Reflectances)	61
4.1	แสดงค่า DF(%) ในการเลือกใช้องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ขนาดพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานเท่ากับ 1 : 25 ของรูปแบบช่องเปิดด้านบนต่าง ๆ	165
4.2	แสดงค่า DF(%) ในการเลือกใช้องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ขนาดพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานเท่ากับ 2 : 25 ของรูปแบบช่องเปิดด้านบนต่าง ๆ	166
4.3	แสดงค่า DF(%) ในการเลือกใช้องค์ประกอบต่าง ๆ ที่ขนาดพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานเท่ากับ 3 : 25 ของรูปแบบช่องเปิดด้านบนต่าง ๆ	167

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ตำแหน่งที่ทำการวัดแสงภายในหุ่นจำลอง	9
2.1	แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ	13
2.2	สเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น เกิดการหักเหไม่เท่ากันของความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน	14
2.3	พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ	15
2.4	การสะท้อนของแสงแบบ Specula Reflection	15
2.5	การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection)	16
2.6	การสะท้อนของแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงา และแบบสะท้อนกระจาย	16
2.7	แสงตกกระทบตัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน	17
2.8	แสงทะลุผ่านตัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย	18
2.9	การหักเหหรือการสะท้อนแสงผ่านตัวกลาง ที่มุมตกกระทบต่างๆ	18
2.10	การดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง	19
2.11	ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux)	19
2.12	ความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง	20
2.13	แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ตามกฎกำลังสองผกผันที่ระยะทางต่าง ๆ จากแหล่งกำเนิดแสง	21
2.14	แสดงขอบเขตการมองเห็นของสายตา	22
2.15	ความเปรียบต่างความส่องสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียงในการมองเห็นวัตถุ	23
2.16	เสปกตรัมที่มาจากของรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีความยาวคลื่นต่างกันสามลักษณะ	26
2.17	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อัลติจูด (a_t , altitude) และมุมอะซิมุท (a_s , azimuth)	27
2.18	แสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ที่วันเวลาต่าง ๆ	31
2.19	ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูด และ มุมอัลซิมุท ของดวงอาทิตย์	36
2.20	รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky	37
2.21	รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริ่ง (Bearing Angle)	38
2.22	รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky	40
2.23	เดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor)	42
2.24	กราฟแสดงการกระจายกำลังเทียนของดวงโคม	45
2.25	การแบ่งส่วนพื้นที่ภายในห้องเพื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างตามวิธี Zonal Cavity Method	46
2.26	ขั้นตอนการหาค่า Coefficient of Utilization จากแสงประดิษฐ์ตามวิธี Zonal Cavity Method	47
2.27	แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ Saw-tooth Roof	50
2.28	แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ Clearstories	50
2.29	แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ Skylight	51
2.30	แสดงช่องเปิดด้านบนแบบ Light Well	51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	เครื่องวัดแสงแบบมินอลต้าลักซ์มิเตอร์ (Minalta Lux Meter)	55
3.2	การติดตั้งมินอลต้าลักซ์มิเตอร์ พร้อมอุปกรณ์รับแสง (SENSOR) ภายในหุ่นจำลอง	56
3.3	เครื่องวัดแสงแบบลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)	56
3.4	รูปแสดงอุปกรณ์บังเงา (Shadow Band)	57
3.5	สัดส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย	58
3.6	หุ่นจำลองเพื่อทดสอบปริมาณความส่องสว่างภายในจากทางช่องเปิดด้านบน มีค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในเท่ากับ 0.75 และมีพ.ท.ที่ช่องเปิด 4% 8% 12% ของพ.ท.ใช้งาน ตามลำดับ	59
3.7	รูปแสดงภายในหุ่นจำลองสำหรับวัดค่าระดับความส่องสว่าง	64
3.8	รูปแสดงระดับการวางหุ่นจำลองในการวิจัยภายในห้อง Sky Dome	65
3.9	แสดงบริเวณพื้นที่โล่งที่ตั้งหุ่นจำลองในการวิจัยภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง	65
3.10	แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบน กรณีศึกษาแบบ Skylight	68
3.11	แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบน กรณีศึกษาแบบ Clearstories	69
3.12	แสดงรูปแบบที่ 3 ช่องเปิดด้านบนที่มีแผงควบคุมแบบ Overhang	70
3.13	แสดงการวิเคราะห์มุมโพร์ไฟล์และการบังเงาแสง กรณีศึกษาแบบ Overhang	71
3.14	แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบน กรณีศึกษาแบบ Overhang	72
3.15	แสดงรูปแบบที่ 4 ช่องเปิดด้านบนที่มีแผงควบคุมแบบ Horizontal Blind	73
3.16	แสดงการวิเคราะห์มุมโพร์ไฟล์และการบังเงาแสง กรณีศึกษาแบบ Horizontal Blind	74
3.17	แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบน กรณีศึกษาแบบ Horizontal Blind	75
3.18	แสดงรูปแบบที่ 5 ช่องเปิดด้านบนที่มีแผงควบคุมแบบ Sun Scatter	76
3.19	แสดงการวิเคราะห์มุมโพร์ไฟล์และการบังเงาแสง กรณีศึกษาแบบ Sun Scatter	77
3.20	แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบน กรณีศึกษาแบบ Sun Scatter	78
3.21	แสดงรูปแบบที่ 6 ช่องเปิดด้านบนที่มีแผงควบคุมแบบ Double Sun Scatter	79
3.22	แสดงการวิเคราะห์มุมโพร์ไฟล์และการบังเงาแสง กรณีศึกษาแบบ Double Sun Scatter	80
3.23	แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบน กรณีศึกษาแบบ Double Sun Scatter	81
4.1	แสดงรูปแบบแผงควบคุมช่องเปิดด้านบนที่ใช้ในการทดสอบ	84
4.2	แสดงรูปแบบแผงควบคุมช่องเปิดด้านบนแบบที่มีแผงควบคุมที่ใช้ในการทดสอบ	84
4.3	แสดงการเปรียบเทียบมุมแสงตรงของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นที่ใช้งานของรูปแบบ Skylight กับ Clearstories	93
4.4	แสดงอิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิดทางด้านทิศใต้	103
4.5	แสดงความส่องสว่างภายนอกสูงสุด ณ สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุม ที่กระทำต่อช่องเปิดแบบ Skylight	107

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	แสดงความร้อนที่เกิดจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์	109
4.7	แสดงการวิเคราะห์อิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อรูปแบบ Skylight ช่วงเวลา 8.00-16.00 น.	128
4.8	แสดงการวิเคราะห์อิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อรูปแบบ Clearstories ช่วงเวลา 8.00-16.00 น.	128
4.9	แสดงประสิทธิภาพในการป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์ ของรูปแบบช่องเปิดด้านบนที่มีแผงควบคุม ช่วงเวลา 8.00-16.00 น.	129
4.10	แสดงส่วนของช่องเปิดและพื้นที่ใช้งานที่ใช้ในการวิจัย	134
4.11	แสดงขั้นตอนการ Plot หาค่าความส่องสว่างภายใน DF (%) จาก Monograph Step 1	161
4.12	แสดงขั้นตอนการ Plot หาค่าความส่องสว่างภายใน DF (%) จาก Monograph Step 2	162
5.1	อิทธิพลของ Direct Component ที่มีผลต่อปริมาณความส่องสว่างภายใน	169
5.2	แสดงลักษณะของช่องเปิดด้านบนที่ได้รับอิทธิพลจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์	170
5.3	แสดงลักษณะแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน	171
5.4	แสดงการวางช่องเปิดในตำแหน่งต่าง ๆ ในลักษณะของ Module	174
5.5	แสดงการประยุกต์ใช้ช่องเปิดด้านบนร่วมกับช่องเปิดด้านข้าง	175
5.6	แสดงลักษณะการติดตั้งไฟประดิษฐ์ภายในอาคาร	176

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
1.1	แสดงผังระเบียบวิธีวิจัย	11
3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่าง ๆ กับค่าความส่องสว่างภายใน DF (%) ที่ค่าการสะท้อนแสงหลังคาและภายในอาคาร 75 %	63
3.2	แสดงการแบ่งลักษณะของช่องเปิดด้านบนที่ใช้ในการวิจัย	66
4.1	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Skylight	87
4.2	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Clearstories	88
4.3	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Overhang	89
4.4	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Horizontal Blind	90
4.5	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Sun Scatter	91
4.6	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Double Sun Scatter	92
4.7	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Clear Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Skylight	95
4.8	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Clear Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Clearstories	96
4.9	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Clear Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Overhang	97
4.10	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Clear Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Horizontal Blind	98
4.11	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Clear Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Sun Scatter	99
4.12	แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Clear Sky ช่วงเวลา 12.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Double Sun Scatter	100
4.13	แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ สภาพท้องฟ้าต่าง ๆ ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00 น. รูปแบบ Skylight และ Clearstories	104

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ สภาพท้องฟ้าต่าง ๆ ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00 น. รูปแบบ Overhang และ Horizontal Blind 105

4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ สภาพท้องฟ้าต่าง ๆ ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00 น. รูปแบบ Sun Scatter และ Double Sun Scatter 106

4.16 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Skylight 110

4.17 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Clearstories..... 111

4.18 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Overhang..... 112

4.19 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Horizontal Blind 113

4.20 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Sun Scatter 114

4.21 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Double Sun Scatter..... 115

4.22 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 16.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Skylight 116

4.23 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 16.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Clearstories..... 117

4.24 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 16.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Overhang..... 118

4.25 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 16.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Horizontal Blind 119

4.26 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 16.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Sun Scatter 120

4.27 แสดงค่า Df (%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ช่วงเวลา 16.00 น. ที่ค่าการสะท้อนภายใน 75 % และ Ag/Af = 1 : 25 รูปแบบ Double Sun Scatter..... 121

4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ระดับพื้นที่ใช้งาน ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00, 14.00, 16.00 น. รูปแบบ Skylight 122

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ระดับพื้นที่ใช้งาน ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00, 14.00, 16.00 น. รูปแบบ Clearstories 123

4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ระดับพื้นที่ใช้งาน ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00, 14.00, 16.00 น. รูปแบบ Overhang 124

4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ระดับพื้นที่ใช้งาน ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00, 14.00, 16.00 น. รูปแบบ Horizontal Blind 125

4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ระดับพื้นที่ใช้งาน ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00, 14.00, 16.00 น. รูปแบบ Sun Scatter.....126

4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ระดับพื้นที่ใช้งาน ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ เวลา 12.00, 14.00, 16.00 น. รูปแบบ Double Sun Scatter 127

4.34 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ที่รูปแบบช่องเปิดด้านบนต่าง ๆ ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ที่สภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ณ เวลา 12.00 น. 130

4.35 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ที่รูปแบบช่องเปิดด้านบนต่าง ๆ ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, Ag/Af = 1 : 25 ที่สภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky ณ เวลา 14.00, 16.00 น. 131

4.36 แสดงการเปรียบเทียบความแปรปรวนของระดับความส่องสว่างภายใน ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00–16.00 น. ที่ค่าสะท้อนแสง 75%, Ag/Af = 1 : 25 ณ สภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky 132

4.37 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ที่ขนาดพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, ณ เวลา 12.00 รูปแบบ Overhang และ รูปแบบ Horizontal Blind 135

4.38 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ที่ขนาดพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ ที่ค่าสะท้อนแสง = 75%, ณ เวลา 12.00 รูปแบบ Sun Scatter และ Double Sun Scatter.....136

4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่าง ๆ (Ag/Af) กับค่าความส่องสว่างภายใน DF(%) ที่ค่าการสะท้อนแสงหลังคาและภายในอาคาร 75% 139

4.40 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ค่าสะท้อนแสงภายใน และค่าสะท้อนแสงหลังคา Ag/Af = 1 : 25 ณ สภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky รูปแบบ Overhang.....141

4.41 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ค่าสะท้อนแสงภายใน และค่าสะท้อนแสงหลังคา Ag/Af = 1 : 25 ณ สภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky รูปแบบ Horizontal Blind 142

4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ค่าสะท้อนแสงภายใน และค่าสะท้อนแสงหลังคา Ag/Af = 1 : 25 ณ สภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky รูปแบบ Sun Scatter.....143

4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่า DF ของแสงในแนวระนาบ ณ ค่าสะท้อนแสงภายใน และค่าสะท้อนแสงหลังคา Ag/Af = 1 : 25 ณ สภาพท้องฟ้าแบบ Partly Cloudy Sky รูปแบบ Double Sun Scatter.....144

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาดพื้นที่ช่องเปิด ณ ค่าสะท้อนแสงหลังคาต่าง ๆ ของแบบ Overhang และ Horizontal Blind 147

4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาดพื้นที่ช่องเปิด ณ ค่าสะท้อนแสงหลังคาต่าง ๆ ของแบบ Sun Scatter และ Double Sun Scatter 148

4.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายใน กับองค์ประกอบภายนอกของรูปแบบช่องเปิดด้านบนต่าง ๆ 149

4.47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาดพื้นที่ช่องเปิด ณ ค่าสะท้อนแสงภายในต่าง ๆ ของแบบ Overhang และ Horizontal Blind 153

4.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาดพื้นที่ช่องเปิด ณ ค่าสะท้อนแสงภายในต่าง ๆ ของแบบ Sun Scatter และ Double Sun Scatter 154

4.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายใน กับองค์ประกอบภายในของรูปแบบช่องเปิดด้านบนต่าง ๆ 155

4.50 Monograph แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายใน--ค่าสะท้อนแสงหลังคา--ค่าสะท้อนแสงภายใน 158

4.51 Monograph แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายใน—ขนาดพื้นที่ช่องเปิด--ปริมาณความส่องสว่างภายนอก 159

5.1 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในที่ได้รับจากองค์ประกอบแวดล้อมต่าง ๆ 172