แนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่าง ภายในอาคารห้องสมุด กรณีศึกษาอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม

นางสาว พัชราภรณ์ เหมือนศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GUIDELINE OF DAY LIGHTING UTILIZATION IN LIBRARY BUILDING CASE STUDY: POOLCHAROEN WITTAYAKOM SCHOOL LIBRARY

MISS PATCHARAPORN MERNSATRA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด กรณีศึกษาอาคารห้องสมุดโรงเรียนพลูเจริญวิทยาคม
โดย	นางสาว พัชราภรณ์ เหมือนศาสตร์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาลัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. รวิช ควรประเสริฐ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัชราภรณ์ เหมือนศาสตร์: แนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด กรณีศึกษาอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม. (GUIDELINE OF DAY LIGHTING UTILIZATION IN LIBRARY BUILDING CASE STUDY POOLCHAROEN WITTAYAKOM SCHOOL LIBRARY)
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ, 107 หน้า.

การศึกษาแนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด กรณีศึกษาอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม เริ่มจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนที่มาใช้บริการภายในอาคารห้องสมุด พบว่ามีปัญหาด้านต่างๆ ดังนี้ ปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอในการอ่านหนังสือและทำกิจกรรมต่าง ๆ ความร้อนภายในอาคารห้องสมุด และเสียงที่มีลักษณะก้องกังวาน เป็นต้น เมื่อผู้วิจัยเก็บข้อมูลและสำรวจภายในอาคารห้องสมุดพบว่า มีช่องเปิดบริเวณหลังคาของอาคารแห่งนี้แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้ประโยชน์ใดๆ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาแนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารขึ้น จึงเกิดวัตถุประสงค์ของการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุด ดังนี้ ศึกษาทฤษฎีและสำรวจลักษณะทางกายภาพในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ วิเคราะห์จากตัวแปรในการศึกษา ดังนี้ ตัวแปรที่ 1 ขนาดของช่องเปิดด้านบนต่อพื้นที่ใช้สอย ตัวแปรที่ 2 ผิวและสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง และตัวแปรที่ 3 ลักษณะการสะท้อนแสงและการกระจายของแสงภายในอาคาร โดยประเมินผลข้อมูลจากการเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายในและภายนอกอาคาร นำมาหาค่า Daylight Factor เพื่อมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารห้องสมุดปัจจุบันให้มีการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่าง

ขั้นตอนในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1) สำรวจและเกิดข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายในอาคารเพื่อพิจารณาตำแหน่งหรือบริเวณที่มีปัญหามากที่สุดเพื่อหาแนวทางในการแก้ไข 2) สร้างหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดขนาด 1:20 เพื่อใช้เป็นในการทดลองดังนี้ เพื่อพิจารณาปริมาณแสงที่เกิดขึ้นจาก ขนาดของช่องเปิดบริเวณด้านบนของอาคารทั้ง 3 สัดส่วน คือ 4% 8% และ 12% ต่อพื้นที่ใช้สอย ศึกษาลักษณะผิวและสีของวัสดุ และลักษณะการสะท้อน ผลการศึกษาพบว่า 1) ขนาดของช่องเปิดด้านบนสัดส่วนขนาด 4% ของพื้นที่ใช้สอยที่มีความแตกต่างของค่า Daylight Factor น้อยที่สุดทำให้แสงที่เข้ามามีความสม่ำเสมอมากกว่าและมีปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารน้อยกว่าสัดส่วนขนาด 12%ของพื้นที่ใช้สอย 2) การปรับปรุงผิวและสีวัสดุบริเวณพื้นที่ที่แสงตกกระทบเช่นบริเวณผิวหลังคาภายนอกเป็นผิวสีขาว ติดฝ้าสีขาวผิวขรุขระสม่ำเสมอบริเวณใต้หลังคานั้นจะทำให้ปริมาณของแสงภายในอาคารเพิ่มขึ้น 3) ลักษณะการสะท้อนแสง โดยทดสอบแสงตกกระทบโดยเปลี่ยนลักษณะของหิ้งสะท้อนให้เอียง 70 องศาจะทำให้แสงสะท้อนไปได้ลึกเพิ่มยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่าการเลือกสัดส่วนขนาดช่องเปิดด้านบนของอาคารห้องสมุดอย่างเหมาะสม ผิวและสีของวัสดุในการสะท้อนแสงที่มีค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้น ร่วมกับลักษณะการสะท้อนแสงกับหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสม ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติที่มีลักษณะของแสงสม่ำเสมอมาใช้ภายในอาคาร มีปริมาณแสงธรรมชาติที่เพียงพอเหมาะแก่การศึกษาค้นคว้าและเรียนรู้ของนักเรียนภายในอาคารห้องสมุดได้อย่างคุ้มค่าประหยัดพลังงาน และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2553

5274123325 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : DAYLIGHT / REFLECTION / DIFFUSE REFLECTION

PATCHARAPORN MERNSATRA : GUIDELINE OF DAY LIGHTING UTILIZATION IN LIBRARY BUILDING CASE STUDY POOLCHAROEN WITTAYAKOM SCHOOL LIBRARY. ADVISOR: PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 107 pp.

Lighting system in building consumes about 20 percent of total energy consumption. Day lighting is an alternative to reduce electrical use. Top lighting in Poolcharoen Wittayakom School library is the case study in this study. The research started with observation survey and light intensity measurement. It is found that it is only 100-200 lux on working plane. Therefore, it requires lots of artificial light. Moreover, the lighting system was installed on the wall which causes glare. The 1:20 scale model was used to conduct top lighting alternatives. It is found that it has 2 impact factors as 1) area of top lighting, and 2) interior reflective surfaces.

Daylight factor of every meter was measured throughout North-South and East-West. With central top lighting as 4%, 8%, and 12% ratio to usable area were experimented. The 4% ratio of top day lighting provides the appropriate light intensity on working plane. Then, the 80-90 % diffuse surface of interior ceiling and balcony finishing enhance uniform lighting intensity on the first floor as well as the corner area which has no side fenestration. If balcony tilts about 70 degree from horizontal plane, it helps to reflect day light in deeper area. So, using 4% top daylight area is an appropriate size for the standard library building.

Department : Architecture Student's Signature .....

Field of Study : Architecture Advisor's Signature .....

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากคณาจารย์และบุคคลหลาย ๆ ท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร .สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษาข้อคิดและการสร้างแรงขับเคลื่อนในการทำวิจัย และข้อมูลเทคนิคต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณ รองศาสต ราจารย์ ดร . วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ ซึ่งเป็นผู้ประศาสน์วิชา ให้ข้อมูล คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดหลักสูตรการศึกษา และตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ข อขอบคุณ คณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ สำหรับคำแนะนำในการนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดให้กับนักเรียนสามารถเรียนรู้เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณผู้บริหารโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม สำหรับเวลา และโอกาสใ นการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งได้แก่ ผอ.วุฒิชัย วันทมาตย์ ผอ.ปฏิมา พูนทรัพย์ รองฯจินตนา เสริมกล้า รองฯบุญมา เล็กเริงสินธุ์ และรองฯทรงสุดา สุคนธวงศ์

ขอขอบคุณคณะครูและเพื่อน ๆ ในโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม คุณครูสมเกียรติ บุญแจ่ม คุณครูยุ วภาภรณ์ สุระคันธ์ คุณครูวัชรา มะธิตะโน คุณครูรำไพพรรณ จันทรเสนา คุณครูเทพธิดารัตน์ ชื่นสมบัติ คุณครูอารีรัตน์ ชูเส้ง สำหรับความร่วมมือร่วมใจตลอดการเรียนที่ผ่านมา รวมทั้งพี่ ๆ ปริญญาเอกและน้อง ๆ เพื่อน ๆ ร่วมสาขา

ขอขอบคุณ คุณครูสุทิสา เรืองกันท์ สำหรับความช่วยเหลือในการทำวิจัยและกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้าย ขอขอบพระคุณ พ่อ -แม่ ที่คอยห่วงใย สำหรับทุก ๆ อย่างที่ผ่านมา จนถึงวันนี้และตลอดไป ให้ความสนับสนุนมาตลอดตั้งแต่เข้าศึกษาจนทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

สารบัญแผนภูมิ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 5

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 5

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย…… 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย……..... 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย..... 8

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง..... . 8

2.2 พฤติกรรมของแสง..... . 10

2.2.1 การดูดกลืน..... 10

2.2.2 การสะท้อน..... 10

2.2.3 การส่องผ่าน..... 13

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง..... 16

2.3.1 ปริมาณแสง..... 16

2.3.2 Solid Angle…….. 17

2.3.3 ความเข้มแห่งการส่องสว่าง..... . 17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.3.4 ความส่องสว่าง..... 19
2.3.5 การส่องสว่าง..... 19
2.4 ทฤษฎีความสว่างที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น..... 20
2.4.1 ความสว่าง..... 20
2.4.2 ความจ้า..... 20
2.4.3 ความเปรียบต่าง..... 20
2.4.4 แสงบาดตา..... 21
2.5 ทฤษฎีของการมองเห็น..... 22
2.5.1 Human Field of View..... 23
2.5.2 Eye Adaptation..... 24
2.5.3 มุมมองของสายตา..... 25
2.5.4 ปัจจัยในการมองเห็น..... 27
2.5.5 ความต้องการแสง..... 30
2.6 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ..... 35
2.6.1 องค์ประกอบของแสงธรรมชาติ..... 36
2.6.2 หลักการในการใช้แสงธรรมชาติ..... 40
2.6.3 การใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร..... 42
2.6.4 การคำนวณแสงธรรมชาติ..... 42
2.6.5 การเลือกใช้วัสดุในการสะท้อนแสง..... 45

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย..... 49
3.1 การศึกษาทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย..... 49
3.1.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 49
3.1.2 สำรวจและเก็บข้อมูลอาคารห้องสมุดปัจจุบัน..... 49
3.2 ลักษณะของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย(Model)..... 51
3.2.1 ตัวแปรที่ 1 ขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบน..... 53
3.2.2 ตัวแปรที่ 2 ผิว และสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง 56
3.2.3 ตัวแปรที่ 3 ลักษณะการสะท้อนแสงสู่พื้นที่ใช้งานโดยใช้หิ้งสะท้อน..... 59

หน้า

3.3 สรุปและเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน..... 60

บทที่ 4 ผลการวิจัย..... 62
4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย..... 62
4.2 การวิเคราะห์หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย..... 72
4.3 วิเคราะห์ผลที่เกิดจากการปรับปรุงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย..... 77
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ 1..... 77
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ 2..... 84
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ 3..... 91

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 101
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 102
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 104

รายการอ้างอิง..... 105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 107

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงความยาวคลื่นของ Visible Spectrum และรังสีอื่นๆ.....	9
2.2	แสดงประเภทของการส่องสว่างและปริมาณความส่องสว่างสำหรับกิจกรรมทั่วไปภายในอาคาร.....	32
2.3	อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ.....	33
2.4	แสดงปริมาณความสว่างที่เหมาะสมและพอยอมรับได้.....	34
2.5	แสดงลักษณะของแสงธรรมชาติ.....	37
2.6	แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ (daylight factor) สำหรับการใช้งานแบบต่างๆ.....	45
2.7	แสดงตัวอย่างของวัสดุที่มีผิวด้านและผิวมัน.....	45
2.8	แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ และพื้นผิวภายนอกอาคาร.....	46
2.9	แสดงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ(Typical Reflectances).....	47
2.10	แสดงค่าการสะท้อนแสงของสีต่าง ๆ	48
3.1	แสดงตัวอย่างของวัสดุที่มีผิวด้านและผิวมัน.....	56
3.2	แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ และพื้นผิวภายนอกอาคาร.....	57
3.3	แสดงค่าสะท้อนแสงของสีต่าง ๆ.....	58
4.1	แสดงลักษณะผิว สี ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษโปสเตอร์ที่ใช้กับหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดก่อนปรับปรุง.....	72
4.2	แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด – ต่ำสุดในสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยขนาดต่างๆ.....	84
4.3	เปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงของผิวและสีวัสดุก่อนและหลังการปรับปรุง.....	97
4.4	แสดงค่า Daylight Factor ก่อนและหลังการปรับปรุงหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดบริเวณจุดกึ่งกลางของอาคาร.....	97
4.5	แสดงค่า Daylight Factor ก่อนและหลังการปรับปรุงหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดบริเวณพื้นที่ใกล้ผนังของอาคาร.....	97

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1 (ก)	ลักษณะทั่วไปของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม.....	2
1.1 (ข)	ภายในอาคารห้องสมุดที่มีปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอ.....	2
1.2 (ก)	ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟบางส่วนบริเวณภายในอาคารห้องสมุด.....	3
1.2 (ข)	ลักษณะของหลอดไฟที่ใช้ภายในอาคารห้องสมุด.....	3
1.3	บริเวณช่องแสงด้านบนของอาคารห้องสมุดที่ใช้ประโยชน์ของแสงธรรมชาติอย่างไม่คุ้มค่า	4
1.4	บริเวณช่องแสงด้านบนของอาคารห้องสมุดปัจจุบันที่ใช้สำหรับระบายอากาศ	4
2.1	แสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ.....	9
2.2	แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง.....	10
2.3	พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ.....	11
2.4	แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา.....	11
2.5	แสดงการสะท้อนแบบกระจายไปในทิศทางเดียวกัน.....	12
2.6	แสดงการสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์.....	12
2.7	แสดงการสะท้อนแบบกระจายอย่างกระจัดกระจาย.....	13
2.8	แสดงการสะท้อนแบบผสมผสานระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาและการสะท้อนแบบกระจาย.....	13
2.9	แสดงการส่องผ่านของแสง เมื่อผ่านตัวกลางโปร่งใส.....	14
2.10	แสดงการส่องผ่านตัวกลางโปร่งแสง.....	15
2.11	แสดงการอ้างอิงแสงจากเทียนไข เพื่อสมมติค่าและกำหนดนิยาม.....	17
2.12	ความเข้มของการส่องสว่าง.....	18
2.13	แสดงพื้นที่การรับภาพของโคน และ ร็อด.....	23
2.14	แสดงขอบเขตการมองเห็นของสายตา.....	24
2.15	แสดงมุมที่สายตาสามารถมองเห็นได้.....	25
2.16	แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน.....	26
2.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างที่รับรู้และความสว่างที่วัดได้ต่อการปรับสายตา (eye adaptation).....	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างในแนวระนาบ แนวตั้ง ของท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast sky).....	38
2.19	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างในแนวระนาบ และแนวตั้ง ของสภาพท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear sky.....	39
3.1(ก)	ลักซ์มิเตอร์ รุ่น LX-91.....	50
3.1(ข)	ลักซ์มิเตอร์ รุ่น LX1010BS.....	50
3.2	ภาพหุ่นจำลองแบบที่ 1.....	51
3.3	แสดงลักษณะของหุ่นจำลองอาคารห้องสมุด 1:20	53
3.4	แสดงสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยในขนาดต่างๆ.....	55
3.5	ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน ระดับ 0.75ม. (Working plane).....	60
4.1(ก)	อาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมทางทิศใต้.....	63
4.1(ข)	อาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมทางทิศเหนือ.....	63
4.2(ก)	ลักษณะช่องแสงบริเวณด้านข้างของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม..... .	64
4.2(ข)	ลักษณะภายในของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม.....	64
4.2(ค)	ลักษณะช่องแสงบริเวณด้านบนของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม.....	64
4.3	ลักษณะแปลนของอาคารห้องสมุดชั้น 1.....	65
4.4	ตำแหน่งของเฟอร์นิเจอร์ภายในอาคารห้องสมุด.....	65
4.5	ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน.....	66
4.6	ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง).....	68
4.7	ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน ระดับ 0.75 ม.....	69
4.8	บริเวณภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบันที่มีแสงสว่างจากธรรมชาติไม่เพียงพอ.....	71
4.9(ก)	หุ่นจำลองอาคารห้องสมุดมาตราส่วน 1:20 กรณีขนาดของพื้นที่ช่องเปิดด้านบน	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.9(ข)	หุ่นจำลองอาคารห้องสมุดมาตราส่วน 1:20 กรณีการสะท้อนแสง.....	73
4.10	ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในหุ่นจำลองอาคารห้องสมุด ระดับ 0.75ม.....	74
4.11	บริเวณภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบันที่มีแสงสว่างจากธรรมชาติไม่เพียงพอ.....	76
4.12	แสดงสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยในขนาดต่างๆ.....	77
4.13	หุ่นจำลองขนาด 1:20 ที่ใช้ในการทดสอบผิวและสีของการสะท้อนแสง.....	85
4.14	ลักษณะการสะท้อนแสงกระทบบริเวณหิ้งสะท้อน 90 องศา.....	92
4.15	ลักษณะการสะท้อนแสงกระทบบริเวณหิ้งสะท้อน 70 องศา.....	94
4.16	ขนาดพื้นที่ของช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสมกับอาคารที่มีสัดส่วน 2 เท่ากับความสูงอาคาร.....	96
4.17	ลักษณะผิวและสีของวัสดุและค่าการสะท้อนแสงที่เหมาะสม.....	98
4.18	ลักษณะการสะท้อนแสงโดยใช้หิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสม.....	98
4.19	แสดงการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุด.....	99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่		หน้า
4.1	ปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง)……	67
4.2	ปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง).....	68
4.3	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น ของหุ่นจำลอง.....	70
4.4	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น ของหุ่นจำลอง.....	75
4.5	ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด(อาคารจริง) เปรียบเทียบกับหุ่นจำลอง ขนาด 1:20.....	76
4.6	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา14.00 น ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิด 1:25 หรือ 4%.....	79
4.7	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา14.00 น ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิด 2:25 หรือ 8%.....	80
4.8	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา14.00 น ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิด 3:25 หรือ 12%.....	81
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยขนาดต่าง ๆกับ ค่า Daylight Factor (%) ที่จุดกึ่งกลางพื้นภายใน.....	82
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยขนาดต่าง ๆ กับ Daylight Factor (%) ในแนวทิศเหนือ-ใต้.....	83
4.11	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา14.00 น ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง) ก่อน การปรับปรุง.....	86
4.12	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง) หลังการปรับปรุงฝ้าเพดานและโต๊ะภายในอาคาร.....	88

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

แผนภูมิที่		หน้า
4.13	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง) หลังการปรับปรุงฝ้าเพดานและโต๊ะภายในอาคาร ผนังอาคาร.....	89
4.14	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง) หลังการปรับปรุงหลังคาภายนอกอาคาร.....	90
4.15	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง) หลังการปรับปรุงหิ้งสะท้อนแสง 90 องศา.....	93
4.16	แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง) หลังการปรับปรุงหิ้งสะท้อนแสง 70 องศา.....	95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แสงสว่างเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการทำกิจกรรมต่าง ๆ มากมาย ทั้งภายในและภายนอกอาคาร อาคารห้องสมุดเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่มีความจำเป็นในการใช้แสงสว่างเพราะแสงสว่างเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้สอยและทำกิจกรรมภายในอาคาร (นวลฉวี สุธรรมวงศ์, 2545) ซึ่งกิจกรรมหลักที่สำคัญของอาคารห้องสมุด คือ การอ่านหนังสือ และดูรูปภาพต่าง ๆ ฯลฯ ทางเลือกหนึ่งสำหรับลักษณะแสงสว่างที่นำมาใช้ภายในอาคารห้องสมุดจึงหนีไม่พ้น แสงสว่างที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่ดี และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างภาย ในอาคารห้องสมุดอย่างมีคุณภาพ (นารีรัตน์ ลีละวัฒน์, 2545) การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารมีข้อดี คือ ช่วยประหยัดพลังงานในส่วนของการให้แสงสว่าง ภาย ในอาคารจากแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ลงได้ และมีความเหมาะสม สำหรับการอ่านหนังสือ ดูรูปภาพต่าง ๆ ฯลฯ แต่มีข้อเสียคือ ปริมาณความเข้มของแสงในแต่ละวั น แต่ละเวลามีค่าไม่คงที่ ทำให้ เป็นก ารยาก ที่จะควบคุมปริมาณแสง ทิศทาง และการกระจายแสงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ อีกทั้งยังทำให้ความร้อนส่วนหนึ่งที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ส่องผ่าน กระจกสะสมอยู่ภายในอาคารอีกด้วย โดยเฉพาะอาคารที่มีระบบปรับอาก าศจะต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น จึงต้องขจัดความร้อนส่วนนี้ออกไป

แสงอาทิตย์เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ ได้อย่างไม่สิ้นเปลืองหรือหมดไป ประเทศไทยเป็นประเทศ ที่มีแสงสว่างในจำนวนที่พอเหมาะ และมีช่วงเวลากลางวันที่ยาวนานตลอดทั้งปี ไม่มืดครึ้มเหมือนในประเทศเมืองหนาว และไม่จัดจ้าจนเกินไปเหมือนประเทศเมืองร้อนแห้ง เพราะท้องฟ้าของประเทศไทยมักมีเมฆฝนที่เป็นเครื่ องกรองแสงแดดที่แรงกล้าอยู่บ้าง เราควรที่จะนำคุณสมบัติทางธรรมชาติอันได้เปรีย บนั้นมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด อีกทั้งแสงในจำนวนที่พอเหมาะทำให้เกิดคว ามรู้สึกสบายมากกว่าแสงประดิษฐ์ อย่างไรก็ตามแสงสว่างในเวลากลา งวันจะควบคู่กับพลังงานความร้อน ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงหรือลดความร้อนรังสีดวงอาทิตย์ที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร

สุนทร บุญญาธิการ (2539) กล่าวเกี่ยวกับการออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรมเพื่อประหยัดพลังงานไว้ว่าแสงธรรมชาติ มีประสิทธิภาพสูงกว่าแสงประดิษฐ์ หมายควา มว่า ใน

ปริมาณแสงที่ได้รับเท่าๆ กัน นั้น แสงธรรมชาติมีความร้อนปนมาน้อยกว่าแสงประดิษฐ์ใดๆ ที่มีคุณภาพของแสงใกล้เคียงกัน

อาคารห้องสมุดที่ทำการศึกษาเป็น อาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม ซึ่งเป็นอาคารห้องสมุดที่ตั้งอยู่เลขที่ 16 หมู่ 1 ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ลักษณะทั่วไปเป็นอาคาร สี่เหลี่ยมกลางน้ำหลังคายกสูง เป็นอาคาร 2 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยของอาคารห้องสมุดบริเวณชั้นล่างใช้สำหรับอ่านหนังสือมีเนื้อที่ 625 ตารางเมตร แสงธรรมชาติที่เข้ามาบริเวณช่องเปิดด้านข้าง (หน้าต่าง) มีปริมาณไม่เพียงพอในการส่องสว่างหรืออ่านหนังสือภายในอาคารห้องสมุด ทำให้เกิดผลเสียต่อนักเรียนที่เข้ามาใช้บริการ (ดังภาพที่ 1.1)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 1.1 (ก) ลักษณะทั่วไปของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
(ข) ภายในอาคารห้องสมุดที่มีปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอ

ปัจจุบันผู้บริหารโรงเรียนตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจาก ปริมาณแสงสว่างที่ ไม่เพียงพอภายในอาคารห้องสมุด ซึ่งทำให้เกิดปัญหาสุขภาพกับ นักเรียนทางด้านสายตา จึงนำแสงประดิษฐ์มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่าง โดยการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนเพิ่มขึ้นและเปิดใช้งานตลอดทั้งวัน ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีการติดตั้งหลอดไฟ หรือ แสงประดิษฐ์ เพิ่มขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่าง อย่างต่อเนื่อง แต่การติดตั้งหลอดไฟจำนวนมาก ทำให้ภายในอาคารห้องสมุดร้อนขึ้น จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดความร้อนออกจากห้องสมุดทั้งด้วยพัดลมหรือเครื่องปรับอาคารเป็นเหตุให้ต้องเสียค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

(ก)

(ข)

ภาพที่ 1.2 (ก) ลักษณะการติดตั้งหลอดไฟบางส่วนบริเวณภายในอาคารห้องสมุด
(ข) ลักษณะของหลอดไฟที่ใช้ภายในอาคารห้องสมุด

ประเด็น ปัญหาที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจาก ความไม่ เข้าใจเกี่ยวกับ การนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่าง คุ้มค่า เนื่องจากบุคคลทั่วไปมักจะคิดว่าการนำแสงธรรมชาตินั้นจะนำความร้อนเข้ามาภายในอาคารห้องสมุดมากกว่า ผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจและศึกษาเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติ มาใช้ โดยผ่านช่องเปิดด้านบนของอาคารห้องสมุดซึ่งในปัจจุบันใช้ประโยชน์อย่า งไม่คุ้มค่า มีการนำวัสดุที่มีลักษณะคล้ายตะแกรงปิดบริเวณช่องแสงไว้ และติดหลอดไฟที่มีกำลังไฟฟ้าสูงแทนที่

ภาพที่ 1.3 บริเวณช่องแสงด้านบนของอาคารห้องสมุดที่ใช้ประโยชน์ของแสงธรรมชาติอย่างไม่คุ้มค่า

ภาพที่ 1.4 บริเวณช่องแสงด้านบนของอาคารห้องสมุดปัจจุบันที่ใช้สำหรับระบายอากาศ

ภาพที่ 1.4 เป็นลักษณะของอาคารห้องสมุดทั่วไปในปัจจุบันที่ใช้ช่องเปิดอาคารเป็นเพียงช่องสำหรับระบายอากาศเท่านั้น จากการศึกษาประโยชน์ของแสงธรรมชาติ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะ ศึกษา เพื่อหาแนวทางการใช้แสงธรรมชาติ เพิ่มประสิทธิภ าพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุดขึ้น ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการนำแสงธ รรมชาติมาใช้ในการส่องสว่างเป็นจำนวนมาก เช่น ช่องเปิดของกระจกด้านข้าง ช่องเปิดด้านบน การใช้หลักการสะท้อนของแสง ฯลฯ ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงมีข้อจำกัดในการศึกษา โดยจำกัดเพียงการศึกษาขนาดของพื้นที่ช่องเปิดของแสงด้านบน ที่เหมาะสมและ ใช้หลักการสะท้อนของแสงผ่านผิวและ สีของ วัสดุและลักษณะการสะท้อนแสงสู่พื้นที่ใช้งานโดยใช้หิ้ง สะท้อน แสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่าง ของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม และนำแนวทางที่ได้มาปรับปรุงอาคารห้องสมุดให้เป็ นแหล่งเรียนรู้ของนักเรียนที่มี คุณภาพและประสิทธิภาพในกา รส่องสว่างที่เหมาะสมและเพียงพอ และช่วยประหยัดพลังงานจากการใช้แสงปร ะดิษฐ์ภายในห้องสมุดอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึก ษาทฤษฎีและสำรวจลักษณะทางกายภาพ และการส่องสว่างของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม ในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

2. วิเคราะห์ขนาดของพื้นที่ช่องเปิดด้านบน ผิวและสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง รวมถึงลักษณะของการสะท้อนแสงที่ช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างที่เหมาะสมและให้ค่าระดับความส่องสว่างของแสงที่มีลั กษณะการกระจายของแสงที่สม่ำเสมอ และแสงบาดตามารบกวนน้อยที่สุด

3. เสนอ แนวทาง การปรับปรุงอาคารห้ องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมใ ห้เกิดการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์มากที่สุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ศึกษา

1. ขนาดของพื้นที่ช่องเปิดของแสงที่มีสัดส่วนต่างกัน 3 สัดส่วนคือ 4% 8% และ 12% ของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารห้องสมุดชั้นล่างเท่านั้น

2. ศึกษาลักษณะและทิศทางของแสง สะท้อนหรือรูปแบบการสะท้อนของแสง ลักษณะของแสง การกระจายของแสง การปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร ได้แก่ ผนังหรือหิ้งสำหรับสะท้อนแสงที่เข้ามาภายในอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างภายในอาคาร บริเวณพื้นที่ที่มีปริมาณแสงไม่เพียงพอเท่านั้น

3. ศึกษาลักษณะการสะท้อนแสงโดยไม่รวมอุปกรณ์บังแดด การสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมภายนอก

4. ศึกษาลักษณะของอาคารที่มีพื้นแนวระนาบเป็น 2 เท่าของความสูงของอาคาร

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแสง ลักษณะการสะท้อนแสง สีหรือพื้นที่ผิวที่ใช้ในการสะท้อนแสง และแสงธรรมชาติ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2 สำรวจ และเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษา เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาในเชิงพิจารณาและเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม ลักษณะอาคารเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น ตั้งอยู่ ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ การสำรวจและเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง มีขั้นตอนดังนี้

- ศึกษาลักษณะทางกายภาพของห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
- สำรวจอาคาร โดยการวัดปริมาณแสงที่เกิดขึ้น ปริมาณของแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในแต่ละพื้นที่ใช้สอย

2. สร้างหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดมาตราส่วน 1: 20 และเปรียบเทียบปริมาณแสงที่เข้ามาภายในหุ่นจำลอง กับอาคารจริง และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างดังนี้

2.1 ศึกษาขนาดพื้นที่ของช่องเปิดด้านบน โดยการกำหนดขนาดของช่องเปิดออกเป็น 3 สัดส่วน ดังนี้ 4% 8% และ 12% ของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารห้องสมุดชั้นล่าง จากการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor

2.2 ศึกษาลักษณะผิวและสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อน แสงและเลือกใช้วัสดุผิวและสีของผนังที่ใช้ในการสะท้อนแสง ที่เหมาะสม รวมถึงลักษณะการสะท้อนของแสง กับการให้ค่าระดับความส่องสว่างของแสงลักษณะการกระจายของแสงมีความสม่ำเสมอ และให้แสงบาดตามารบกวนน้อยที่สุด

3. สรุปผลและเ ปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน อันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติของอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงจากทางเลือกที่มีค่าความส่องสว่างที่อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่ดีที่สุ ด เพื่อสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมในการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์มากที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลักษณะทางกายภาพและระดับการส่องสว่างปัจจุบันของห้องสมุด โดยใช้แสงธรรมชาติ

2. ทราบตัวแปรที่สำคัญเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติมาเพิ่มประสิทธิ ภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด เช่น ขนาดและตำแหน่งช่องเปิดด้านบน ผิวและสี ที่ใช้สะท้อนแสงทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคารบริเวณหลังคา รวมถึงลักษณะการสะท้อนแสงสู่พื้นที่ใช้งาน โดยใช้มุมหรือองศาที่เหมาะสมของหิ้ งสะท้อนแสง เพื่อให้ได้ ความส่องสว่างของแสงที่เหมาะสม และลักษณะการกระจายของแสงมีความสม่ำเสมอ มีแสงบาดตา มารบกวนน้อยที่สุด

3. สามารถประยุกต์ใช้ตัวแปร ในการศึกษา ครั้งนี้อย่างเหมาะสม และ ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมในการนำแสงสว่ างจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์มากที่สุด เพื่อให้เหมาะสมต่อคุณภาพชีวิต และประสิทธิภาพในการเรียนรู้

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) หมายถึง ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิด (lumen) ที่ตกกระทบกับผิวของวัตถุ (luminous flux on a surface) มีหน่วยเป็น lux (lx) หรือ foot candles (fc)

ปริมาณความสว่าง (luminance) หมายถึง ปริมาณแสงหลังจากตกกร ะทบกับวัตถุแล้วสะท้อนเข้าสู่ตา ปริมาณความสว่างเป็นสิ่งที่ดวงตามองเห็นแตกต่างจากปริมาณความส่องสว่างซึ่งเป็นสิ่งที่ดวงตามองไม่ เห็น คำว่า luminance มักใช้ในทางวิทยาศาสตร์ส่วนทางด้านจิตวิทยามักใช้คำว่า brightness มีหน่วยเป็น foot-lambert (fl) หรือ candela/m^2

แสงธรรมชาติ (daylight) หมายถึง แสงธรรมชาติที่ได้จากแสงที่กระจายจากท้องฟ้า นำมาใช้ในการให้แสงสว่างภายในอาคาร

พื้นที่ทำงาน (working plane) หมายถึง บริเวณที่ใช้ประกอบกิจกรรมต่าง ๆ และระดับความสูงของพื้นที่ใช้งานจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมนั้น ๆ

แสงจ้า (glare) หมายถึง แสงที่อยู่ในมุมมองของตาที่ทำให้เกิดการระคายเคืองตาและมองเห็นวัตถุได้ยาก หรือมองไม่เห็น

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

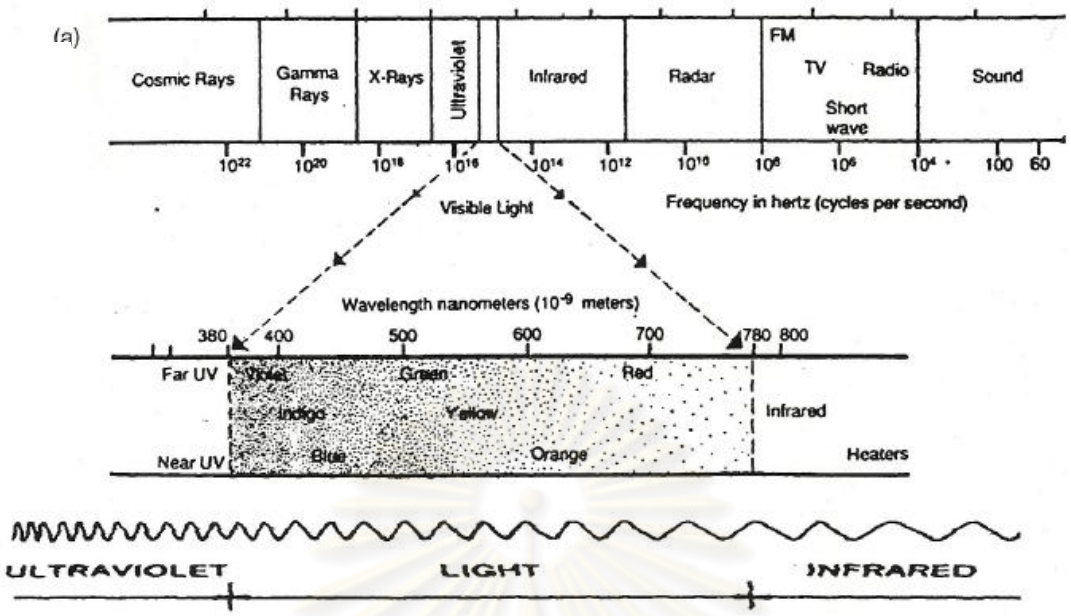
แสง เป็นสิ่งที่จำเป็นในชีวิตมนุษย์ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นได้ มีผลถึงความสามารถในการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับแสง และ วิธีการในการนำแสงมาใช้ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการศึกษารูปแบบการใช้แสงธรรมชาติจากช่องเปิดด้านบนผสมผสานกับการสะท้อนแสงมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างต่อไป

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เช่นเดียวกับพลังงานรูปแบบอื่น ๆ เช่นพลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น มีคุณสมบัติของแสง พฤติกรรมของแสง และที่มา ดังจะกล่าวต่อไป

คุณสมบัติของแสง

แสงเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถเคลื่อนที่ได้โดยสามารถเคลื่อนที่ผ่านวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวนำใด ๆ การเคลื่อนที่ของแสง จะอยู่ในรูปของคลื่นที่จะมีความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัวต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาตั้งแต่ความยาวคลื่นต่ำ ที่สุดจนถึงความยาวคลื่นยาวที่สุด จะมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน(micron) หรือ 380 ถึง 780 นาโนเมตร (nanometers) (Stein and Reynolds, 1992) ซึ่งประกอบด้วย Spectrumของสีมากมายหลากหลายสีที่เกิดจากการแผ่รังสีที่มีความถี่และความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่นสั้นที่ตกลงมาสู่พื้นโลก คือ อุลตราไวโอเลต และความยาวคลื่นที่ยาว คือ อินฟราเรด แสงที่สามารถมองเห็นได้ (visible light) ตกอยู่ในช่วงกลางของ Spectrum รวมทั้งหมดของการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วย สีของคลื่นที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ได้แก่ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง ตามลำดับจากความยาวคลื่นสั้นที่สุดไปหาความยาวคลื่นที่ยาวที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานต่าง ๆ (Stein and Reynolds, 1992)

ตารางที่ 2.1 แสดงความยาวคลื่นของ Visible Spectrum และรังสีอื่น ๆ (Ander, 1995)

รังสี	ชนิด	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
UV	UV – A	315 – 400
	UV – B	280 – 315
	UV – C	100 – 280
Visible	Violet	380 – 420
	Blue	420 – 490
	Green	490 – 560
	Yellow	560 – 590
	Orange	590 – 630
	Red	630 – 760
Infrared	Near Infrared	770 – 1,400
	Intermediate Infrared	1,400 – 5,000
	Far Infrared	5,000 – 1,000,000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

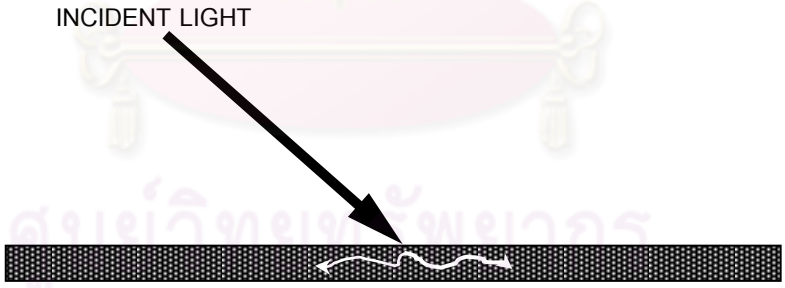
แสงสามารถเคลื่อนที่ได้ สามารถเคลื่อนผ่านวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง และเป็นสิ่งที่ทำให้มองเห็นรูปร่างลักษณะและสีของวัตถุ ดังนั้นการที่แสงตกกระทบวัตถุต่าง ๆ จึงทำให้เกิดพฤติกรรมของแสงในรูปแบบต่าง ๆ กัน

2.2 พฤติกรรมของแสง

แสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง เดินทางไปตกกระทบวัตถุ ชนิดต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น อากาศ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุโปร่งใส วัตถุทึบแสง วัตถุที่มีผิวเรียบมัน วัตถุที่มีผิวด้าน เป็นต้น พฤติกรรมของแสงจะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของวัตถุนั้น ๆ ซึ่งแสงจะมีพฤติกรรมในการเดินทางของแสงตามลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 **การดูดกลืน** (Absorption, α)

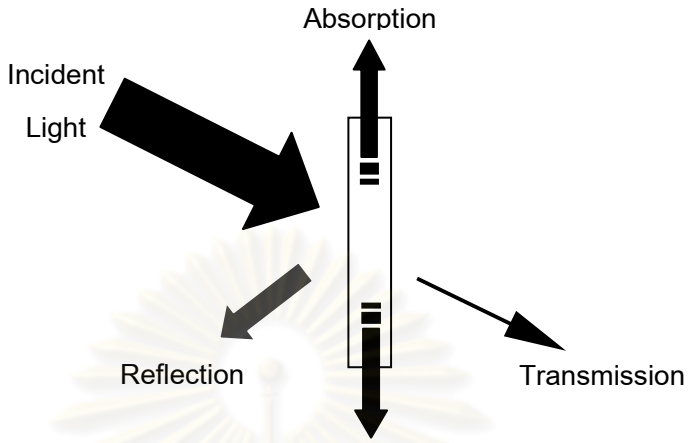
เมื่อแสงตกกระทบวัตถุและวัตถุนี้ดูดกลืนแสง ทำให้สีของวัตถุนั้นจะสะท้อนเข้าตาเราส่วนสีอื่นจะถูกดูดกลืน เช่น การฉายแสงลงบนผนังสีน้ำเงิน แสงสีอื่น ๆ จะถูกดูดกลืนยกเว้นสีน้ำเงินที่จะสะท้อนออกมาสู่ดว งตา ทำให้เห็นผนังเป็นสีน้ำเงิน พลังงานที่ถูกดูดกลืน จะเกิดการเปลี่ยนรูป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน (heat)



ภาพที่ 2.2 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง

2.2.2 **การสะท้อน** (Reflection, ρ)

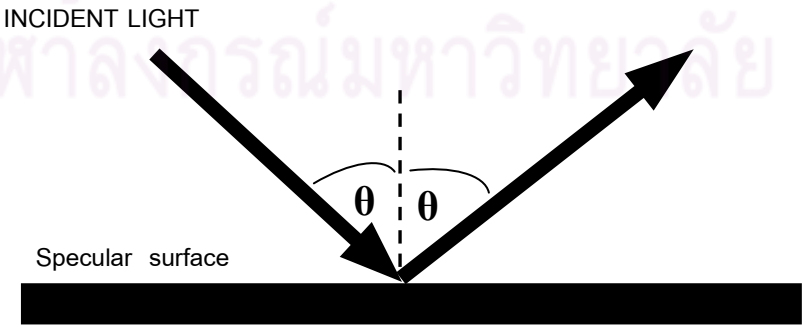
เป็นพฤติกรรมเมื่อแสงตกกระทบตัวกลางและสะท้อนออกมาโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะการสะท้อนของแสงที่ตกกระทบลงบนตัวกลางที่มีพื้นผิวที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้เกิดการสะท้อนในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้



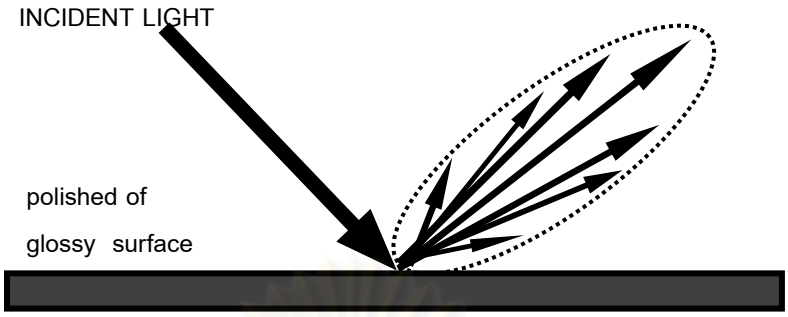
ภาพที่ 2.3 พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ

การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection) เป็นพฤติกรรมของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (opaque material) ที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นผิวเรียบขัดมัน (polish or glassy surface) มุมที่แสงตกกระทบวัตถุ (angle of incident) จะเท่ากับมุมสะท้อน (angle of reflection) เมื่อตัวกลางมีพื้นผิวลักษณะเดียวกับกระจกเงาจะมีแสงสะ ท้อนในลักษณะเป็นลำแสง ในลักษณะเดียวกับรูปแบบที่ตกกระทบ (ดังภาพที่ 2.4) และเมื่อตัวกลางเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวเรียบขัดมันในลักษณะอื่น ๆ แสงสะท้อนจะมีลักษณะกระจายไปในทิศทางเดียวกัน (partially specular or directional reflection) เป็นแสงสะท้อนที่กระจา ยกว้างออกเล็กน้อยในทิศทางเฉลี่ย ทำมุมเท่ากับมุกตกกระทบ (ดังภาพที่ 2.5)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

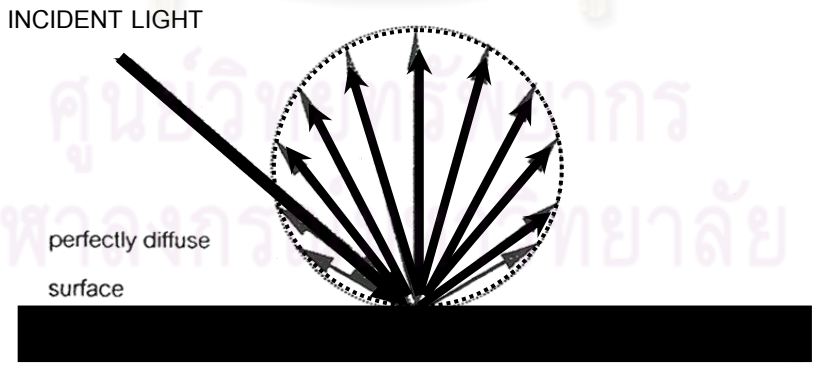


ภาพที่ 2.4 แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection)

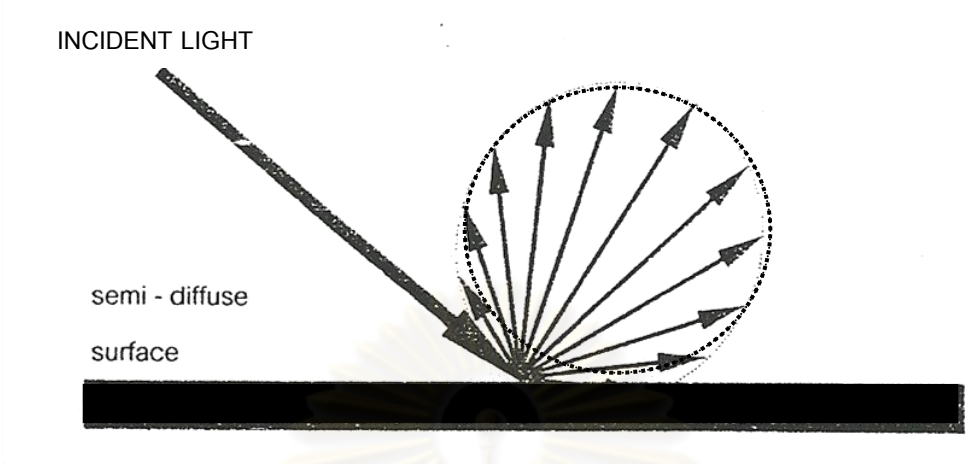


ภาพที่ 2.5 แสดงการสะท้อนแบบกระจายไปในทิศทางเดียวกัน (partially specular or directional reflection)

การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เป็นพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบวัตถุทึบแสงที่มีผิวไม่เรียบ ในลักษณะผิวด้านหรือขรุขระไม่สม่ำเสมอ (matt surface) แสงสะท้อนจะมีทิศทางหลายทิศทางซึ่งไม่มีทิศทางที่แน่นอน ถ้าวัตถุมีผิวไม่เรียบอย่างสม่ำเสมอหรือผิวด้าน (perfectly diffusing surface) เมื่อแสงตกกระทบจะสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์ (perfect diffuse reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่า ๆ กัน ในทุกมุมสะท้อนในทุก ๆ ทิศทางเหนือพื้นผิว (ดังภาพที่ 2.6) แต่หากวัตถุมีผิวขรุขระหรือไม่เรียบอย่างไม่สม่ำเสมอ (semi-diffuse surface) แสงจะสะท้อนแบบกระจายอย่างกระจัดกระจาย (semi-diffuse reflection) (ดังภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.6 แสดงการสะท้อนแบบกระจายอย่างสมบูรณ์ (perfect diffuse reflection)



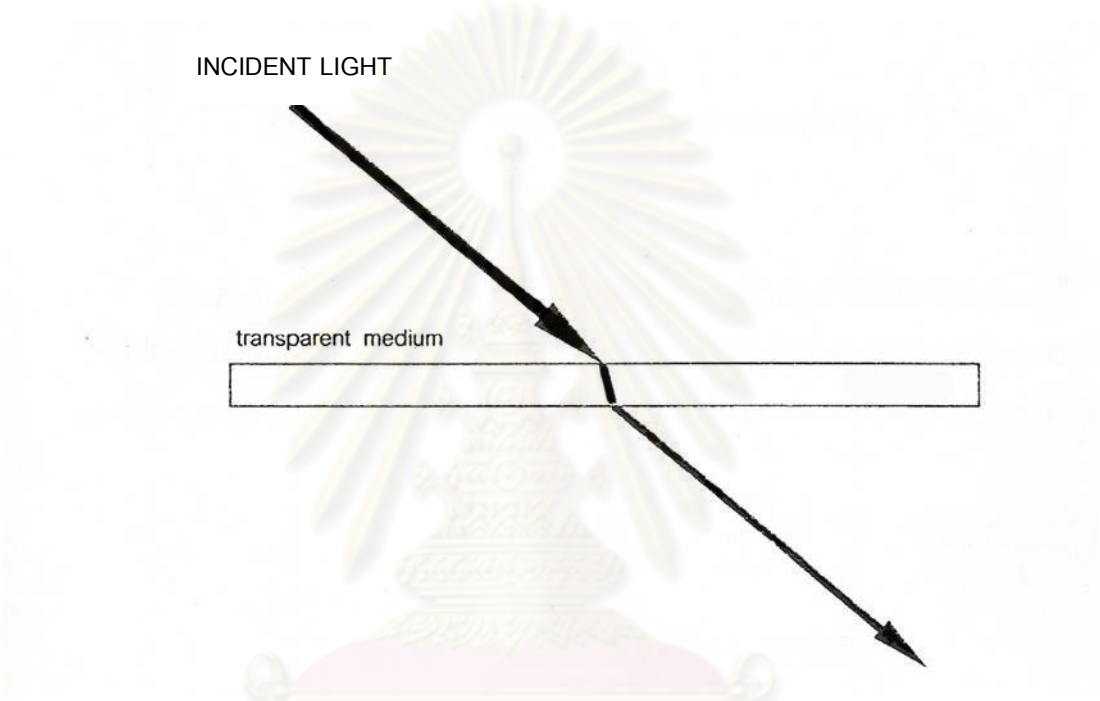
ภาพที่ 2.7 แสดงการสะท้อนแบบกระจายอย่างกระจัดกระจาย (semi-diffuse reflection)

โดยทั่วไปแล้ววัสดุส่วนใหญ่ มักจะมีลักษณะการสะท้อนที่ผสมผสานระ หว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) กับการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection) (ดังภาพที่ 2.8)

ภาพที่ 2.8 แสดงการสะท้อนแบบผสมผสานระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา(specular reflection) และการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection)

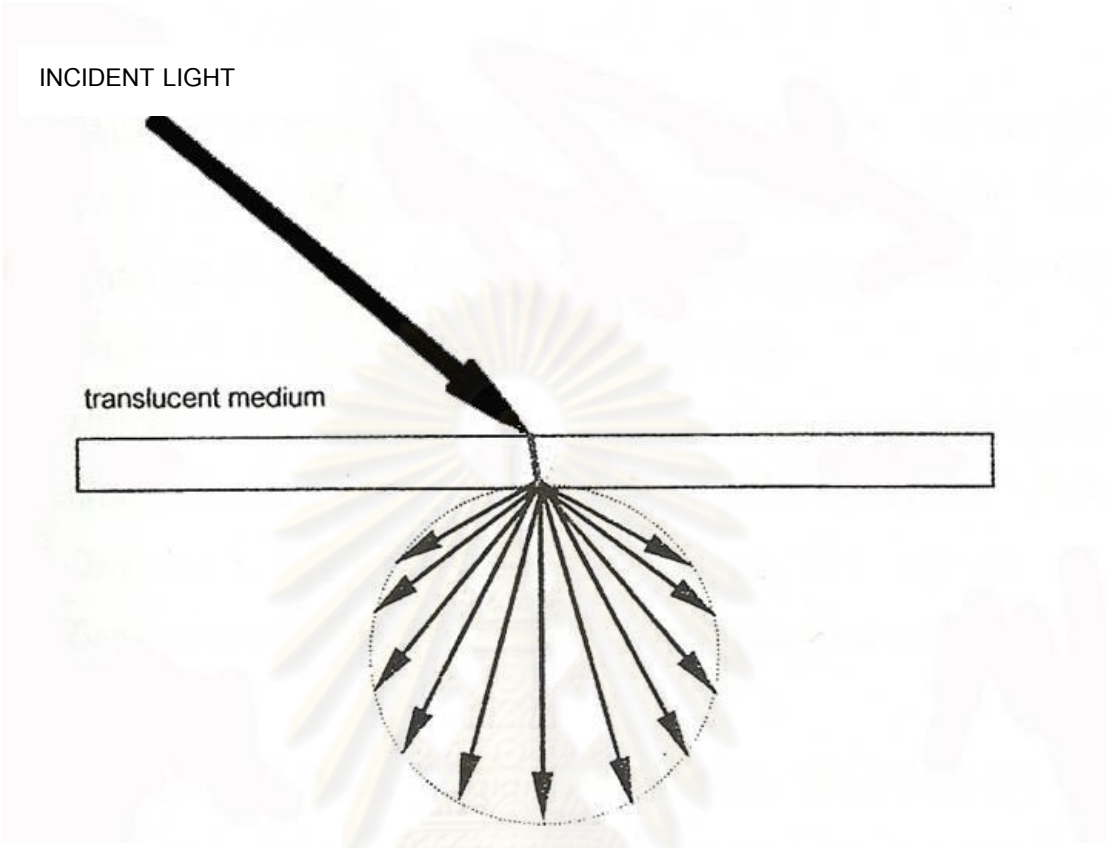
2.2.3 **การส่องผ่าน** (Transmission, τ) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบด้านหนึ่งของวัตถุแล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง จะเกิดขึ้นเฉพ าะกับตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านได้ เมื่อแสงตกกระทบวัตถุ ซึ่งลักษณะและคุณสมบัติของตัวกลางจะทำให้แสงส่องผ่านไปสู่อีกด้านของวัตถุในลักษณะที่แตกต่างกัน

การส่องผ่านตัวกลางโปร่งใส (Transparent Medium) แสงจะเกิดการหักเห (refracted) หรือเปลี่ยนทิศทาง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ เช่น ลักษณะพื้นผิว ความหนา รูปทรง คุณลักษณะเฉพาะของวัสดุ เป็นต้น แสงที่ผ่านตัวกลางชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นลำแสงเช่นเดิม (ดังภาพที่ 2.9) ตัวกลางชนิดนี้จะมีความใสสามารถมองผ่านไปยังอีกด้านแล้วเห็นภาพได้ชัดเจน วัสดุที่เป็นตัวกลางโปร่งใส ยกตัวอย่างเช่น กระจกใส เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 แสดงการส่องผ่านของแสง เมื่อผ่านตัวกลางโปร่งใส

การส่องผ่านตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) แสงจะเกิดการกระจายตัวออกเมื่อแสงผ่านวัตถุโปร่งแสง เป็นการส่องผ่านแบบกระจาย (diffuse transmission) (ดังภาพที่ 2.10) ตัวกลางจะมีลักษณะที่ยอมให้แสงผ่าน แต่จะไม่สามารถมองผ่านไปยังอีกด้านหรือทำให้ไม่สามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจน วัสดุดังกล่าว เช่น กระจกฝ้า เป็นต้น



ภาพที่ 2.10 แสดงการส่องผ่านตัวกลางโปร่งแสง

เมื่อแสงตกกระทบ ตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่าน แสงจะถูกดูดกลืนไปในวัตถุส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ หมายถึงปริมาณแสงที่ตกกระทบ จะเท่ากับปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน ปริมาณแสงที่สะท้อน และปริมาณแสงที่ส่องผ่านรวมกัน ดังสมการต่อไปนี้

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

เมื่อ α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

ρ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

τ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบตัวกลางทึบแสงนั้น แสงจะถูกดูดกลืนและสะท้อนเท่านั้น จะไม่เกิดการส่องผ่าน ปริมาณแสงที่ตกกระทบจึงเท่ากับปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่สะท้อน

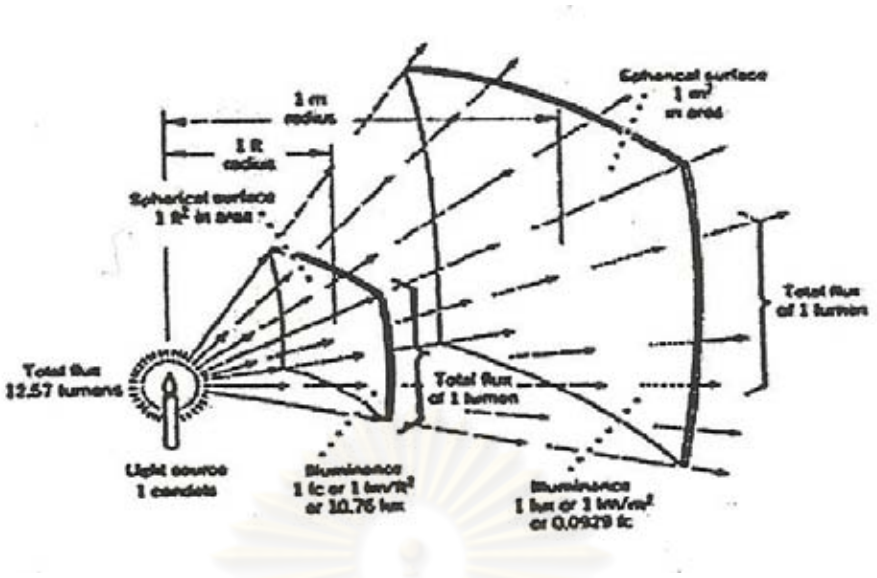
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความส่องสว่าง

แหล่งกำเนิดแสง เมื่อเกิดการส่องแสงออกมาและตกกระทบกับวัตถุหรือพื้นที่ใด ๆ จะส่งผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา จะทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นที่แสงสะท้อนออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่มีการสะท้อนของแสง ก็จะไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้น ๆ ได้ ซึ่งปริมาณแสงที่ตกกระทบกับวัตถุ หรือตกกระทบพื้นที่นั้น ๆ เรียกว่า การส่องสว่างหรือความสว่างของแสง ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการส่องสว่าง ได้มีการกำหนด คำศัพท์และคำนิยามที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

2.3.1 **ปริมาณแสง** (Luminous Flux ϕ) เป็นรังสีหรือกำลังของแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ใน 1 หน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงานห รือกำลังของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ในรูปแบบของเส้นแรงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen, lm) โดย ปริมาณแสง ของ 680 ลูเมน ที่เกิดจากลำแสงหรือรังสีหนึ่ง ๆ ที่ความยาวคลื่น 0.555 ไมครอน (microns) จะมีพลังงาน 1 วัตต์ (watt) เป็นค่าที่มากที่สุดสำหรับตาของมนุษย์ในการมองเห็น ยกตัวอย่าง เทียนไขทั่วไปจะให้แสงประมาณ 12.57 ลูเมน ในขณะที่หลอดไส้ 100 วัตต์ ให้แสงประมาณ 1200 ลูเมน

มีการอ้างอิงจากแสงจากเทียนไข 1 เล่ม ซึ่งมีกำลังในการส่องสว่าง 1 แรงเทียน (Candlepower) (ดังภาพที่ 2.11) ทำให้เกิดคำศัพท์และนิยาม จำนวนหนึ่งที่สำคัญต่อการศึกษาเรื่องแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.11 แสดงการอ้างอิงแสงจากเทียนไข เพื่อสมมติค่าและกำหนดนิยาม (ปริมาณแสง) (Stein and Reynolds, 1992)

2.3.2 Solid Angle (ω) เป็นการวัดสัดส่วนของพื้นที่ผิวทรงกลมที่ถูกครอบคลุมด้วยพื้นที่สมมติรูปกรวยที่มีส่วนแหลมที่สุดของกรวยอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้น ๆ หรืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ผิวของทรงกลมส่วนที่พิจารณา ต่อรัศมีของทรงกล มนั้น ๆ ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (steradian, sr) ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\omega = A / R^2$$

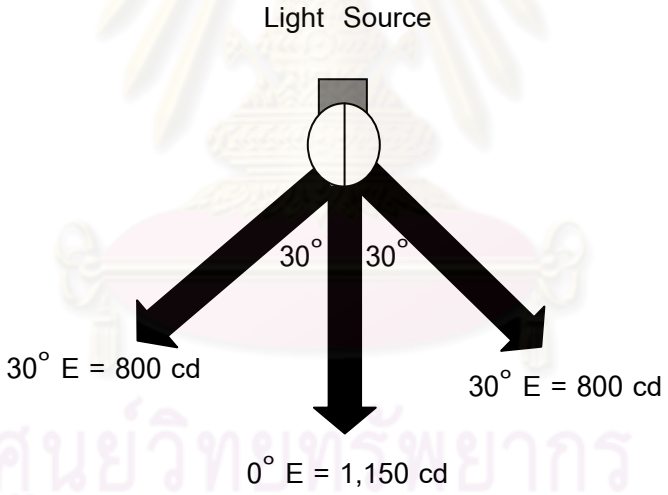
เมื่อ ω คือ โซลิคแองเกิล (Solid Angle) หน่วย (steradian)
A คือ พื้นที่ผิวทรงกลมส่วนที่พิจารณา
R คือ รัศมีของทรงกลม

2.3.3 **ความเข้มแห่งการส่องสว่าง** (Luminous Intensity , I) ความเข้มแห่งการส่องสว่าง หรือกำลังส่องสว่าง (candlepower) เป็นค่าปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดใน solid angle ใด ๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เป็นค่าที่บอกความมากน้อยของ

ปริมาณแสงในทิศทางต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแสงใด ๆ มีหน่วยเป็น แคนเดลา (candela) หรือ lumen per steradian

เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแสง ที่เล็กมากจนถือว่าเป็นเสมือนจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งออกมาและตกกระทบทุก ๆ หนึ่ งตารางหน่วยของพื้นที่ทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน พื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งแสงออกมาได้เป็นปริมาณเท่ากับ 12.57 ลูเมน

แคนเดลา (candela) ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบนพื้นที่ผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลตินั่ม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุมที่ทำในแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง



ภาพที่ 2.12 ความเข้มของการส่องสว่าง เปลี่ ยนแปลงไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

ความสัมพันธ์ของความเข้มแห่งการส่องสว่าง (I) , ปริมาณแสง (ϕ) และ solid angle(ω) เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$I = \phi / \omega$$

เมื่อ I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่าง

ϕ คือ ปริมาณแสง

ω คือ solid angle

2.3.4 **ความส่องสว่าง (Illuminance)** เป็นปริมาณ แสงที่ตกกระทบบนพื้นที่หน่วยใด ๆ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit area) หากทรงกลมสมมติมีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่ตกกระทบพื้นผิวทรงกลมในพื้น ที่ 1 ตารางฟุต ความส่องสว่างจะมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (footcandle, fc) หากทรงกลมสมมติมีรัศมี 1 เมตร แสง 1 ลูเมน ตกลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร ของ ผิวทรงกลม ความส่องสว่างจะมีค่า 1 ลักซ์(lux) โดยความส่องสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10.764 ลักซ์ (Stein and Reynolds, 1992)

2.3.5 **การส่องสว่าง (Illumination, E)** เป็นปริมาณความส่องสว่างบนพื้นผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux) หรือ ฟตแคนเดิล (fc) มีความสัมพันธ์กับความเข้มแห่งการส่องสว่างแบบแปรผันตามกัน และมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับระยะผกผัน (Inverse square law) ดังสมการต่อไปนี้ (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, 2540)

$$E = I / d^2$$

เมื่อ E คือ การส่องสว่าง

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่าง

d คือ ระยะทางระหว่างพื้นผิวกับแหล่งกำเนิดแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ทฤษฎีความสว่างที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น

เมื่อแสงส่องสว่างกระทบวัตถุจะเกิดความสว่างขึ้นทำให้เกิดการมองเห็น ค่าความสว่างที่ไม่เหมาะสมกับสายตา จะทำให้เกิดความไม่สบายในการมองเห็น ดังจะกล่าวถึงต่อไป

2.4.1 **ความสว่าง** (Luminance) ความส่องสว่างที่สะท้อนหรือส่องผ่านออกมาจากวัตถุ เข้าตาทำให้สามารถ มองเห็นวัตถุได้โดยวัตถุนั้นจะมีคุณสมบัติเป็นแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (secondary light source) มีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) หรือ ฟุตแลมเบิร์ด (footlambert, Fl) มีความสัมพันธ์กับการส่องสว่าง (E) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (ρ) และค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสง (τ)

$$L = E * \rho$$
$$L = E * \tau$$

เมื่อ L คือ ความสว่าง
E คือ ความส่องสว่าง
ρ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง
τ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสง

2.4.2 **ความจ้า** (Brightness) เป็นการตอบสนองด้านความคิด (subjective response) ต่อความสว่าง (Luminance) ในพื้นที่ภาพที่มองเห็น (field of view) ซึ่งแสงจะมีความจ้ามาก หรือ น้อย ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวของสายตาของแต่ละบุคคล

2.4.3 **ความเปรียบต่าง** (Contrast) คือ ความแตกต่างของจุดสังเกตกับสิ่งที่อยู่รอบข้าง ซึ่งถ้ามีความเปรียบต่างมากจะทำให้มองเห็นได้ง่าย ต้องการปริมาณแสงและเวลาในการรับภาพน้อยลง แต่ถ้าหากความเปรียบต่างมีค่ามากเกินไปจนทำให้สายตาต้องการ การปรับตัวอย่างรุนแรง จะเป็นผลให้สายตาไม่สามารถมองเห็นได้อย่ างอิสระ หรือเกิดการระคาย

เคืองสายตา หมายถึง การเ กิดแสงบาดตา สามารถหาความเปรียบต่างได้จากอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่าง (contrast ratio) ระหว่างวัตถุที่พิจารณากับความสว่างของสภาพแวดล้อมดังสมการ

$$\textbf{Contrast} = \left| \frac{L_B - L_T}{L_B} \right|$$

เมื่อ L_B คือ ความสว่างของสภาพแวดล้อม

L_T คือ ความสว่างของวัตถุ

เพื่อป้องกันแสงบาดตา และความสบายในการมองเห็น มีความจำเป็นต้องควบคุม ความแตกต่างระหว่างจุดที่มืดที่สุด และจุดที่สว่างที่สุด (brightness contrast) ให้อยู่ในอัตราส่วนที่พอเหมาะ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ซึ่งมีการจำกัดปริมาณของความเปรียบต่างที่สามารถยอมรับได้เป็นค่ามากที่สุด

2.4.4 **แสงบาดตา** (Glare and Sparkle) เกิดขึ้นจากแสงที่มีความเข้มสูงสู่มุมมองของสายตา โดยแสง นี้มีความจ้า (brightness) มาก เมื่อเทียบกับความจ้าในสภาพแวดล้อมทั่วไป มีผลทำให้มีปัญหาในการมอง แสงบาดตาอาจเกิดขึ้นได้จาก 3 แนวทาง ดังนี้ (Lecher, 1991)

- **แสงบาดตาที่เกิดขึ้นโดยตรง** (Direct Glare and Direct Sparkle) เกิดขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดแสง ที่มีความสว่างสูงมาก อยู่ภายในภาพที่มองเห็น จะมีความรุนแรงมากหากการมองมีทิศทางสู่แหล่งกำเนิดโดยตรง

- **แสงบาดตาที่เกิดขึ้นทางอ้อม** (Indirect Glare and Indirect Sparkle) เกิดขึ้นเมื่อพื้นที่ผิวภายในหรือภายนอกอาคาร เช่น ผนังห้อง ได้รับแสงในปริมาณมากแล้วสะท้อน หรือ ส่องผ่านแสงทำให้พื้นผิวนั้น ๆ มีความสว่างมากเกินไป

- **แสงบาดตาที่เกิดขึ้นจากการสะท้อน** (Reflected Glare, Reflected Sparkle and Veiling Reflected) เกิดขึ้นจากการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงาแหล่งกำเนิดแสงบนพื้นผิวที่มีความมันวาว ตัวอย่างพื้นผิวภายในห้อง เช่น พื้นโต๊ะ กระจก มีผลทำให้เกิดความรำคาญเมื่อแสงสะท้อนนั้นอยู่ในจอภาพที่มองเห็น ในขณะที่ แสงสะท้อนที่ลดประสิทธิภาพในการมองเห็นวัตถุ (veiling reflected) เกิดขึ้นจากการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงาบนวัตถุ แสงที่สะท้อนออกมาจากนั้น จะบดบังรายละเอียดบนวัตถุนั้น ทำให้สายตาไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้นได้อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น การสะท้อนแสงบนหน้ากระดาษแบบมันของหนังสือ แสงที่สะท้อนออกมาจะมีความจ้ามากจนไม่สามารถอ่านตัวหนังสือได้

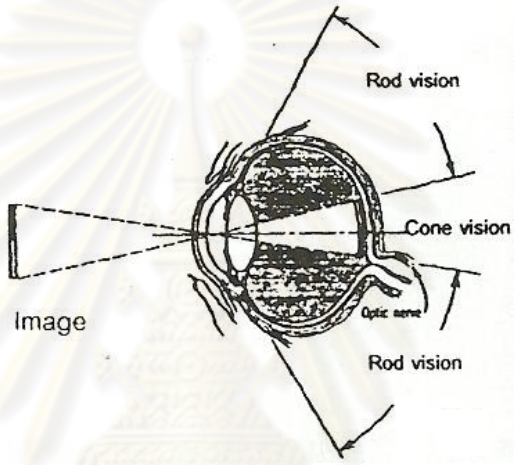
ในที่นี้ความแตกต่างที่สำคัญของ แกลร์ (glare) กับ สปาร์คเกิล (sparkle) ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของความสว่างกับพื้นที่ของความสว่างที่ปรากฏในภาพที่มองเห็น โดย สปาร์คเกิลจะเกิดความเข้มเท่ากัน หรือมากกว่า บนพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งพื้นที่นี้จะเป็นจุดกลางที่มีประกายแสงกระจายออกมา ในขณะที่ แกลร์ จะเกิดในพื้นที่ขนาดใหญ่ กว่า และไม่มีประกายแสงออกมาจากแสงบาดตาที่เกิดขึ้น (Gordon and Nuckolls, 1995) ทั้งนี้แสงบาดตาประเภทต่าง ๆ สามารถเกิดได้ตั้งแต่ในระดับที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา (discomfort glare) ที่สายตายังสามารถมองเห็นแต่เป็นไปด้วยความลำบาก หรือก่อให้เกิดความรำคาญไป จนถึงแสงบาดตาในระดับที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้ (disability glare) สายตาไม่สามารถมองเห็นได้จากความจ้าที่มากเกินไป

การมองเห็นเป็นปัจจัยหลักและประโยชน์หลักของการใช้แสงภายในอาคาร ดังนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวกับแสงดังที่กล่าวมานั้นเป็นประโยชน์ต่อสถาปัตยกรรมเ ฉพาะในกรณีที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น ส่วนทฤษฎีที่จะกล่าวต่อไปเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับการมอง ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับความสามารถในการมองของมนุษย์

2.5 ทฤษฎีของการมองเห็น

เมื่อแสงตกกระทบที่วัตถุใด ๆ ก็จะสะท้อนเข้าสู่กระบอกตา ผ่านแก้วตา (Comea) ลูกตา (lens) เรตินา (retina) ประสาทตา (nerve) และสมอง ตามลำดับ กล้ามเนื้อตาจะขยายหรือหดตัว เมื่อมีแสงผ่านเข้ามา เพื่อโฟกัสให้คลื่นแสงที่มากระทบแก้วตา ผ่านลูกตาไปตกลงบริเวณเรตินา และยังมีม่านตา (iris) ช่วยปิดเปิดกระบอกตา เพื่อ ควบคุมปริมาณแสงให้ผ่านเข้า

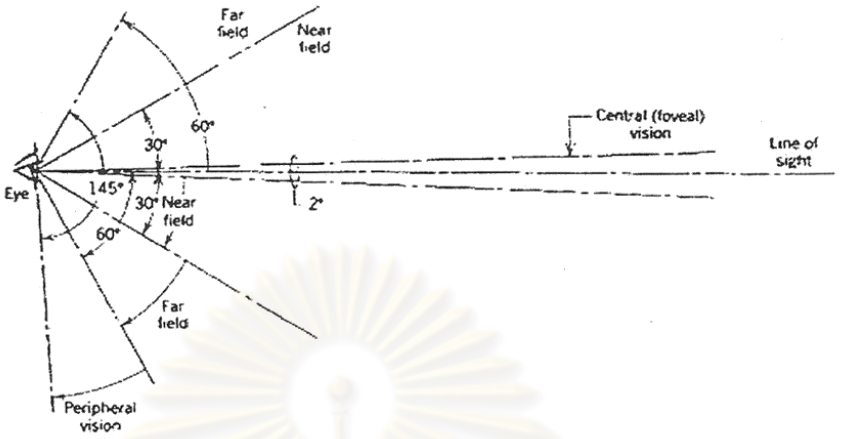
มาได้ตามความเหมาะสม ในบริเวณเรตินาประกอบด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมาก โดยแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ส่วนหนึ่งเรียกว่าโคน (cones) อยู่กลางเรตินา มีจำนวนประมาณ 7 ล้านเซลล์ในกระบอกตาข้างหนึ่ง ทำหน้าที่รับความรู้สึกทางด้านสี และช่วยแยกรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ที่เรามองเห็น โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน เซลล์ อีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่าร็อด (rods) มีอยู่ประมาณ 130 ล้านเซลล์ในกระบอกตาข้างหนึ่ง ช่วยทำให้เห็นภาพต่าง ๆ ได้อย่างหยาบ ๆ ในช่วงเวลากลางคืน แต่ร็อดไม่สามารถตอบสนองทางด้านสีได้ ด้วย เหตุนี้เราจึงไม่สามารถแยกแยะสีได้อย่างชัดเจนในที่ที่มีแสงสลัวหรือค่อนข้างมืด



ภาพที่ 2.13 แสดงพื้นที่การรับภาพของโคน และ ร็อด (Stein and Reynolds,1992)

ดังนั้นในการมองเห็นของมนุษย์ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแวดล้อมต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 **Human Field of View** โดยปกติดวงตาของมนุษย์มีขอบเขตการมองเห็นได้ถึง 90° จากจุดโฟกัสของสายตา ขยายออกไปในทิศทางเป็นรูปทรงกรวย แต่โครงสร้างบางส่วนบนใบหน้า เช่น จมูก ขอบตา หรือแก้ม จะเป็นส่วนที่บังมุมการมองเห็นบางส่วน



ภาพที่ 2.14 แสดงขอบเขตการมองเห็นของสายตา (Stein and Reynolds, 1992)

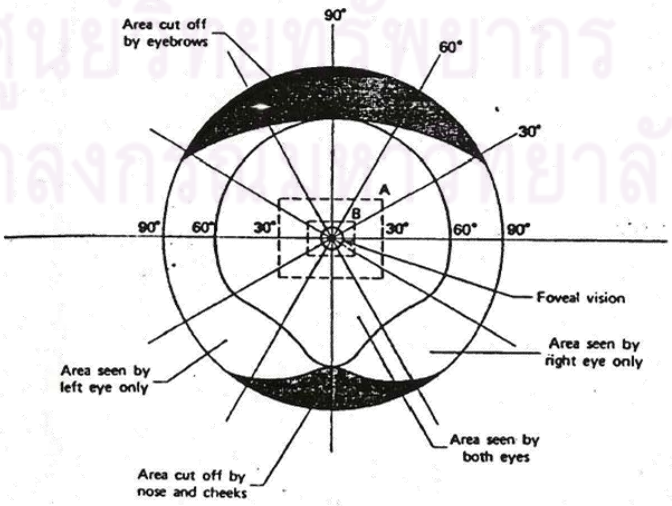
2.5.2 Eye Adaptation การปรับของสายตาต่อการรับรู้ความจ้าของแสงที่เกิดขึ้น โดยการปรับลดหรือขยายม่ านตา ซึ่งความสามารถในการปรับสายตาจะขึ้นอยู่ กับคุณสมบัติทางกายภาพของผู้มอง ดังนั้นในการออกแบบผู้ออกแบบควรจะหลีกเลี่ยงสิ่งที่จะทำให้เกิด Eye Adaptation ที่เร็ว หรือมากจนเกินไปในการมองเห็น เพื่อช่วยลดการทำงานของดวงตา ดังนั้น การออกแบบแสงสว่างที่เหมาะส มกับการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ มากมาย เช่น ระยะห่างระหว่างชิ้น งาน (Task) กับผู้ปฏิบัติงาน ขนาดของชิ้นงาน ความแตกต่างของความสามารถในการสะท้อน แสงระหว่างชิ้นงานกับสิ่งแวดล้อม ความเปรียบต่างของชิ้นงานกับสิ่งแวดล้อม ความเร็วในการออกแบบแสงส ว่าง เราจึงต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ ที่มีผลต่อการมองเห็น

คุณภาพของแสง เกิดขึ้นจากการจัดองค์ประกอบของสเปคตรัม ประกอบกับความสมบูรณ์ของตา โดยนอกจากดวงตาของแต่ละบุคคล จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ตามลักษณะทางพันธุกรรม เพศ พฤติกรรมก ารมอง และ ลักษณะกิจกรรมรวมทั้งความถี่ในการใช้สายตา ซึ่งดวงตาจะต้องการ การปรับตัวในการเปลี่ยนแปลงแสงรูปแบบต่าง ๆ การปรับตัวของสายตา (eye adaptation) มักเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่างและเวลาที่ใช้ในการมอง ดวงตาใช้เวลาในการปรับตัวในที่มืดเป็นเวลานานกว่าในที่สว่าง เมื่อมีการเปลี่ยนความสว่างจากคว ามสว่างมากไปยังความสว่างน้อยมาก ตาจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในการปรับตัว (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540) อันเป็นระยะเวลาที่นานพอสมควร ในการออกแบบให้เกิดลักษณะที่มีการเปลี่ยนความสว่างในปริมาณอย่างกะทันหัน จะทำให้เกิดความพยายามในการปรั บตัวของ

สายตาอย่างมากและรวดเร็ว มีผลทำให้ตาไม่สามา รถมองเห็นภาพในชั่วระยะเวลาหนึ่ง สายตาสามารถปรับตัวอย่างสบาย ด้วยอัตรา 1 : 200 ของแสงที่มีความสว่างน้อยกับแ สงที่มีความสว่างมาก ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีการเปลี่ยนความสว่างจากที่มืดไปยังที่ ที่มีความสว่างมาก ตามีความต้องการในการปรับตัวน้อยกว่า สายตาจะสามารถปรับตัว ด้วยอัตราส่วนของความสว่างที่เพิ่มขึ้นเป็น 1 : 1000 ระหว่างความสว่างน้อยกับความสว่างมาก (Stein and Reynolds, 1992)

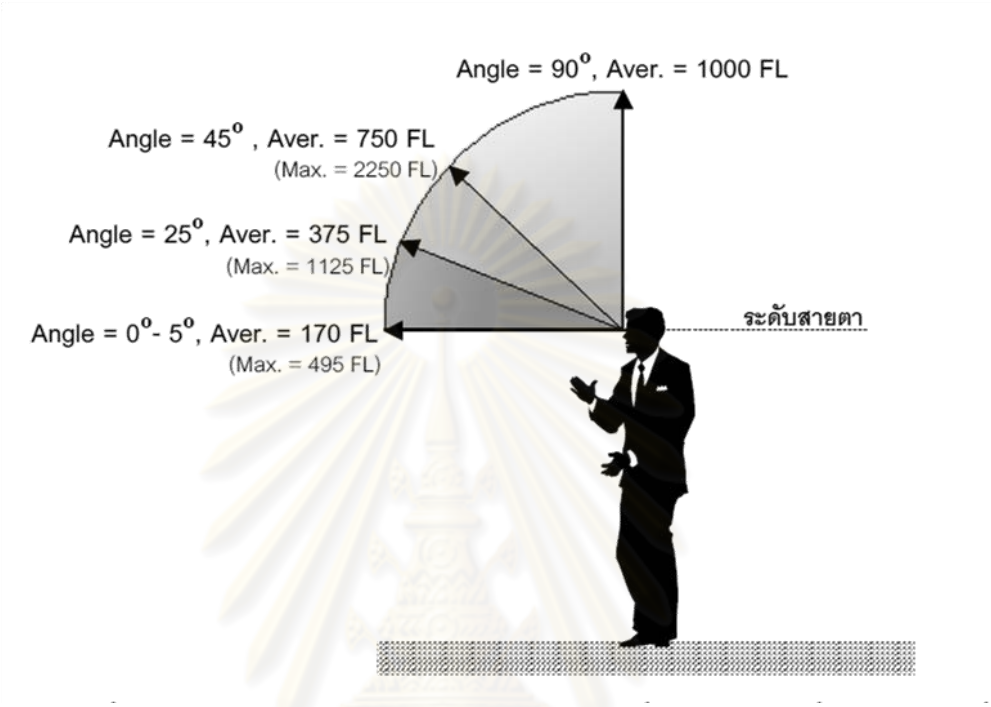
2.5.3 **มุมมองของสายตา** สายตามีความสามารถในการเห็นภาพ ในมุมที่จำกัด โดยแต่ละมุมมองของสายตา จะมีความสามารถในการรับภาพ และความสว่างที่แตกต่างกัน โดยจะสามารถแบ่งมุมตามความสามารถในการมองเห็นภาพออกได้ดังนี้ (Stein and Reynolds, 1992)

ส่วนกลางของพื้นที่ที่มองเห็น คือ จุดที่มองไปครอบคลุม พื้นที่ 1-2 องศาจากแกนกลาง กรวย ที่ได้เป็นพื้นที่ที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนที่สุด เรียกว่า การมองเห็นในส่วนกลางของจอรับภาพ (The central foveal vision) ทรงกรวยที่ทำมุมกับแกนกลาง 30° ในพื้นที่ถัดมาจากส่วนกลางของการมองเห็น จะเป็นพื้นที่ที่สามารถมองเห็น ได้ไม่ละเอียดนัก จะเป็นเพียงความสามารถแยกความแตกต่างระหว่างวัตถุกับสิ่งแวดล้อมของมัน พื้นที่ในส่วนนี้ เรียกว่า พื้นที่รอบจอรับภาพ (The foveal surround) ส่วนที่เหลือ คือ จุดที่อยู่ขอบสุดของการมองเห็น จะมองเห็นวัตถุในขนาดและรูปร่างที่แตกต่างออกไ ปจากความเป็นจริง เนื่องจากการทั บซ้อนกันของพื้นที่การมองของตาซ้ายและตาขวา ส่วนนี้เรียกว่า การมองเห็นในส่วนขอบ (The peripheral vision) ซึ่งสามารถศึกษาได้ (ดังภาพ 2.15)



ภาพที่ 2.15 แสดงมุมที่สายตาสามารถมองเห็นได้ (Stein and Reynolds, 1992)

มุมมอง (angle of degree) ของสายตา ในมุมต่าง ๆ มีความสามารถในการยอมรับระดับความจ้าที่แตกต่างกัน (ดังภาพที่ 2.16)



ภาพที่ 2.16 แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

มุมมองของสายตาที่เจาะจง ทำให้สายตาสามารถยอมรับระดับความจ้าได้น้อย ในขณะที่มุมที่กว้างออกไปจนถึงนอกพื้นที่ที่สายตามองเห็นสายตาจะสามารถยอมรับแสงได้มากขึ้นเรื่อย ๆ (สุนทร บุญญาธิการ , 2542) พอจะสรุป ได้ว่ามุมมองที่อยู่ในระดับสายตา จะมีความสำคัญมากในการออกแบบการใช้แสง เพราะหากมีการออกแบบให้มีความจำเป็นในระดับที่มากเกินไป จะรบกวนภาพที่มองเห็น ทำให้ประสิทธิภาพในการมองลดลง ทำลายสายตาและรบกวนสมาธิของผู้ได้รับแสงนั้น ๆ ได้

นอกจากความสามารถของสายตาในการมองเ ห็น ลักษณะของแสงแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีความสำคัญและความเกี่ยวข้องกับการมองเห็น ดังต่อไปนี้

2.5.4 ปัจจัยในการมองเห็น

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการมองเห็นวัตถุอยู่มากมายหลายปัจจัย ได้แก่ ตัววัตถุเอง สภาพการให้แสง และตัวผู้มองเห็นเอง (Stein and Reynolds, 1992)

ปัจจัยโดยตรง

- **ขนาดและความใกล้ – ไกล** (Size / Proximity) หมายถึง ขนาดที่มองเห็น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดจ ริงของวัตถุกับระยะจากวัตถุถึงตา วัตถุจะมีขนา ดใหญ่ขึ้นถ้ามีระยะใกล้กับดวงตา อาจกล่าวได้ว่ า ดวงตาจะเห็นวัตถุในขนาดเท่ากัน ถ้ามุมในการมอง (solid angle) มีขนาดเท่ากัน

- **ความสว่างหรือความจ้า** (Luminance or Brightness) เป็นการทำให้วัตถุมีความสว่างหรือความจ้าที่พอเหมาะให้สามารถเห็นวัตถุได้ชัดเจนขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีขนาดเล็กมากก็ตามโดยความสว่างที่มากกว่าจะดึงดูดความสนใจของสายตาไป จากความสว่างที่น้อยกว่า เมื่ออยู่ในภาพที่มองเห็นภาพเดียวกัน

- **ความเปรียบต่าง** (Contrast) ค่าความเปรียบต่างควรมีค่าที่เหมาะสม ซึ่งความเปรียบต่างนี้จะสัมพันธ์กับความส่องสว่างด้วย ยกตัวอย่างเช่น หากวัตถุอยู่ในที่มืดจำเป็นที่ต้องมีค่าความเปรียบต่างของวัตถุกับสภาพแวดล้อมมากจึงจะเห็นวัตถุได้ชัด ในขณะที่อยู่ในที่ที่มีการส่องสว่างสูง มีความสว่างมากจะต้องการค่าความเปรียบต่างน้อยกว่า

- **เวลาที่มอง** (Exposure Time) เป็นเวลาที่ใช้ในการมองถ้ามีเวลาใน การมองน้อยจะทำให้ความสามารถในการมองด้อยลง จำเป็นที่จะต้องเพิ่มปัจจัยอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น การมองป้ายบนถนน รถวิ่งด้วยความเร็ว ทำให้มีเวลาในการมองน้อย จะต้องมีการ เพิ่มขนาดตัวอักษร เพิ่มความสว่างแก่ป้าย หรือเพิ่มค่าความเปรียบต่างของตัวอักษรกับแผ่นป้ าย ให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ชัดขึ้น

ปัจจัยทางอ้อม

- **ลักษณะเฉพาะของวัตถุ** มีผลทางจิตใจต่อการมองเห็น ความคุ้นเคยกับวัตถุจะเป็นเรื่องที่สำคัญเรื่องหนึ่ง ถ้าวัตถุมีลักษณะเฉพาะที่ผู้มองมีความคุ้นเคย จะทำให้สามารถมองเห็นได้ชัดตามความเคยชิน

- **การต้องการความถูกต้องในการมอง** ถ้าวัตถุเป็นวัตถุที่ไม่ต้องการความถูกต้องหรือความละเอียดในการมองมากนัก จะสามารถลดการพิจารณาในปัจจัยต่าง ๆ ได้มากกว่าวัตถุที่ต้องการมองอย่างละเอียด

- **การเคลื่อนที่ของวัตถุ** การที่วัตถุเคลื่อนที่ เร็ว ช้า หรือ อยู่นิ่ง จะทำให้สามารถเห็นวัตถุได้ ในรูปแบบที่ต่างกัน ซึ่งสัมพันธ์กับเวลาในการมองเห็น

- **รูปแบบของสิ่งแวดล้อม** มีผลต่อความสว่างและความเปรียบต่างที่มีต่อวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น การมองวัตถุสีอ่อนที่มีพื้นหลังของ วัตถุเป็นสีเข้ม จะเห็นวัตถุในขนาดหนึ่ง ถ้าเปลี่ยนพื้นหลังเป็นสีอ่อน ขนาด และความชัดเจนจะเปลี่ยนไป

สภาวะการให้แสง (The Lighting Condition)

ปัจจัยโดยตรง

- **ระดับการส่องสว่าง** (Illumination Level) จะต้องให้แสงในปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการของสายตา

- **แสงบาดตา** (Glare) ให้แสงโดยหลีกเลี่ยงหรือป้องกันการเกิดแสงบาดตา

ปัจจัยทางอ้อม

- **อัตราส่วนความสว่าง และ อัตราส่วนความจ้า** (Luminance Ratio and Brightness Ratio) อัตราส่วนความสว่าง หมายถึง อัตราส่วนความสว่างระหว่างวัตถุที่อยู่ติดกัน และ อัตราส่วนความจ้า หมายถึง อัตราส่วนความสว่างระหว่างพื้นผิวภายในกับสภาพภายนอกอาคาร ซึ่งอัตราส่วนทั้งสองจะมีผลต่อการมองเห็น โดยจะสามารถทำให้เกิดแสง บาดตา และปัญหาการปรับสายตา

- **รูปแบบของความจ้า** (Brightness Pattern) ถึงแม้ว่าค่าความสว่างมีค่าเท่ากัน รูปแบบของแสงที่เกิดขึ้นอาจไม่เหมือนกัน ความจ้าจะมีรูปแบบต่างกันออกไปตามลักษณะการเดินทางของแสงผ่านตัวกลางแบบต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การให้แสงกระจาย มีรูปแบบของความจ้าแตกต่างจากแส งโดยตรงและมีผลต่อการมองเห็นที่ต่างกัน แสงตรงจะทำให้

เกิดจุดสว่างและเงาคม ทำให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ชัดเจนกว่าเมื่อวัตถุได้รับแสงกระจายซึ่งจะเกิดความสว่างใกล้เคียงกันที่วัตถุ ทั้งนี้ภาพที่เกิดจากวัตถุที่ได้รับแสงกระจายจะทำให้เกิดรูปแบบความจ้าที่นุ่มนวล ไม่ตัดกันรุนแรงดังที่เกิดขึ้นในแสงตรง ทำให้สามารถมองวัตถุได้อย่างสบายตา

- **การให้สีของแสง** (Chromaticity) สีของแสงที่ต่างกันมีผลต่อการมองเห็นที่ต่างกันในแง่ความถูกต้องเหมือนจริง แสงธรรมชาติให้ความถูกต้องเหมือนจริงได้มากที่สุด เนื่องจาก สีของแสงมีความสมบูรณ์ คือ แสงมีองค์ประกอบของสีครบทุกสี ในขณะที่หลอดไฟฟ้าจะมีข้อจำกัดคือให้สีบางสีมากและขาดสีบางสีไป ทำให้สีของวัตถุที่เห็นไม่ตรงกับความเป็นจริง

ผู้มองวัตถุ (The Observer)

ปัจจัยโดยตรง

- **สภาพของสายตา** แปรผันตามสุขภาพและอายุของผู้มองเห็น

- **ระดับความสามารถในการปรับสายตา** สายตาต้องการการปรับตัวแตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาพแสงที่ต่างกัน

- **ความอ่อนล้าของสายตา** เมื่อมีความล้าของกล้ามเนื้อจะมีผลให้การมองเห็นมีประสิทธิภาพน้อยลง

ปัจจัยโดยอ้อม

- **ความรู้สึกของผู้มอง** เป็นการตอบสนองทางด้านจิตวิทยาของผู้มอง มีส่วนทำให้เกิดความต้องการของแต่ละบุคคล เช่น รู้สึกกลัวที่มืดจะมีความต้องการความสว่างมากขึ้นกว่าปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.5 ความต้องการแสง

มนุษย์ต้องการแสงเพื่อการมองเห็น ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อตอบสนองด้านจิตใจ และ ทำให้เกิดการเรียนรู้ การใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องสามารถสนองตอบความต้องการแสงได้ ความต้องการพื้นฐานของมนุษย์นั่นคือการดำรงชีวิต ซึ่งความต้องการแสงในการดำรงชีวิตนี้ มีความสัมพันธ์กับการเดินทาง การเคลื่อนไหว การดำรงอยู่ การป้องกันตัว และการมีชีวิตรอด จึงจะสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้ (Lechner, 1991)

ความต้องการแสงในการชี้ทางหรือนำทาง มนุษย์มีความต้องการแสงเพื่อการมองเห็นหนทางที่จะเดินไป นอกจากนี้แสงสามารถชี้จุดที่เป็นทางออกไปสู่ภายนอกได้ แสงจะสามารถสนองความต้องการเรื่องการชี้ทาง หรือนำทางให้แก่มนุษย์ในสองกรณี นั่นคือ เพียงพอต่อการมองเห็นทาง และ สามารถนำสายตาไปสู่จุดหมายที่มนุษย์ต้องการจะไปถึงได้

ความต้องการแสงเพื่อบ่งบอกเวลา การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เป็นตัวกำหนด เวลากลางวัน ที่มนุษย์ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ เพราะสามารถมองเห็นได้ชัดเจนจากปริมาณแสงที่มาก และ เวลากลางคืน ที่มนุษย์หยุดการทำกิจกรรม เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นได้ถนัดนัก ในทางกลับกัน มนุษย์จะสามารถ ทราบเวลาได้จากการสังเกตตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และ ความมืด-ความสว่าง จะเห็นได้ว่าการเปิดรับแสงธรรมชาติจะให้ประโยชน์ด้านการรับรู้เวลาของมนุษย์ ซึ่งเป็นการรับรู้ตามธรรมชาติ

ความต้องการแสงเพื่อให้สามารถรับรู้รูปทรงของ วัตถุ การที่แสงตกกระทบวัตถุแล้วเกิดการไล่ความ เข้มของแสงและเงาขึ้นบนวัตถุ ทำให้มนุษย์สามารถทราบรูปทรงของวัตถุ รับรู้ความลึก และ ระยะใกล้ -ไกลได้ มีประโยชน์ในการกะระยะ และ ทำให้สามารถคาดเดาปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นกับวัตถุได้ ทั้งนี้แสงที่ตกกระทบวัตถุจะต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้มนุษย์มองเห็น โดยคุณภาพของแสงจะมีมากน้อยก็ตามความสำคัญในการมองเห็นนั้น ๆ โดยทั่วไปแล้วแสงควรทำให้เกิดภาพที่ชัดเจน และ สีที่ตรงตามความเป็นจริงที่สุด

ความต้องการแสงเพื่อให้สามารถทำกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ ได้ มนุษย์ต้องการแสงในการมองเห็นเพื่อทำกิจกรรม ซึ่งไม่เท่ากันในแต่ละบุคคล และ แต่ละกิจกรรมมนุษย์ต้องการรูปแบบของแสงที่ต่างกันในกิจกรรมที่ต่างกัน โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับความต้องการความละเอียดในการมอง ถ้ าต้องการความละเอียดในการมองมาก จะต้องการแสงปริมาณและ

คุณภาพดี ในขณะที่กิจกรรมที่ต้องการ ความละเอียดไม่มากนักจะต้องการปริมาณและคุณภาพแสงลดลง

ในเชิงปริมาณ มักจะกล่าวถึงในรูปค่าความส่องสว่างตามที่แสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งการออกแบบการใช้แสงโดยอาศัยการเปรียบเ ทียบค่าความส่องสว่างจะสามารถทำได้ง่ายกว่าการพิจารณาแสงเชิงคุณภาพซึ่งมีตัวแปรหลายตัวที่จะต้องนำมาพิจารณา เช่น มีอัตราส่วนความสว่างและอัตราส่วนความจ้าค่าที่เหมาะสม รูปแบบความจ้าที่ไม่ทำให้เกิดแสงบาดตา การให้สีที่สมบูรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 แสดงประเภทของการส่องสว่างและปริมาณความส่องสว่างสำหรับกิจกรรมทั่วไปภายในอาคาร (IESNA, 1993)

Type Of Activity	Illuminance Category	Range of Illuminance [Lux]	Reference Work-Plane
Public spaces with dark surroundings	A	20-30-50	General lighting throughout spaces
Simple orientation for short temporary visits	B	50-75-100	
Working spaces where visual task are only occasionally performed	C	100-150-200	
Performance of visual task of high contrast or large size	D	200-300-500	Illuminance on task
Performance of visual task of medium contrast or small size	E	500-750-1000	
Performance of visual task of low contrast or very small size	F	1000-1500-2000	
Performance of visual task of low contrast or very small size over a prolonged period	G	2000-3000-5000	Illuminance on task, obtained by a combination of general and local supplementary lighting
Performance of very prolonged and exacting visual task	H	5000-7500 10000	
Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size	!	10000-15000-20000	

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ
(Stein and Reynolds, 1992)

1 to 1/3	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบ
1 to 1/10	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่มืดกว่า
1 to 10	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่สว่างกว่า
20 to 1	ระหว่างอุปกรณ์โคมไฟ (หรือช่องเปิด) กับพื้นที่โดยรอบ
40 to 1	ทุกตำแหน่งในมุมมองที่มองเห็น

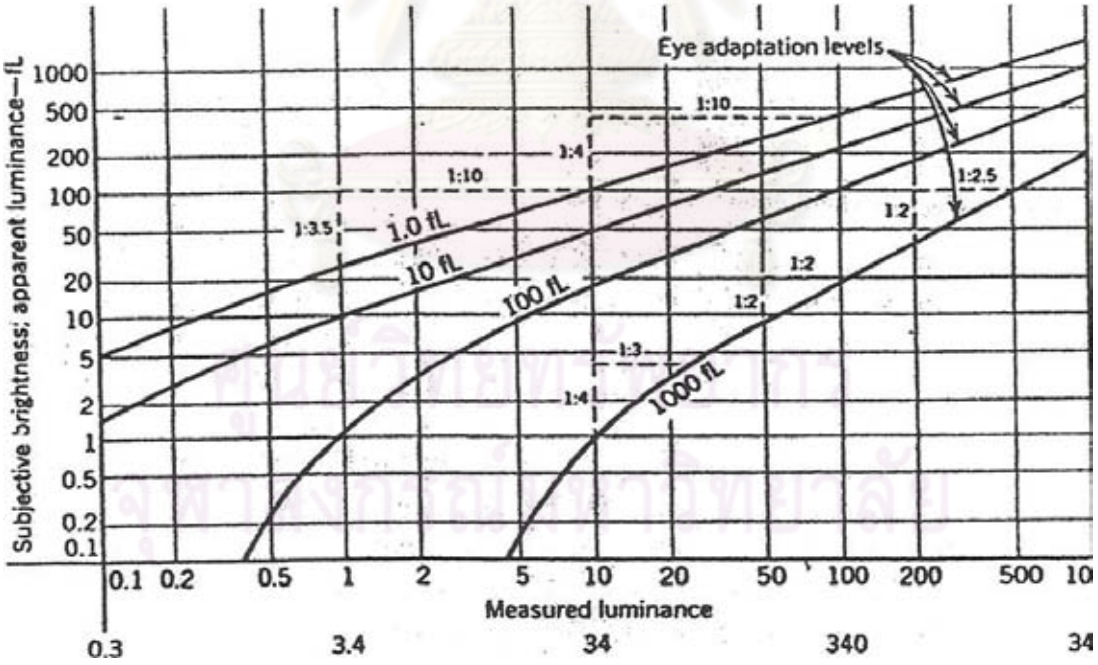
ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการใช้แสงให้มีประสิทธิภาพ สิ่งที่ควรพิจารณาเพิ่มเติม คือ ประสิทธิภาพในการมองเห็น ดวงตามนุษย์สามารถปรับการมองเห็น (eye adaptation) ได้ตามปริมาณแสงที่เปลี่ยนแปลง แต่การปรับเปลี่ยนที่รวดเร็วเกินไป เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดความไม่สบายตาจากแสงจ้า (Hopkinson, 1972) ในตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณความสว่างที่เหมาะสมและพอยอมรับได้สำหรับแต่ละพื้นผิว ส่วน (ดังภาพที่ 2.17) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างที่รับรู้ (subjective brightness) และความสว่างที่วัดได้ (measurement luminance) ต่อการปรับสายตา (eye adaptation)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณความสว่างที่เหมาะสมและพอยอมรับได้

(Stein and Reynolds, 1992)

ความสว่างที่เหมาะสมสำหรับ	Luminance (cd/m^2)
ถนน	1 – 2
การแยกแยะสี	2 – 3
การแยกแยะระบุหน้าตาของมนุษย์	15 – 20
ผนัง	25 – 150
ฝ้าเพดาน	50 – 250
ตำแหน่งที่มองเห็น	100 – 500
ความสว่างที่พอยอมรับได้สำหรับอุปกรณ์โคมไฟ อุปกรณ์โคมไฟ (ในมุมมองที่มองเห็น)	1000 - 7000



ภาพที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างที่รับรู้ และความสว่างที่วัดได้

ต่อการปรับสายตา (eye adaptation) (Stein and Reynolds, 1992)

ความต้องการแสงเพื่อทำให้พื้นที่มีความสดชื่น แสงสามารถทำให้เกิดการมองเห็น สีสัน ลวดลาย จึงสามารถกระตุ้นให้มนุษย์เกิดความสดชื่น มีชีวิตชีวาได้ ทั้งนี้รูปแบบของแสงบางอย่างจะสามารถทำให้เกิดความรู้สึกในทางตรงกันข้ามได้เช่นกัน

ความต้องการแสงเพื่อเน้นให้สายตาเกิดความสนใจ สายตามนุษย์จะถูกสั่งการอย่างอัตโนมัติ ให้มุ่งไปมองในที่ที่มีความสว่างสูงกว่าเสมอ จึงสามารถใช้แสงเพื่อเน้นให้เกิดความสนใจได้ ในทางตรงกันข้ามแสงที่มีความสว่างสูงสามารถดึงดูดความสนใจของมนุษย์มากเกินไปจนเป็นผลให้เกิดความรำคาญได้เช่นกัน

ความต้องการแสงเพื่อใช้จัดระเบียบสภาพที่มองเห็น แสงสามารถทำให้สายตามองเห็นภาพ โดยแสงที่พอเหมาะ จะทำให้ภาพที่เห็นชัดเจน สมองสามารถแยกแยะการมองเห็นได้ดีขึ้น

ความต้องการแสงเพื่อความปลอดภัย การมองเห็นถือเป็นประสา ทสัมผัสที่สามารถส่งสัญญาณไปสู่สมองได้รวดเร็ว และ ชัดเจน เมื่อมนุษย์รับรู้สิ่งแวดล้อม ทั้งหมดได้ จะรู้สึกปลอดภัย แสงเป็นตัวการหนึ่งที่ทำให้เกิดการมองเห็น จึงสามารถทำให้มนุษย์รู้สึกปลอดภัยได้

นอกจากความต้องการเชิงปริมาณ คือ แสงมีปริมาณเพียงพอต่อการทำกิจกรรม แล้วมนุษย์ยังต้องการเชิงคุณภาพ เพื่อให้รับรู้สิ่งที่มองเห็นได้ชัดเจนตรงตามความเป็นจริงโดยไม่ทำลายความสวยงามหรือทำให้เกิดอันตรายต่อผู้มอง ซึ่งความต้องการแสงเพื่อการมองเห็นและความต้องการด้านความรู้สึกซึ่งมีผลทางด้านจิตใจต่างก็มีความสำคัญ โดยจะเห็นได้ว่าความต้องการแสงของมนุษย์มีพื้นฐานมา จากความเคยชินของการใช้แสงธรรมชาติในชีวิตประจำวันและธรรมชาติของการมองเห็นของสายตามนุษย์ ในทางกลับกันการให้แสงภายในอาคารก็ควรตอบสนองความต้องการรูปแบบต่าง ๆ ข้างต้นเช่นเดียวกัน

2.6 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติมีจุดเด่น คือ เป็นแสงที่ได้มาเปล่าไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตไปจนถึงการใช้งาน สามารถนำมาใช้แล้วไม่หมดไป หากนำมาใช้ภายในอาคารจะช่วยให้สามารถลดพลังงาน และค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปกับแสงสว่างจากแสงประดิษฐ์

การนำแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคารมีความสัม พันธ์โดยตรงกับสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา คือ สภาพท้องฟ้า สภาพอากาศ เวลา ฤดูกาล เป็นต้น ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส การนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้ในปริมาณแสงสูงสุด แต่ในวันที่ท้องฟ้ามืดครึ้มมีฝนตกปริมาณแสงลดน้อยลง ในช่วงฤดูหนาวที่มีช่วงเ วลากลางวันสั้น จำนวนชั่วโมงที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้อาจมีประมาณ 8 ชั่วโมงหรือน้อยกว่านั้น ส่วนในช่วงฤดูร้อนที่มีช่วงเวลากลางวันยาว จำนวนชั่วโมงที่สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้ประมาณ 10 ชั่วโมงหรือมากกว่า

แหล่งกำเนิดแสงโดยตรงตามธรรมชาติแบ่งออกเป็น แสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และแสงสะท้อนจากท้องฟ้า (skylight หรือ daylight) โดยแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติทางอ้อมจะเกิดขึ้นจากการสะท้อนของพื้นผิวของสิ่งต่าง ๆ บนพื้นโลก การศึกษาที่มาของแสงธรรมชาติเป็นพื้นฐานที่สำคัญส่วนหนึ่งของการศึกษารูปแบบการใช้แสงธรรมชาติ

2.6.1 **องค์ประกอบของแสงธรรมชาติ**

แสงที่มาจากท้องฟ้า

คนส่วนใหญ่มักเข้าใจกันว่า แสงอาทิตย์ และแสงจากท้องฟ้ามีความหมายเดียวกัน แต่ในความเป็นจริงมีความแตกต่างกันทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความแตกต่างทางด้าน ความเข้มแสง (intensity) ลักษณะการกระจาย (scattered or diffused) และความแตกต่างของผลที่เกิดขึ้นในการใช้งาน

สามารถพิจารณาแสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิด คือ ดวงอาทิตย์ ที่มีลักษณะของแหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบจุด (point source) มักจะนึกถึงในรูปแบบของ “ รังสีดวงอาทิตย์ (beam light)” เพราะมองเห็นทิศทางชัดเจน ส่วนแสงจากท้องฟ้า แตกต่างจากแสงอาทิตย์ตรงที่เป็นแสงที่มาจากพื้นที่ขนาดใหญ่และมีการกระจายของแสง เรียกว่า “แสงกระจาย (diffuse light)” ทิศทางของแสงมาจากทุกทิศทาง รังสีดวงอาทิตย์ทำให้เกิดเงาส่วนแสงกระจายไม่ทำให้เกิดเงา ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน สามารถมองเห็นเงาของก้อนเมฆที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ได้

แสงอาทิตย์เป็นแสงที่มีความเข้มแสงสูง โดยทั่วไปมีปริมาณความส่องสว่างระหว่าง 5,000 – 10,000 ฟุตแคนเดิล ความเข้มของแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปตามช่วงวันเวลาในรอบปีและตำแหน่งที่ตั้ง ในเข ตร้อนชื้นส่วนใหญ่ในเวลาช่วงกลางวัน ดวงอาทิตย์จะทำมุมสูงสุดกับพื้นโลก แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาในด้านอุณหภูมิสี (color temperature) จัดอยู่ในโทนสีอุ่น (warm color) อุณหภูมิสีหน่วยวัดเป็นองศาเคลวิน (°K) ในช่วงดวงอาทิตย์ขึ้นและตกมีอุณหภูมิสีประมาณ 2,000 °K คล้ายแสงเทียน สำหรับในช่วงกลางวันสีเป็นธรรมชาติมีอุณหภูมิสีประมาณ 5,500 °K

ส่วนแสงจากท้องฟ้า คนส่วนใหญ่มักจะแปลกใจว่าในสภาพที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมจะมีความสว่าง (brightness) กว่าสภาพท้องฟ้าแจ่มใส โดยที่จุดสูงสุดของท้องฟ้าจะสว่างมากกว่า 3 เท่าของพื้นที่ระนาบนอน ความสว่างของแสงจากท้องฟ้าประมาณ 8,000 ฟุตแคนเดิล แสงธรรมชาติมีความสม่ำเสมอของแสง (uniform lighting condition) แสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้าแจ่มใสมีอุณหภูมิของสีประมาณ 10,000 °K ส่วนแสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมีอุณหภูมิสีประมาณ 7,500 °K

ตารางที่ 2.5 แสดงลักษณะของแสงธรรมชาติ (Stein and Reynolds, 1992)

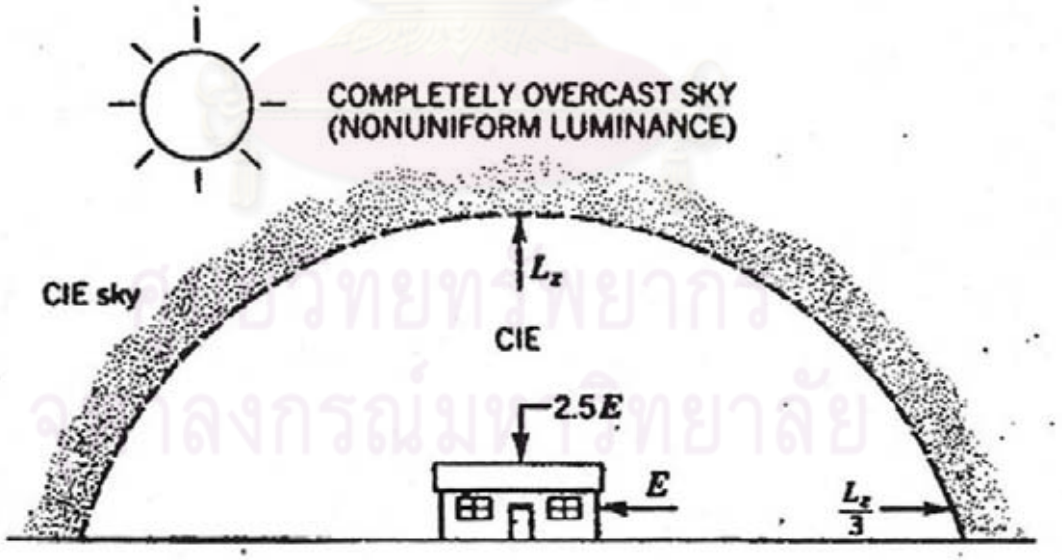
	ทิศทางของแสง	ปริมาณความส่องสว่าง (fc)	ความสว่าง cd / m^2	อุณหภูมิสี	ลักษณะของสี
แสงจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน	รังสี	8,000 - 10,000	1,600,000,000	5,500 °K	สีธรรมชาติ
แสงจากดวงอาทิตย์ในเวลาตอนเช้าและเย็น	รังสี	3,000-8,000	6,000,000	<2,000 °K	โทนร้อน
ท้องฟ้าโปร่ง	แสงกระจาย	1,000-2,000	8,000	10,000 °K	bluish
ท้องฟ้ามีเมฆมาก	รังสีและแสงกระจาย	500 - 5,000	2,000	>2,000 °K	โทนเย็น

สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

ปริมาณของเมฆ และ อนุภาคในอากาศ เช่นฝุ่น ควัน และ ไอน้ำ มีผลต่อปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาบนพื้นดิน โดยทั่วไปแล้วจะมีการจำแนกสภาพท้องฟ้าออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

- **สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได้** (Overcast sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมากปกคลุมทั่วท้องฟ้า มากกว่า 70% ท้องฟ้าประเภทนี้จะไม่สามารถเห็นแหล่งกำเนิด คือ ดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก แบ่งออกเป็น

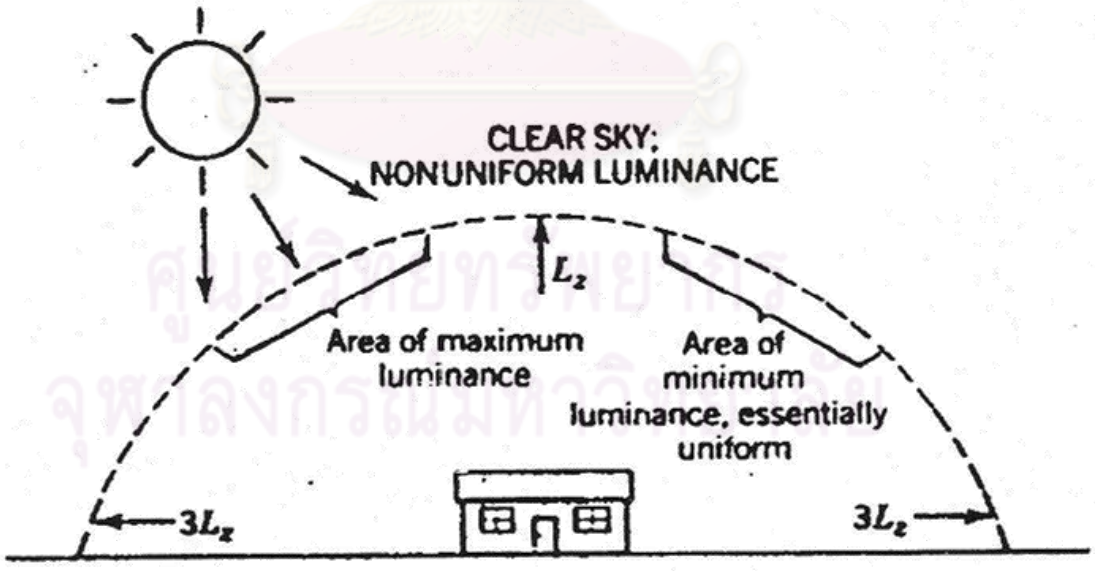
สภาพท้อง ฟ้าที่มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (non – uniform brightness) ซึ่งมีความสว่างในระดับสูงสุด (zenith brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (horizon brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่า



ภาพที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างในแนวระนาบ และ แนวตั้ง ของท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก (Overcast sky) (Stein and Reynolds, 1992)

- **สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม** (clear sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆน้อย ปริมาณปกคลุมท้องฟ้าไม่เกิน 30% ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบ คือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light) และ แสงจากดวงอาทิตย์ (direct sunlight) ซึ่งมีปริมาณความสว่างของทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (solar altitude) เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความสว่างของพื้นผิวแนวระนาบจากแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนของท้องฟ้า จะมีค่าความส่อ งสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับมุมอะซิมุท (azimuth) และมุมเงย (altitude) ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์และลด ลงต่ำเมื่ออยู่ห่างหรือด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุมเงยมีค่ามากกว่า 90° (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุหรือพื้นผิวใด ๆ ที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย



ภาพที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างในแนวระนาบ และ แนวตั้ง ของสภาพท้องฟ้าแบบ ท้องฟ้าโปร่ง (clear sky) (Stein and Reynolds, 1992)

- **สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน** (partly cloudy sky) เป็นสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆ ในปริมาณปานกลางปกคลุมประมาณ 30-70% โดยระดับความส่องสว่างจะมีความแปรปรวนสูงจากการเคลื่อนที่ของเมฆ ท้องฟ้าประเภทนี้จะสามารถหาระดับความสว่างของท้องฟ้าได้ยากมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเมฆตลอดเวลา หากเมฆที่ปกคลุมมีปริมาณน้อย และเบาบาง

แสงสะท้อนจากพื้นผิว

สามารถแบ่งออกเป็น แสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก และ แสงสะท้อนจากพื้นผิวภายในพื้นที่ใช้สอย

- **แสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก** ซึ่งได้แก่ แสงที่สะท้อนจากพื้นผิวภายนอก และ พื้นผิวของสิ่งต่าง ๆ ที่แวดล้อมอาคารอยู่ เช่น ต้นไม้ สิ่ง ก่อสร้าง และอาคารข้างเคียง แสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมนี้ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของพื้นผิวของสภาพแวดล้อมดังกล่าว ที่มีความสัมพันธ์กับจุดพิจารณา รวมไปถึงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวนั้น (Koenigsberger, 1993) ทั้งนี้ค่าการสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมจะมีความแตกต่าง กัน ในกรณีที่สภาพแวดล้อมเป็นอาคารหรือพื้นคอนกรีต อาจมีค่าการสะท้อนแสงสูงถึง 80-90% โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาคารในปัจจุบันใช้วัสดุกระจก หรือ ทาสีขาว ในขณะที่สภาพแวดล้อมที่เป็นต้นไม้หรือพื้นหญ้า จะมีค่าการสะท้อนแสงที่ต่ำมาก เพียง 6% เท่านั้น (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

- **แสงสะท้อนจากพื้นผิวภายในพื้นที่ใช้สอย** ขึ้นอยู่กับขนาดของห้อง อัตราส่วนของพื้นที่ผนัง พื้นผิวที่มีความสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าต่างและค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายใน (Koenigsberger, 1993)

2.6.2 หลักการในการใช้แสงธรรมชาติ

ข้อจำกัดของแสงธรรมชาติในเรื่อง ปริมาณแสง และ ความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารมากเกินความจำเป็น จึงต้องมีหลักการ เพื่อช่วยปรับสภาพแสงให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเฉพาะ การใช้แสงในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการ ใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร นอกจากจะเกิดจากปริมาณของแสงแล้วยังเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของสายตา ซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร ได้แก่ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

ความร้อน ในสภาพอากาศของประเทศไทยที่มีลักษณะอากาศแบบร้อนชื้นนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการป้องกันไม่ให้ความร้อนเข้า และสะสมภายในอาคาร แต่ในทางปฏิบัติ เมื่อมีความต้องการที่จะใช้แสงธรรมชาติ จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะป้องกันความร้อนได้ทั้งหมด เนื่องจากแสงจะ มาพร้อมกับความร้อน จะต้องมีการพิจารณาใช้แสงเท่าที่จำเป็นก่อให้เกิดความร้อนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้า ความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้าขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ และ เมฆบนท้องฟ้า ซึ่งอาจจะสามารถลดปัญหาในส่วนนี้ได้โดยการแยกพื้นที่ตามชนิดกิจกรรม ว่าสามารถรับความแปรปรวนของแสงได้มากน้อยเพียงใด และการลดความแปรปรวนโดย การหลีกเลี่ยงแสงโดยตรงที่มีความแปรปรวนสูง และ ลดปริมาณแสงโดยตรงโดยการกระจายแสง ให้ตกลงบนพื้นที่ใช้งานได้อย่างสม่ำเสมอ

ความต้องการในการใช้แสงธรรมชาติให้ได้มากที่ สุด เนื่องจากแสงที่ได้จากธรรมชาติมีปริมาณมากแต่การปิดล้อมที่ว่างของอาคาร จะเป็นการสกัดกั้นไม่ให้แสงเข้าสู่ภายในอาคารทำให้เสียประโยชน์ไป จึงควรมีการออกแบบให้สามารถรับแสงธรรมชาติให้ได้มากที่สุดจากทุกทิศทุกทาง เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติให้ได้มากที่สุดแม้ในเวลาแสงน้อย

การควบคุมไม่ให้เกิดแสงบาดตา เป็นสิ่งที่จำเป็นนอกจากจะเกี่ยวกับความสามารถในการมองเห็นโดยตรง แล้วยังมีผลต่อ การปรับตัวของสายตา และ มีผลทางด้านจิตวิทยาคือรบกวนสมาธิผู้ใช้อาคาร ซึ่งสามารถควบคุมไม่ให้เกิดแสงบาดตาได้โดยการคำนึ งถึงมุมมองของสายตาของผู้ใช้อาคาร การควบคุมสภาพแวดล้อม การเลือกใช้ช่องแสง และ การพิจารณาแสงที่ให้แก่พื้นที่ภายในอาคาร

2.6.3 การใช้แสงธรรมชาติกับอาคาร

แสงธรรมชาติสามารถนำเข้ามาภายในสถาปัตยกรรมได้ 2 วิธีหลัก ๆ คือ แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side lighting) และแสงที่เข้ามาทางด้านบน (Top lighting) โดยแสงที่มาจากทางด้านบนนั้น ถือได้ว่าเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแสงที่มาจากทางด้านข้าง ในแง่ของการให้ความสว่างแก่ที่ว่างภายในอาคาร นอกจากนั้นอาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่าง โดยใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น Light pipe และ Light Shelf เป็นต้น สิ่งที่ควรระวัง คือ แสงธรรมชาติของประเทศไทยจะมีความเข้มของการส่องสว่างสูง ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร ก็จะมีความร้อนเข้ามาสู่ภายในอาคารด้วย จึงไม่ควรนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้โดยตรง แต่นำเข้ามาในทางอ้อม หรือที่เรียกว่า Indirect Light เท่านั้น คือ ให้แสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนหรือหักเหก่อนเข้าสู่ภายในอาคาร

- แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side Lighting) ใช้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร คือเรื่องความลึกของห้องที่ค่อย ๆ ออกห่างจากหน้าต่าง และความสูงของช่องหน้าต่าง อย่างไรก็ตามก็ต้องใช้ทั้งความสูงและความกว้างของหน้าต่างควบคู่กันไป ความสูงของหน้าต่างยิ่งมาก แสงที่ส่องเข้ามาภายในอาคารก็ยิ่งลึก และมีการกระจายแสงได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ

- แสงที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top Lighting) การให้แสงทางด้านทิศเหนือ ทำให้ได้แสงที่สม่ำเสมอมาก และการให้แสงทางด้านทิศใต้ จะทำให้ได้ความร้อน (Heat gain) และความจ้า (Glare) เข้ามามาก ในอาคารจำนวนมากต้องการเพียงแสงทางทิศเหนือเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศหรือที่ตั้งว่าอยู่ซีกโลกใด และมีสิ่งที่ต้ องพิจารณาควบคู่กันไปคือ การจัดวางอาคาร และการใช้พลังงาน

เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ ศึกษาเกี่ยวกับแสงธรรมชาติที่เข้ามาจากด้านบน จึงศึกษาและเน้นการคำนวณแสงธรรมชาติสำหรับการให้แสงทางด้านบน ดังจะกล่าวต่อไปนี้

2.6.4 **การคำนวณแสงธรรมชาติโดย**วิธี Daylight Factor Method หรือ sky factor หรือ split flux method เป็นวิธีการคำนวณ ระดับความส่องสว่างภายในอาคาร วิธีหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากกว่า 70 ปี โดยเฉพาะในประเทศอังกฤษ ได้มีการกำหนดกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ที่อ้างอิงการคำนวณ ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ และวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ ยังคง

ได้รับการพัฒนาวิธีการคำนวณ รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อการคำนวณ ให้มีการใช้งานที่เหมาะสม สะดวกต่อการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามลำดับจนถึงปัจจุบัน

หลักการของเดยไลท์แฟกเตอร์ เมทตอท (Daylight factor Method , DF.) จะเป็นวิธีการที่กำหนดขึ้นจากอัตราส่วนเปรียบเทียบ ระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคารในระนาบพื้นผิว (Ei) ต่อค่าความส่องสว่างภายนอกของอาคาร (Ee) ในระนาบเดียวกัน และเป็นวิธีการเหมาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ ค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ (daylight factor) คือ ค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารในจุดพิจารณาต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายนอกอาคารในแนวระนาบ (Stein and Reynolds, 1992) โดยมีสมการมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\mathbf{DF} = \frac{Ei}{Ee} * 100$$

$$\mathbf{DF(\%)} = \frac{\text{ความสว่างภายใน}}{\text{ความสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดดตรง)}} * 100$$

หาก DF มีค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ จะหมายความว่าค่าความส่องสว่างภายในณ จุดนั้น (station point) จะมีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความส่องสว่างจากภายนอก

องค์ประกอบของวิธีการคำนวณแบบ Daylight Factor

การพิจารณาหาปริมาณความสว่างภายในอาคาร ที่ได้จากแสงธรรมชาติ ด้วยวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor , DF) จะเป็นวิธีการคำนวณที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ โดยองค์ประกอบที่สำคัญมีดังนี้

- **องค์ประกอบจากท้องฟ้า** (Sky component, SC) จะเป็นแสงธรรมชาติภายนอกที่เข้าสู่อาคารโดยตรง โดยแสงธรรมชาติจะมีปริมาณความส่องสว่างที่มาก หรือน้อยตามสภาพของท้องฟ้าที่ต่า งกัน เช่นท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear sky) หรือท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็น ดวงอาทิตย์ได้ (Completely overcast sky)

- **องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร** (Externally reflected component, ERC) เป็นการพิจารณา แสงที่เกิดจากการสะท้อน ของวัตถุ หรืออาคาร ที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียงอาคาร และสะท้อนวัตถุดังกล่าว เข้ามาสู่ตัวอาคาร เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงที่เกิดจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้น

- **องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายในอาคาร** (Internal reflected component, IRC) เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่อยู่ภายในอาคาร จากแสงที่มาจากองค์ประกอบจากท้องฟ้าและองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก ปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่สะท้อน หรือคุณ สมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้น ๆ เช่นเดียวกันกับองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร

$$\mathbf{DF} = SC + ERC + IRC$$

เมื่อ SC คือ องค์ประกอบจากท้องฟ้า
ERC คือ องค์ประกอบภายนอก
IRC คือ องค์ประกอบภายใน

ค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ที่ได้จากการคำนวณจะสามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ที่แนะนำให้ใช้ในตาราง 2.6 เพื่อพิจารณาว่ารูปแบบที่กำหนดขึ้น สามารถทำให้ปริมาณแสงบริเวณ พื้นที่ใช้สอยมีค่ามากน้อยเพียงใด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแสงภายนอกโดยค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์มาก หมายความว่า รูปแบบนั้น ๆ ทำให้เกิดแสงภายในปริมาณมาก แม้

แสงภายนอกมีปริมาณไม่มากนัก โดยที่ช่องเปิดที่รับแสงธรรมชาติ จะสามารถรวบรวมความส่องสว่างสู่ภายในได้มาก มิได้แปรผันตามปริมาณแสงที่มาจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ (daylight factor) สำหรับการใช้งานแบบต่าง ๆ (Stein and Reynolds, 1992)

การใช้งาน	ค่า DF %
การอ่านหนังสือ การทำงานปกติในช่วงเวลาปกติ ที่ไม่ได้มีการใช้สายตาในกิจกรรมหนึ่งๆ นานเกินไป	1.5 – 2.5
การอ่านหนังสือ หรือการใช้สายตาในการทำงาน ในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย	2.5 – 4.0
การทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้	4.0 – 8.0

2.6.5 **การพิจารณาเพื่อเลือกใช้วัสดุในการสะท้อน** ซึ่งจะพิจารณาจากการสะท้อนแสง และพิจารณาจากสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง

แสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกันนั้น มีลักษณะของการสะท้อนของแสงที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของวัสดุที่มีผิวด้านและผิวมัน (IES, 1989)

Matte (or diffuse)	Glossy (or specular)
Brick , rough	Aluminum, polished
Concrete	Enamel paint
Flat paint, low gross	Glass
Limestone	Marble, polished
Plaster, white	Plastics, polished
Plastics, low gloss (abs, mf, pvc)	Stainless steel
Sandstone	Terrazzo
Wood, unfinished	Tin
	Wood, oiled

การกำหนดค่าสะท้อนแสงของวัสดุในการวิจัยครั้งนี้ มีการนำข้อมูลค่าของการสะท้อนแสงของวัสดุและพื้นผิวภายนอกอาคาร จาก IES (ดังตารางที่ 2.8) มาเป็นพื้นฐานในการกำหนดค่าการสะท้อนแสงภายนอก

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ และพื้นผิวภายนอกอาคาร

(Stein and Reynolds, 1992)

Material	Reflectance (%)
Asphalt (free from dirt)	7
Bluestone, Sandstone	18
Brick	
Light buff	48
Brick	
Dark buff	40
Dark red glazed	30
Cement	27
Concrete	55
Earth (moist cultivated)	7
Granite	40
Granolite pavement	17
Glass (dark green)	6
Gravel	13
Macadam	18
Marble (white)	45
Paint (white)	
New	75
Old	55
State (Dark Clay)	8
Snow	
New	74
Old	64
Vegetation (mean)	25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางพบว่า ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุและผิวภายนอก ค่าสูงสุดในตารา ง คือ ค่าการสะท้อนของวัสดุสีขาว มีค่าเท่ากับ 75% และค่าการสะท้อนแสงต่ำสุดคือ หญ้าสีเขียว มีค่าเท่ากับ 6% ดังนั้นในการเลือกวัสดุและค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการวิจัย จึงกำหนดให้มีค่าการสะท้อนแสงให้ใกล้เคียงกับอาคารห้องสมุด

นอกจากการสะท้อนแสงของวัสดุแล้ว สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกอย่างคือ ผิวของวัสดุที่จะใช้ เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ ต้องการนำแสงที่กระจาย (Diffuse Light) มาใช้ภายในอาคาร ดังนั้นผิวของวัสดุที่ใช้ นอกจากจะมีค่าการสะท้อนแสงที่ ต้องการแล้ว ยังต้องมีลักษณะผิวที่ให้การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) จากการพิจารณาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (ตารางที่ 2.8) จะเห็นว่าวัสดุที่มีผิวด้าน จะมีการสะท้อนแสงในลักษณะที่เป็นแบบผสม โดยมีเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงแบบกระจายสูงกว่าการสะท้อนแสงแบบกระจกเงา (Specular Reflection) (ตารางที่ 2.9) การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้วัสดุที่มีลักษณะผิวด้าน สำหรับทดสอบการสะท้อนแสงภายในอาคาร และส่วนต่าง ๆ ที่จะทำการทดลองกับหุ่นจำลอง

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าสะท้อนแสงของวัสดุ (Typical Reflectances) (IESNA, 1993)

Material	Reflectance	
	Specular	Diffuse
Matte black paper	0.0005	0.040
Matte white paper	0.0030	0.770
Newspaper	0.0065	0.680
Very glossy white photo paper	0.0480	0.830
Metallic paper copper	0.1100	0.280
Dull black ink	0.0060	0.045
Super gloss black ink	0.0390	0.016

สีของวัสดุแต่ละชนิดมีค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน ตารางที่ 2.10 เป็นตัวแปรที่ 2 ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ตารางที่ 2.10 แสดงค่าการสะท้อนแสงของสีต่าง ๆ (Stein and Reynolds, 1992)

Medium Value Colors	
White	80-85
Light gray	45-70
Dark gray	20-25
Ivory white	70-80
Ivory	60-70
Pearl gray	70-75
Buff	40-70
Tan	30-50
Brown	20-40
Green	25-50
Olive	20-30
Azure blue	50-60
Sky blue	35-40
Pink	50-70
Cardinal red	20-25
Red	20-40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากทฤษฎีต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นพบว่ามีตัวแปรที่เกี่ยวกับแนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมมีมากมายแต่มีเพียง 3 ตัวแปรเท่านั้นที่ผู้วิจัยจะใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสม ผิวและสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง รวมถึงลักษณะการสะท้อนแสงด้วย

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาทฤษฎี และสำรวจลักษณะทางกายภาพ และการส่องสว่างของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารเดิม) ในการใช้ประโยชน์ จากแสงธรรมชาติ โดยศึกษาขนาดพื้นที่ของช่องเปิดด้านบนต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร ผิวและสีที่ใช้ในการสะท้อนแสง และลักษณะของแสงที่สะท้อนสู่พื้นที่ใช้งานโดยใช้หิ้งสะท้อนแสงที่มีมุมหรือองศาต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารห้องสมุดให้มีประสิทธิภาพของแสงสว่างเพิ่มมากขึ้นโดยนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด ซึ่งมีระเบียบวิธีการวิจัยดังนี้

3.1 การศึกษาทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ได้แก่

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นการศึกษาทฤษฎีที่จำเป็นเกี่ยวกับแสง เช่นพฤติกรรมของแสง การหาค่า Daylight Factor เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างภายในอาคาร ส่วนที่สองคือการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออาคารห้องสมุดปัจจุบัน ได้แก่ขนาดของพื้นที่ช่องเปิด ผิวและสีภายในอาคารที่ใช้ในการสะท้อนแสง และลักษณะการสะท้อนของแสง

3.1.2 สำรวจและเก็บข้อมูลอาคารห้องสมุดปัจจุบัน

การศึกษาเป็นการศึกษาในเชิงพิจารณาและเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม ซึ่งมีลักษณะอาคารเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 2 ชั้น ตั้งอยู่ที่ ตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ การสำรวจและเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ศึกษาลักษณะทางกายภาพของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
- สำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เพื่อพิจารณาปริมาณของแสงที่เข้าในแต่ละพื้นที่ใช้สอยโดยใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยดังต่อไปนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างในครั้งนี้ คือ ลักซ์มิเตอร์ จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งลักซ์มิเตอร์ เป็น เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณแสงสว่างมีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือฟุตแคนเดิล (fc) แล้วแต่ประเภทการทำงานของลักซ์มิเตอร์ เริ่มจากการที่อนุภาคของแสง (Flux) ตกกระทบในบริเวณจุดรับแสงแล้วทำให้เกิดความต่างศักย์ของไฟฟ้า เกิดขึ้นในบริเวณจุดรับแสงดังกล่าว ส่งผลให้เ ครื่องมือ ที่ใช้ตรวจวัดจะอ่านค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แล้วแปลข้อมูลดังกล่าว ออกมาเป็นหน่วยความสว่างของแสงตามที่เราต้องการ ในการดำเนินการวิจัย ได้นำเครื่องมือวัดแสงที่อ่านค่าความสว่างเป็นลักซ์ (lux)

(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.1 **(ก)** ลักซ์มิเตอร์ รุ่น LX-91

(ข) ลักซ์มิเตอร์ รุ่น LX1010BS

การเก็บข้อมูลปริมาณของแสงสว่างจากสถานที่จริง หุ่นจำลองอาคารจริง และหุ่นจำลองที่มีการปรับเปรียบค่าของการสะท้อนแสงของวัสดุที่นำมาทำเป็นเพดาน ผนัง และพื้น และนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาเปรียบเทียบและหาแนวทางในการทำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่า

3.2 **ลักษณะของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย** (Model)

ลักษณะของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1 หุ่นจำลองแบบที่ 1 มีลักษณะและสัดส่วน 1:20 เหมือนอาคารจริงแต่มีลักษณะของหลังคาเป็นสี่เหลี่ยม เพื่อศึกษาสัดส่วนของหลังคาที่เหมาะสมกับพื้นที่ของอาคารห้องสมุดว่าควรมีสัดส่วนเท่าไรที่จะใช้ได้กับอาคาร และในปัจจุบันเหมาะสมหรือไม่ เพราะถ้ามองแบบบุคคลทั่วไปก็จะบอกว่าช่องเปิดน้อยเกินไปหรือเปล่าแสงถึงไม่พอ ถ้าเปิดช่องเปิดมากขึ้นก็สว่างเอง จึงต้องการศึกษาและวิเคราะห์ผลเพื่อนำมาเป็นแ นวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกา รส่องสว่างขึ้น มีลักษณะดังภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 ภาพหุ่นจำลองแบบที่ 1 ที่ใช้ข้อมูลขนาดพื้นที่ของช่องเปิดด้านบนต่อพื้นที่ใช้สอยที่เหมาะสมในการวิจัยครั้งนี้

ในการเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารห้องสมุด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้เป็นแนวทางในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ ถ้าเก็บข้อมูลจากอาคารห้องสมุดหรือสถานที่จริงอาจจะได้รับอิทธิพลจากตัวแปรอื่น ๆที่ไม่ได้ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เช่น การจัดวางชั้นหรือตู้หนังสือภายในห้องสมุด นักเรียนที่เข้า -ออกห้องสมุดตลอดเวลา เป็นต้น และอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเมื่อมีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบใด ๆ ภายในอาคาร หรือในบางกรณีทำได้ยาก การใช้หุ่นจำลองจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำวิจัยครั้งนี้

2. หุ่นจำลอง แบบที่ 2 ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาลักษณะการสะท้อนแสงบริเวณช่องเปิดด้านบนอาคาร เมื่อมีการปรับเปลี่ยนสีของวัสดุ ลักษณะของวัสดุ ที่เป็นผนัง พื้น เพื่อให้เกิดการสะท้อนที่มีลักษณะเป็นการกระจายแสง เพื่อทำให้แสงมีปริมา ณที่เพียงพอ รวมถึงการเปลี่ยนรูปแบบของช่องเปิดของอาคารที่ใช้ในการรับแสงธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบปริมาณของแสงที่ผ่านช่องเปิดด้านบนของแต่ละกรณีว่ากรณีใดมีการนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้มากกว่ากันและอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เปรียบเทียบปริมาณความสว่างที่เข้ามากับปริมาณแสงประดิษฐ์ที่ใช้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแสงสว่างธรรมชาติที่มีอย่างมหาศาล จึงมีหลักในการใช้ทำหุ่นจำลองในการวิจัย ดังนี้

- มาตราส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจั ย ควรมีขนาดที่เหมาะสมกับการเก็ บข้อมูล ถ้าหากหุ่นจำลองมีขนาดเล็กจนเกินไปอาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดในการอ่านค่า เพราะเครื่องมือที่จะนำเข้าไปวัดอาจจะเข้าไปไม่ถึงจุดที่ต้องการอ่านค่า และถ้าหุ่นจำลองมีขนาดใหญ่เกินไป อาจจะทำให้มีปัญหาในการเคลื่อนย้าย มีความแข็งแรงค่อนข้างน้อย การปรับเปลี่ย น รูปแบบต่าง ๆ ไม่สามารถทำได้ในเวลาและงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด สำหรับมาตราส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้ คือ 1:20 ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมในการใช้อุปกรณ์ สะดวกในการปรับเปลี่ยน วัสดุและเคลื่อนย้าย

- หุ่นจำลองที่ใช้ต้องสามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบภายในได้ เพื่อใ ช้ในการเปรียบเทียบหรือพิจารณาผลที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณี

- วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง คือ โฟม และใช้กระดาษโปรเตอร์สีปิดบริเวณรอบอาคารเพื่อไม่ให้แสงจากภายนอกเข้ามาจากบริเวณอื่นที่ไม่ได้ใช้เป็นตัวแปร กระดาษที่ใช้ภายในอาคารจะมีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงหรือสีใ กล้เคียงกับ ผนัง พื้น เพดาน ของอาคารห้องสมุดเดิม

- วัสดุที่ใช้เป็นช่องเปิด คือ กระจกใสที่ป้องกันความร้อน ตัดแสง UV และIR แต่ในหุ่นจำลองจะใช้เป็นช่องเปิดโล่ง ซึ่งถือว่ามีแสงที่ส่องเข้ามาแบบสมบูรณ์ คือ 100%

มาตราส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 1:20

ภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะของหุ่นจำลองอาคารห้องสมุด มาตราส่วน 1:20

ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการใช้แสงธรรมชาติ

จากการศึกษาทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวกับการวิจัยในบทที่ 2 พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการใช้แสงธรรมชาติ มีมากมายหลากหลายตัวแปร เช่น ความร้อน ความแปรปรวนของท้องฟ้า ช่องเปิดด้านข้าง ช่องเปิดด้านบน เป็นต้น เมื่อนำมาพิจารณาและประเมินผลกับลักษณะทางกายภาพของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม สรุปตัวแปรที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้เป็น 3 ตัวแปร คือ ขนาดของพื้นที่ช่องเปิดของอาคาร ผิวและสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง และลักษณะการสะท้อนแสง เท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ให้คงที่ ซึ่งมีรายละเอียดของทั้ง 3 ตัวแปรดังนี้

3.2.1 **ตัวแปรที่** 1 ขนาดของพื้นที่ช่องเปิดของอาคารห้องสมุดที่เหมาะสมเพื่อนำแสงธรรมชาติมาเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคาร โดยมีขั้นตอนดังนี้

การหาสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสม

รูปแบบของช่องเปิด ด้านบนที่หลากหลายในการ นำแสงธรรมชาติมาใช้จากช่องเปิดด้านบน การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกรูปแบบช่องเปิดด้านบนซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับอาคารห้องสมุดในปัจจุ บัน ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถป้อง กันแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์เข้ามาในอาคารได้และเป็นรูปแบบที่สามารถเปิดรับแสงธรรมชาติได้โดยรอบ จึงเป็นรูปแบบพื้นฐานที่มีความเหมาะสมในการทำวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาถึงขนาดของช่องเปิดด้านบนตามสัดส่วนของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยภายใน(อาคารชั้นล่าง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีปัญหาของแสงสว่างมาก) ดังนี้

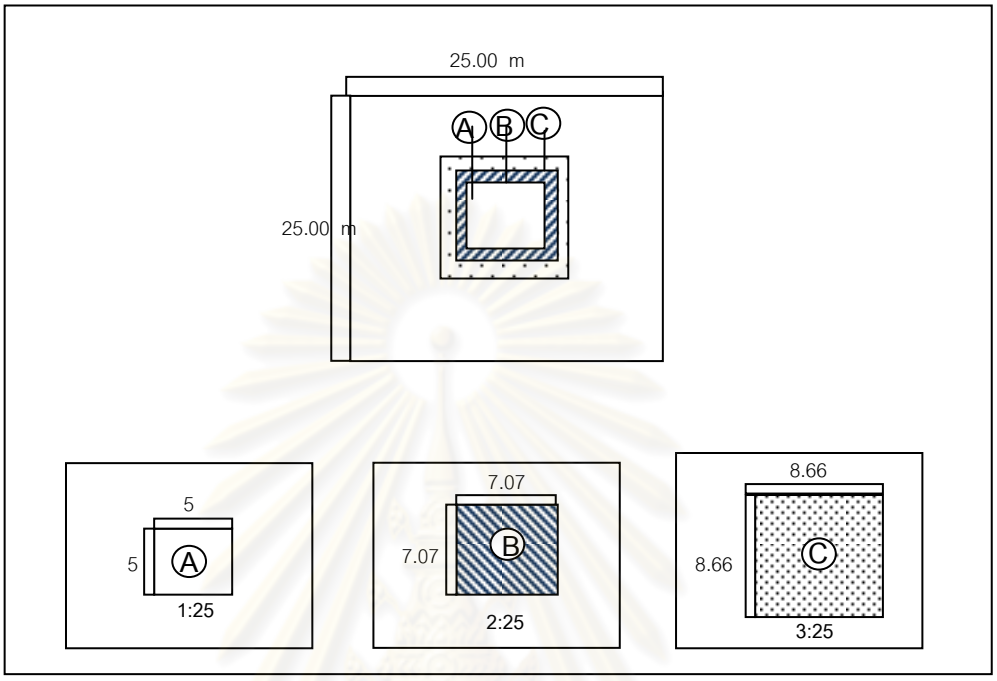
- พื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้สอย ของอาคารห้องสมุดชั้นล่าง (ตำแหน่ง A ในภาพที่ 3.4)
- พื้นที่ช่องเปิด 8% ของพื้นที่ใช้สอย ของอาคารห้องสมุดชั้นล่าง (ตำแหน่ง B ในภาพที่ 3.4)
- พื้นที่ช่องเปิด 12% ของพื้นที่ใช้สอย ของอาคารห้องสมุดชั้นล่าง (ตำแหน่ง C ในภาพที่ 3.4)

การวิจัยครั้งนี้หาสัดส่วนของขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนโดยใช้ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอย

$$AF = \frac{A_a}{A_f}$$ โดยที่ A_a = ขนาดของช่องเปิด

A_f = ขนาดของพื้นที่ใช้สอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.4 แสดงสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยในขนาดต่าง ๆ

เมื่อได้สัดส่วนที่จะใช้ในการทดลองแล้วนำมาศึ กษาด้านปริมาณของแสง คือ ปริมาณความส่องสว่าง (illumination level) ที่ใช้ในงานวิจัย คือ Daylight Factor (DF) เป็นปริมาณความส่องสว่างภายในเปรียบเทียบกับภายนอกในสภาพแสง diffuse sky และ direct sun แสดงในสมการ

$$DF = \frac{E_{di}}{E_{do}} \times 100$$

$$DF(\%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน} \times 100}{\text{ความสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดด)}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 ตัวแปรที่ 2 ผิว และสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง

เก็บข้อมูลการสะท้อนแสงของอาคารห้องสมุดในปัจจุบัน เพื่อนำมาใช้ในการสร้างหุ่นจำลองให้มีผนัง พื้น หลังคา ที่มีผิวและสีที่มีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกับอาคารห้องสมุดในปัจจุบัน

เก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายในหุ่นจำลอง

ศึกษาจากทฤษฎี เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลื อกวัสดุในการปรับปรุงอาคาร ดังนี้

การเลือกใช้วัสดุ ซึ่งจะพิจารณาจากการสะท้อนแสง และพิจารณาจากสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง แสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกัน นั้น มีลักษณะของการสะท้อนของแสงที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของวัสดุที่มีผิวด้านและผิวมัน (IES, 1989)

Matte (or diffuse)	Glossy (or specular)
Brick , rough	Aluminum, polished
Concrete	Enamel paint
Flat paint, low gross	Glass
Limestone	Marble, polished
Plaster, white	Plastics, polished
Plastics, low gloss (abs, mf, pvc)	Stainless steel
Sandstone	Terrazzo
Wood, unfinished	Tin
	Wood, oiled

การกำหนดค่าสะท้อนแสงของวัสดุในการวิจัยครั้ งนี้ มีการนำข้อมูลค่าของการสะท้อนแสงของวัสดุและพื้นผิวภายนอกอาคาร จาก IES (ดังตารางที่ 3.2) มาเป็นพื้นฐานในการกำหนดค่าการสะท้อนแสงภายนอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ และพื้นผิวภายนอกอาคาร
(Stein and Reynolds, 1992)

Material	Reflectance (%)
Asphalt (free from dirt)	7
Bluestone, Sandstone	18
Brick	
Light buff	48
Brick	
Dark buff	40
Dark red glazed	30
Cement	27
Concrete	55
Earth (moist cultivated)	7
Granite	40
Granolite pavement	17
Glass (dark green)	6
Gravel	13
Macadam	18
Marble (white)	45
Paint (white)	
New	75
Old	55
State (Dark Clay)	8
Snow	74
New	64
Old	25
Vegetation (mean)	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางพบว่า ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุและผิวภายนอก ค่าสูงสุดในตาราง คือ ค่าการสะท้อนของวัสดุสีขาว มีค่าเท่ากับ 75% และค่าการสะท้อนแสงต่ำสุดคือ หญ้าสีเขียว มีค่าเท่ากับ 6% ดังนั้นในการเลือกวัสดุและค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการวิจัย จึงกำหนดให้มีค่าการสะท้อนแสงให้ใกล้เคียงกับอาคารห้องสมุด

นอกจากการสะท้อนแสงของวัสดุแล้ว สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกอย่างคือ ผิวของวัสดุที่จะใช้ เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ ต้องการนำแสงที่กระจาย (Diffuse Light) มาใช้ภายในอาคาร ดังนั้นผิวของวัสดุที่ใช้ นอกจากจะมีค่าการสะท้อนแสงที่ต้องการแล้ว ยังต้องมีลักษณะผิวที่ให้การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) จากการพิจารณาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (ตารางที่ 3.2) จะเห็นว่าวัสดุที่มีผิวด้าน จะมีการสะท้อนแสงในลักษณะที่เป็นแบบผสม โดยมีเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงแบบกระจายสูงกว่าการสะท้อนแสงแบบกระจกเงา (Specular Reflection) (ตารางที่ 3.3) การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้วัสดุที่มีลักษณะผิวด้าน สำหรับทดสอบการสะท้อนแสงภายในอาคาร และส่วนต่าง ๆ ที่จะทำการทดลองกับหุ่นจำลอง

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าการสะท้อนแสงของสีต่าง ๆ (Stein and Reynolds, 1992)

Medium Value Colors	
White	80-85
Light gray	45-70
Dark gray	20-25
Ivory white	70-80
Ivory	60-70
Pearl gray	70-75
Buff	40-70
Tan	30-50
Brown	20-40
Green	25-50
Olive	20-30
Azure blue	50-60
Sky blue	35-40
Pink	50-70
Cardinal red	20-25
Red	20-40

หุ่นจำลองที่ใช้มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารจริง ดังนั้นในการทดสอบ ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่สมมุติให้เป็น พื้น ผนัง และ เพดานของห้อง จะเลือกใช้วัสดุเป็นกระดา ษโปสเตอร์ชนิดต่าง ๆ กระดาษฟอยล์ สีเงิน และวัสดุชนิ ดอื่น ๆ ซึ่งนำวัสดุที่ใช้มาเก็บข้อมูล ค่าการสะท้อนแสง ที่เกิดขึ้นจากวัสดุต่าง ๆ ใกล้เคียงกับอาคารปัจจุบัน (อาคารจริง) โดยใช้ลักซ์มิเตอร์เก็บข้อมูลปริมาณแสงที่มากระทบวัตถุ และปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ แล้วนำมาหาอัตราส่วนร้อยละ จะได้ค่าการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้ นกับวัตถุนั้น ๆ โดยทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งต่าง ๆ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.2.3 ตัวแปรที่ 3 ลักษณะการสะท้อนแสงสู่พื้นที่ใช้งานโดยใช้หิ้งสะ ท้อนที่องศาต่างกัน

การวิจัยครั้งนี้แบ่งการศึกษาลักษณะการสะท้อนแสงโดยใช้หิ้งสะท้อนแสงออกเป็น 2 กรณี

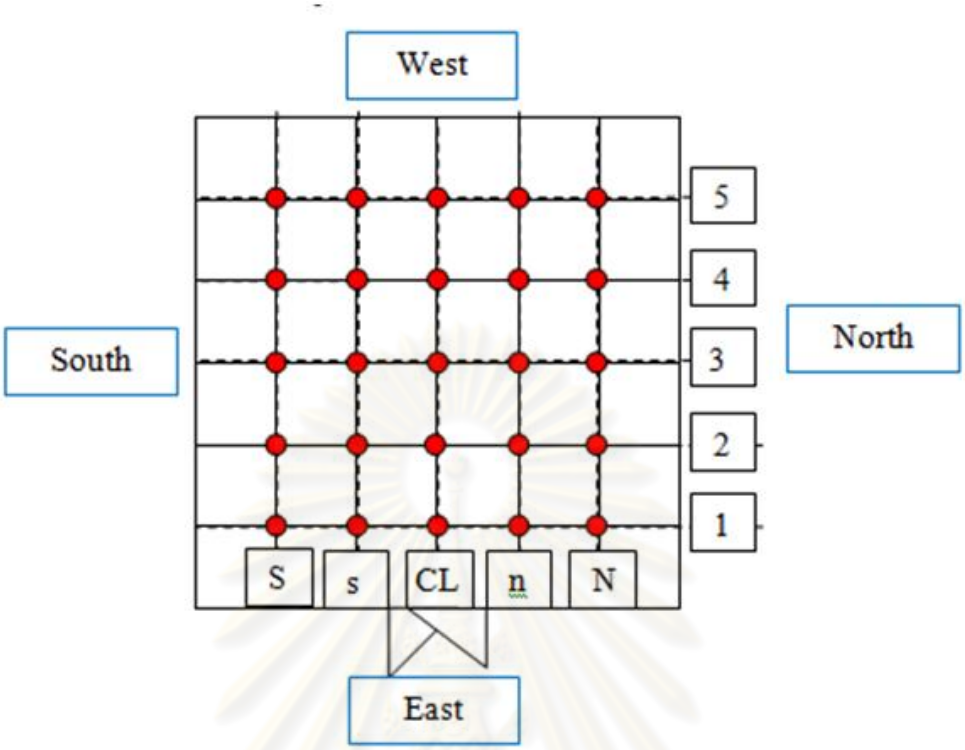
กรณีที่ 1 หิ้งสะท้อนแสงที่มีมุม 90 องศา

กรณีที่ 2 หิ้งสะท้อนแสงที่มีมุม 70 องศา

โดยศึกษาจากค่า Daylight Factor และนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้ลักษณะหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาความไม่เพียงพอของแสงสว่างบริเวณพื้นที่ใช้งาน

ตำแหน่งที่ทำการวัด

การทำ วิจัยครั้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อนำรูปแบบในการสะท้อนแสง จากช่องเปิดด้านบน ซึ่งเกิดจากการปรับเป ลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง เช่นผนัง เพดาน และพื้น รวมถึงการปรับเปลี่ยนลักษณะของช่องที่เปิดรับแสง เพื่อนำมาเป็น แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด โดยกำหนดตำแหน่งที่ทำการวัด ปริมาณแสงสว่างอยู่กึ่งกลางภายในของหุ่นจำลอง และตั้งฉากกับแนวร ะนาบช่องเปิด โดยจุดที่วัดมีระยะห่างดังภาพที่ 3.3 ตามลำดับ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนของ ความส่องสว่าง ที่ระยะต่าง ๆ จากผนัง ตั้งหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงทำการทดสอบกลางที่โล่งแจ้งที่ไม่ถูกอิทธิพลการบังเงาของต้นไม้ อาคารอื่น ๆ และหลีกเลี่ยงอิทธิพลจากการสะท้ อนแสงจากสภาพแวดล้อมเพราะจะทำให้ทิศทางของแสงเปลี่ยนแปลงไป เช่น การสะท้อนแสงจากอาคาร ยานพาหนะ เป็นต้น



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน ระดับ 0.75ม. (Working plane)

3.3 สรุปผลและเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน

การสรุปผลและเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในโดยใช้ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณา และหาข้อสรุปอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติของอาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง โดยแบ่งออกเป็น 3 ตัวแปรที่ทำการวิจัยดังนี้

ตัวแปรที่ 1 ขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนของอาคาร

ตัวแปรที่ 2 ผิวและสีที่ใช้สะท้อนแสงของวัสดุ

ตัวแปรที่ 3 ลักษณะการสะท้อนของแสงสู่พื้นที่ใช้งานโดยใช้หิ้งสะท้อนแสง

เมื่อวิเคราะห์และสรุปผลตัวแปรที่ 1 ตัวแปรที่ 2 และตัวแปรที่ 3 โดยเลือกสรุปผลจากค่าความส่องสว่างที่อยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่ดีที่สุด เพื่อสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมในการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์มากที่สุด

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการวิจัย

การวิจัยครั้งอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากการเก็บข้อมูลและการอ่านค่าต่าง ๆ ซึ่งมีประเด็นหลัก ดังนี้

- ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัดแสงและวิธีการใช้เครื่องมือ
- ความคลาดเคลื่อนเกิดจากวิธีการปรับเครื่อ งมือให้มีความถูกต้องในการอ่านค่าเปรียบเทียบเครื่องมือวัดแสงทั้ง 2 เครื่อง
- ความคลาดเคลื่อนจากวัสดุที่นำมาใช้สมมติเป็นผนัง พื้น หลังคา(ฝ้าเพดาน)
- และความคลาดเคลื่อนอื่น ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในการวิจัยครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การนำ แสงธรรมชาติ เข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่าง ภายในอาคาร นับว่า มีประโยชน์มากที่สุด เพราะแสงธรรมชาติได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ การใช้แสงธรรมชาติจึงเป็นการลดพลังงานไฟฟ้า แต่ถ้าไม่สามารถควบคุมแสงธรรมชาติที่จะนำมาใช้กับอาคารได้ อาจจะทำให้แสงที่เข้ามามีความ จ้ามากเกินไปจนเกิดเป็นแสงบาดตา ได้ ดังนั้นการศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอ ย่างเหมาะสม จึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญควบคู่ไปกับความงามทางสถาปัตยกรรม จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแสง ลักษณะการสะท้อนแสง สีหรือพื้นที่ผิวที่ใช้ใ นการสะท้อนแสง รวมถึงงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง ควบคู่กับการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอาคารเพื่อหาตัวแปรที่เหมาะสม ดังนี้

4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ศึกษาค้นคว้าตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณของแสง ธรรมชาติ ที่เข้ามาภายในอาคารมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมาย ได้แก่รูปแบบของช่องเปิดด้านบน รูปแบบช่องเปิดด้านข้าง ขนาดของพื้นที่ช่องเปิด ค่าการสะท้อนแสงภายนอก ค่าการสะท้อนแสงภายใน ผิวของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง ความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้า ลักษณะการสะท้อน เป็นต้น

4.1.1 ตัวแปรที่ได้จากการศึกษา ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในบทที่ 2 พบว่า มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการวิจัยครั้งนี้มีหลายตัวแปร ดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ตัวแปรที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด กรณีศึกษาโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม ดังต่อไปนี้

ตัวแปรที่ 1 ขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนของอาคารห้องสมุด

ตัวแปรที่ 2 ผิวและสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง

ตัวแปรที่ 3 ลักษณะของแสงที่สะท้อนสู่พื้นที่ใช้งานโดยใช้หิ้งสะท้อนแสง

ตัวแปรอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร นี้ กำหนดให้เป็นค่าคงที่ จากนั้นวิเคราะห์ผลของตัวแปรจากอาคารห้องสมุดปัจจุบัน และหุ่นจำลองโดยการ เก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติเพื่อหาแนวโน้มของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน กับหุ่นจำลองก่อนการปรับปรุง เพื่อตรวจสอบเครื่องที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

4.1.2 การวิเคราะห์ผลของตัวแปรจากอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม

ลักษณะโดยทั่วไปของอาคารห้องสมุด อาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมเป็นอาคารทรงสี่เหลี่ยมตั้งอยู่กลางน้ำ มีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด 1,075 ตารางเมตร แต่ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเฉพาะพื้นที่ชั้น 1 มีพื้นที่ใช้สอย 625 ตารางเมตร ซึ่งมีปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอสำหรับใช้อ่านหนังสือ และเก็บรวบรวมหนังสือชนิดต่าง ๆ

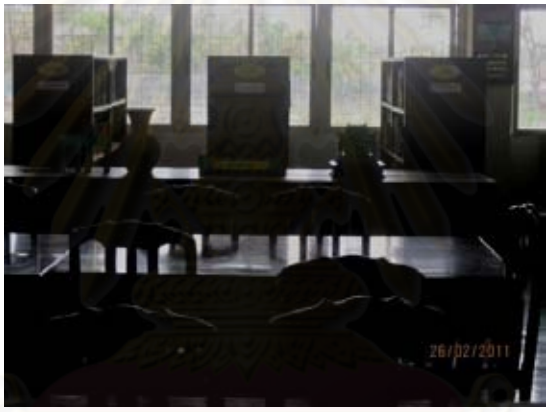
(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.1 (ก) อาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมทางทิศใต้

(ข) อาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมทางทิศเหนือ

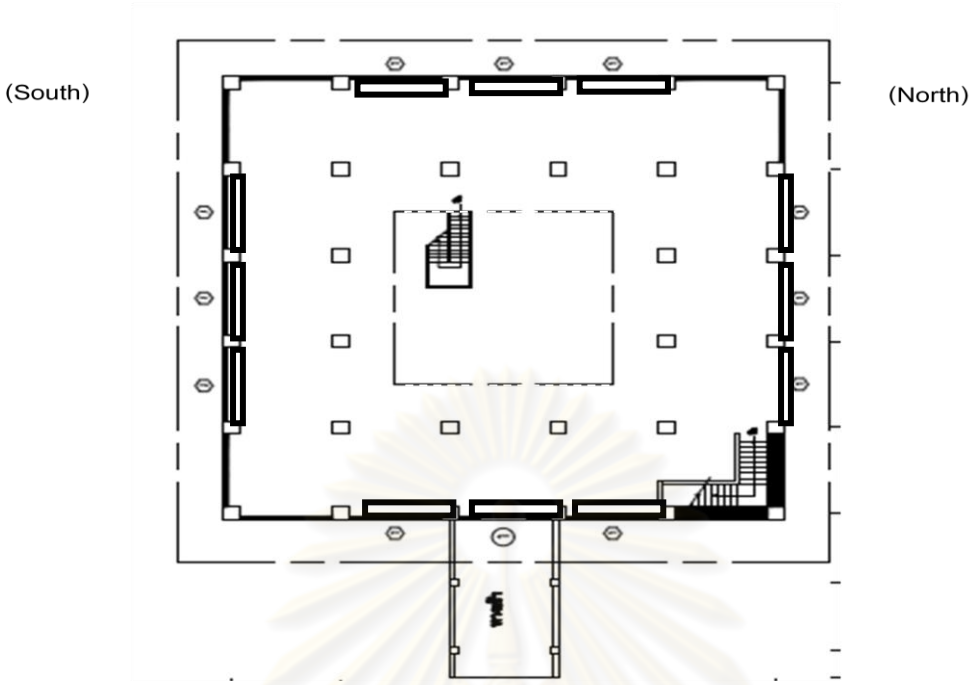
(ก)



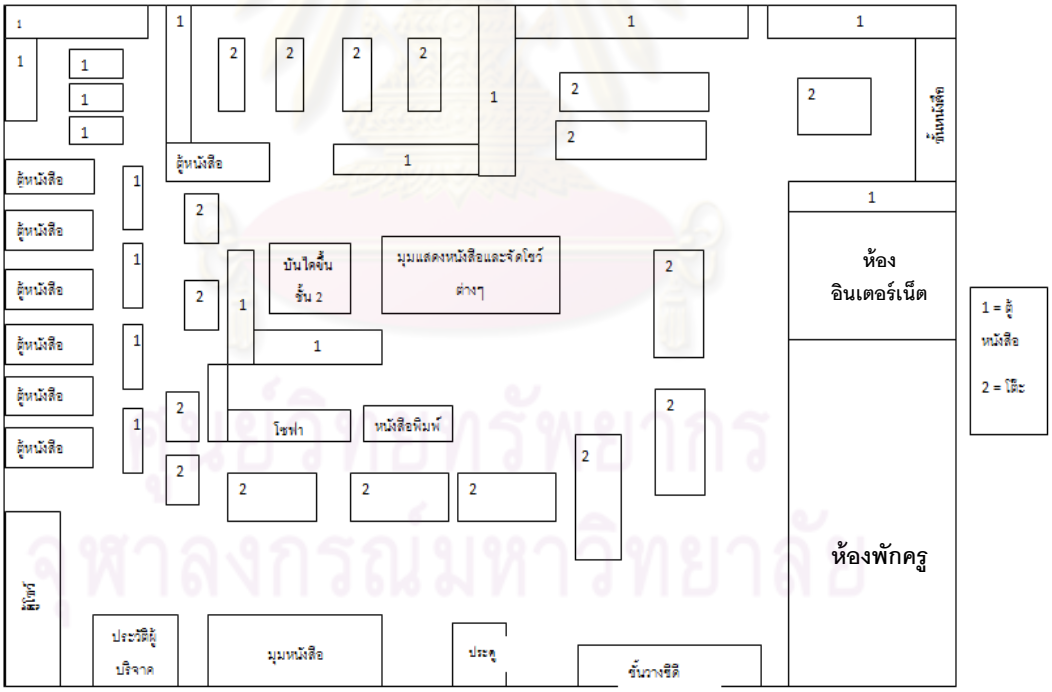
(ข)

(ค)

ภาพที่ 4.2 (ก) ลักษณะช่องแสงบริเวณด้านข้างของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
(ข) ลักษณะภายในของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
(ค) ลักษณะช่องแสงบริเวณด้านบนของอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม



ภาพที่ 4.3 ลักษณะแปลนของอาคารห้องสมุดชั้น 1



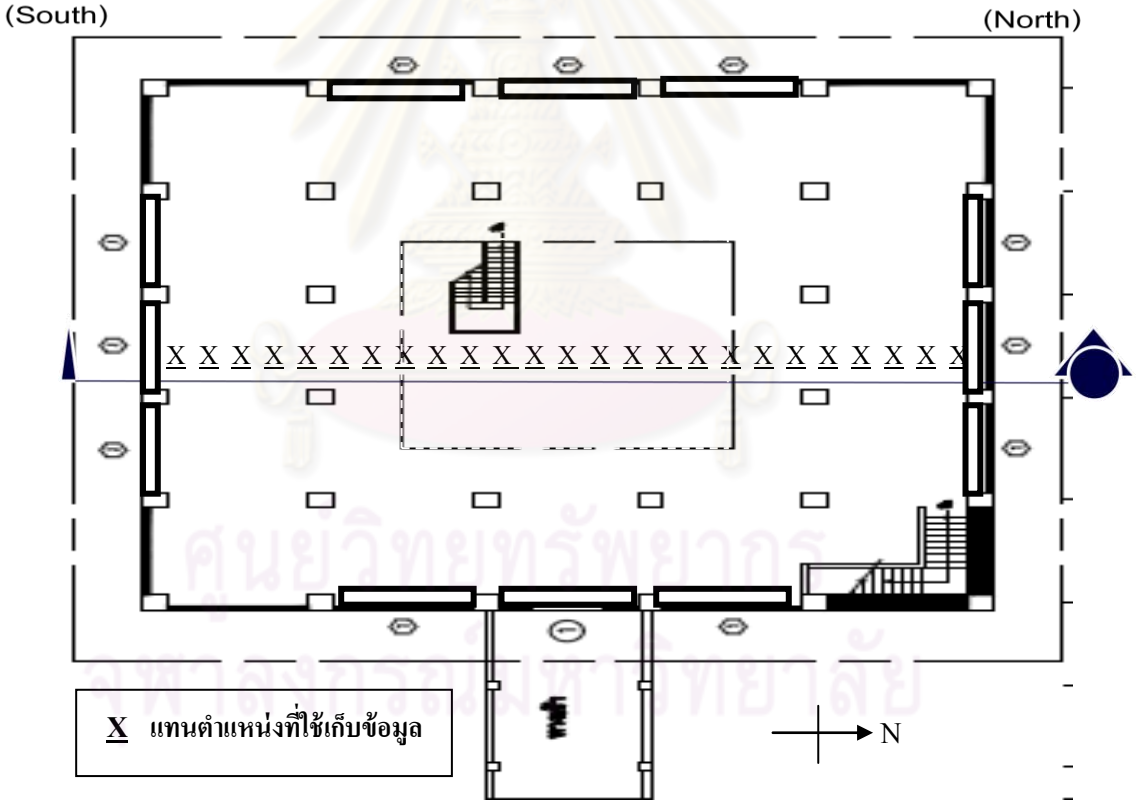
ภาพที่ 4.4 ตำแหน่งของเฟอร์นิเจอร์ภายในอาคารห้องสมุด

เมื่อสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน โดยการสังเกตและสอบถามจากนักเรียนจำนวน 300 คน พบว่า ปัญหาเรื่องแสงสว่างไม่เพียงพอเป็นปัญหาที่สำคัญ

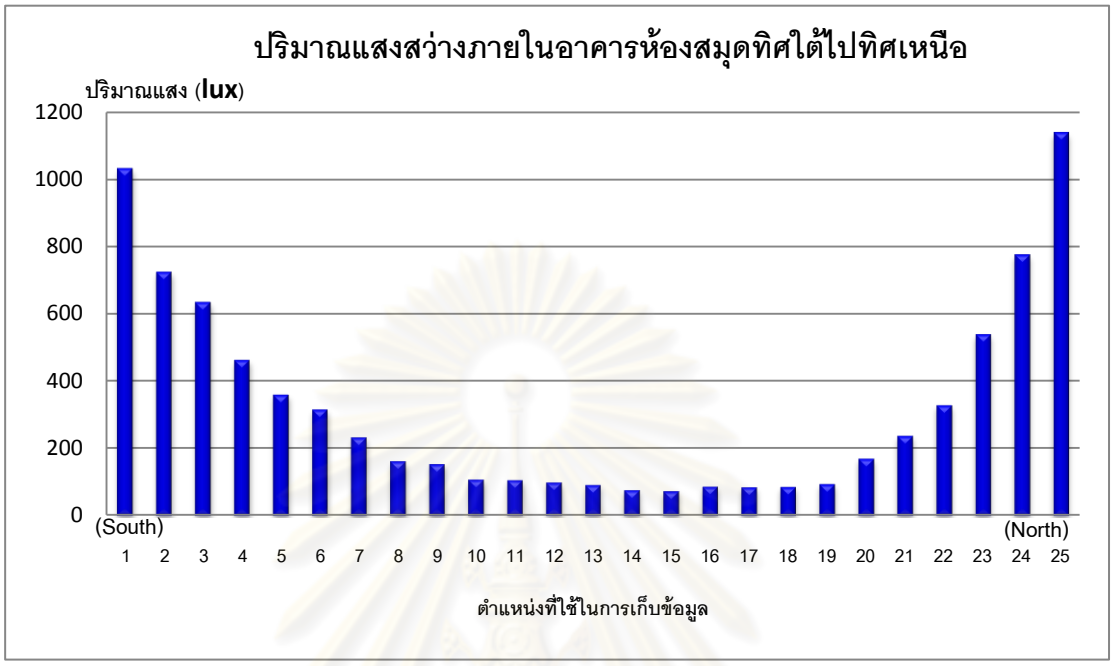
ประการแรก ๆ ที่นักเรียนและบุคลากรต้องการให้ปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วนสำหรับอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม จึงเริ่มการวิจัยเรื่องแนวทางการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอาคารห้องสมุดแห่งนี้ขึ้น โดย พิจารณาจากปริมาณแสงสว่างภายในอาคารปัจจุบัน เพื่อหาตำแหน่งหรือบริเวณที่มีปัญหาเรื่องแสงสว่างเพื่อแก้ปัญหาก่อนเป็นเบื้องต้น

ปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง)

เก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 14.00 น. ซึ่งมีสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน มีปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร 24,000 ลักซ์ และเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง) ห่างกับผนังบริเวณจุดกึ่งกลางของอาคารจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ห่างจุดละ 1 เมตร จำนวน 25 ตำแหน่ง (ดังภาพที่ 4.5)



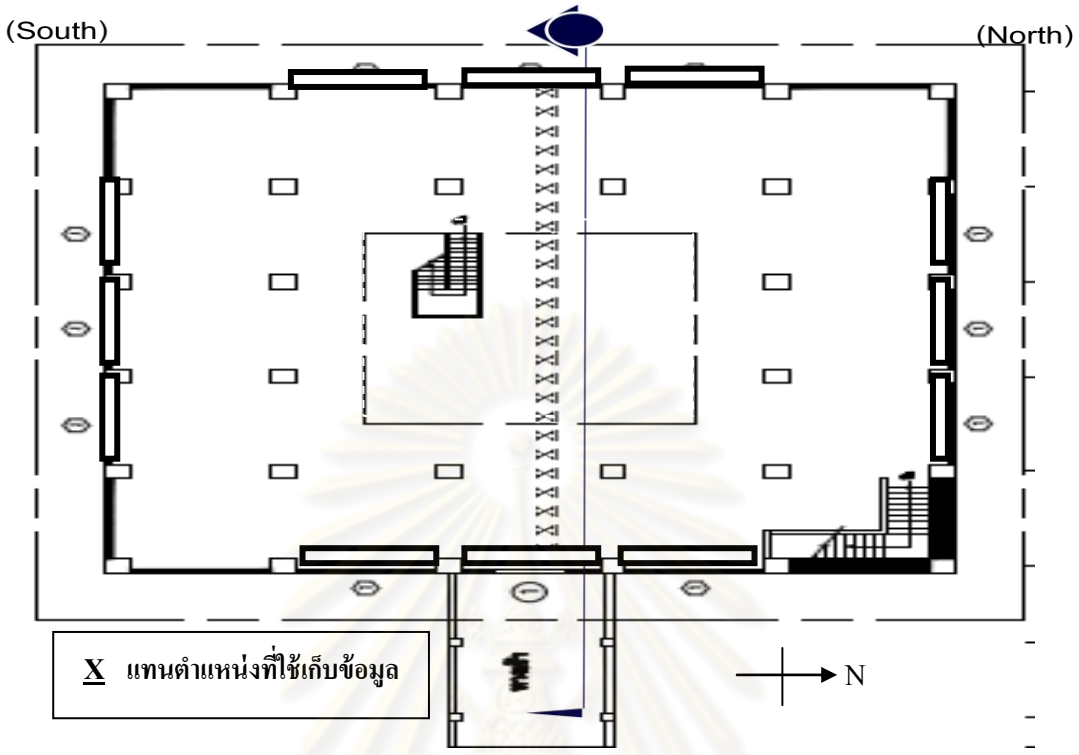
ภาพที่ 4.5 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง) บริเวณ working plane 0.75 เมตรจากพื้นอาคาร



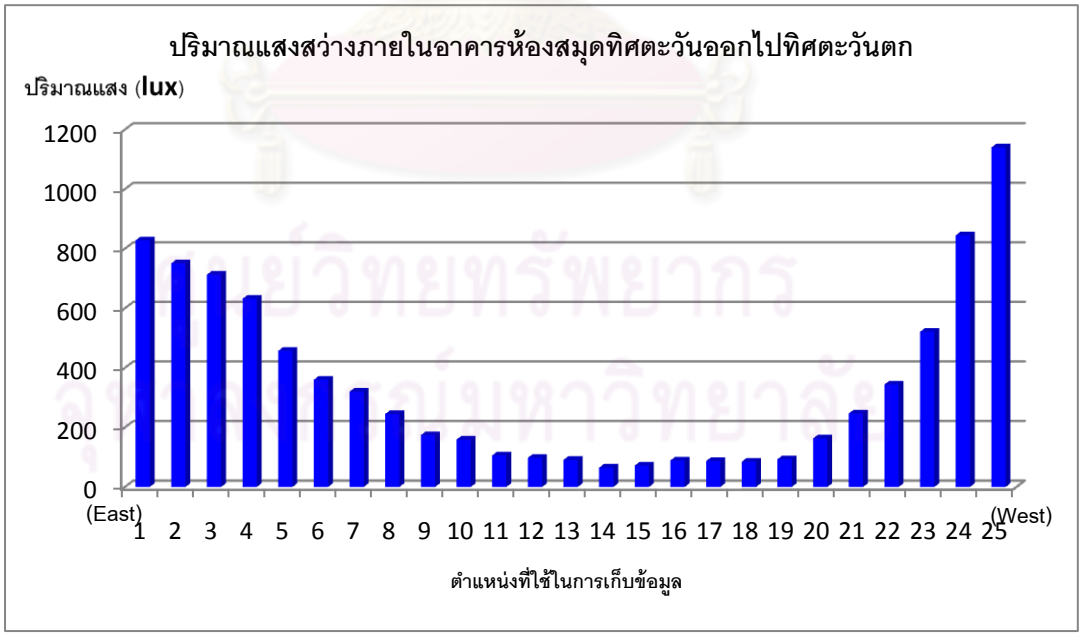
แผนภูมิที่ 4.1 ปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง) จากทิศใต้ไปทิศเหนือ วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2554

เก็บข้อมูลปริมาณแสง ธรรมชาติ ภายในอาคารห้องสมุดในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 14.00 น. ซึ่งมีสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน มีปริมาณแสง ธรรมชาติภายนอกอาคาร 24,000 ลักซ์ และเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติ ภายในอาคารห้อง สมุดปัจจุบัน (อาคารจริง) ห่างกับ ผนังบริเวณจุดกึ่งกลางของอาคารจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก ห่างจุดละ 1 เมตร จำนวน 25 ตำแหน่ง (ดังภาพที่ 4.6)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



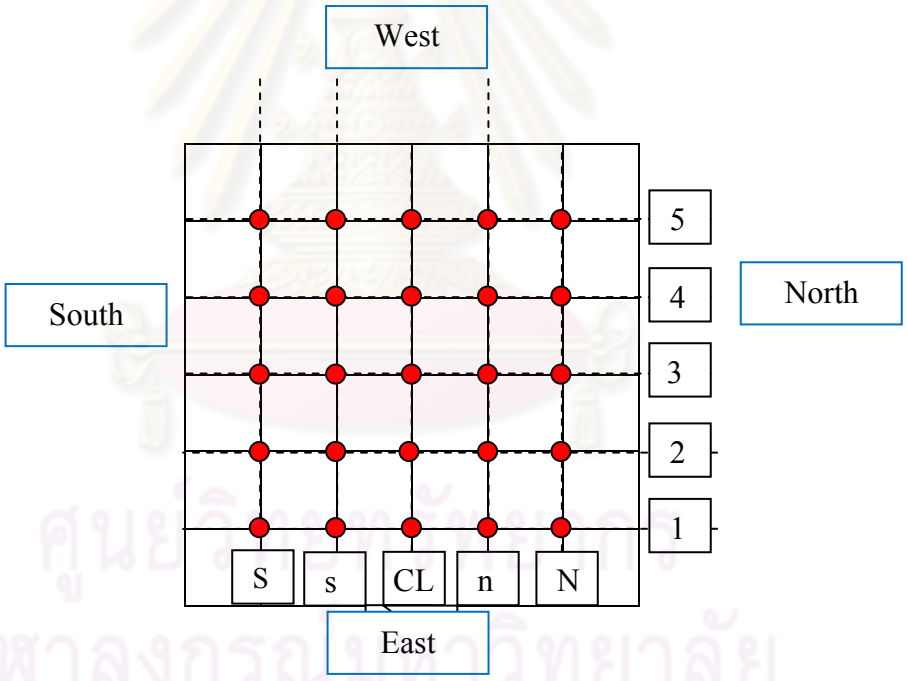
ภาพที่ 4.6 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง) บริเวณ working plane 0.75 เมตรจากพื้นอาคาร



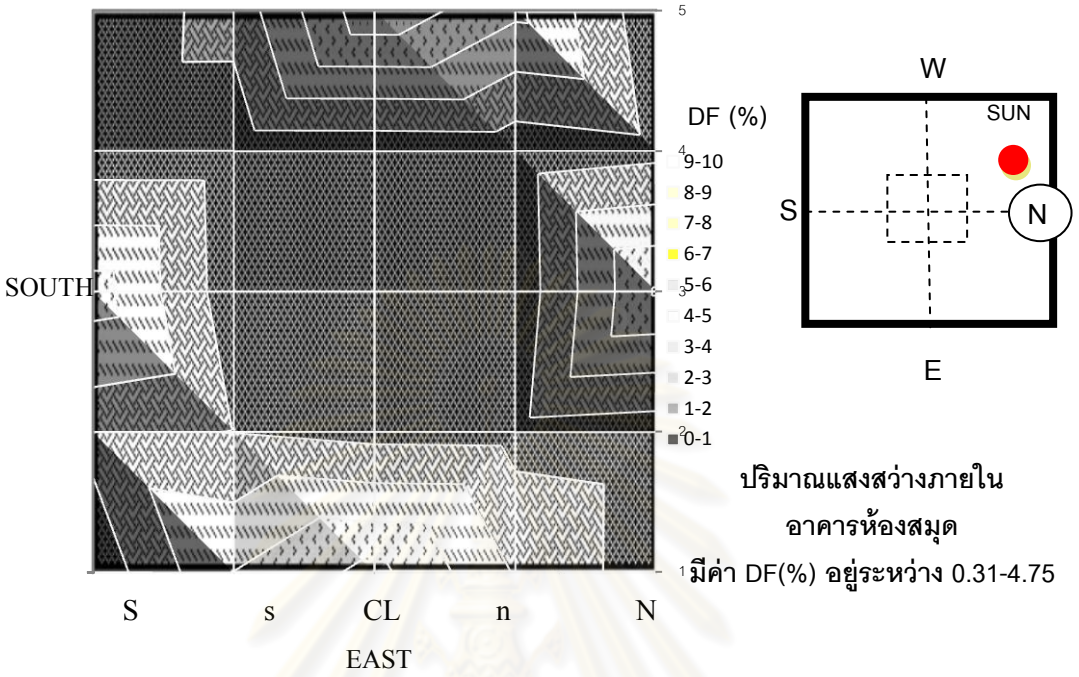
แผนภูมิที่ 4.2 ปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน (อาคารจริง) จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก

การเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายในอาคารบริเวณทิศเหนือไปทิศใต้ และทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกพบว่าปริมาณแสง ธรรมชาติ ภายในอาคารบริเวณที่ติดกับช่องเปิดด้านข้าง(หน้าต่าง และ ประตู) จะมีปริมาณแสง ธรรมชาติที่มากและลดลงตามลำดับดังแผนภูมิที่ 4.1 และแผนภูมิที่ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของแสงภายในอาคารห้องสมุด จากนั้นเก็ บข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายนอกและภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน กับหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดเพื่อหาตำแหน่งที่มีปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอ โดยการหาค่า Daylight Factor และหาแนวโน้มของปริมาณแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบันกับหุ่นจำลองอาคารเพื่อแสดงว่าหุ่นจำลองเป็นตัวแทนของอาคารห้องสมุดปัจจุบันได้หรือไม่เพื่อทดสอบตัวแปรในการวิจัยครั้งนี้ต่อไป

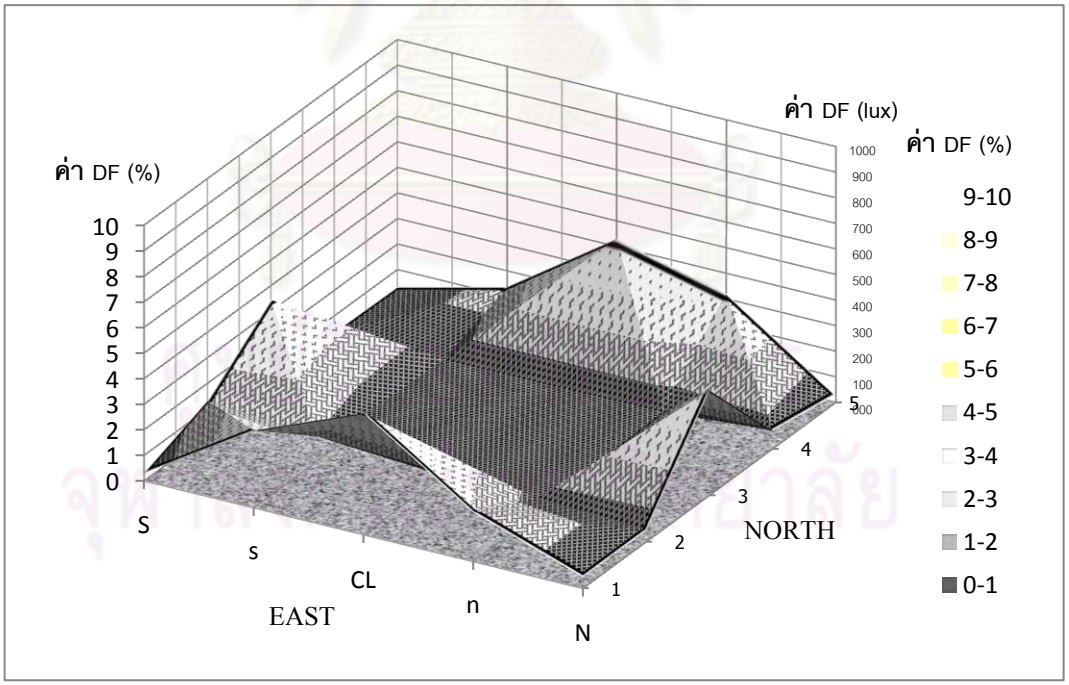
การเก็บข้อมูลปริมาณแสง ธรรมชาติโดยการหาค่า Daylight Factor ของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน โดยมีตำแหน่งในการเก็บข้อมูล (ดังภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.7 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติของอาคารห้องสมุดปัจจุบัน ระดับ 0.75ม. (Working plane)

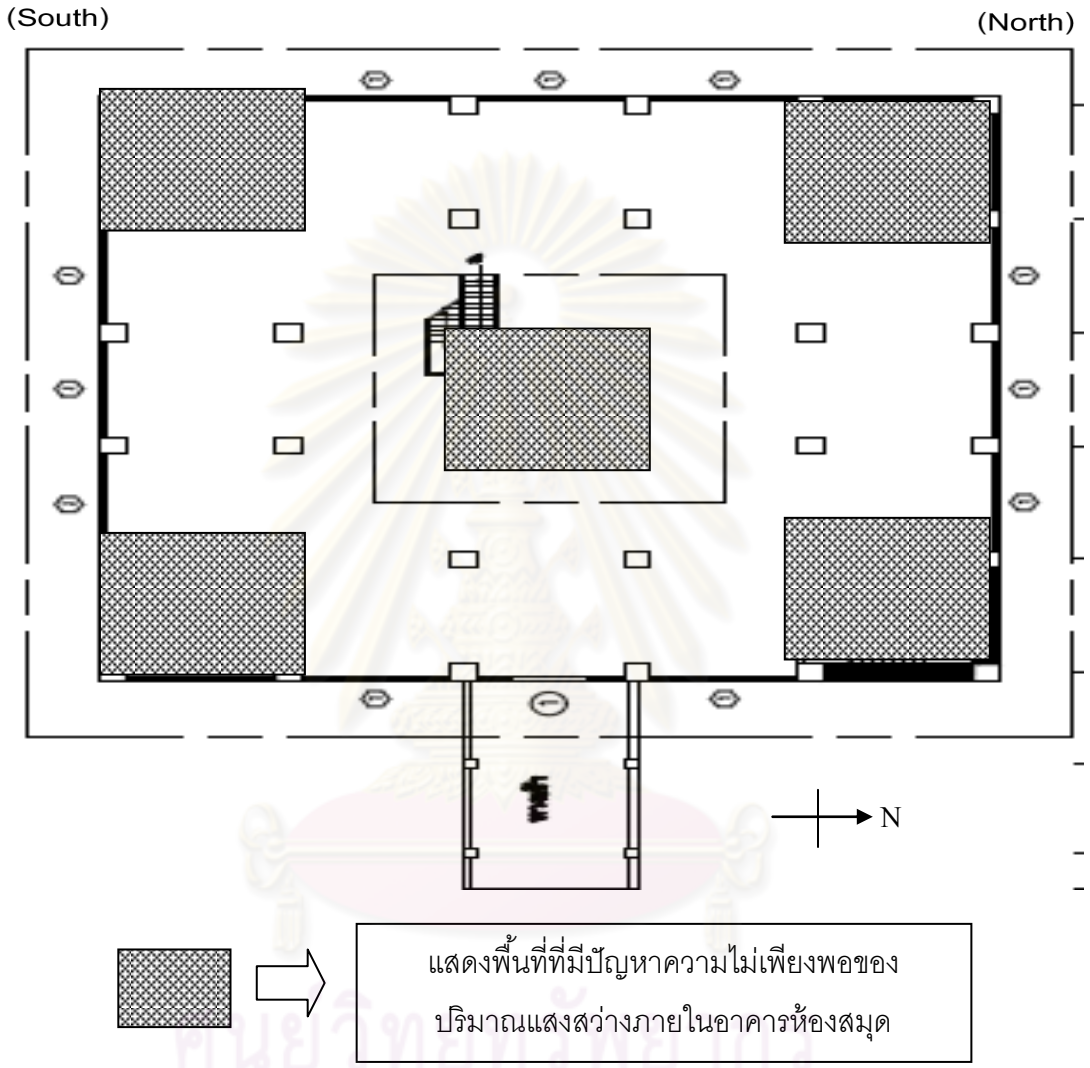


Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงธรรมชาติภายใน
ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.

จากการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกและภายในอาคารห้องสมุด เพื่อหาค่า Daylight Factor พบตำแหน่งหรือบริเวณที่มีแสงสว่างไม่เพียงพอ(ดังภาพที่ 4.8)



ภาพที่ 4.8 บริเวณภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบันที่มีแสงสว่างจากธรรมชาติไม่เพียงพอ

ดังนั้นสามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปเป็นประเด็นปัญหาได้ดังนี้

- ความไม่สม่ำเสมอของแสงภายในอาคารห้องสมุด
- ปริมาณแสงสว่างที่ไม่เพียงพอบริเวณกึ่งกลางอาคารห้องสมุด
- ปริมาณแสงสว่างที่ไม่เพียงพอบริเวณมุมอาคารห้องสมุด

เมื่อทราบประเด็นปัญหา จึงกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยรวบรวมจากตัวแปรที่กำหนดขึ้นจากการศึกษาทฤษฎีและการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ตัวแปรที่ 1 คือขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบน เพื่อศึกษาขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสมกับอาคารห้องสมุด (กรณีแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของแสง)

ตัวแปรที่ 2 คือ ผิวของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง เพื่อศึกษาลักษณะของผิว และสีที่ใช้ทำ ผนังของอาคารเดิม พื้นของอาคารเดิม บริเวณฝ้าหลังคา ว่ามีผลต่อปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นหรือไม่ (กรณีแก้ปัญหาปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอบริเวณกึ่งกลางอาคารห้องสมุด)

ตัวแปรที่ 3 คือ ลักษณะของแสงที่สะท้อน สู่พื้นที่ใช้งานโดยใช้หิ้งสะท้อนแสง ศึกษาพฤติกรรมของแสงสะท้อนที่ ตกกระทบพื้นที่หิ้งสะท้อนแสงที่มุมหรือ องศาต่างกัน (กรณีแก้ปัญหาปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอบริเวณมุมอาคารห้องสมุด)

การศึกษาตัวแปรทั้ง 3 ที่กล่าวมาจะใช้วิธีการปรับเปลี่ยนตัวแปรในลักษณะต่าง ๆ ของอาคารห้องสมุดโดยใช้หุ่นจำลองในการศึกษา

4.2 การวิเคราะห์หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

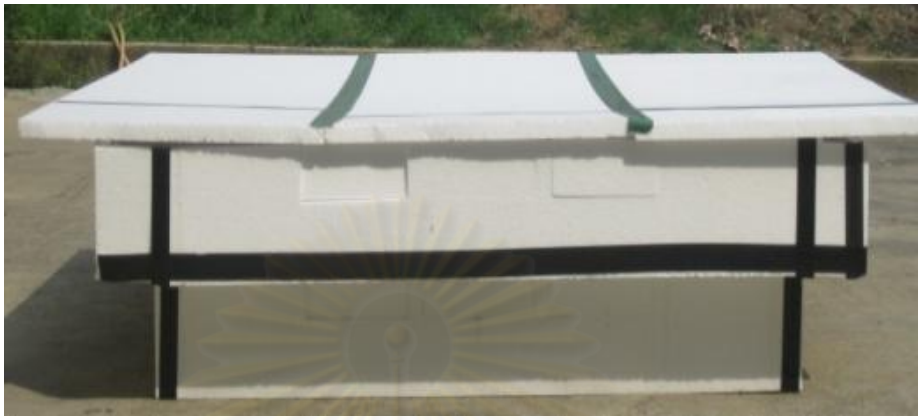
ลักษณะทั่วไปของหุ่นจำลอง

หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มี มาตราส่วน 1:20 เป็นขนาดและสัดส่วนที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูล เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลมีขนาดที่ใหญ่ ถ้าหุ่นจำลองมีขนาดเล็กมากจนเกินไปทำให้ไม่สามารถนำเครื่องมือเข้าไปเก็บข้อมูลภายในได้

เมื่อได้ มาตราส่วน ของหุ่นจำลองที่เหมาะสมแล้วจึงนำ กระดาษโปส เตอร์ที่มีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกับอาคารห้องสมุด (อาคารจริง)มาใช้ พื้น ผนัง หลังคา โต๊ะภายในห้องสมุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะผิว สี ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษโปสเตอร์ที่ใช้กับหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดก่อนปรับปรุง

วัสดุ	ผิวของกระดาษ	สีของกระดาษ	ค่าการสะท้อนแสง
ผนังภายในอาคาร	ผิวเรียบ	สีเขียวอ่อน	26%
ฝ้าเพดาน	ผิวเรียบ	สีน้ำตาลอ่อน	17%
หลังคาภายนอก	ผิวเป็นลอน	สีแดง	7%
โต๊ะภายในอาคาร	ผิวเรียบ	สีน้ำตาล	26%



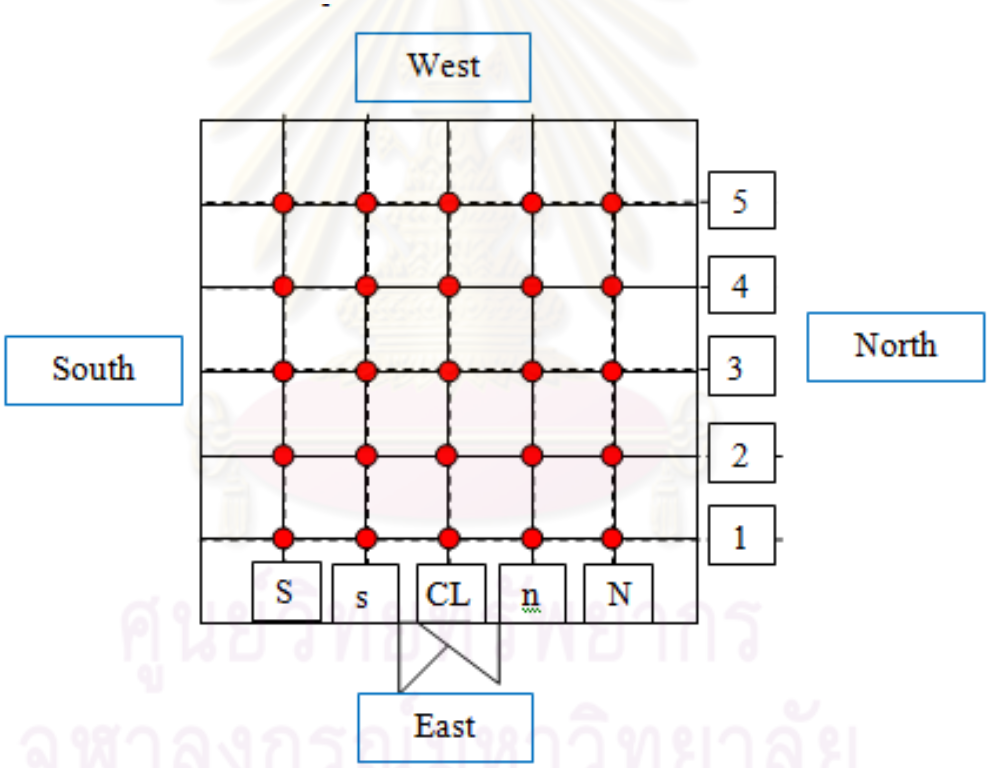
(ก)

(ข)

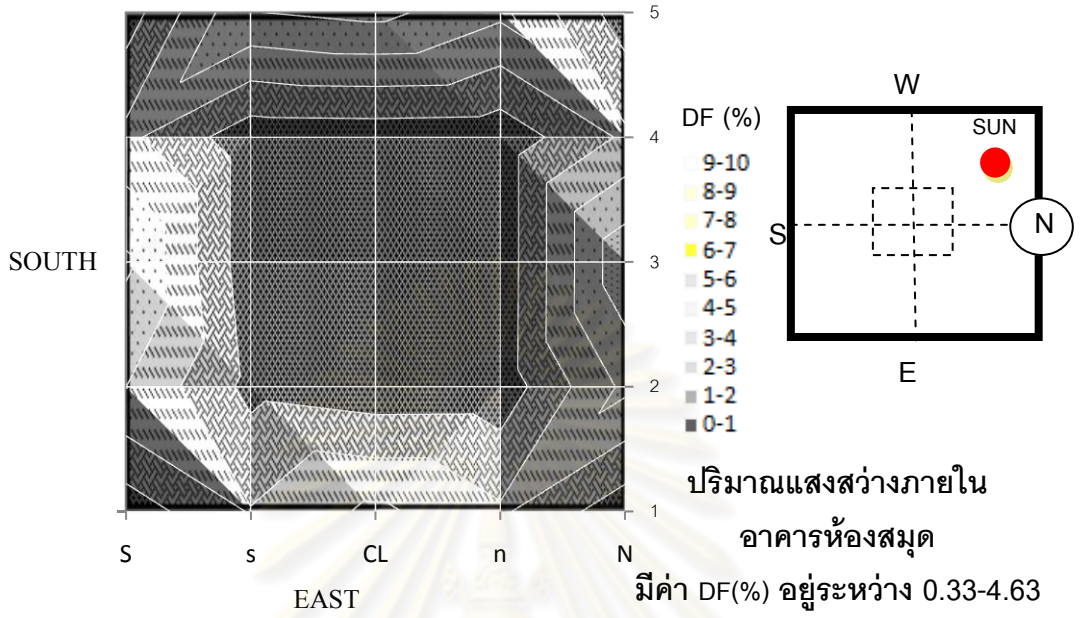
ภาพที่ 4.9 (ก) หุ่นจำลองอาคารห้องสมุดมาตราส่วน 1:20 กรณีขนาดของพื้นที่ช่องเปิดด้านบน (ข) หุ่นจำลองอาคารห้องสมุดมาตราส่วน 1:20 กรณีการสะท้อนแสง

ปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)

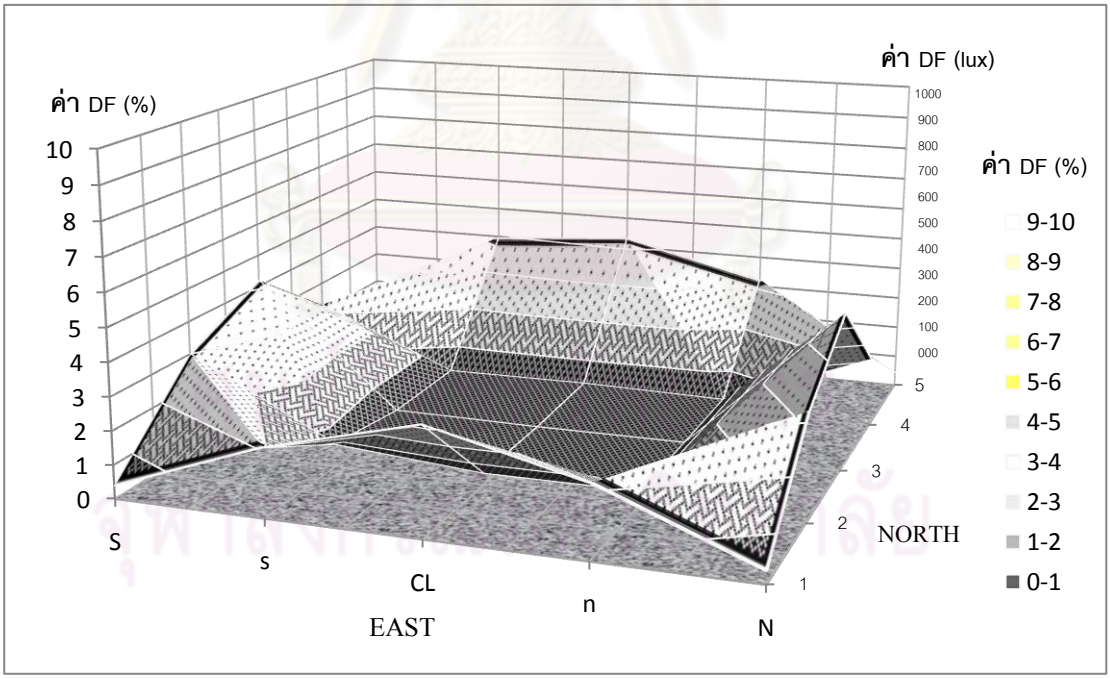
เก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุดในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2554 เวลา 14.00 น. ซึ่งมีสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน ปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร 24,000 ลักซ์ และเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในหุ่นจำลอง โดยหาค่า Daylight Factor เพื่อหาตำแหน่งบริเวณที่มีปัญหาปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารหุ่นจำลอง และเปรียบเทียบแสงสว่างภายในหุ่นจำลอง อาคารกับแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบัน เพื่อแสดงแนวโน้มและความใกล้เคียงกันของอาคารห้องสมุดทั้งสองหลัง โดยมีตำแหน่งที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติ (ดังภาพที่ 4.10)



ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในหุ่นจำลองอาคารห้องสมุด ระดับ 0.75ม. (Working plane)

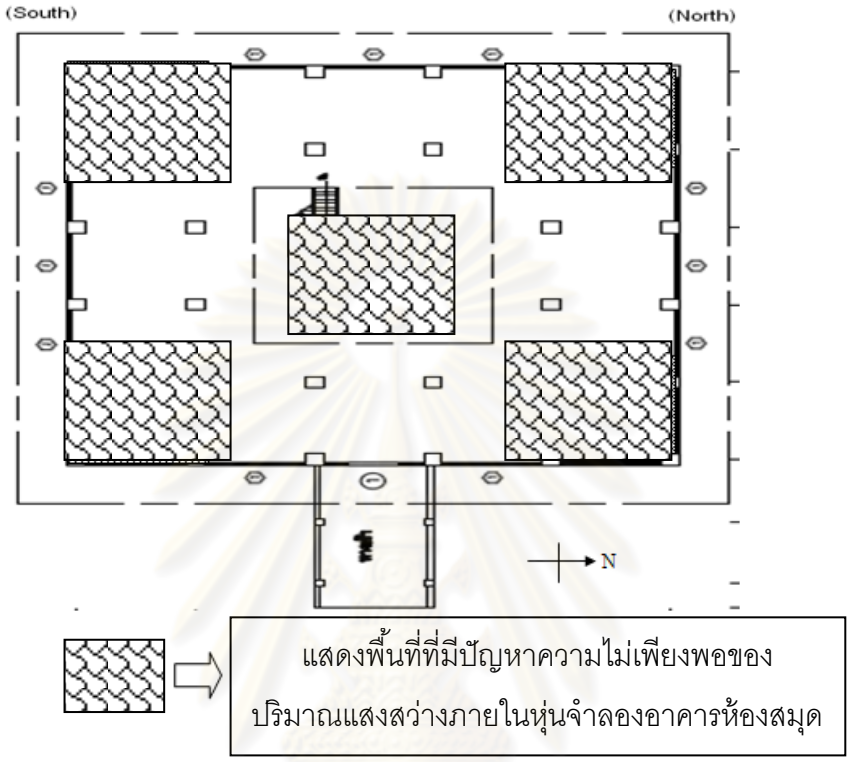


Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.



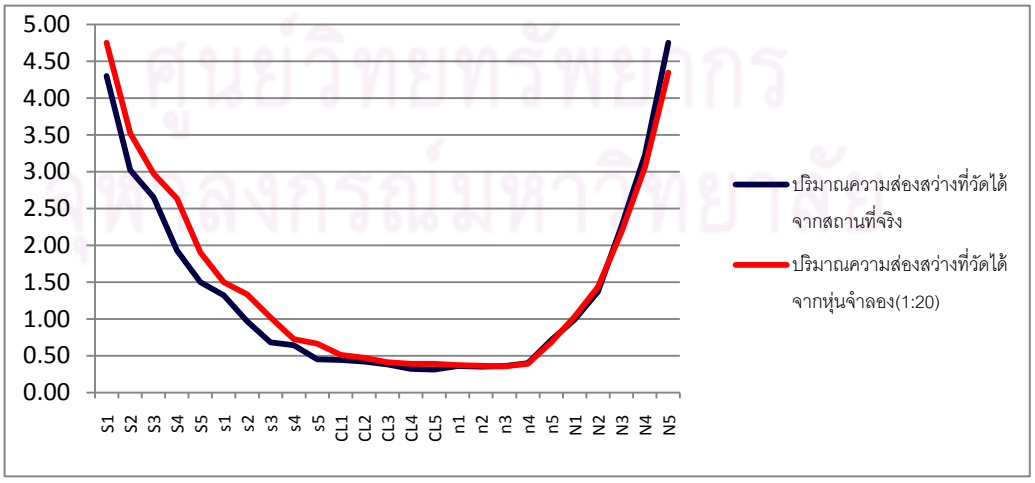
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)

จากการเก็บข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายในหุ่นจำลองอาคารห้องสมุดพบว่าปัญหา



ภาพที่ 4.11 บริเวณภายในอาคารห้องสมุดปัจจุบันที่มีแสงสว่างจากธรรมชาติไม่เพียงพอ

แนวโน้มของปริมาณแสงภายในอาคารห้องสมุด(ปัจจุบัน) เปรียบเทียบกับอาคารห้องสมุด(หุ่นจำลอง)



แผนภูมิที่ 4.5 ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด(ปัจจุบัน) เปรียบเทียบกับหุ่นจำลองขนาด 1:20

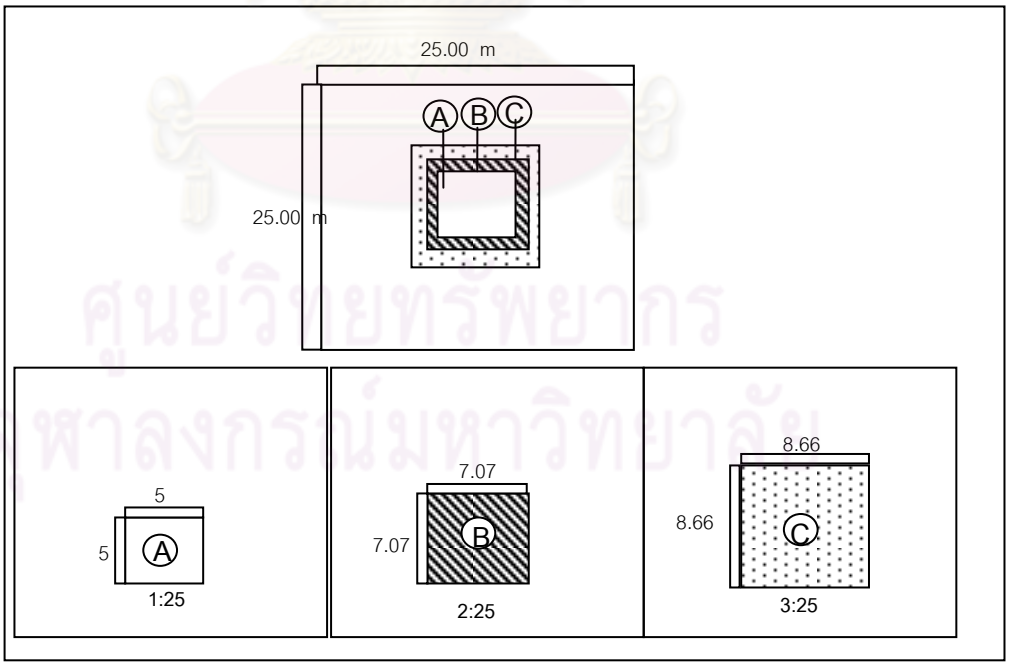
จากแผนภูมิ 4.5 พบว่าปริมาณแสงที่ได้จาก การเก็บข้อมูล แบบจำลองและจากอาคารจริง นั้นมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ ตำแหน่ง ที่อยู่ใกล้กับ หน้าต่างด้านข้าง ประตู จะมีปริมาณแสงที่สูง และบริเวณที่มีปัญหาคือบริเวณจุดกึ่งกลางและมุมทั้ง 4 ด้านของอาคาร

4.3 วิเคราะห์ผลที่เกิดจากการปรับปรุงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ 1 ขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบน

การวิจัยครั้งนี้จะศึกษา ขนาดพื้นที่ของช่องเปิดด้านบนตามสัดส่วนของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยภายใน(อาคารชั้นล่าง ซึ่งเป็นบริเวณที่มี ปัญหาของแสงสว่างมาก) มีสัดส่วน 3 ขนาด ดังนี้

- พื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้สอย ของอาคารห้องสมุดชั้นล่าง (ตำแหน่ง A ในภาพที่ 4.12)
- พื้นที่ช่องเปิด 8% ของพื้นที่ใช้สอย ของอาคารห้องสมุดชั้นล่าง (ตำแหน่ง B ในภาพที่ 4.12)
- พื้นที่ช่องเปิด 12% ของพื้นที่ใช้สอย ของอาคารห้องสมุดชั้นล่าง (ตำแหน่ง C ในภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.12 แสดงสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยในขนาดต่าง ๆ

ขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาเกี่ยวกับขนาดหรือสัดส่วนของช่องเปิดที่เหมาะสมกับอาคารห้องสมุด โดย เลือกนำรูปแบบช่องเปิดด้านบน เป็นรูปแบบหลักในการวิจัย เพราะเป็นรูปแบบที่สามารถป้องกันแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ที่ เข้ามาภายในอาคารได้และเป็นรูป แบบที่สามารถเปิดรับแสงธรรมชาติได้โดยรอบ จึงเป็นรูปแบบพื้นฐานที่มีความเหมาะสมในการทำการวิจัย

จากพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารทั้งหมด 1,075 m^2 แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาพื้นที่ใช้สอยบริเวณชั้นล่าง เนื่องจากปริมาณแสงไม่เพียงพอ และเป็นที่ให้บริการแก่นักเรียนเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีขนาด 625 m^2

จากการศึกษาสามารถจึงกำหนดขนาดของช่องเปิดด้านบนตามสัดส่วนของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยภายในมีสัดส่วนดังนี้

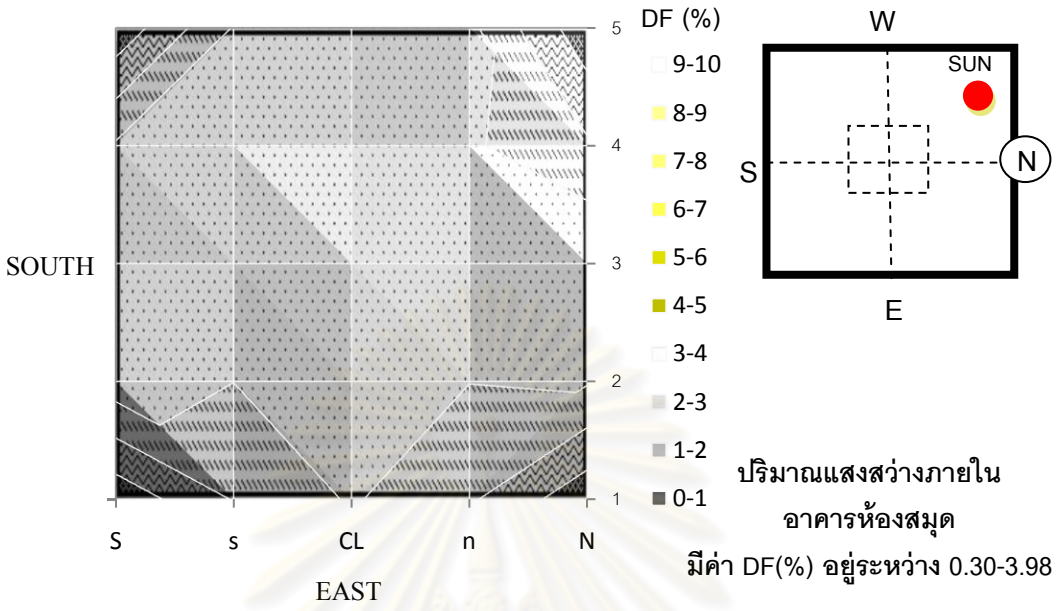
- พื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้สอย
- พื้นที่ช่องเปิด 8% ของพื้นที่ใช้สอย
- พื้นที่ช่องเปิด 12% ของพื้นที่ใช้สอย

การวิเคราะห์ค่า Daylight Factor (DF)

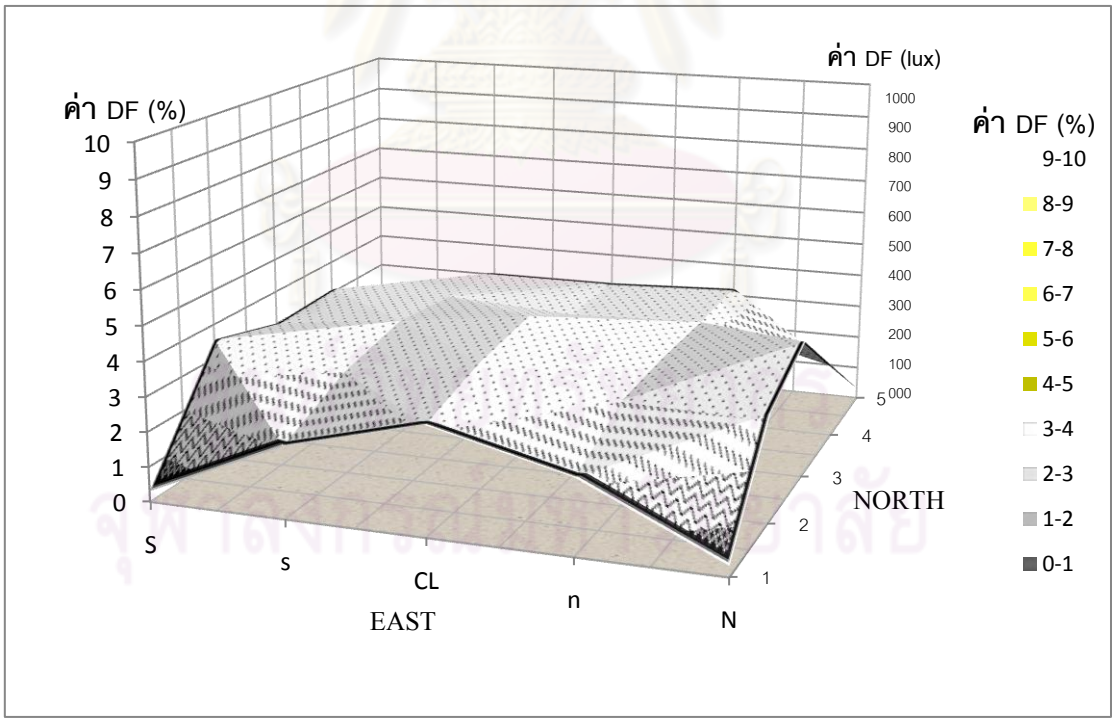
(เก็บข้อมูลในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2554 ปริมาณส่องสว่างเฉลี่ยของภายนอกเท่ากับ 24,000 lux)

การวิเคราะห์ค่า Daylight Factor เริ่มจากการเก็บข้อมูลปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารและภายนอกอาคาร เพื่อหาค่า Daylight Factor เมื่อพิจารณาและวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนภูมิแสดงการกระจายตัวของแสงภายในอาคาร และระดับความส่องสว่างในแนวระนาบดังนี้

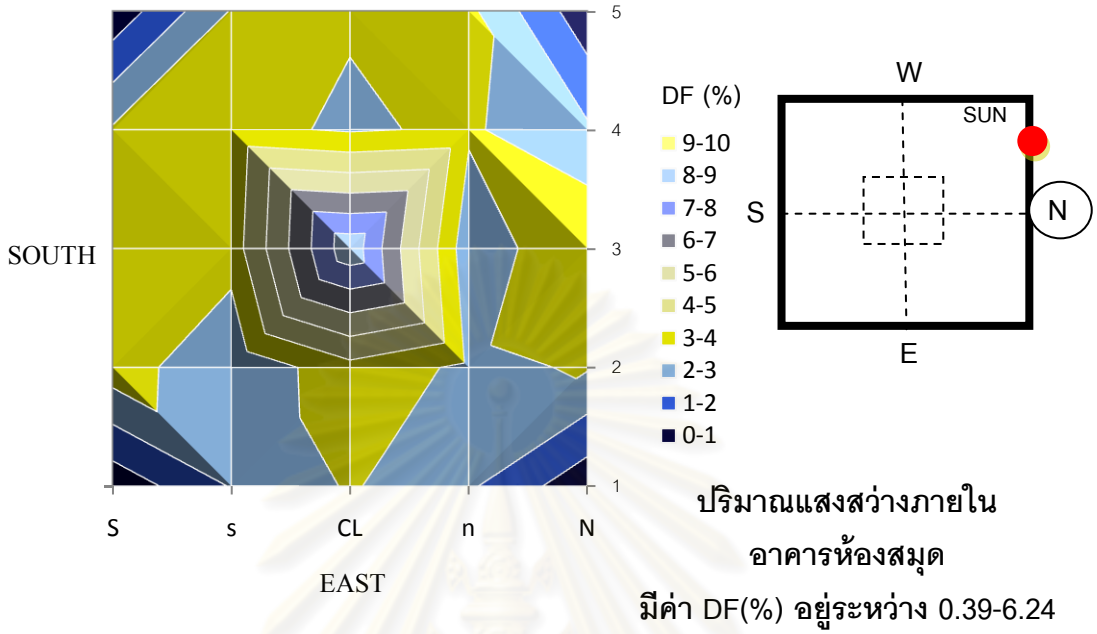
การหาพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยที่เหมาะสมในการวิจัยครั้งนี้ เริ่มจากสร้างหุ่นจำลองที่มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากับอาคารห้องสมุด โดยแบ่งสัดส่วนข องพื้นที่ช่องเปิดออกเป็น 3 ขนาด ดังนี้ 4% 8% และ 12% ของพื้นที่ใช้สอย นำหุ่นจำลองมาเก็บข้อมูลค่า DF(%) ที่ตำแหน่ง CL3 (ดังภาพที่ 3.4) แล้วนำค่า DF(%)ที่ได้ของช่องเปิดแต่ละขนาด เพื่อวิเคราะห์หาสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ โดยพิจารณาจากค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ว่า ค่า Daylight Factor ที่นำแสงธรรมชาติมาใช้



Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.

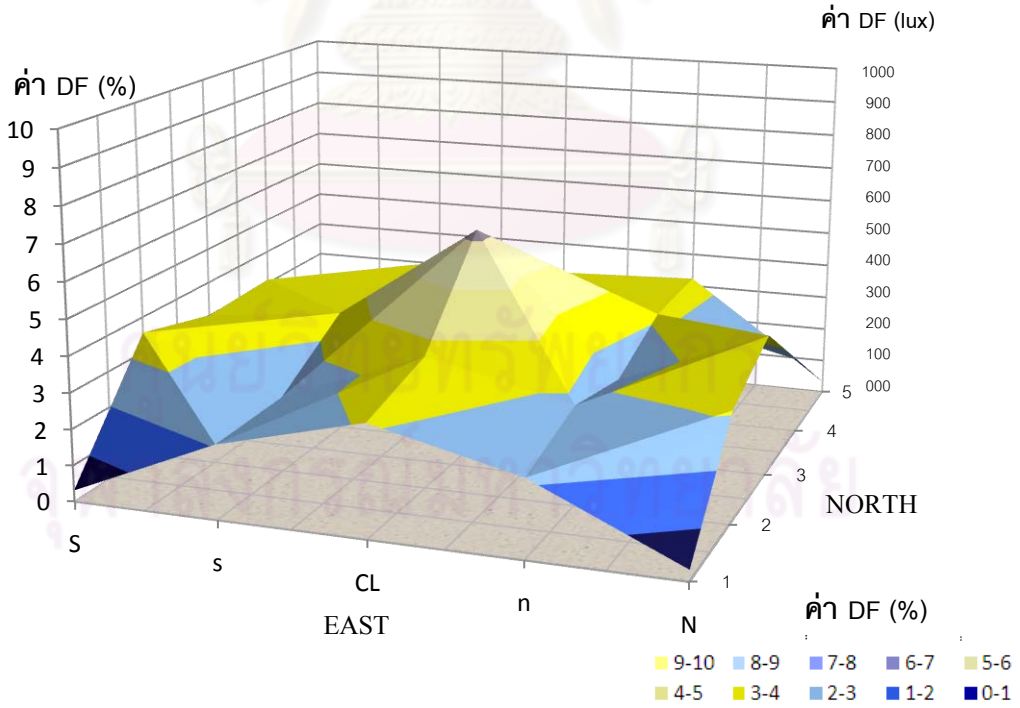


แผนภูมิที่ 4.6 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิด 1:25 หรือ 4%

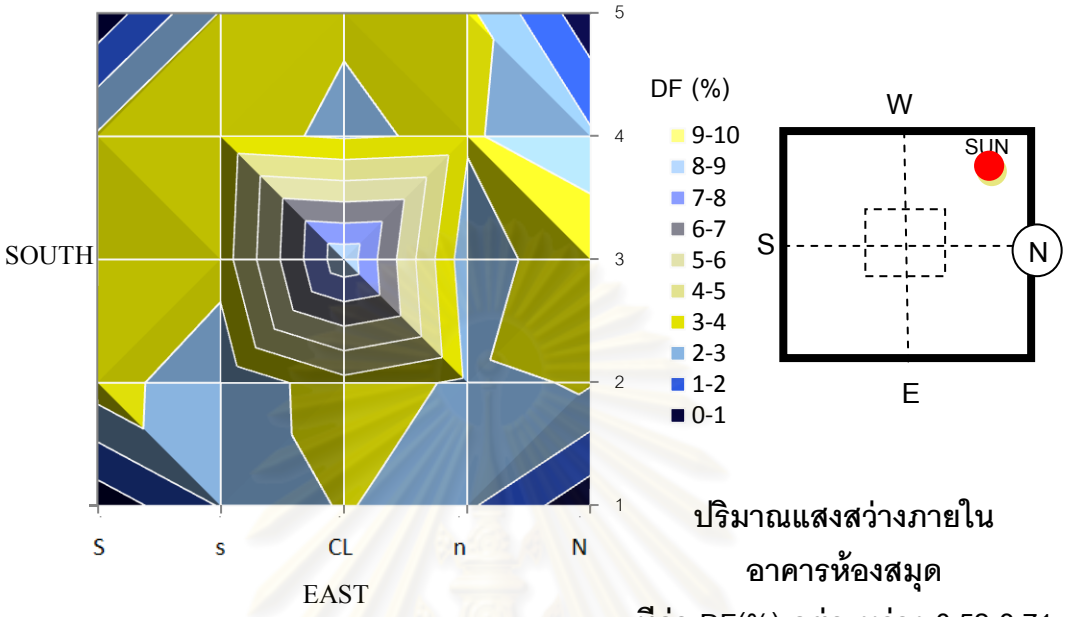


ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด
มีค่า DF(%) อยู่ระหว่าง 0.39-6.24

Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.

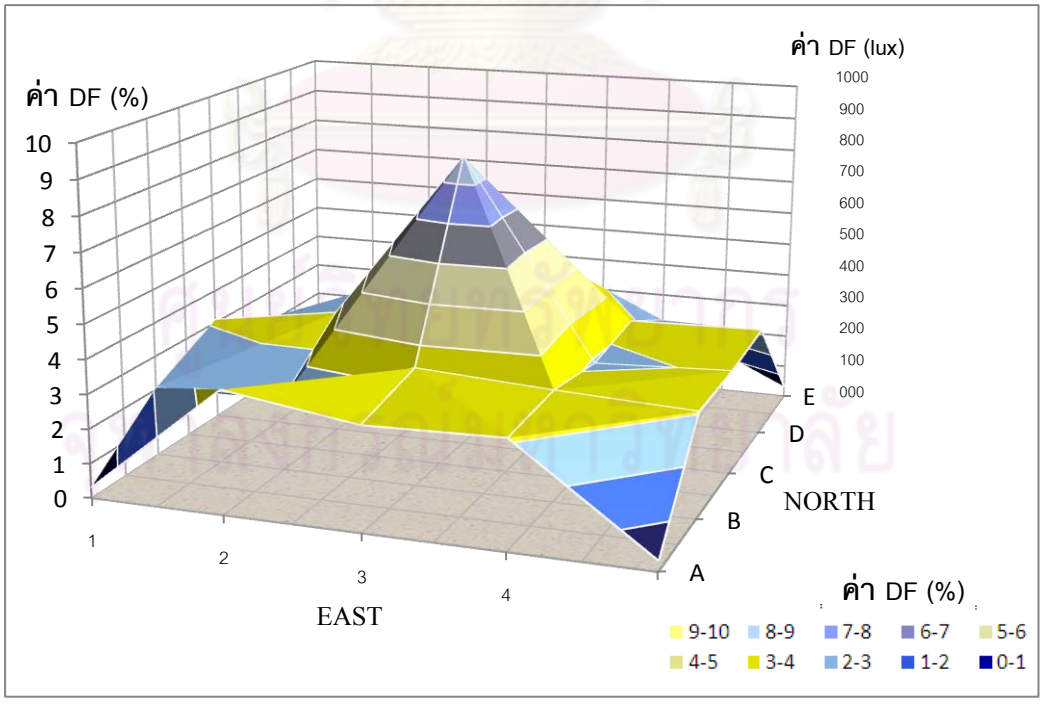


แผนภูมิที่ 4.7 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิด 2:25 หรือ 8%



ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด
มีค่า DF(%) อยู่ระหว่าง 0.52-8.71

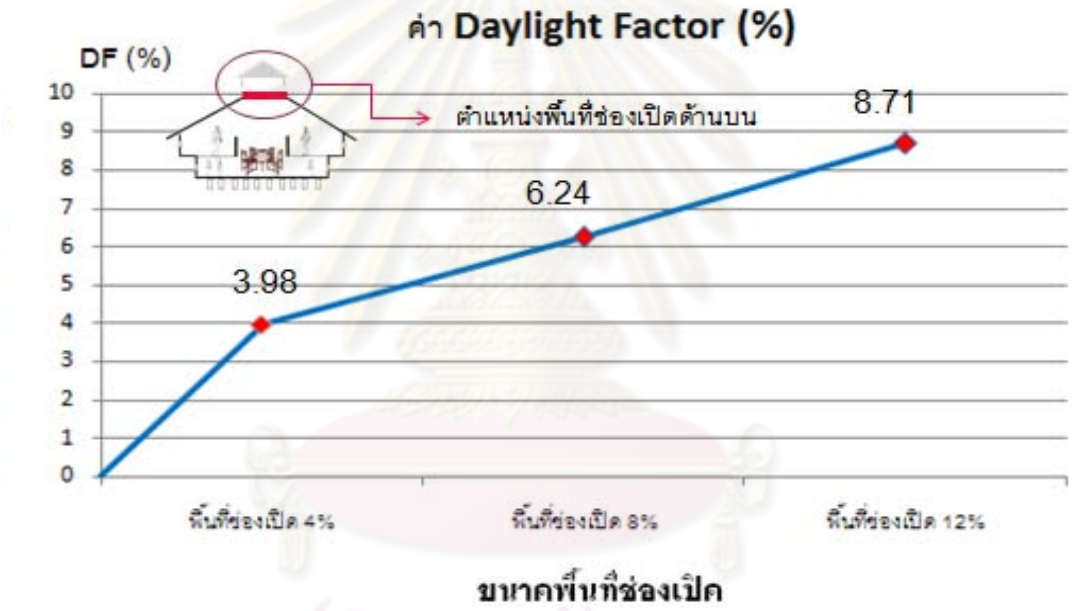
Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิด 3:25 หรือ 12%

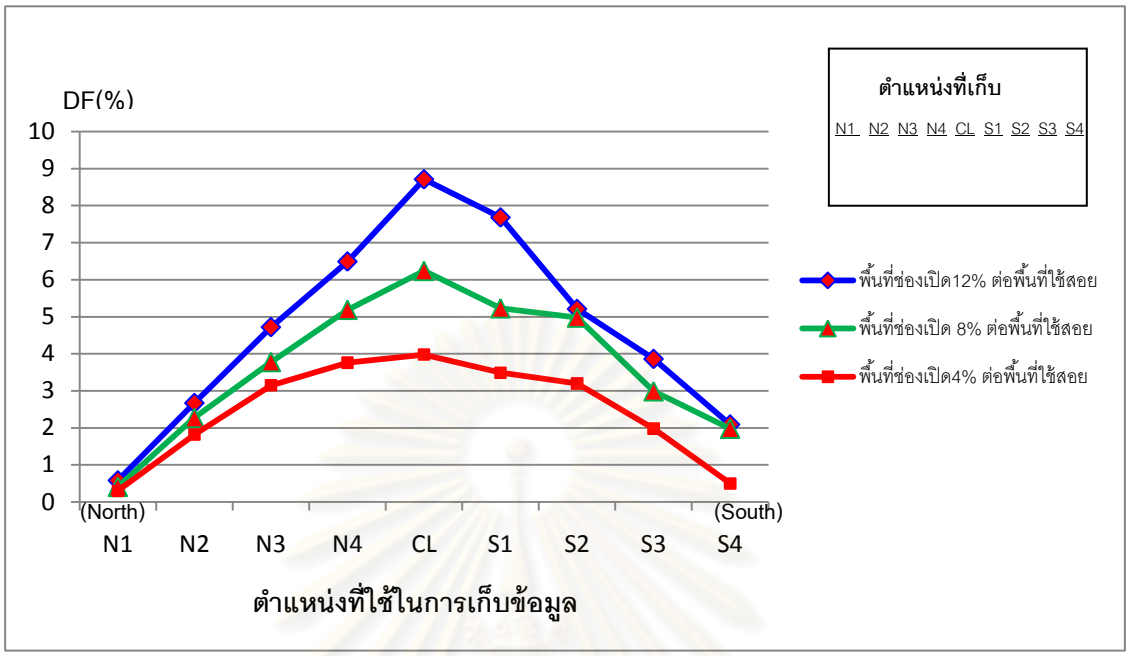
ภายในอาคารห้องสมุดซึ่งมีการใช้งานในลักษณะการอ่านหนังสือ หรือการใช้สายตาในการทำงานในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย คือ 2.5 – 4 % (จากตารางที่ 2.6)

จากแผนภูมิที่ 4.9 พบว่าสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยที่จุดกึ่งกลางพื้นชั้นล่างขนาดช่องเปิด 4% มีค่า Daylight Factor เท่ากับ 3.98% ขนาดช่องเปิด 8% มีค่า Daylight Factor เท่ากับ 6.24% และขนาดช่องเปิด 12% Daylight Factor เท่ากับ 8.71% พบว่าสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอย 4% เป็นสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยที่น้อยที่สุดที่มีค่า Daylight Factor อยู่ในช่วงที่ใช้ภายในอาคารห้องสมุด (ดังตารางที่ 2.6)



แผนภูมิที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยขนาดต่าง ๆ กับค่า Daylight Factor (%) ที่จุดกึ่งกลางพื้นภายใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยขนาดต่าง ๆ กับ Daylight Factor (%) ในแนวทิศเหนือ- ใต้

การเก็บข้อมูลปริมาณแสงภายในหุ่นจำลอง สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆมาก เวลา 14.00 น. วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2554 แสงสว่างภายนอกเท่ากับ 15,600 lux

จากแผนภูมิที่ 4.10 พบว่า ผลการทดสอบมีค่า Daylight Factor (%) ในแนวระนาบที่ระดับพื้นใช้สอย มีค่า Daylight Factor บริเวณตำแหน่งที่ N4 และ S4 ซึ่งเป็นบริเวณริมผนังจะมีค่า Daylight Factor ที่น้อยกว่าบริเวณตรงกลางที่เป็นช่องเปิดโล่ง เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของแผนภูมิจะคล้ายกับรูประฆังคว่ำ ซึ่งเป็นลักษณะของปริมาณแสงที่ได้จากการใช้ช่องเปิดด้านบนที่มีความสว่างมากกว่าบริเวณด้านข้าง ในการพิจารณาค่า Daylight Factor นั้นควรคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างป ริมาณแสงที่มาก และปริมาณแสงที่น้อย ไม่ควรแตกต่างกันมากนัก เพราะจะทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าและความไม่สม่ำเสมอของแสงภายใน ซึ่งการเก็บข้อมูลในหุ่นจำลองมีค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุด – ต่ำสุด ในสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยขนาดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด – ต่ำสุดในสัดส่วนของพื้นที่ที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้สอยขนาดต่าง ๆ

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด/พื้นที่ใช้งาน	ค่า Daylight Factor ต่ำสุด (%)	ค่า Daylight Factor สูงสุด (%)	ค่าความแตกต่าง
4%	0.30	3.98	3.68
8%	0.41	6.24	5.83
12%	0.58	8.71	8.13

จากตาราง 4.2 พบว่า พื้นที่ช่องเปิด 12% มีความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุด - ค่าต่ำสุด (8.13%) มากที่สุด ทำให้แสงภายในไม่มีความสม่ำเสมอ และมีความร้อนจากภายนอกเข้ามาในปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ช่องเปิด 4% ที่มีความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุด (4.45%) น้อยที่สุด ทำให้มีความสม่ำเสมอของแสงมากกว่า และมีความร้อนจากภายนอกเข้ามาน้อยกว่า

จากการวิเคราะห์ ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นถึงช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับอาคารห้องสมุดในการทำการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้สอย ซึ่งเป็นขนาดเดียวกับพื้นที่ช่องเปิดของอาคารห้องสมุดปัจจุบันแต่ปัจจุบันมีสิ่งกีดขวางจึงทำให้ประสิทธิภาพของแสงสว่างจากแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามามีค่อนข้างน้อย

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ 2 ผิวของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง

การเก็บข้อมูลปริมาณแสงภายในหุ่นจำลอง สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน เวลา 14.00 น. วันที่ 16 มีนาคม 2554 แสงสว่างภายนอกเท่ากับ 19,800 ลักซ์

ผิวของวัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึงลักษณะผิว และสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสงของผนัง พื้น และฝ้าเพดาน หุ่นจำลองที่ใช้มีขนาด 1:20 และมีขนาดของพื้นที่ช่องเปิดเป็น 4 % ของพื้นที่ใช้สอยชั้นล่าง (ดังที่ทดสอบมาว่ามีความเหมาะสมทำให้แสงมีความสม่ำเสมอ)โดยแบ่งออกเป็นก่อนปรับปรุง (ใช้กระดาษโปสเตอร์ที่มีค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกับอาคารห้องสมุด(อาคารจริง)) และหลังปรับปรุงในกรณีต่าง ๆ

ภาพที่ 4.13 หุ่นจำลองขนาด 1:20 ที่ใช้ในการทดสอบผิวและสีของการสะท้อนแสง

ค่าการสะท้อนแสงของกระดาษโปสเตอร์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

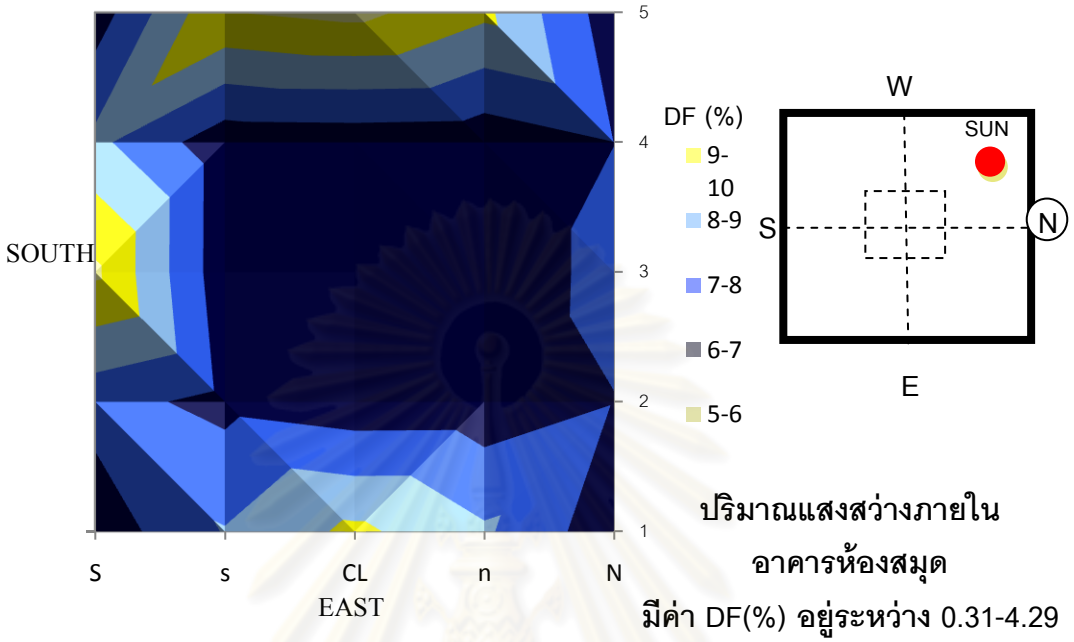
ก่อนปรับปรุง (อาคารห้องสมุดเดิม)

ผนัง	กระดาษโปสเตอร์สีเขียวอ่อนผิวเรียบ	มีค่าการสะท้อนแสง	26%
โต๊ะ	กระดาษสีน้ำตาลผิวเรียบ	มีค่าการสะท้อนแสง	19%
ฝ้าเพดาน	กระดาษสีน้ำตาลอ่อนผิวเรียบ	มีค่าการสะท้อนแสง	17%
หลังคา	กระดาษลอนสีแดงผิวเป็นลอน	มีค่าการสะท้อนแสง	7%

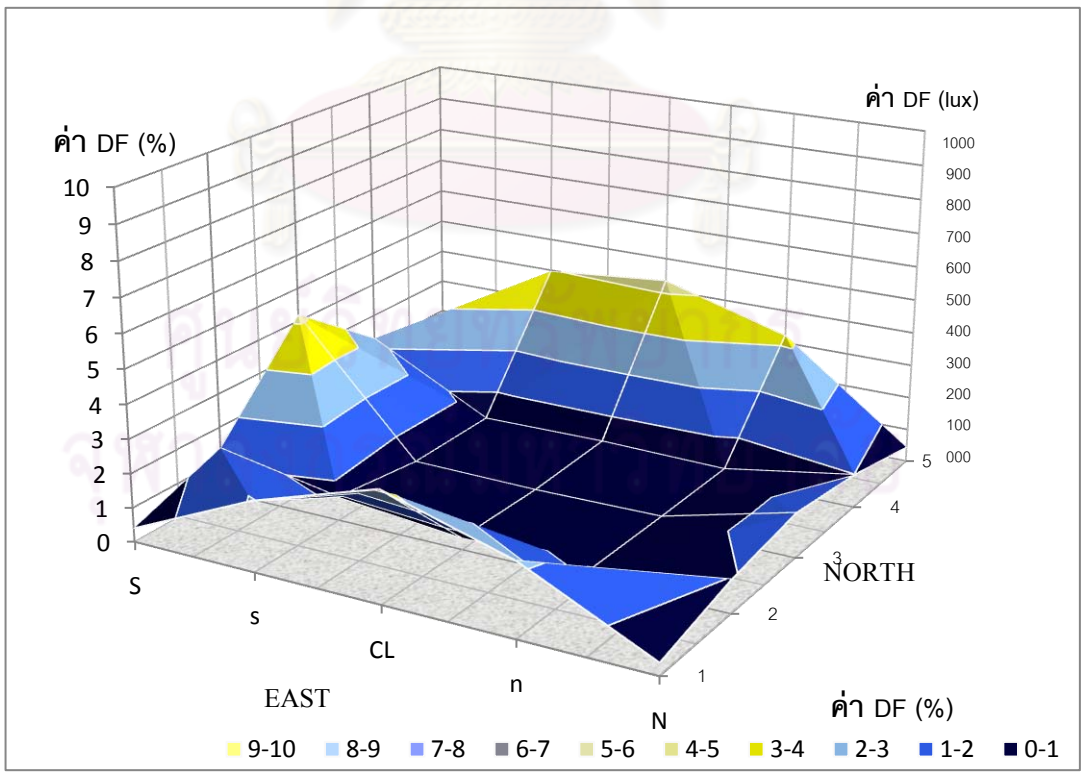
หลังการปรับปรุง (ปรับเปลี่ยนผิวและสีของวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง)

ผนัง	กระดาษโปสเตอร์สีขาวผิวเรียบ	มีค่าการสะท้อนแสง	65%
โต๊ะ	กระดาษสีขาวผิวเรียบ	มีค่าการสะท้อนแสง	65%
ฝ้าเพดาน	กระดาษสีขาวผิวขรุขระความสม่ำเสมอ	มีค่าการสะท้อนแสง	75%
หลังคา	กระดาษฟอยล์ผิวเรียบมัน	มีค่าการสะท้อนแสง	97%

ก่อนการปรับปรุง



Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)

จากแผนภูมิที่ 4.11 แสดงค่า DF(%) และการกระจายของแสงภายใน ของหุ่นจำลองของอาคารห้องสมุด 1:20 พบว่ามีลักษณะของแสงที่บริเวณจุดกึ่งกลาง (ตำแหน่ง C3) ที่มีค่าDF(%) อยู่ในช่วง 0-1 ซึ่งมีปริมาณแสงน้อย ส่วน บริเวณที่อยู่ที่ผนังมีค่า DF(%) อยู่ในช่วง 3-5 ซึ่งมีลักษณะเดียวกับอา คารห้องสมุดเดิมที่ทำการทดสอบเก็บข้อมูล แต่บริเวณที่มีความจำเป็นในการใช้แสงคือบริเวณจุดกึ่งกลางและบริเวณโดยรอบซึ่งเป็นที่ที่ผู้มาใช้บริการใช้สำหรับอ่านหนังสือ ส่วนบริเวณริมผนังจะเป็นที่สำหรับชั้นวางหนังสือ จึงเกิดการทดสอบเพื่อปรับปรุงเพิ่มปริมาณแสงที่บริเ วณจุดกึ่งกลาง และทดสอบเพื่อให้มีปริมาณแสงกระจายภายในพื้นที่ใช้สอยอย่างคุ้มค่าและสม่ำเสมอ

หลังการปรับปรุง

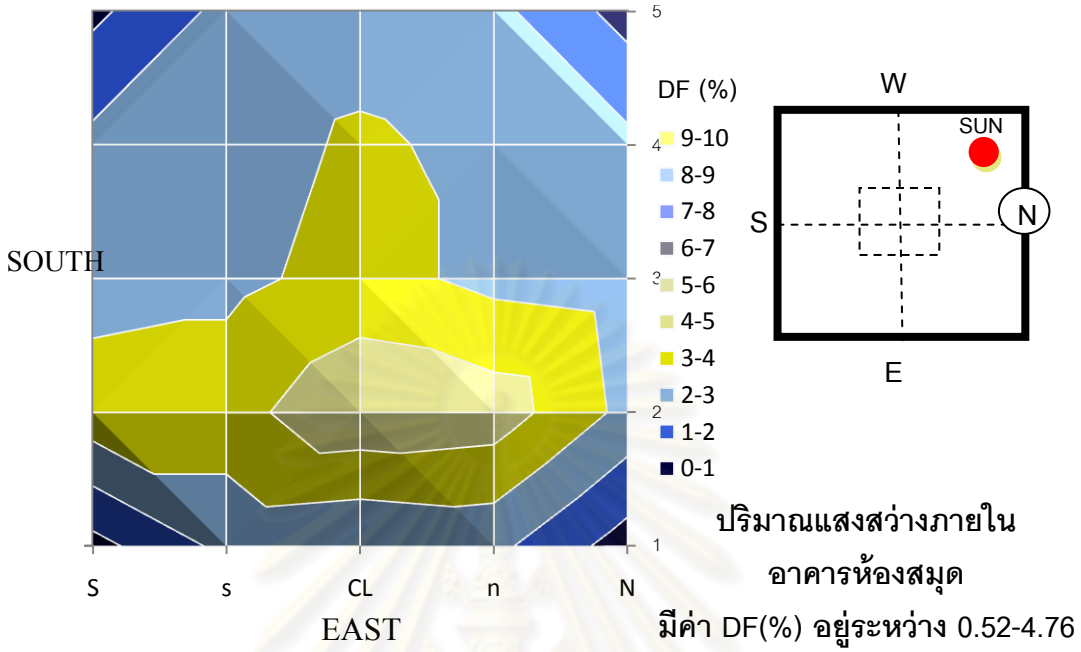
การปรับปรุงโดย ปรับเปลี่ยนองค์ประกอบภายใน และภายนอกอาคาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ โดยคำนึงวัสดุหรือสีที่แสงตกกระทบ หลังคา ผนัง และพื้น โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

- กรณีที่ 1 เปลี่ยนลักษณะของผิวและ สีวัสดุใต้หลังคาที่ใช้ใน การสะท้อนแสง จาก ฝ้าเพดานที่ใช้กระดาษสีน้ำตาลอ่อนผิวเรียบ มีค่าการสะท้อนแสง 17% เป็นฝ้าเพดานที่ใช้กระดาษสีขาวมี ผิวขรุขระความสม่ำเสมอ มีค่าการสะท้อนแสง 75% โต๊ะภายในอาคารเปลี่ยนจากกระดาษสีน้ำตาลที่มีค่าการสะท้อนแสง 19% เปลี่ยนเป็นสีขาวเรียบ มีค่าการสะท้อนแสง 65% เมื่อเก็บข้อมูลปริมาณแสงมีผลดังแผนภูมิที่ 4.9

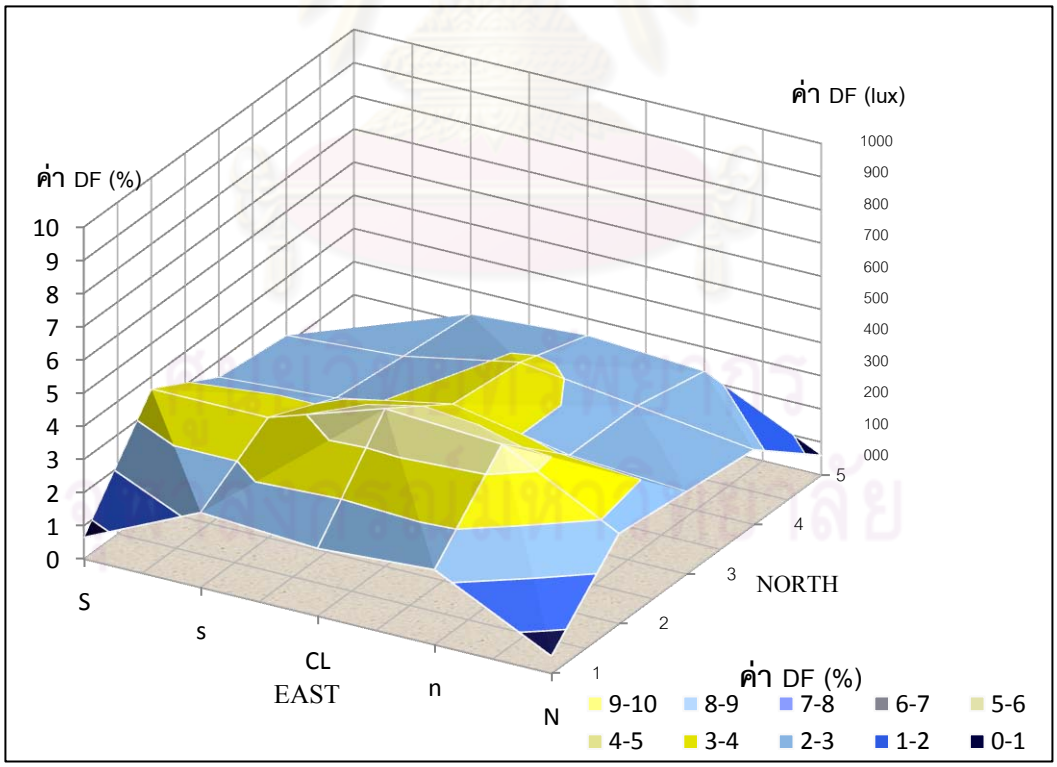
- กรณีที่ 2เปลี่ยนลักษณะผิวและสีของผนังที่ใช้ในการสะท้อนแสง จากผนังที่ใช้กระดาษสีเขียวอ่อน ผิวเรียบ มีค่าการสะท้อนแสง 26% เป็นผนังที่ใช้กระดาษสีขาวผิวเรียบ มีค่าการสะท้อนแสง 65% โต๊ะภายในอาคารเปลี่ยนจากกระดาษสีน้ำตาลที่มีค่าการสะท้อนแสง 19% เปลี่ยนเป็นสีขาวเรียบ มีค่าการสะท้อนแสง 65% เมื่อเก็บข้อมูลปริมาณแสงมีผลดังแผนภูมิที่ 4.10

- กรณีที่ 3 เปลี่ยนลักษณะผิวและสีของหลังคาภายนอกที่ใช้ในการสะท้อนแสง จากหลังคาที่ใช้กระดาษสีแดงเป็นลอนหลังคา มีค่าการสะท้อนแสง 7% เป็นผนังที่ใช้กระดาษฟอยล์ผิวเรียบมัน มีค่าการสะท้อนแสง 97% โต๊ะภายในอาคารเปลี่ยนจากกระดาษสีน้ำตาลที่มีค่าการสะท้อนแสง 19% เปลี่ยนเป็นสีขาวเรียบ มีค่าการสะท้อนแสง 65% เมื่อเก็บข้อมูลปริมาณแสงมีผลดังแผนภูมิที่ 4.11

หลังการปรับปรุง กรณีที่ 1 เปลี่ยนผิวและสีของลักษณะฝ้าเพดานและโต๊ะภายในอาคาร

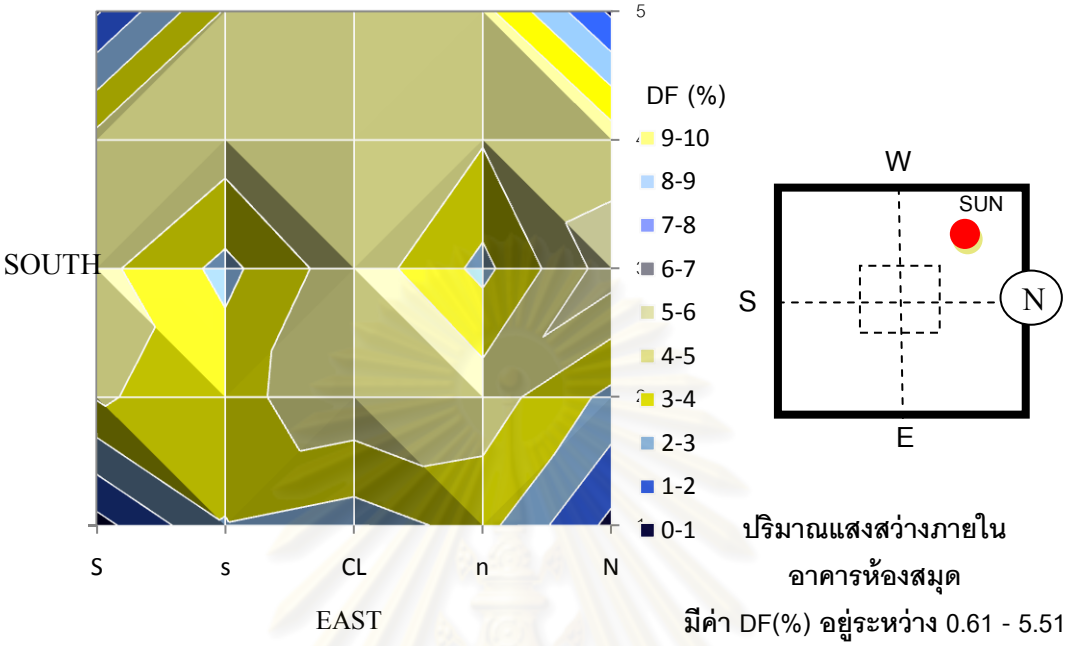


Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.

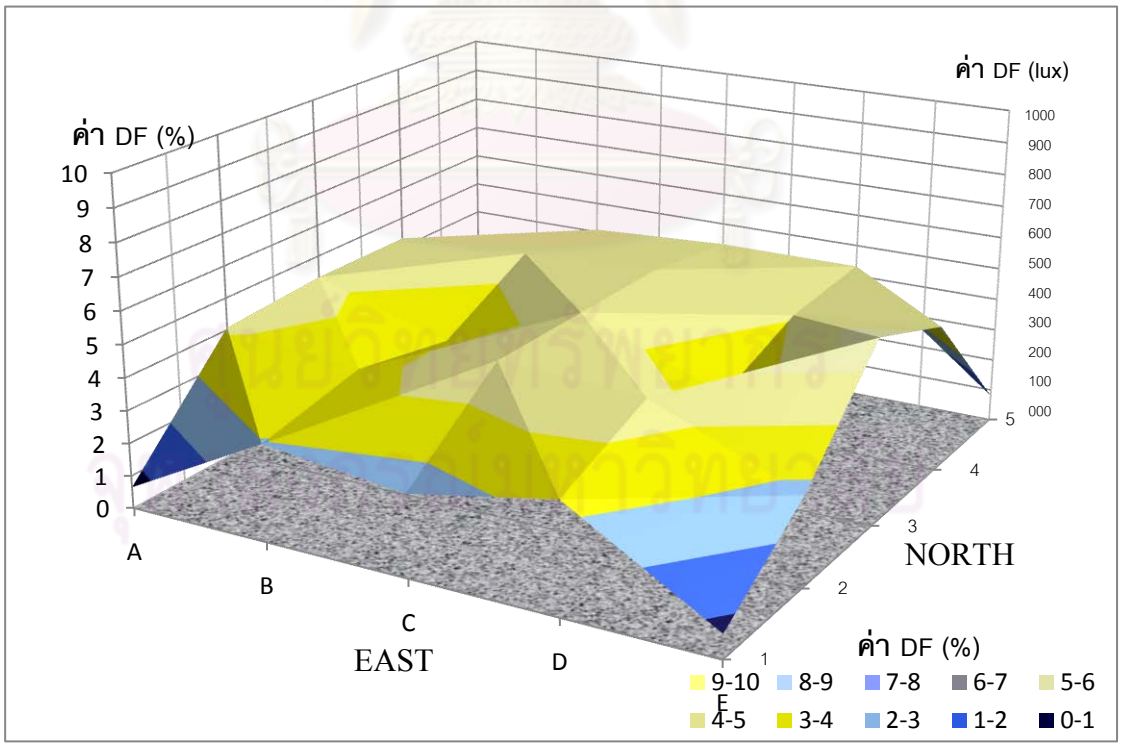


แผนภูมิที่ 4.12 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)

หลังการปรับปรุง กรณีที่ 2 เปลี่ยนผิวและสีของลักษณะผนังอาคารและโต๊ะภายในอาคาร

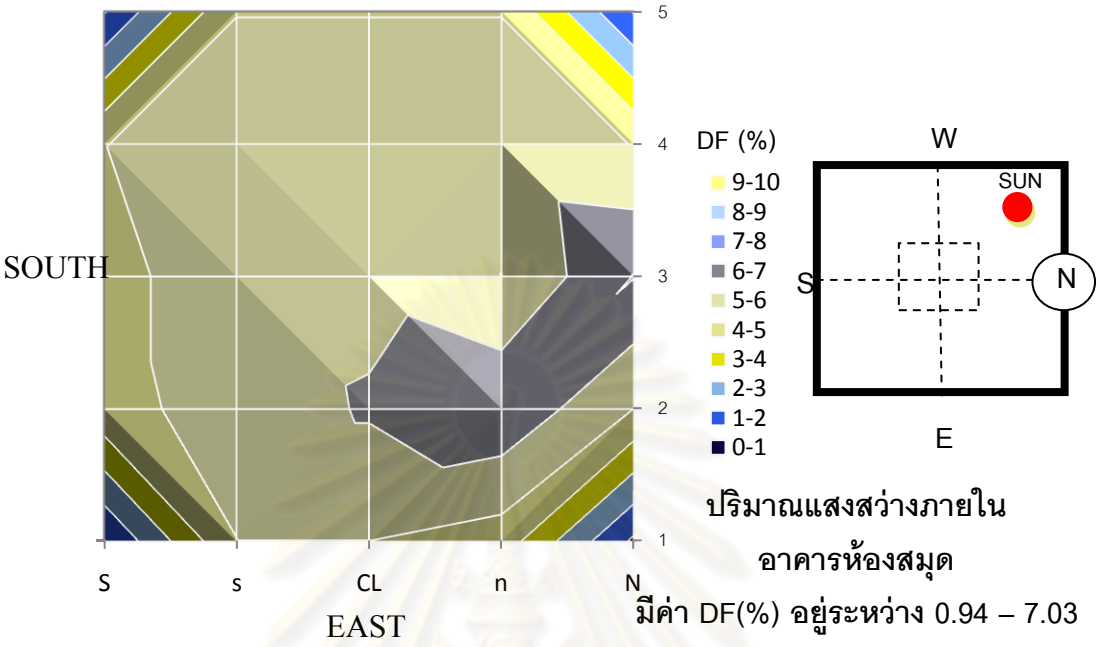


Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.

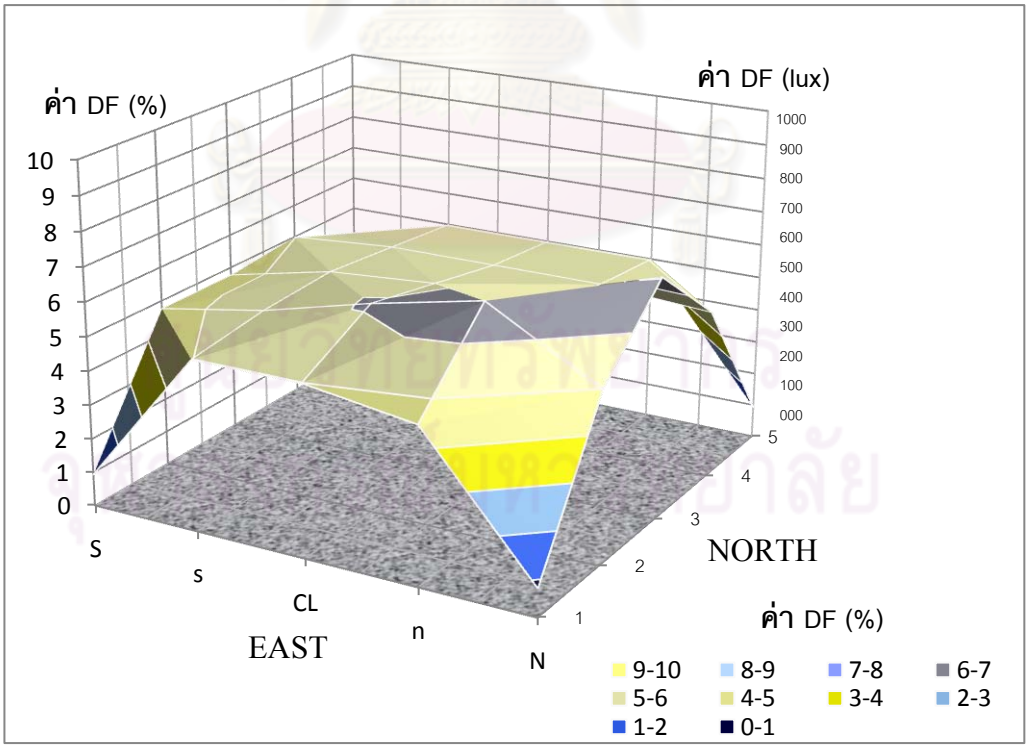


แผนภูมิที่ 4.13 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)

หลังการปรับปรุง กรณีที่ 3 เปลี่ยนผิวและสีของลักษณะหลังคาภายนอกอาคาร



Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)

- กรณีที่ 1 ปรับปรุงผิวและสีของฝ้าเพดาน มีผลทำให้ค่า Daylight Factor บริเวณจุดกึ่งกลาง เพิ่มขึ้นคิดเป็น 15.35% (ค่า DF(%) ก่อนปรับปรุง 0.31 หลังปรับปรุงมี ค่า DF(%) 4.76 ของค่า Daylight Factor ก่อนการปรับปรุง แต่ ค่าDaylight Factor บริเวณมุมทั้ง 4 ด้าน เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นเพียง 1.60%

- กรณีที่ 2 ปรับปรุงผนังมี ผลทำให้ค่า Daylight Factor บริเวณจุดกึ่งกลาง เพิ่มขึ้นคิดเป็น 15.03 % ของค่า Daylight Factor ก่อนการปรับปรุง แต่เมื่อเปลี่ยนลักษณะผิวและสีของผนังทำให้มีค่า Daylight Factor บริเวณใกล้ผนัง มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า Daylight Factor บริเวณมุมทั้ง 4 ด้าน เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นเพียง 1.87%

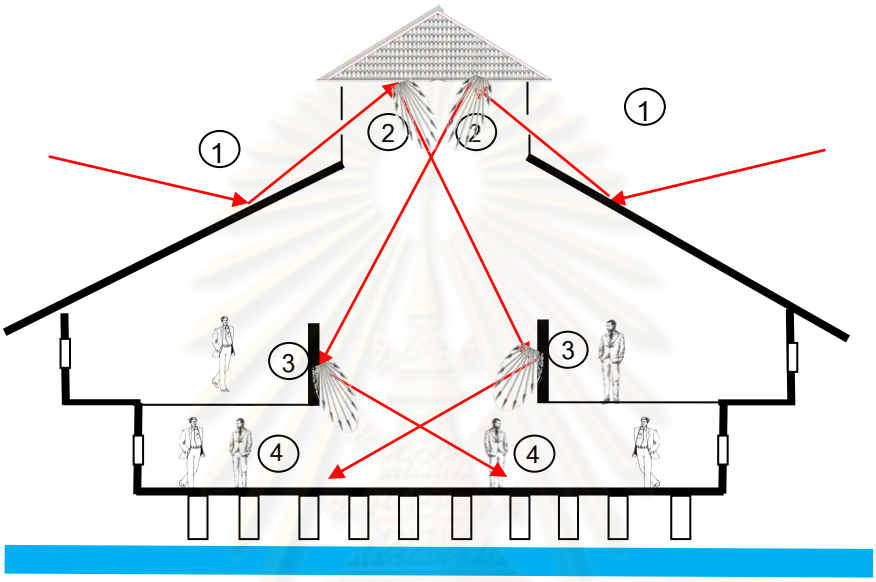
- กรณีที่ 3 ปรับปรุงผิวของหลังคามีผลทำให้ค่า Daylight Factor บริเวณจุดกึ่งกลางเพิ่มขึ้นคิดเป็น 18.29 % ของค่า Daylight Factor ก่อนการปรับปรุง แต่ค่า Daylight Factor บริเวณมุมทั้ง 4 ด้าน เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย พบว่าค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นเพียง 2.17%

ผลการวิเคราะห์การปรับปรุงตัวแปรที่ 2 ลักษณะของผิวและสีของวัสดุที่นำมาทำฝ้าเพดาน ผนัง และ ผิวหลังคาด้านนอก พบว่าการปรับปรุงผิวของฝ้าเพดานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างได้ 11% แต่ถ้าเปลี่ยนลักษณะผิวและสีของหลังคา สามารถเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างได้ 18.29% ส่วนปรับปรุงผนังจะทำให้แสงบริเวณด้าน ข้างเพิ่มขึ้น แต่การปรับปรุงตัวแปรที่ 2 ไม่สามารถแก้ปัญหาแสงสว่างบริเวณมุมของอาคารทั้ง 4 ด้านได้ เนื่องจากแสงที่เข้ามีความลึกน้อยจึงไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างบริเวณมุมอาคารได้ จึงต้องศึกษาตัวแปรที่ 3 ลักษณะการสะท้อนของแสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับพื้นที่ที่ยังเป็นปัญหา

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ 3 ลักษณะของการสะท้อนแสง

จากการศึกษาในบทที่ 2 พบว่า พฤติกรรมของแสงแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ พฤติกรรมการสะท้อน การดูดกลืน และการส่องผ่าน ซึ่งการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาพฤติกรรมของการสะท้อนของแสง สามารถแบ่งออกเป็น การสะท้อนแบบกระจกเงา (Spacular reflection) การสะท้อนแบบกระจาย (Diffuse reflection) แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัต ถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อน เสมือนกระจกเงา (Specular reflection) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse reflection) ซึ่งค่าการสะท้อนแสงของผิวและสีของวัสดุก็มีผลต่อพฤติกรรมการสะท้อนของแสงที่ออกมา นำมาใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่ 3 ลักษณะของการสะท้อนแสง เพื่อแก้ปัญหาแสงบริเวณมุมอาคารทั้ง 4 ด้าน นั้นจะต้องใช้หิ้งสะท้อนมาช่วยเพื่อให้เกิดการ

สะท้อนภายในอาคารเพิ่มขึ้น ทำให้แสงที่เข้ามาลึกมากยิ่งขึ้น การศึกษาตัวแปรที่ 3 จึงศึกษามุมที่ใช้ในการสะท้อนแสงของหิ้งสะท้อน ที่มีลักษณะ 90 องศา (ตั้งฉาก) และ 70 องศา เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการสะท้อนของแสง(ดังภาพที่ 4.14) และ (ภาพที่ 4.15) ดังนี้

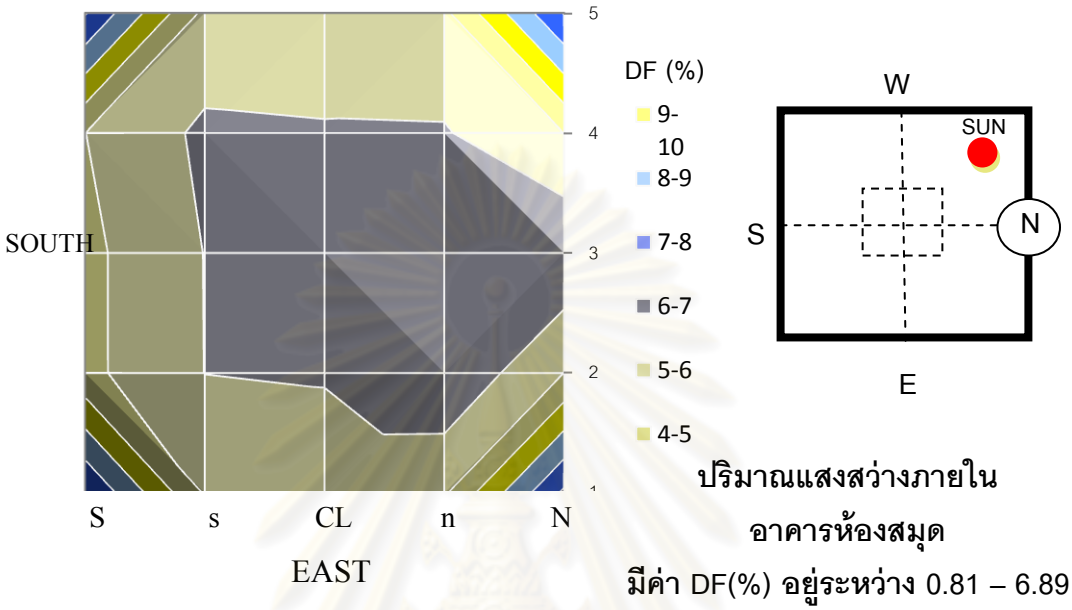


ภาพที่ 4.14 ลักษณะการสะท้อนแสงกระทบบริเวณหิ้งสะท้อน 90 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เทคนิคการใช้หิ้งสะท้อนเพื่อเพิ่มการสะท้อนแสง หิ้งสะท้อนแสง 90 องศา

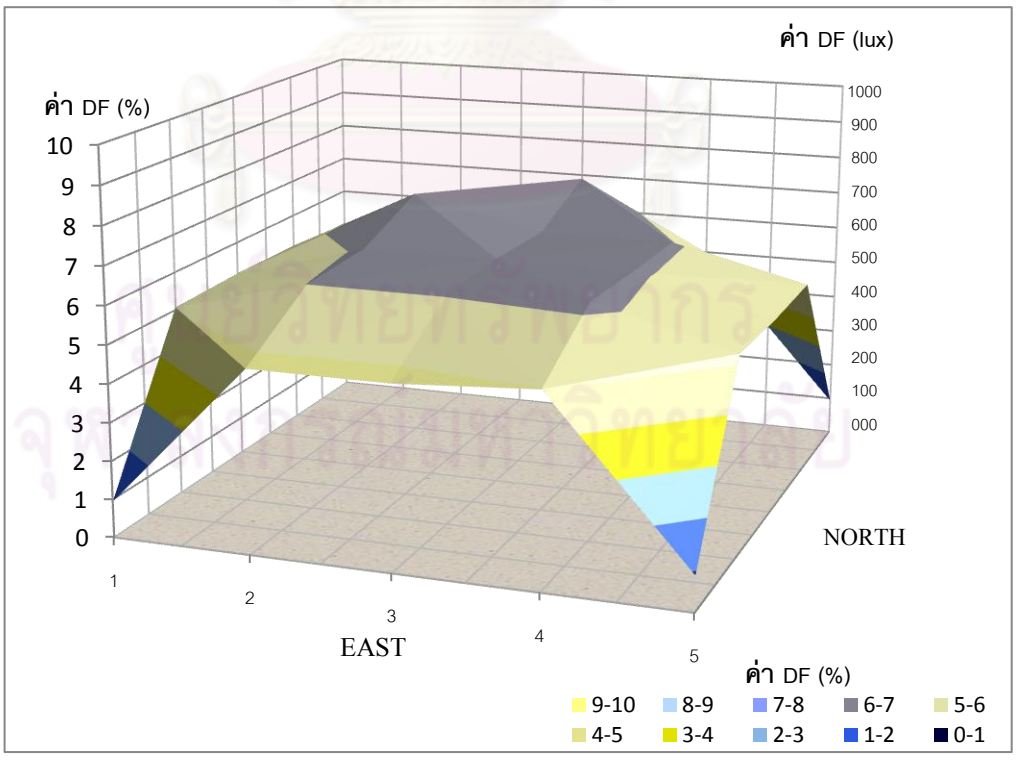
วันที่ 17 เมษายน 2554 แสงภายนอก 15,600 ลักซ์ ลักษณะท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน



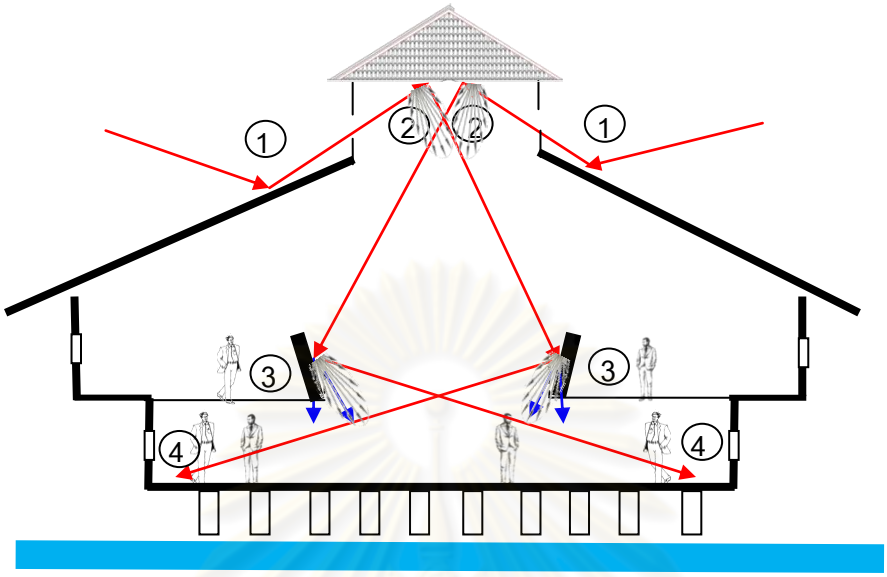
ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด

มีค่า DF(%) อยู่ระหว่าง 0.81 – 6.89

Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.



แผนภูมิที่ 4.15 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)



ภาพที่ 4.15 ลักษณะการสะท้อนแสงกระทบบริเวณหิ้งสะท้อน 70 องศา

ลักษณะการสะท้อนของแสงเป็นแบบการกระจายแสง

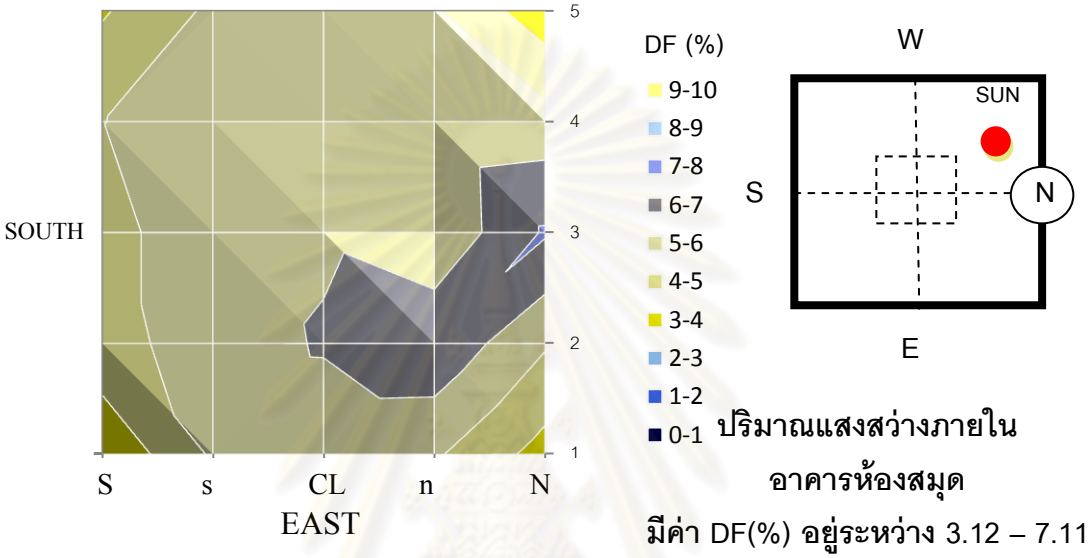
จากการทดลองในหุ่นจำลอง พบว่า การปรับปรุงองค์ประกอบภายใน ทำให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้น โดยใช้การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำผนัง ฝ้าเพดาน ภายในอาคาร และผิว สีของวัสดุที่ใช้ทำหลังคา (ดังตัวแปรที่ 2) แต่ยังมีบริเวณที่เกิดปัญหาของการส่องสว่างบริเวณมุมของอาคาร สามารถแก้ไขและปรับปรุงโดยใช้หิ้งสะท้อนแสงผิวสีขาวขรุขระที่ มีมุมที่ต่างกันในการวิจัยครั้งนี้ ทดลองมุมของหิ้งสะท้อนแสง 2 ลักษณะคือ 90 องศา และ 70 องศา ซึ่งได้ผลการทดลอง ดั้งนี้

บริเวณชั้นที่ 1 บริเวณมุมของอาคารห้องสมุด ซึ่ง มีปัญหาเรื่องปริมาณแสงน้อย ให้ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติที่ส่องมาจากด้านบนอาคารเนื่องจากปัจจุบันมีการนำแสงในส่วนนี้มาใช้ในปริมาณที่น้อยมาก มีแนวทางในการปรับปรุงโดยใช้ ลักษณะการสะท้อนของแสง ดังนี้ เมื่อแสงส่องมาจากภายนอก (1) ให้กระทบกับหลังคาตำแหน่งที่มีผิวเรียบสีขาวสะท้อนกับฝ้าใต้หลังคา(2) จากนั้นลักษณะของแสงจะมีความลึกของแสงน้อยจึงส่องลงมาไม่ถึงบริเวณโถงชั้นล่าง จึงมีแนวทางในการปรับปรุงโดยติดตั้งผนังหรือหิ้งที่ใช้สะท้อนแสง เมื่อแสงลงมากระทบกับหิ้งสะท้อนที่มีลักษณะเป็นผนังสีขาวเพื่อให้แสงสะท้อนและกระจายในลักษณะ (Specular Reflection)ลงมาบริเวณชั้นล่าง (3) ถ้าปรับมุมหิ้งสะท้อนแสง (วัสดุผิวเป็น Polished white

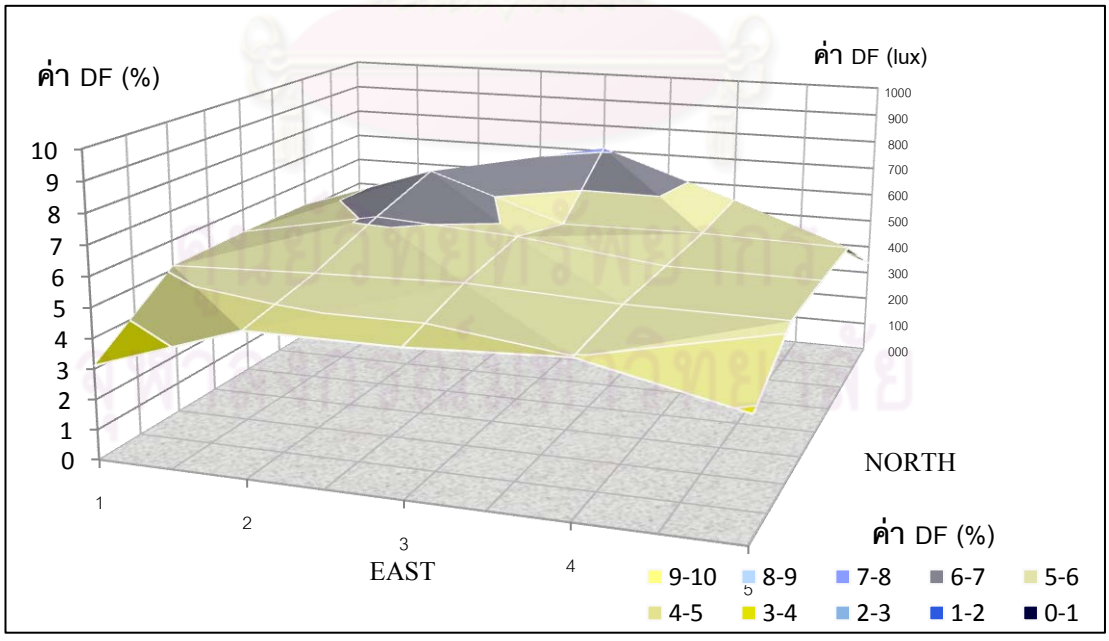
surface)ให้เอียงประมาณ 70 องศา จะทำให้แสงกระจายในลักษณะ (Diffuse and Specular Reflection)ไปได้ลึกมากยิ่งขึ้น (4)

เทคนิคการใช้หิ้งสะท้อนเพื่อเพิ่มการสะท้อนแสง หิ้งสะท้อนแสง 70 องศา

วันที่ 17 เมษายน 2554 แสงภายนอก 15,600 ลักซ์ ลักษณะท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน



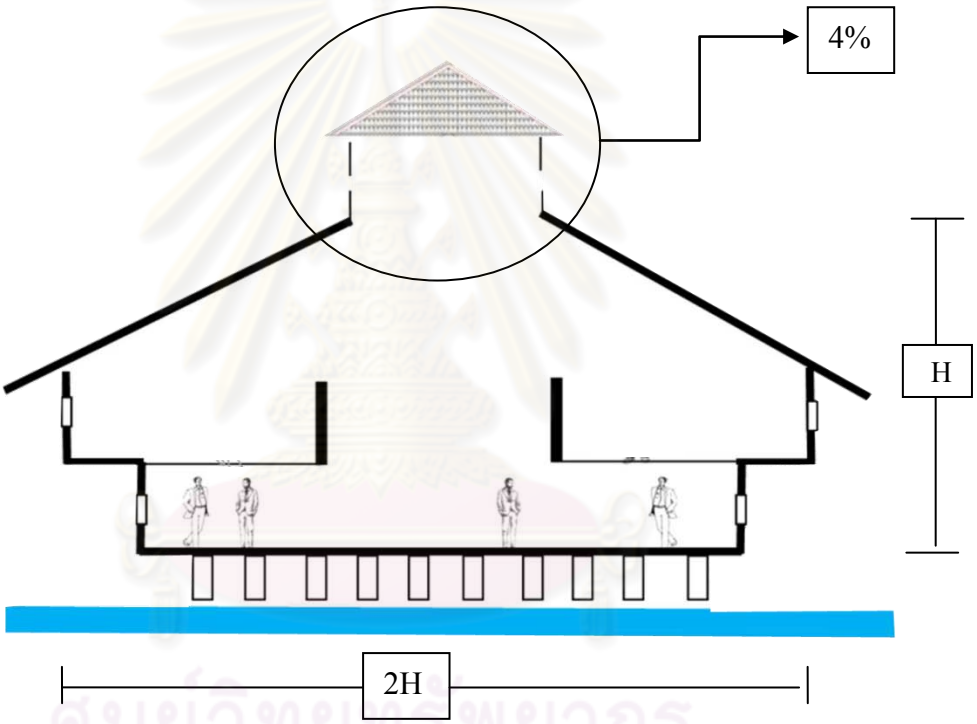
Partly Cloudy Sky (ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน) / เวลา : 14.00 น.



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงค่า DF(%) และการกระจายตัวของแสงภายใน ณ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน แบบ Partly Cloudy Sky เวลา 14.00 น.ของอาคารห้องสมุด (หุ่นจำลอง)

ผลการวิจัยสามารถสรุปโดยแยกตามตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด ดังนี้

ตัวแปรที่ 1 คือขนาดพื้นที่ของช่องเปิดด้านบนอาคารห้องสมุด สามารถสรุปขนาดพื้นทีของช่องเปิ ดด้านบนที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารห้องสมุด ได้แก่ขนาดพื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้สอย หรือพื้นที่ช่องเปิด 1 ส่วน ต่อพื้นที่ใช้สอย 25 ส่วน ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.16 ขนาดพื้นที่ของช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสมกับอาคารที่มีสัดส่วน 2 เท่าของความสูงอาคาร

ตัวแปรที่ 2 คือผิวและสีของวัสดุที่ใช้ทำผนัง ฝ้าหลังคา หลังคาภายนอก ก่อนและหลังการปรับปรุงมีค่าการสะท้อนแสงแตกต่างกันดังนี้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงของผิวและสีของวัสดุก่อนและหลังการปรับปรุง

วัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง ก่อนปรับปรุง	ค่าการสะท้อนแสง หลังการปรับปรุง	เปรียบเทียบ ค่าการสะท้อนแสง
ผนังภายใน	26%	65%	2.5 เท่า
ฝ้าเพดานภายใน	17%	75%	4.41 เท่า
หลังคาภายนอก	7%	97%	13.85 เท่า

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Daylight Factor ก่อนและหลังการปรับปรุงหุ่นจำลองอาคารห้องสมุด บริเวณจุดกึ่งกลางของอาคาร

วัสดุ	ค่า DF ก่อนปรับปรุง บริเวณโถงกลาง	ค่า DF หลังปรับปรุง บริเวณโถงกลาง	DF เพิ่มขึ้น
ผนังภายในอาคาร	0.31	4.66	15.03
ฝ้าเพดานภายในอาคาร	0.31	4.76	15.35
หลังคาภายนอกอาคาร	0.31	5.67	18.29

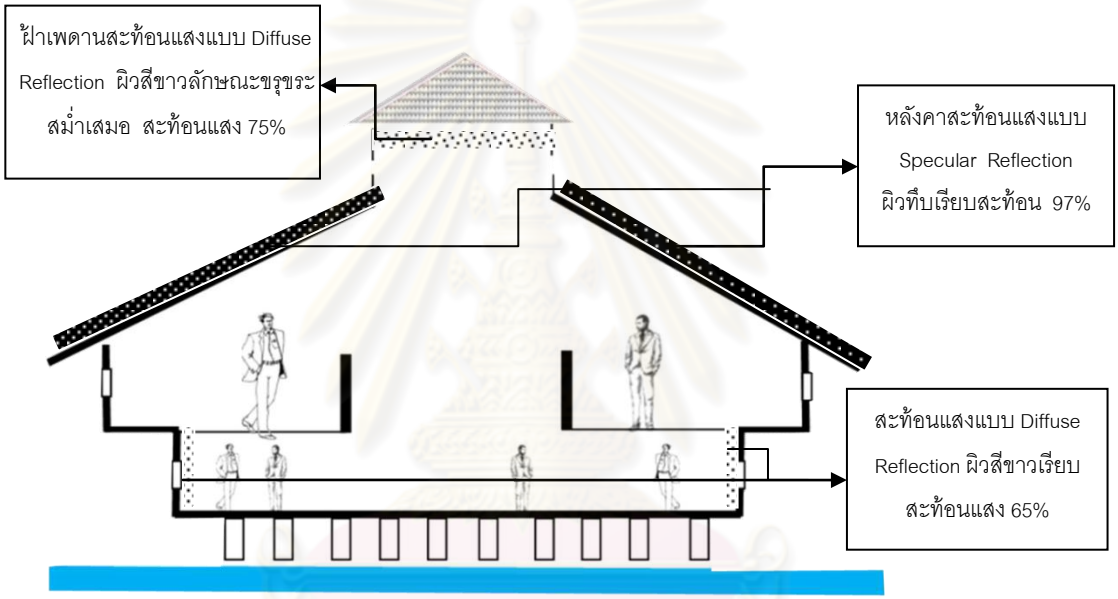
จากตารางที่ 4.4 พบว่า การปรับปรุงผิวและสีของ หลังคาอาคารห้องสมุด ทำให้มีค่าDF บริเวณจุดกึ่งกลางของอาคารเพิ่มถึงมากที่สุด คือ การปรับปรุงหลังคาภายนอกอาคาร 18.29 เท่า ปรับปรุงฝ้าเพดานภายในอาคารมีค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นรองลงมา คือ 15.35 และการปรับปรุงผนังภายในอาคารมีค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด คือ 15.03

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Daylight Factor ก่อนและหลังการปรับปรุงหุ่นจำลองอาคารห้องสมุด บริเวณพื้นที่ใกล้ผนังของอาคาร

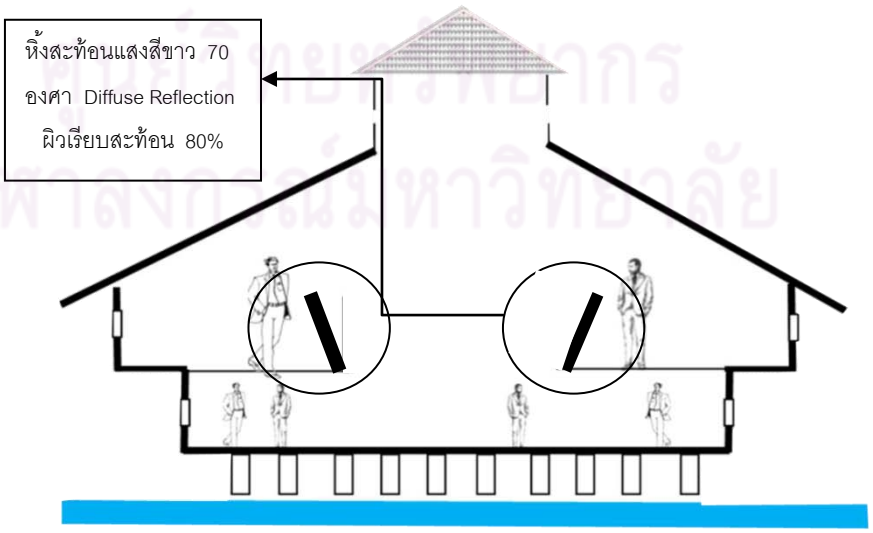
วัสดุ	ค่า DF ก่อนปรับปรุง บริเวณโถงกลาง	ค่า DF หลังปรับปรุง บริเวณโถงกลาง	DF เพิ่มขึ้น
ผนังภายในอาคาร	1.32	5.67	4.29
ฝ้าเพดานภายในอาคาร	1.32	2.49	1.89
หลังคาภายนอกอาคาร	1.32	7.03	5.33

จากตารางที่ 4.5 พบว่า การปรับปรุงผิวและสีของหลังคาอาคารห้องสมุดทำให้มีค่าDaylight Factor บริเวณใกล้ผนังอาคารเพิ่มถึงมากที่สุด คือ ปรับปรุงหลังคาภายนอกอาคาร 5.33 เท่า ปรับปรุงผนังภายในอาคารมีค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นรองลงมา คือ 4.29 และการปรับปรุงฝ้าเพดานภายในอาคารมีค่า Daylight Factor เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด คือ 1.89

สามารถสรุป ค่าการสะท้อนแ สงที่เหมาะสมในการใช้งานของบริเวณที่ศึกษาดังต่อไปนี้ บริเวณผนังภายในอาคารห้องสมุด ฝ้าเพดานภายในอาคารห้องสมุด และหลังคาภายนอกอาคารห้องสมุด แสดงดังภาพที่ 4.17



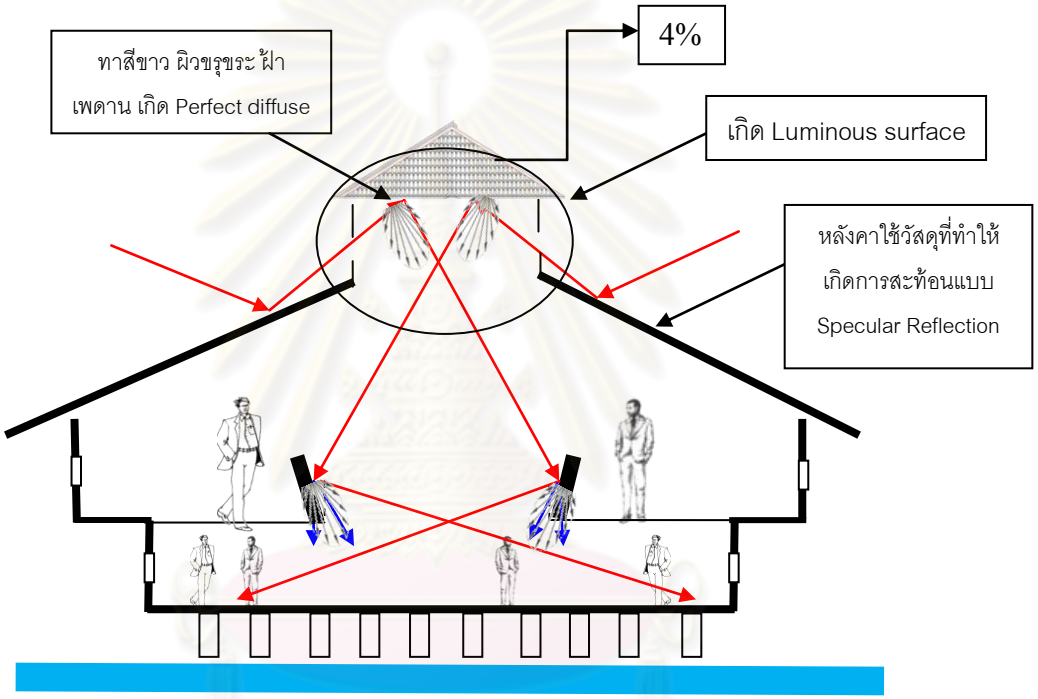
ภาพที่ 4.17 ลักษณะผิวและสี ของวัสดุและค่าการสะท้อนแสง ที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.18 ลักษณะการสะท้อนแสงโดยใช้หิ้งสะท้อนที่ 90 และ70 องศา

จากภาพที่ 4.18 พบว่าหิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมและช่วยปัญหาความไม่เพียงพอของแสงบริเวณมุมของอาคาร คือ หิ้งสะท้อนแสงเอียง 70 องศา สีขาวผิวเรียบมีค่าการสะท้อนแสง 80%

จากผลการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแสงสว่างให้มากขึ้นได้จนสามารถใช้แทนแสงประดิษฐ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันซึ่งแสดงเป็นตัวอย่างการคำนวณได้ดังนี้



ภาพที่ 4.19 แสดงการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารห้องสมุด

ถ้าปริมาณแสงสว่างจากท้องฟ้า (direct sun) มีค่า 5000 Fc และมีค่าการสะท้อนแสงของหลังคาเท่ากับ 80% พื้นที่ของฝ้าเพดานภายในอาคารมีพื้นที่ 250 ตารางฟุตทาสีขาวบริเวณฝ้าเพดานและมีผิวที่ขรุขระ เพื่อทำให้เกิด Perfect diffuse ขึ้นบริเวณฝ้าเพดาน

ปริมาณแสงสว่าง = 250 * 5000 * 0.8

= 250* 4000

= 1,000,000 lumen

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการใช้ห ลอดไฟหรือแสงประดิษฐ์ (หลอดฟลูออเรส เซน) ที่มีปริมาณแสงสว่าง 3,500 lumen พบว่าการใช้แสงธรรมชาติมาเพิ่ม ประสิทธิภาพการส่องสว่าง โดยทำให้เกิด Perfect diffuse และ Luminous surface ขึ้น สามารถนำมาใช้ทดแทนหลอดไฟหรือแสงประดิษฐ์ได้ประมาณ 286 หลอด ซึ่งจะสามารถลดค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้หลอดไฟหรือแสงประดิษฐ์รวมทั้งความร้อนที่ได้จากแสงประดิษฐ์จำนวนมากลงได้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

แนวทางในการนำแสงธรรมชาติมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างภายในอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม แนวทางที่ใช้ต้องคำนึงถึงลักษณะของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร ดังนี้

1. สัดส่วนของช่องเปิดด้านบน ต้องเหมาะสม และสามารถหลีกเลี่ยงปริมาณความร้อนที่ได้รับแสงธรรมชาติมากเกินความจำเป็นในการใช้งาน
2. หลีกเลี่ยงวัสดุที่มีลักษณะผิวมันวาวภายในอาคาร เพื่อลดปัญหาแสงจ้าที่สะท้อนเข้าตาให้เกิดความรำคาญ
3. หลีกเลี่ยงการออกแบบที่มองเห็นแหล่งกำเนิดแสง สำหรับแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์
4. ควรออกแบบให้พื้นผิวภายในอาคารมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงสุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงเข้าสู่ภายในอาคาร

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นในการหาแนวทางในการนำแสงธรรมชาติมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิ ภาพในการส่องสว่างภายในอาคาร โดยใช้หลักการศึกษาลักษณะช่องเ ปิดหรือสัดส่วนของช่องเปิดที่เหมาะ สมต่อพื้นที่ใช้สอย จากนั้นการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง เช่น สีขาว ในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร จะช่วยในการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่า เมื่อเทียบกับวัสดุที่ มีค่าการสะท้อนแสงต่ำ เช่น อิฐมอญ หรือกระเบื้ องสีเข้ม เป็นต้น ในบทนี้จะนำผลที่ได้จากการวิจัยมาประมวลเป็นข้อสรุป แล้วนำแนวทางที่ได้ไปใช้โดยอ้างอิงจากผลการทดลอง การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารโดยทั่วไปจะมี 2 แนวทาง คือแสงจากด้านข้าง และแสงจากทางด้านบน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ช่องเปิดด้า นบนซึ่งมีข้อดีคือ มุมของแสงจากด้านบนทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าน้อยกว่าการให้แสงจากด้านข้าง

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารห้องสมุด สิ่งที่ควรพิจารณาตามลำดับการศึกษา คือ

- สัดส่วนของขนาดช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสมกับอาคารห้องสมุด
- การสะท้อนแสงและกระจายแสงในทิศทางที่ต้องการ
- ปริมาณความส่องสว่างที่เพียงพอกับพื้นที่ใช้งาน

5.1 สรุปผลการวิจัย

ลักษณะอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมในปัจจุบันมีปริมาณแสงสว่างภายในอาคารน้อยหรือภายในอาคารมืดซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้มาใช้บริการหรือนักเรียนภายในโรงเรียน เมื่ออาคารห้องสมุดมืดทำให้ต้องติดหลอดไฟหรือใช้แสงประดิษฐ์จำนวนมากขึ้นทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ าซึ่งเป็นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เมื่อผู้วิจัยสังเกตภายในอาคารห้องสมุดพบว่ามีช่องเปิดของอาคารด้านบน แต่ปัจจุบันไม่มีการใช้ประโยชน์หรือนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่า ทำให้ผู้วิจัยทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการใช้แสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างภายในอา คารห้องสมุดขึ้น จากการทดลอง เพื่อ หาแนวทางในการ เพิ่มประสิทธิภาพ แสงสว่างภายในอาคารห้องสมุดโดย การใช้แสงธรรมชาติ นั้น สามารถสรุปผลการวิจัยออกเป็น 3 ตัวแปรดังนี้

ตัวแปรที่ 1 ขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนกับพื้นที่ใช้สอยที่เหมาะสม

จากผลสรุปการวิจัยครั้งนี้ ตัวแปรที่ 1 ขนาดของพื้นที่ช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสม พบว่าแนวทางการนำแสงธรรมชาติมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุด โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมนั้น ขนาดของพื้นที่ช่องเปิดด้านบน 4 % ต่อพื้นที่ใช้สอย หรือ เปิดช่องด้านบน 1 ส่วนต่อพื้นที่ใช้สอย 25 ส่วนนั่นเอง

ตัวแปรที่ 2 ผิวและสีที่ใช้ในการสะท้อนแสง

ผลจากการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

ค่าการสะท้อนแสงของผิวและสีของอาคารมีผลทำให้ปริมาณแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการทำผิวและสีที่เหมาะสมบริเวณใด เช่นถ้าเปลี่ยนผิวและสีของเพดานก็จะช่วยให้แสงบริเวณกึ่งกลางอาคารห้องสมุดมีปริมาณแสงสว่างเพิ่มมากขึ้น หรือถ้าเปลี่ยนผิวและสีของผนังก็จะช่วยให้แสงบริเวณด้านข้างของอาคารห้องสมุดมีปริมาณแสงสว่างที่เพิ่มมากขึ้นส่วนการเปลี่ยนผิวและสีของหลังคาภายนอกที่ใช้ในการสะท้อนแสงเข้ามาภายในอาคารสะท้อนกับอาคารห้องสมุดที่ทำการปรับปรุง ทำให้มีประสิทธิภาพของแสงสว่างภายในอาคารที่เหมาะสมและ

ดีที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ แต่ตัวแปรที่ 2 ไม่สามารถทำให้แสงสว่างส่องไปถึงบริเวณมุมทั้ง 4 ของอาคารห้องสมุด จึงทำการปรับปรุงโดยใช้ตัวแปรที่ 3 เข้ามาเกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่ 3 ลักษณะการสะท้อนของแสง

จากผลการทดลองตัวแปรที่ 3 ลักษณะการสะท้อนแสงโดยใช้หิ้งสะท้อนแสงที่มุม 90 และ 70 องศา พบว่า หิ้งสะท้อนแสงที่มีมุม 70 องศา จะทำให้มีลักษณะการสะท้อนแสงที่สามารถแก้ปัญหาแสงที่ไม่เพียงพอบริเวณมุมอาคารห้องสมุดได้มากกว่า เพราะลักษณะของแสงที่สะท้อนจากหิ้งสะท้อนมีความลึกมากพอที่จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างภายในบริเวณมุมอาคารห้องสมุด

การศึกษาแนวทางในการนำแสงธรรมชาติมาเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างภายในอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมโดยศึกษาจากตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร พบว่า ถ้าปรับปรุงอาคารห้องสมุดโรงเรียนพูลเจริญวิทยาคมให้มีขนาดพื้นที่ช่องเปิดด้านบนที่เหมาะสม เลือกวัสดุที่มีผิวแล ะสีที่ใช้ในการสะท้อนแสง และลักษณะการสะท้อนแสงที่เหมาะสม จะช่วยแก้ปัญหาปริมาณแสงสว่างภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถนำผลการศึกษามาประยุกต์ใช้กับอาคารห้องสมุด ห้องเรียน และอาคารอื่น ๆ ที่ต้องการนำแสงธรรมชาติใช้เพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคาร มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการหาขนาดของพื้นที่ช่องเปิด ด้านบนที่เหมาะสม จากผลการวิจัยพบว่าขนาดพื้นที่ช่องเปิดจะมีขนาด 4% ของพื้นที่ใช้สอย ดังนั้นต้องทำการสำรวจพื้นที่ที่จะนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ประโยชน์และคำนวณหาขนาดที่เป็ น 1:25 ของพื้นที่ที่ต้องการแสง ถ้าโรงเรียนมีงบประมาณจำกัดก็สามารถเริ่มที่การเจาะช่องแสงเสียก่อนเพื่อนำแสงธรรมชาติมาเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 2 ถ้ามีงบประมาณเพิ่มมากขึ้น ให้เลือกใช้ผิวและสีของวัสดุบริเวณต่างๆ โดยคำนึงถึงแสงสะท้อนที่ต้องการ คือ ถ้าเป็นแสงสะท้อนแบบ Specular Reflection ใช้กับบริเวณหลังคาเพื่อเพิ่มปริมาณแสงให้มากก่อนสะท้อนไปกระทบกับฝ้าเพดานที่มีลักษณะสีขาวผิวขรุขระสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดแสงสะท้อนแบบกระจาย ประเภทการกระจายแบบสมบูรณ์ ทำให้บริเวณฝ้าเพดานเกิด Luminous surface เสมือนฝ้าเพดานเป็นแหล่งกำเนิดแสงขนาดใหญ่ที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ เหมือนแสงประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพสูงหลาย ๆ หลอดรวมกัน

ขั้นตอนที่ 3 เพื่อให้แนวทางในการนำแสงธรรมชาติมาเพิ่มประสิทธิภาพอาคารกรณีต่าง ๆ นั้นขั้นตอนสุดท้ายที่จะทำคือการเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงเ พื่อให้แสงที่กระจายตัวตกกระทบลงสู่พื้นที่ใช้งานที่ต้องการอย่างเหมาะสม โดยปรับตำแหน่งหรือองศาของหิ้งสะท้อนนั้น

ถ้าต้องการให้แสงธรรมชาติดลึกเข้าไปยังบริเวณมุมอาคารก็สามารถใช้หิ้งสะท้อนแสงที่ 70 องศา ดังผลที่ได้จากการวิจัย สามารถประยุกต์ใช้กับอาคารที่มีความสูงมากๆ และต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การแก้ปัญหาปริมาณแสงสว่างที่ไม่เพียงพอนั้นสามารถทำได้หลายวิธีการวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงตัวแปรบางส่วนที่ใช้ในก ารปรับปรุงอาคารห้องสมุดเท่านั้น แต่ถ้ามีงบประมาณน้อยและความจำเป็นอย่างเร่งด่วนในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารสามารถเพิ่มช่องแสงบริเวณอาคารส่วนนั้นหรืออาจจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหรือกิจกรรมบริเวณนั้นให้มีการใช้แสงสว่างปริมาณที่น้อยลง

- การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้กับอาคารทั่วไปที่มีลักษณะเหมือนกับอาคารกรณีศึกษาเท่านั้น คือมีแนวระนาบเป็น 2 เท่าของความสูงอาคาร สามารถนำผลการศึกษาครั้งนี้ไปใช้กับอาคารทั่วไปที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปได้ โดยปริมาณแสงธรรมชาติจะ แปรผกผันกับความสูงของอาคารคือ ถ้าความสูงของอาคารยิ่งมากแสงธรรมชาติที่เข้ามาจะมีปริมาณที่น้อยลง ดังนั้นถ้าอาคารทั่วไปควรนำหิ้งสะท้อนมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของแสงธรรมชาติไปยังพื้นที่ใช้งานได้อย่างเพียงพอและเหมาะสม

- เนื่องจากเวลาและงบประมาณที่จำกัดทำให้การศึกษาครั้งนี้ไม่รวมลักษณะสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น อาคารห้องสมุดมีน้ำล้อมรอบ อาจจะทำให้มีผลกับการสะท้อนแสงบริเวณช่องเปิดด้านข้าง (หน้าต่าง) ผู้ที่สนใจต่อยอดการสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมภายนอกด้วย

- แนวทางการนำแสงธรรมชาติมาเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารในการวิจัยครั้งนี้มีตัวแปรจำกัดเพียง 3 ตัวแปร เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงมีตัวแปรอื่น ๆที่เข้ามาเกี่ยวข้องอีกมากมาย เช่นความแปรปรวนของท้องฟ้า ความร้อน รูปแบบหรือลักษณะช่องเปิดทั้งด้านข้างและด้านบน ทิศทางของช่องเปิด ดังนั้นผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการวิจัยเรื่องแสงภายในอาคารห้องสมุดสามารถนำตัวแปรอื่น ๆ ไปใช้ทดลองหรือวิจัยได้ เช่น ความแปรปรวนของท้องฟ้า การใช้แสงธรรมชาติอาจจะต้องมีการผสมผสานแสงประดิษฐ์เข้ามาเพื่อช่วยเพิ่มประสิท ธิภาพในการส่องสว่างด้วย อาคารห้องสมุดที่ดีต้องมีทั้งแสง สี และเสียงที่เหมาะสม การวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาเรื่องแสงเท่านั้น เนื่องจากเวลาและงบประมาณที่จำกัด ส่วนผู้สนใจก็สามารถนำเรื่องอื่น ๆ หรือถ้าเป็นเรื่องแสงก็ใช้ตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องไปต่อยอดงานวิจัยต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คมกฤช ชูเกียรติมั่น. การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดการใช้พลังงาน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

นวลฉวี สุธรรมวงศ์. หลักการออกแบบอาคารหอสมุดที่พึงประสงค์. โดมทัศน์ 23 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2545) : 3-20.

นารีรัตน์ ลีละวัฒน์. สถาปัตยกรรมห้องสมุด บทบาทและแนวทางการออกแบบ. โดมทัศน์ 23 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2545) : 21-30

สุนทร บุญญาธิการ. การเลือกใช้วัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน. เอกสารประกอบการอบรม หลักสูตร ข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารควบคุมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ. อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ : อาคารอนุรักษ์พลังงานตัวอย่างของกรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน, วารสารอาษา. 101 (สิงหาคม 2539) : 12-16.

ภาษาอังกฤษ

Ader, Gregg D. Day lighting performance and design. New York ; Van Nostrand Reinhold, 1995.

Gordon, Gary, and Nockolls, J.L. Interior Lightiing for Designers. 3rd ed. New York : John Wiley & Sons, 1995.

Hopkinson, R.,G. and Kay, J.D. The Lighting of Buildings. Second Edition. London : Faber and Faber, 1972.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IES Committee on Calculation Procedure. IES Recommended Practice for the Lumen Method of Daylight Calculations. New York : Illuminating Engineering Society of North America, 1989

IESNA. Lighting Handbook, Reference & Application, 8th Edition, New York: IESNA, 1993

Koenigsberger, O.H. ; Ingersoll, T.G. ; Mayhew, Alan ;and Szokolay, S.V. Manual of tropical housing and building part one : climatic design. Hong Kong : Dai Nipporn Printing, 1993.

Lechner, Norbert. Heating Cooling. Lighting : design methods for architects. New York : John Wiley & Sons,1991.

Stein, Benjamin and John S. Reynolds. Mechanical and Electrical Equipment for building . New York : John Wiley & Son, 1992.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-สกุล	นางสาว พัชราภรณ์ เหมือนศาสตร์
วัน/เดือน/ปี เกิด	20 มีนาคม 2522
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์
การศึกษา	2540-2543 ปริญญาบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ 2552-2554 กำลังศึกษาต่อปริญญามหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประสบการณ์การทำงาน	2548-ปัจจุบัน ตำแหน่งพนักงานราชการ โรงเรียนพูลเจริญวิทยาคม
ผลงานทางวิชาการ	การประชุมวิชาการ สาระศาสตร์ครั้งที่ 16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย