# อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคาร

นางสาว สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0389-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20236347

# AN INVESTIGATION OF FACTOR EFFECTING NATURAL SIDELIGHTING ILLUMINATION FOR GENERAL BUILDING

Miss Sureepan Supansomboon

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 2001

ISBN 974-17-0389-9

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคาร |
| โดย | นางสาว สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์ |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีอาคาร |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ สุนทร บุญญาธิการ |

---

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ สุนทร บุญญาธิการ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดอกเตอร์ วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.....กรรมการ

(อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต)

สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์ : อิทธิพลของตัวแปร ที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้าง เข้ามาใช้ภายในอาคาร (AN INVESTIGATION OF FACTOR EFFECTING NATURAL SIDELIGHTING ILLUMINATION FOR GENERAL BUILDING) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ ; 335 หน้า. ISBN 974-17-0389-9

การนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคารเป็นรูปแบบของการใช้แสงธรรมชาติที่ใช้โดยทั่วไป ซึ่งมักพบปัญหาเกี่ยวกับระดับการส่องสว่าง ณ ระนาบทำงานภายในอาคารส่วนที่ห่างจากช่องเปิดไม่เพียงพอต่อการใช้งาน และอัตราส่วนความสว่างระหว่างบริเวณใกล้ช่องเปิดกับส่วนที่ลึกเข้าไปภายในห้องมากเกินไป การออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคารโดยทั่วไปยังขาดความเข้าใจที่ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้มากเท่าที่ควร การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลและความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ และเสนอแนะรูปแบบการประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบ

การศึกษานี้ใช้เทคนิคการวัดระดับการส่องสว่างภายในหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ สภาพท้องฟ้า ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ค่าการสะท้อนแสงของพื้นภายนอก พื้นที่พื้นภายนอก ลักษณะพื้นผิวของพื้นภายนอก ขนาดของช่องเปิด ระดับของช่องเปิด ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง ลักษณะพื้นผิวของห้อง ความกว้างของห้อง ความลึกของห้อง ความสูงฝ้าเพดานห้อง และรูปแบบการสะท้อนแสงภายในห้อง

จากการวิจัยพบว่า ความกว้างและความลึกของห้องทั่วๆไปมีอิทธิพลต่อการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคารค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่น ในทางตรงกันข้ามค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้องเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุด เนื่องจากทำให้สามารถใช้แสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรอื่น ประสิทธิภาพของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในห้องขึ้นกับตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ องค์ประกอบการสะท้อนแสงภายในห้อง แสงจากท้องฟ้า และแสงสะท้อนจากพื้นภายนอก ค่าการสะท้อนแสงมากแสงจะเข้าสู่ภายในได้ลึกองค์ประกอบการสะท้อนแสงภายในห้องจะมีอิทธิพลมาก แสงจากท้องฟ้าจะมีอิทธิพลมากเมื่อใช้ช่องเปิดสูง เนื่องจากช่องเปิดสูงจะทำให้แสงเข้าสู่ระนาบทำงานได้ลึก กรณีแสงสะท้อนจากพื้นภายนอก หากแสงสามารถเข้าสู่เพดานยิ่งลึกจะยิ่งมีประโยชน์มาก นอกจากนี้ยังมีลักษณะอื่นที่ได้ศึกษาในรายละเอียด แต่มีอิทธิพลไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีข้างต้น จึงไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบของโนโมกราฟ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ออกแบบด้วยเหตุที่ทำให้ผู้ออกแบบสามารถทำนายระดับการส่องสว่างได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยการคำนวณ สร้างความเข้าใจเรื่องการนำแสงธรรมชาติด้านข้างเข้ามาใช้ภายในอาคารอย่างเป็นรูปธรรม

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต สุรีพรรณ์ สุพรรณสมบูรณ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

## 4174181325 : MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD : DAYLIGHTING / DAYLIGHTING FACTOR / SIDE LIGHTING DESIGN

SUREEPAN SUPANSOMBOON : AN INVESTIGATION OF FACTOR EFFECTING NATURAL SIDELIGHTING ILLUMINATION FOR GENERAL BUILDING . THESIS ADVISOR : PROF. SOONTORN BOONYATIKARN , Ph.D.,. 335pp. ISBN 974-17-0389-9

Sidelighting is commonly used in building. Problems in design with sidelighting are level of inside illumination at working plane far from the window is not enough and luminance ratio between the area near the window and the distant area is too much. However, because of the lack of understanding of the sidelighting, the use of daylighting is not so beneficial. This research, therefore, is to investigate the influences and the relation of variations which effect on the effective using of sidelighting and to suggest a design which can be really applied for building.

This study was conducted by measuring interior illumination in models under natural sky and then analyzing the following variations. There are : sky condition, sun geometry, ground reflectance, ground area, ground surface, window area, window level, interior reflectance, interior surface, room width, room length, ceiling height and interior reflection pattern.

The research results were shown that general room width and length cause slightly sidelighting effect compared with other variations. Otherwise, the most important variation is interior reflectance, not only it causes sidelighting efficiently but it also takes an influence towards other variations. Sidelighting efficiency depends on major influences: internally reflected component, sky component and ground component. If interior reflectance is high, light will come in to the room deeply. Internally reflected component takes an effective influence. Sky component will cause effect when high window is used. High window helps light shining into the working plane deeply. In the case of ground component, if the light comes in to the ceiling deeply, it will be getting more beneficial. Besides, there are other aspects that were studied in details but since they don't take so much influences comparing with the mentioned above, it is omitted hereby.

The results of this research can be certainly applied for constructing design tool, nomograph. It is beneficial for designer used to predict illumination level easily without calculation and it causes clear understanding of concrete usage of natural sidelighting for building.

Department/Program..Architectural..... Student's signature .....Sureepan Supansomboon.....

Field of study.....Building technology..... Advisor's signature.....Soontorn Boonyatikarn.....

Academic year.....2001.....

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลือของ ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับคำแนะนำ ข้อคิดเห็น และ ความอนุเคราะห์ต่างๆ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีอาคารทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ และ คำแนะนำเสมอมา รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับข้อคิดเห็นที่สามารถทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ได้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆเป็นอย่างดี นอกจากนี้ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมชั้นทุกท่าน สำหรับข้อคิดเห็น ความช่วยเหลือ และ กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) เป็นอย่างสูงสำหรับความอนุเคราะห์ทุนในการวิจัย ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ ดร.ศจี สุวรรณศรี ที่ได้กรุณาให้คะแนะนำเรื่องข้อมูลสถิติ ผศ.ดร.สร้อยสุดา ณ ระนอง กรุณาตรวจทานบทคัดย่อภาษาอังกฤษ และ ดร.อมรรัตน์ พรหมบุญ ที่ได้ประสานงานเพื่ออำนวยความสะดวกต่อการวิจัยในหลายๆด้าน

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน และ ขอขอบคุณ คนในครอบครัว สำหรับกำลังใจ และ ความช่วยเหลือ ในหลายๆด้าน เสมอมา จนสามารถสำเร็จการศึกษา

# สารบัญ

หน้า

**บทคัดย่อภาษาไทย**..... จ
**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ**..... ฉ
**กิตติกรรมประกาศ**..... ช
**สารบัญ**..... ซ
**สารบัญภาพ**..... ฐ
**สารบัญตาราง**..... ด
**สารบัญแผนภูมิ**..... ต

**บทที่**

1 บทนำ
1.1 ความเป็นมา และ ความสำคัญของปัญหา.....4
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....7
1.3 ขอบเขตในการศึกษา.....7
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....8
1.4.1 ตัวแปรที่นำมาศึกษา.....8
1) ตัวแปรจากแหล่งกำเนิดแสงและวิธีการนำแสงจากภายนอกเข้าสู่อาคาร..... 8
2) ตัวแปรจากวิธีรับแสงเข้าสู่อาคาร.....8
3) ตัวแปรจากวิธีกระจายแสงสู่ระนาบทำงาน..... 9
1.4.2 กระบวนการวิจัย.....10
1) ศึกษาตัวแปร และ อิทธิพลของตัวแปร..... 10
2) หาความสัมพันธ์ของตัวแปร.....11
3) ประยุกต์ใช้งาน.....11
1.4.3 วิธีการที่ใช้ในการวิจัย.....13
1) วิธีการคำนวณ.....13
2) วิธีการทดลอง.....13
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 16

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


**2 ทฤษฎี และ แนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย**

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการให้แสงสว่าง....17

2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง....17

1) คุณสมบัติของแสง....17

2) พฤติกรรมของแสง....18

3) แหล่งกำเนิดแสง....24

2.1.2 คำศัพท์และคำนิยามเกี่ยวกับแสง....26

1) ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง....27

2) ทฤษฎีความสว่างที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น....29

2.1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น....31

1) ธรรมชาติของการมองเห็น....31

2) มุมมองของสายตา....33

3) ปัจจัยในการมองเห็น....36

4) ความต้องการแสง....39

2.1.4 การให้แสงภายในอาคาร....44

1) หลักในการออกแบบการให้แสง....44

2) การคำนวณความส่องสว่างภายในอาคาร....46

3) การให้แสงภายในห้อง....49

2.2 แนวคิด และ ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ....52

2.2.1 องค์ประกอบของแสงธรรมชาติ....52

1) แสงที่มาจากท้องฟ้า....53

2) แสงสะท้อนจากพื้นผิว....60

2.2.2 หลักการในการใช้แสงธรรมชาติ....61

1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง....61

2) หลักการที่ใช้ในการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร....62

3) วิธีการที่ใช้ในการประเมินระดับความส่องสว่างภายในอาคาร....69

2.2.3 วิธีการในการใช้แสงธรรมชาติ....83

1) วิธีการทั่วไป....83

2) รูปแบบการใช้แสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านข้าง....86

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


**3 ระเบียบวิธีวิจัย**

3.1 ตัวแปร..... 89

3.1.1 ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้..... 90

3.1.2 ตัวแปรอิสระ และ ตัวแปรควบคุม.....91

1) ตัวแปรจากองค์ประกอบภายนอก..... 91

2) ตัวแปรจากช่องเปิด..... 92

3) ตัวแปรจากองค์ประกอบภายใน.....93

3.1.3 ตัวแปรตาม..... 95

3.2 วิธีการทดลอง.....95

3.2.1 หุ่นจำลอง.....96

3.2.2 ประชากร และ ตัวอย่าง..... 99

3.2.3 เครื่องมือ และ อุปกรณ์..... 100

3.2.4 สภาพสถานที่.....100

3.3 การแปรผล.....101

3.3.1 การหาอิทธิพล และความสำคัญของตัวแปร..... 101

3.3.2 การหาความสัมพันธ์ของตัวแปร.....101

3.3.3 การวิเคราะห์..... 102

**4 ผลการวิจัย**

4.1 การศึกษาตัวแปร..... 103

4.1.1 สภาพท้องฟ้า..... 103

4.1.2 ตำแหน่งดวงอาทิตย์.....106

4.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอก.....110

4.1.4 ค่าสัดส่วนของพื้นภายนอก.....113

4.1.5 ลักษณะพื้นผิวของพื้นภายนอก..... 117

4.1.6 ระดับของช่องเปิด (มุมตกกระทบมากที่สุด) ..... 120

4.1.7 พื้นที่ช่องเปิด..... 125

4.1.8 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง..... 127

4.1.9 ลักษณะพื้นผิวของพื้นผิวภายในห้อง.....131

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.10 ความกว้างของห้อง.....133
4.1.11 ความยาวของห้อง.....133
4.1.12 ความสูงฝ้าเพดานห้อง.....135
4.1.13 รูปแบบการสะท้อนแสงภายในห้อง.....138
4.2 ความสำคัญ และ ความสัมพันธ์ของตัวแปร.....145
4.2.1 การใช้ลักษณะพื้นผิวด้าน.....145
1) ความสำคัญ และ ความสัมพันธ์ต่อกันของตัวแปร.....145
2) อิทธิพลแสงจากท้องฟ้า และ แสงสะท้อน.....149
4.2.2 การใช้ลักษณะพื้นผิวมัน.....156
4.3 เทคนิคในการนำแสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านข้างเข้ามาใช้บนระนาบทำงานภายในห้อง.....158
4.3.1 การใช้แสงจากท้องฟ้าโดยตรง.....158
4.3.2 การใช้เทคนิคการสะท้อน.....160
4.4 การประยุกต์ใช้.....163
4.4.1 โนโมกราฟ.....163
1) แผนภูมิระดับของช่องเปิด.....163
2) แผนภูมิค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง.....165
3) แผนภูมิค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอก.....165
4) แผนภูมิขนาดของช่องเปิด.....166
5) แผนภูมิสภาพท้องฟ้า.....166
6) แผนภูมิตำแหน่งของดวงอาทิตย์.....166
7) แผนภูมิแปลงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เป็นค่าความส่องสว่าง.....167
4.4.2 ความเข้าใจเรื่องความสัมพันธ์ของตัวแปร.....167
4.4.3 ตัวอย่างการใช้โนโมกราฟ.....168
1) กรณีเปรียบเทียบ.....168
2) การใช้ช่องเปิดสูง.....168
3) การใช้เทคนิคการสะท้อน.....169

**5 บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ**

5.1 บทสรุป.....177

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.1 ตัวแปร และ อิทธิพลของตัวแปร..... 177
5.1.2 รูปแบบการผสานตัวแปร..... 179
5.1.3 แนวทางในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้าง..... 180
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 181
5.2.1 ข้อกำจัดในการวิจัย..... 181
1) ขนาดที่ทำการทดลองกับขนาดที่ใช้งานจริง..... 181
2) การกำหนดขอบเขตของการวิจัย..... 181
5.2.2 แนวทางในการประยุกต์เพื่อใช้ในการออกแบบ..... 182
1) การประยุกต์ค่าสัดส่วนพื้นภายนอก..... 182
2) การใช้ช่องเปิดในทิศตะวันออกและทิศตะวันตก..... 184
5.2.3 การศึกษาต่อเนื่องจากการวิจัยนี้..... 185
1) การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรในเชิงสถิติ..... 185
2) ปรับปรุงอุปกรณ์..... 185
3) ตัวแปรอื่นๆ..... 186

**คำศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยนี้**..... 187
**รายการอ้างอิง**..... 189
**รายการอ้างอิงสมการ**..... 192
**ภาคผนวก**
ก. ข้อกำหนดเรื่องค่าความส่องสว่าง..... 195
ข. ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (CU)..... 204
ค. ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้องแสง และ ส่องผ่านแสง..... 218
ง. การบังแดด..... 225
จ. ข้อมูลเชิงสถิติที่ใช้ในการปรับค่าความต่างของเครื่องมือ..... 228
ฉ. ข้อมูลค่าการสะท้อนแสงของกระดาษที่ใช้ในการทดลอง..... 229
ช. ข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปร..... 230
ซ. แผนภูมิ และ ข้อมูล ที่ทำการทดลอง..... 256
ฌ. โนโมกราฟ..... 320
**ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์**..... 335

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | ผังแสดงการผสานเทคโนโลยีในกระบวนการออกแบบ | 3 |
| 1.2 | (a) และ (b) แสดงการเกิด veiling reflection ใน sidelighting และ toplighting ตามลำดับ | 4 |
| 1.3 | แสดงระดับความสว่างของของเปิดด้านข้างที่ใช้โดยทั่วไป | 5 |
| 1.4 | แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างความจ้า ระหว่างการเปิดช่องเปิดด้านเดียวกับการเปิดช่องเปิดหลายด้าน | 6 |
| 1.5 | แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย | 12 |
| 1.6 | แสดงรูปแบบหุ่นจำลองมาตราส่วน 1:10 | 13 |
| 1.7 | (a) แสดงเครื่องมือวัดแสง ดิจิคอน แอลเอ็กซ์-05 ลักซ์มิเตอร์, (b) แสดงตัวรับแสง (sensor) ที่มีการยกตัวรับแสงให้อยู่ในระดับ 75 ซม. โดยการติดตั้งกับกล่องกระดาษ | 14 |
| 1.8 | แสดงตำแหน่งในการวัดปริมาณแสงภายในหุ่นจำลอง | 15 |
| 2.1 | (a) และ (b) แสดงความถี่ และ ความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ | 18 |
| 2.2 | แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง | 19 |
| 2.3 | แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) | 20 |
| 2.4 | แสดงการสะท้อนแบบกระจายไปในทิศทางเดียวกัน (partially specular or directional reflection). | 20 |
| 2.5 | แสดงการสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์ (perfect diffuse reflection) | 21 |
| 2.6 | แสดงการสะท้อนแบบกระจายอย่างกระจัดกระจาย (semi-diffuse reflection) | 21 |
| 2.7 | แสดงการสะท้อนแบบผสมผสานกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) และ การสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection) | 21 |
| 2.8 | แสดงการส่องผ่านของแสงเมื่อผ่านตัวกลางโปร่งใส | 22 |
| 2.9 | แสดงการส่องผ่านของแสงเมื่อผ่านตัวกลางโปร่งแสง | 23 |
| 2.10 | แสดงการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เหนือพื้นโลก | 25 |
| 2.11 | (a), (b) และ (c) แสดงการอ้างอิงแสงจากเทียนไขบนพื้นผิวทรงกลม เพื่อสมมติค่า และ กำหนดนิยาม | 26 |
| 2.12 | (a) แสดงส่วนประกอบของตา, (b) แสดงลักษณะการรับภาพใกล้-ไกล และ (c) แสดงพื้นที่การรับภาพของ โคน และ ร็อด | 32 |
| 2.13 | แสดงมุมที่สายตาสามารถมองเห็นได้ | 34 |
| 2.14 | แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน | 35 |
| 2.15 | แสดงความสัมพันธ์ของขนาดวัตถุกับการมองเห็น | 36 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


**ภาพที่** **หน้า**

2.16 ผังแสดงองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการส่องสว่างที่ดี....44

2.17 แสดงมุมตกกระทบ (incident angle) ....46

2.18 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์....53

2.19 แสดงการอ้างอิงตำแหน่งของดวงอาทิตย์....54

2.20 (a), (b) และ (c) แสดงเส้นทางผ่านของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก....55

2.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างในแนวระนาบ และ แนวตั้งของท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (overcast sky) ที่มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (non-uniform brightness) ....56

2.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างในแนวระนาบ และ แนวตั้งของสภาพท้องฟ้าโปร่ง (clear sky) ....58

2.23 แสดงการอ้างอิงมุมของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับแนวตั้งฉากของอาคาร (profile angle)....64

2.24 แสดงความสัมพันธ์ของความส่องสว่าง กับ ความสว่างที่เข้าสู่อาคารทางช่องเปิด....66

2.25 แสดงความสำคัญของมุมตกกระทบ กับ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดถึงจุดตกกระทบ....67

2.26 (a), (b) และ (c) แสดงวัสดุแผ่นหยักทรงปริซึม....68

2.27 ผังแสดงกระบวนการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในการออกแบบ....69

2.28 ภาพแสดงการกำหนดตำแหน่งในวิธีลูเมนเมทดอท....70

2.29 ภาพแสดงบีอาร์เอสโปรแทรกเตอร์ และ วิธีในการใช้
(a) บีอาร์เอสโปรแทรกเตอร์สำหรับช่องแสงในแนวตั้ง ท้องฟ้ามีเมฆมาก
(b) การใช้บีอาร์แอสโปรแทรกเตอร์กับรูปตัดตามความลึกห้อง
และ (c) การใช้บีอาร์แอสโปรแทรกเตอร์กับผังพื้นห้อง....75

2.30 ภาพแสดงโนโมแกรมที่ใช้ในการทำนายองค์ประกอบค่าการสะท้อนแสงภายในห้อง....76

2.31 ภาพแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในวิธี Exterior Illuminance Contour Overlays
(a) Sun Path Chart
และ (b) illuminance contour....77

2.32 ภาพแสงอุปกรณ์ที่ใช้ในวิธีดอทชาร์ท
(a) Obstruction Mask Protractor
และ (b) Dot Chart....77

2.33 แสดงการสังเกตสภาพแสงภายในหุ่นจำลอง....79

2.34 (a) แสดง ดิจิคอน แอลเอ็กซ์-05 ลักซ์มิเตอร์
และ (b) แสดงการใช้เครื่องมือการวัด....80

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.35 | แสดงแนวการวัดแบบต่างๆ | 81 |
| 2.36 | แสดงการวัดแสงภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง | 81 |
| 2.37 | แสดงการถ่ายภาพหุ่นจำลอง | 82 |
| 2.38 | แสดงเส้นกราฟปริมาณแสงที่เข้าสู่ภายในห้องที่มีฝ้าเพดานรูปแบบต่างๆ | 85 |
| 2.39 | แสดงรูปแบบการใช้ช่องแสงสูงร่วมกับช่องแสงในระดับสายตา | 86 |
| 2.40 | แสดงรูปแบบการสะท้อนแสงสู่ฝ้าแบบเสมือนกระจกเงา | 87 |
| 2.41 | แสดงรูปแบบการสะท้อนแสงสู่ฝ้าแบบกระจาย | 87 |
| 2.42 | แสดงรูปแบบการสะท้อนแสงสู่ฝ้าโดย louver | 88 |
| 3.1 | แสดงลักษณะการกำหนดมุมเซต้ามากที่สุด | 92 |
| 3.2 | แสดงรูปแบหุ่นจำลองหลัก (base case) | 96 |
| 3.3 | แสดงการะดาษที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงตามที่กำหนด | 96 |
| 3.4 | แสดงรูปแบบหุ่นจำลองทั้งหมด | 97 |
| 3.5 | แสดงหุ่นจำลองพื้นภายนอก | 98 |
| 3.6 | แสดงรูปแบบอื่นๆของหุ่นจำลองพื้นภายนอก | 98 |
| 3.7 | แสดงตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลภายในหุ่นจำลอง | 99 |
| 3.8 | แสดงรูปแบบกราฟเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ตัวแปรเดียวกันตามความลึกห้อง | 101 |
| 3.9 | แสดงรูปแบบกราฟเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ และ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว | 102 |
| 4.1 | แสดงสภาพท้องฟ้าจริง | 103 |
| 4.2 | แสดงการจำลองสภาพแสงที่เข้าสู่ช่องเปิดด้านข้างในสภาพท้องฟ้าแบบต่างๆ | 105 |
| 4.3 | แสดงการจำลองตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อระนาบช่องเปิดในทิศทางต่างๆที่ศึกษา | 106 |
| 4.4 | ภาพแสดงรูปแบบการสะท้อนแสงตรงจากดวงอาทิตย์โดยพื้นภายนอกที่มีลักษณะพื้นผิวต่างๆกัน | 118 |
| 4.5 | ภาพจำลองพฤติกรรมการสะท้อนแสงภายในห้องที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้องแสงภายใน 50% และ เฉลี่ย 50% | 127 |
| 4.6 | ภาพแสดงการจำลองลักษณะการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง เมื่อพื้นภายนอกมีพื้นผิวมัน | 131 |
| 4.7 | ภาพจำลองพฤติกรรมการสะท้อนแสงภายในห้องที่มีความสูงฝ้าเพดานต่างกัน | 135 |
| 4.8 | ภาพจำลองพฤติกรรมการสะท้อนแสงภายในห้องจำแนกตามระนาบต่างๆ | 139 |
| 4.9 | แผนภาพแสดงการเรียงลำดับความสำคัญของอิทธิพลแสงสะท้อนจากระนาบต่างๆ | 140 |
| 4.10 | แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมด | 146 |
| 4.11 | ภาพแสดงการจำลองการนำแสงจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้อง | 150 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)

**ภาพที่** **หน้า**

4.12 ภาพแสดงการจำลองการรับแสงเข้าสู่ระนาบทำงาน..... 154
4.13 ภาพแสดงกราฟของเดย์ไลท์แฟคเตอร์ที่เพิ่มขึ้นตามเทคนิคการใช้แสงจากท้องฟ้าโดยตรง.....159
4.14 ภาพแสดงกราฟของเดย์ไลท์แฟคเตอร์ตามเทคนิคการใช้ช่องเปิดสูงที่มีประสิทธิภาพลดลง เมื่ออุปกรณ์บังแดดมีพื้นที่มาก.....159
4.15 ภาพแสดงกราฟของค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ที่เพิ่มขึ้นตามเทคนิคการใช้แสงสะท้อน..... 161
4.16 ผังแสดงเทคนิคในการใช้แสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านข้าง.....162
4.17 ภาพแสดงการใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของห้องกรณีเปรียบเทียบ (BASE CASE) และ ห้องที่ใช้ช่องเปิดสูง..... 170
4.18 ภาพแสดงการใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ที่จุดห่างจากช่องเปิด 7.5 เมตร ของห้องกรณีเปรียบเทียบ (BASE CASE) และ ห้องที่ใช้ช่องเปิดสูง.....171
4.19 ภาพแสดงการใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของห้องที่ใช้เทคนิคการสะท้อน โดยทำนายค่าเมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป มุมอัลติจูด $20^{\circ}$ และ $40^{\circ}$.....172
4.20 ภาพแสดงการใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ที่จุดห่างจากช่องเปิด 7.5 เมตรของห้องที่ใช้เทคนิคการสะท้อน โดยทำนายค่าเมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป มุมอัลติจูด $20^{\circ}$ และ $40^{\circ}$.....173
4.21 ภาพแสดงการใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของห้องที่ใช้เทคนิคการสะท้อน โดยทำนายค่าเมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป ดวงอาทิตย์ไม่ทำมุมกับช่องเปิด.....174
4.22 ภาพแสดงการใช้โนโมกราฟเพื่อทำนายค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ที่จุดห่างจากช่องเปิด 7.5 เมตรของห้องที่ใช้เทคนิคการสะท้อน โดยทำนายค่าเมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป ดวงอาทิตย์ไม่ทำมุมกับช่องเปิด.....175
5.1 แสดงการประยุกต์ใช้เทคนิคการสะท้อนแสงจากพื้นภายนอก โดยใช้ม้านั่งระเบียง.....183
5.2 ภาพแสดงการใช้ลักษณะประยุกต์ของการใช้พื้นภายนอกช่วยในการสะท้อนแสงสู่ช่องเปิดสูง..... 183
5.3 แสดงการใช้ช่องเปิดสูงร่วมกับการใช้เทคนิคการสะท้อนแสง เมื่อช่องเปิดอยู่ในทิศตะวันตก หรือทิศตะวันออก.....184
5.4 ภาพการใช้ช่องเปิดในทิศตะวันออก และ ทิศตะวันตกร่วมกัน..... 185

# สารบัญตาราง


**ตารางที่** **หน้า**

1.1 แสดงประสิทธิภาพของแสงจากแหล่งต่างๆ....2

2.1 แสดงค่าความส่องสว่างในแต่ละกิจกรรม.... 41

2.2 แสดงค่าความส่องสว่างสำหรับพื้นที่ใช้สอย.... 42

2.3 แสดงอัตราส่วนความสว่าง (Luminance ratio) .... 50

2.5 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ สำหรับการใช้งานแบบต่างๆ.... 78

4.1 ตารางเทียบค่าสัดส่วนพื้นภายนอก....113

4.2 ตารางเทียบค่ามุมตกกระทบมากที่สุด กับ ระดับความสูงและตำแหน่งที่ระบุในห้องขนาดต่างๆ..... 120

# สารบัญแผนภูมิ


**แผนภูมิที่** **หน้า**

4.1 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบต่างๆ..... 104

4.2 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของช่องเปิดในทิศทางต่างๆ ตั้งแต่เวลา 8.00-16.00น..... 107

4.3 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง ของห้องที่ได้รับอิทธิพลมุมอัลติจูดที่ดวงอาทิตย์ทำต่อระนาบช่องเปิดต่างๆกัน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่มุมอะซิมุทตั้งฉากกับระนาบช่องเปิด พื้นภายนอกและพื้นผิวภายในห้องมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 70 %..... 108

4.4 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย ตามความลึกของห้อง ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอก..... 111

4.5 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง เมื่อมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอกเพิ่มขึ้น..... 111

4.6 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย ตามความลึกของห้อง ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอก เมื่อลักษณะพื้นผิวของพื้นภายนอกเป็นพื้นผิวมัน..... 112

4.7 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย ตามความลึกของห้อง ของค่าสัดส่วนของพื้นภายนอก..... 114

4.8 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของตำแหน่งช่องเปิด เมื่อสัดส่วนพื้นภายนอกส่วนที่พิจารณามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับอิทธิพลแสงสะท้อนจากพื้นภายนอกเพียงอย่างเดียว.... 114

4.9 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง ของค่าสัดส่วนของพื้นภายนอก เมื่อพื้นภายนอกมีลักษณะพื้นผิวมัน ช่องเปิดต่ำ..... 115

4.10 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง ของลักษณะพื้นผิวของพื้นภายนอก..... 119

4.11 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง ของระดับช่องเปิด. 121

4.12 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของความสูงฝ้าเพดาน เมื่อมุมตกกระทบมีค่าเพิ่มขึ้น..... 122

4.13 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง เมื่อลักษณะพื้นผิวของพื้นภายนอกและพื้นผิวภายในห้องเป็นพื้นผิวมัน..... 123

# สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

**แผนภูมิที่** **หน้า**

4.14 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย ตามความลึกของห้องของพื้นที่ช่องเปิด..126
4.15 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง เมื่อมีพื้นที่ช่องเปิดเพิ่มขึ้น.....126
4.16 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างของค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย ตามความลึกของห้อง ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง..... 129
4.17 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างของค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย ตามความลึกของห้อง ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง เมื่อห้องมีลักษณะพื้นผิวเป็นผิวมัน..... 130
4.18 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง ของลักษณะพื้นผิวของพื้นผิวภายในห้อง..... 132
4.19 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง เมื่อความกว้างห้องเพิ่มขึ้น.....134
4.20 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ระยะความลึก 7.5 เมตรแรกของห้อง นับจากช่องเปิด ของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง เมื่อความลึกห้องเพิ่มขึ้น..... 134
4.21 ชุดแผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง ของความสูงฝ้าเพดานห้อง..... 136
4.22 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของตำแหน่งช่องเปิด เมื่อความสูงฝ้าเพดานเพิ่มขึ้น..... 137
4.23 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้องที่มีช่องเปิดในระดับสายตา เมื่อความสูงฝ้าเพดานเพิ่มขึ้น..... 137
4.24 ชุดแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนร้อยละเฉลี่ย ของอิทธิพลแสงจากท้องฟ้าที่เข้าสู่ภายในห้องโดยตรง และ แสงสะท้อนจากระนาบต่างๆ จากปริมาณแสงทั้งหมด ณ. ระนาบทำงาน..... 141
4.25 ชุดแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนร้อยละเฉลี่ย ของอิทธิพลแสงจากท้องฟ้าที่เข้าสู่ภายในห้องโดยตรง และ แสงสะท้อนจากระนาบต่างๆ เมื่อช่องเปิดอยู่ในตำแหน่งที่มีมุมตกกระทบมากที่สุดเพิ่มขึ้น (ตำแหน่งต่ำลง) จากปริมาณแสงทั้งหมด ณ. ระนาบทำงาน ภายในห้องขนาด 9*9*3... 142
4.26 แผนภูมิแสดงความแตกต่างค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยตามความลึกของห้อง เปรียบเทียบอิทธิพลของลักษณะพื้นผิวของระนาบต่างๆ..... 143
4.27 แสดงการค่าความต่างของค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระหว่างค่ามากที่สุดกับค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (BASE CASE) ของตัวแปรในการออกแบบ..... 143

# สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

**แผนภูมิที่** **หน้า**

4.28 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละเฉลี่ย ของอิทธิพลแสงจากท้องฟ้า และ แสงสะท้อนที่เกิดจากแสงสะท้อนจากพื้นภายนอก จากปริมาณแสงเฉลี่ย ณ.ระนาบทำงานภายในห้อง ที่มีช่องเปิดในระดับสายตา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอกและพื้นผิวภายในห้องมีค่าเพิ่มขึ้น.....151

4.29 ชุดแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละเฉลี่ย ของอิทธิพลแสงจากท้องฟ้าที่เข้าสู่ภายในห้องโดยตรง แสงสะท้อนที่เกิดจากแสงจากท้องฟ้า และ แสงสะท้อนที่เกิดจากแสงสะท้อนจากพื้นภายนอก..... 152

4.30 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละเฉลี่ยของอิทธิพลของแสงจากท้องฟ้าที่เข้าสู่ระนาบทำงานภายในห้องโดยตรง และ แสงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นผิวภายในห้อง จากปริมาณแสงเฉลี่ย ณ.ระนาบทำงานภายในห้อง ที่มีช่องเปิดในระดับสายตา เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอกและพื้นผิวภายในห้องมีค่าเพิ่มขึ้น.....152

4.31 ชุดแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละเฉลี่ยของอิทธิพลแสงจากท้องฟ้า และ แสงสะท้อนที่เกิดจากแสงสะท้อนจากพื้นภายนอก จากปริมาณแสงเฉลี่ย ณ.ระนาบทำงานภายในห้อง ที่มีช่องเปิดต่ำ พื้นผิวภายในห้องมีลักษณะพื้นผิวด้านค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 70% เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นภายนอกมีค่าเพิ่มขึ้น.....157

4.32 ชุดแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนร้อยละเฉลี่ยของอิทธิพลแสงจากท้องฟ้า และ แสงสะท้อนที่เกิดจากแสงสะท้อนจากพื้นภายนอกผิวมันคาสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 70% จากปริมาณแสงเฉลี่ย ณ.ระนาบทำงานภายในห้อง ที่มีช่องเปิดต่ำ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้องมีค่าเพิ่มขึ้น..... 157

4.33 โนโมกราฟแสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงในการใช้งานตัวแปรแต่ละตัว.....164