

การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
แสงสว่างในห้องเรียนในชนบท



นายอวิรุทธ์ อรุณพงศ์

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

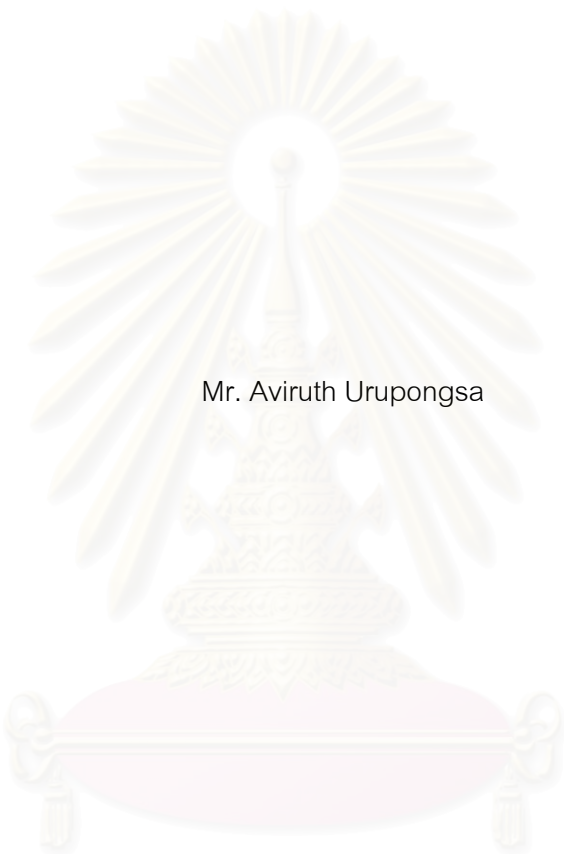
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0587-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DAYLIGHT UTILIZATION FROM CLERESTORY IN RURAL CLASSROOM



Mr. Aviruth Urupongsa

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirments
for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0587-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำเสนอธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้างส่วนบนมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียนในชนบท
โดย	นายอวิรุทธิ์ อรุณพงศ์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พีรวัส พัทธเสวต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหาร

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์พีรวัส พัทธเสวต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ

(อาจารย์พรพนชสิทธิ์ สุริโยธิน)

อวิรุทธ์ อรุพงษ์ : การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างในห้องเรียน
ในชนบท (DAYLIGHT UTILIZATION FROM CLERESTORY IN RURAL CLASSROOM) อ.ที่ปรึกษา:
อ.พิรัช พัทธเศวต, อ.ที่ปรึกษาร่วม: ศาตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญานุการ, 174 หน้า, ISBN 974-17-0587-5.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยร่วมในโครงการโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การออกแบบการใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียนในปัจจุบันที่ใช้ตำแหน่งช่องแสงด้านข้างเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถให้แสงสว่างที่เพียงพอได้ทั่วทั้งห้อง จึงต้องแก้ปัญหาโดยการใช้แสงประดิษฐ์ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็น เพราะในช่วงเวลาใช้งานปริมาณแสงสว่างจากภายนอกมีเพียงพอที่จะให้แสงสว่างภายในห้องเรียนได้

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียน โดยมีแนวคิดในการใช้แสงธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด และศึกษารูปแบบและสัดส่วนของช่องแสง โดยนำแสงธรรมชาติจากมุมสูงมาใช้เพื่อลดมุมตกกระทบในแนวตั้งฉากกับระนาบใช้งาน ซึ่งมุมลำแสงดังกล่าวต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาแสงแยงตาแก่นักเรียนและครูผู้สอน

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจาก ศึกษารูปแบบช่องแสงที่ใช้ภายในห้องเรียนรูปแบบต่างๆ เพื่อหาปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน ด้วยการวัดปริมาณแสงสว่างบนระนาบใช้งานภายในหุ่นจำลองที่ตั้งอยู่ในสภาพท้องฟ้าจริง ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00น. -16.00น. และวิเคราะห์ผลเพื่อพัฒนารูปแบบที่มีความเหมาะสมกับกิจกรรมภายในห้องเรียน ผลการศึกษาขั้นต้นพบว่าช่องแสงจากผนังด้านข้างเพียงอย่างเดียวไม่สามารถให้แสงสว่างได้เพียงพอทั่วห้อง การยกช่องแสงด้านข้างให้สูงขึ้นเพื่อให้แสงสว่างเข้ามาได้ลึกมากขึ้นมีผลกับการควบคุมความจ้าและแสงแยงตา การใช้หิ้งแสงให้เป็นส่วนช่วยสะท้อนแสงเข้ามาในห้อง ทำให้ปริมาณแสงสว่างภายในห้องลดลงเนื่องจากหิ้งแสงไม่ได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์และฝุ่นที่จะลดประสิทธิภาพของหิ้งแสง แต่การใช้ช่องแสงด้านข้างยังมีความสำคัญเพื่อเชื่อมต่อมุมมองพื้นที่ภายในและภายนอก การใช้ช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่ห่างจากผนังหลังห้องสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้ลึกมากขึ้นและยังสามารถใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านแสงสูงได้ เพราะในมุมที่สูงสายตามนุษย์สามารถรับความจ้าได้มากกว่าในระดับสายตาจึงทำให้แสงสว่างภายในห้องเพิ่มมากขึ้น

ผลการวิจัยด้านทิศเหนือเมื่อใช้ช่องแสงด้านข้างขนาด 1.00ม. สูงจากพื้น 0.90ม. ใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาด 0.60ม. สูงจากพื้น 3.20ม. ที่ระยะห่างจากผนังหลังห้อง 3.00ม. สามารถให้แสงสว่างที่เพียงพอตามมาตรฐาน ตั้งแต่เวลา 8.00น. -16.00น ส่วนการใช้ช่องแสงรูปแบบดังกล่าวในทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกนั้นต้องใช้ช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่ระยะ 4.00ม. จากผนังหลังห้องจึงจะให้แสงสว่างที่มีความสม่ำเสมอได้ทั่วห้อง ในช่วงเวลา 10.00น. - 14.00น. ในทิศใต้ 8.00น. -12.00น. ในทิศตะวันออก และ12.00น. - 16.00น. ในทิศตะวันตก ทั้งนี้ช่องแสงต้องไม่ได้รับอิทธิพลของแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์

จากการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งาน ในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุด ด้วยการ
การใช้ช่องแสงด้านข้างร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อให้แสงสว่างเข้ามาในอาคารได้ลึกมากขึ้น และยังสามารถใช้
ช่องแสงด้านข้างส่วนบนร่วมกับระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในอาคาร

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่ออนิสิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4374122525 MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: DAYLIGHT / DAYLIGHT FACTOR / DAYLIGHT FOR SCHOOL / SCHOOL

AVIRUTH URUPONGSA: DAYLIGHT UTILIZATION FROM CLERESTORY IN RURAL CLASSROOM. THESIS

ADVISOR: PIRAT PACHARASAWATE. THESIS COADVISOR: PROFESSOR Dr. SOONTORN

BOONYATIKARN, 174 pp. ISBN 974-17-0587-5

This thesis is a part of a group research of non air-conditioned elementary school design in the northeastern part of Thailand. Daylight utilization in classrooms has not been well considered for classroom design. Side windows and their position are not designed to give enough light, artificial light, therefore, has been used.

This study has been conducted to find out daylight utilization in classrooms. The highest advantage from daylight utilization and type of fenestration are considered. A clerestory, therefore, has been used to reduce the angle of incident that normal to working plane. The beam angle does not cause glare for instructors and student.

In the experiment, light measurement at horizontal planes in the model has been conducted at 8.00 a.m. - 16.00 p.m. to find out the illumination in the classroom. The measurement results were analyzed and used to design the appropriate model for classroom's activity. Results reveal that only side fenestration provides inadequate uniform illumination and fenestration in a high position causes uncontrollable brightness and glare. Moreover, light shelf or light reflector that reflex external illumination reduces the internal illumination since they shade the direct sunlight. Dust is another problem that reduces a light shelf's efficiency. However, the fenestration is selected because it links inside and outside views. The fenestration, therefore, has been adapted at the ceiling position, or called clerestory. The position is set back from the back of the classroom. This not only provides more light but also can be used with a high light transmission mirror since human's eyes can accept the light in a higher position than eyesight level.

From the study of the north direction, it was discovered that 1.00m. size of side window (at the height of 0.90m.) and 0.60m. size of the clerestory (at the height of 3.20m. and 3.00m. length) gives standard sufficient illumination from 8.00am.-16.00pm. In the south, east and west, the 0.60m. clerestory at the position of 4 meters from the back of the classroom gives the uniform illumination at 10.00 a.m. -14.00p.m. in south, 8.00 a.m. – 12.00p.m. in east, 12.00 p.m. – 16.00 p.m. in west. The clerestory, however, should be influenced by direct sunlight.

This thesis can be applied to take the most advantage from natural light by using both fenestration and clerestory in order that they can provide deeper light into a space. The clerestory, moreover, can be utilized along with lighting system to save energy in building.

Department.....Architecture.....

Student's signature.....

Field of study.....Architecture.....

Advisor's signature.....

Academic year...2001.....

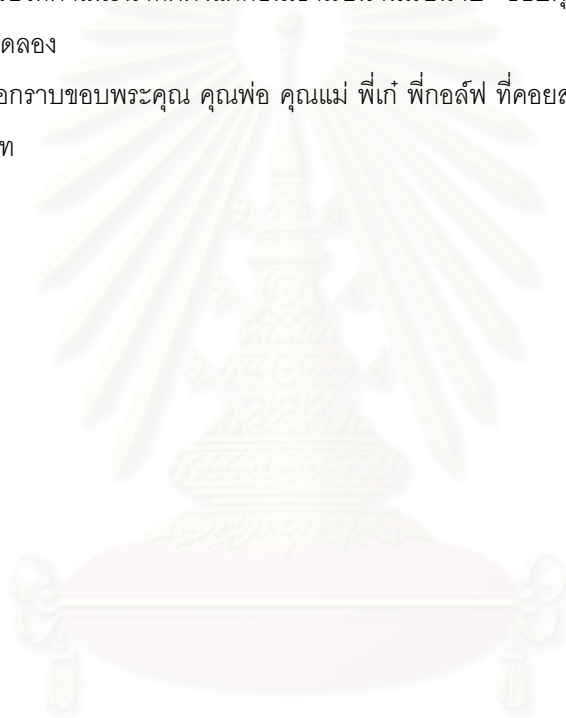
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ อาจารย์พิรวัส พัทธเสวต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยด้วยดีมาตลอด รวมไปถึงกรรมการและผู้ตรวจวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ทุกท่าน ดร.วรศักดิ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์พรรณชัชฎ์ สุริโยธิน ที่ได้คำแนะนำในการวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนทุนในวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆร่วมรุ่นทุกท่านที่ได้ทำงานด้วยกันมาตลอดหลักสูตร ขอขอบคุณพี่ทิพ พี่ไธศ ที่ช่วยการวิจัยครั้งนี้ด้วยความเต็มใจ ขอขอบคุณ พี่ปราง พี่หุ่ย และรุ่นพี่ทุกท่าน ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำที่ดีตั้งแต่ก่อนเข้าเรียนจนเรียนจบ ขอขอบคุณน้องเอมที่ช่วยวัดแสงกลางแดด ร้อนจนเสร็จสิ้นการทดลอง

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่เก้ พี่กอล์ฟ ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาจนจบปริญญาโท



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา และที่มาของปัญหาในการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 คำจำกัดความ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง	7
2.2 พฤติกรรมของแสง.....	9
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง.....	13
2.4 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง.....	16
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ	18
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์	20
2.7 การแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์	25
2.8 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า.....	28
2.9 สภาพท้องฟ้า.....	37
2.10 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ.....	41
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างและปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์.....	48
2.12 การให้แสงธรรมชาติในห้องเรียน.....	54
2.13 กรณีศึกษา.....	55
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การวิเคราะห์เลือกกรณีศึกษาที่ใช้ในการทดลอง.....	67
3.2 ลักษณะของหุ่นจำลอง.....	72
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	73
3.4 วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง และการตรวจสอบ.....	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	
4.1 ผลการทดลอง กรณีศึกษาแบบที่ 1-4 ช่องแสงด้านข้างที่ได้ทำการศึกษา.....	78
4.2 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ได้เลือกมาทดลองในทิศหลักทั้ง 4 ทิศ.....	94
4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองกับจากข้อมูลปริมาณแสงสว่างตลอดปี.....	149
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป.....	150
5.2 การประยุกต์ใช้งาน.....	153
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	159
รายการอ้างอิง.....	160
ภาคผนวก.....	162
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	174

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าความส่องสว่าง ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตรฐาน CIE.....	15
2.2 แสดงที่ตั้งของจังหวัดต่างๆที่สำคัญ ในประเทศไทยในแต่ละภูมิภาค ตามแนวละติจูด และ ลองจิจูด.....	21
2.3 แสดงที่ตั้งของเส้นแบ่งเวลาที่สำคัญของโลก.....	22
2.4 ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิต (Sky zenith illuminance) สำหรับท้องฟ้าใน ลักษณะOvercast sky , ZL = 0.409 ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์.....	30
2.5 แสดงค่า Daylight Factor ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ.....	48
2.6 แสดงค่าประสิทธิภาพผลค่าความสว่าง (Luminous efficiency) ของแสงสว่างธรรมชาติ หน่วยเป็น ลูเมน ต่อวัตต์.....	50
2.7 แสดงข้อจำกัดของความสามารถรับความส่องสว่างได้ของการมองเห็นในมุมต่างๆ.....	52
3.1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Typical Reflectance).....	75
4.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกรณีศึกษาที่ 1-4.....	81
4.2 แสดงช่วงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวระนาบ (DF _H) ของกรณีศึกษาแบบที่ 5-10 (ช่องเปิดทาง ด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)	89
4.3 แสดงจำนวนวันที่คาดว่าจะใช้งานได้ในปี.....	149
5.1 แสดงอัตราส่วนของตำแหน่งและขนาด ของช่องแสงด้านข้างต่อช่องแสงด้านข้างส่วนบน...	151

สารบัญญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ.....	7
2.2 สเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น เกิดการหักเหไม่เท่ากันของความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน.....	8
2.3 พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทบกับวัตถุ.....	9
2.4 การดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบบัวกลาง.....	9
2.5 การสะท้อนของแสงแบบ Specula Reflection.....	10
2.6 การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection).....	10
2.7 การสะท้อนของแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงา และแบบสะท้อนกระจาย..	11
2.8 แสงตกกระทบบัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน.....	12
2.9 แสงทะลุผ่านบัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย.....	12
2.10 ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux)	13
2.11 แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ตามกฎกำลังสองผกผัน ที่ระยะทางต่างๆ จากแหล่งกำเนิดแสง.....	16
2.12 ความเปรียบต่าง (Contrast) ความส่องสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียง ในการมองเห็นวัตถุ.....	17
2.13 สเปกตรัมที่มาจากของรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีความยาวคลื่นต่างกันสามลักษณะ.....	19
2.14 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อลติจูด (a_l , altitude) และมุมอะซิมูท (a_s , azimuth).....	20
2.15 ค่าของมุมต่างๆ มีใช้ในสมการ.....	31
2.16 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอลติจูด และ มุมอลซิมูท ของดวงอาทิตย์.....	34
2.17 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบตั้ง ตามมุมอลติจูด และมุมอลซิมูทของดวงอาทิตย์.....	35
2.18 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบนอน ในแต่ละมุมอลติจูด และมุมอลซิมูทของดวงอาทิตย์.....	36
2.20 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky.....	37
2.21 รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริง (Bearing Angle)	38
2.22 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky.....	40
2.23 ความส่องสว่างที่ระยะความลึกต่างๆ ของห้อง ด้วยวิธีการคำนวณแบบ Lumen Method.....	42
2.24 แสดง เดไลท์แฟคเตอร์.....	47
2.25 แสดงข้อจำกัดของความสามารถรับความส่องสว่างได้ของการมองเห็นในมุมต่างๆ.....	52
2.26 ภาพแสดงปริมาณแสงสว่างจากแนวระนาบและแนวตั้งที่ได้จากช่องแสงด้านข้างในระยะต่างๆของห้อง.....	53
2.27 แสดงปริมาณแสงสว่างของห้องเรียนที่ไม่เพียงพอกับความต้องการ.....	54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
2.28	บรรยายอากาศภายในห้องเรียน และรูปตัดของห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Sky light.....	55
2.29	บรรยายอากาศภายในห้องเรียน และรูปตัด, ผังพื้นของห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Monitor.....	56
2.30	ภาพแสดงรูปตัดของอาคารห้องสมุดที่ใช้ช่องแสงแบบ Monitor.....	56
2.31	ภาพแสดงการใช้ตัวสะท้อนแสงโค้งร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนแบบ Clerestory.....	57
2.32	รูปห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory.....	57
2.33	รูปตัดของห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory.....	58
2.34	บรรยายอากาศห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory.....	58
2.35	รูปตัด ผังพื้นและทัศนียภาพภายนอกของห้องเรียน.....	59
2.36	ภาพแสดงรูปตัดของอาคารที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory.....	59
2.37	ภาพแสดงรูปตัดของห้องสมุดที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory.....	60
2.38	ภาพแสดงรูปตัดของอาคาร ช่องแสงแบบ Saw tooth.....	60
2.39	ภาพแสดงรูปตัดของอาคารห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Saw tooth.....	61
2.40	ภาพแสดงช่องแสงด้านบนแบบ Clerestory.....	61
2.41	ภาพแสดงการใช้บานเกล็ดในการบังแสงอาทิตย์โดยตรงร่วมกับช่องแสงด้านบน.....	61
2.42	ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูง.....	62
2.43	ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูงที่ใช้การสะท้อนแสงของหลังคาฝั่งตรงข้ามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่าง.....	62
2.44	ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูงที่ใช้ฝ้าเพดานภายในเป็นตัวกระจายแสง.....	63
2.45	ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูง.....	63
2.46	ภาพแสดงการใช้ช่องแสงด้านบนแบบ Monitor ร่วมกับระบบระบายอากาศ.....	64
2.47	ภาพแสดงช่องแสงด้านบนที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง.....	64
3.1	ภาพแสดงผังพื้นของห้องเรียนทั่วไปที่ได้จากกรณีศึกษา.....	67
3.2	ภาพแสดงผังพื้นของห้องเรียนที่ได้ประยุกต์ขึ้นมา.....	68
3.3	ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 1.....	68
3.4	ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 2.....	69
3.5	ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 3.....	69
3.6	ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 4.....	69
3.7	แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 1 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ.....	70
3.8	แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 2 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ.....	70
3.9	แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 3 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ.....	70
3.10	แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 4 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ.....	71

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.11 เครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (Minolta T -10)	73
3.12 เครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (Minolta - Lux Meter).....	74
3.13 รูปแสดงตำแหน่งการวัดภายในหุ่นจำลอง.....	76
3.14 ภาพแสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงภายในหุ่นจำลอง.....	77
3.15 ภาพหุ่นจำลองที่ใช้ในงานวิจัย.....	77
4.1 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 5 ช่องแสงด้านข้าง ร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนเหนือฝ้าเพดาน ขนาดความกว้างช่องแสง 1.00 ม.	81
4.2 ภาพแสดงกรณีศึกษาแบบที่ 6-10.....	84
4.3 แสดงรูปแบบกรณีศึกษาที่ 8 ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิดของช่องแสงด้านข้างส่วนบน 1.00ม. , 0.80ม. , 0.60ม. , 0.40ม. และการวิเคราะห์หมุมป้องกันแสงแยงตาของทิศเหนือ.....	90
4.4 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 8 ที่ได้เลือกมาทำการทดสอบในทิศเหนือ ช่วงเวลา 8.00น. 10.00น. 12.00น. 14.00น. และ 16.00น.	93
4.5 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 8 ที่ได้เลือกมาทำการทดสอบในทิศใต้ช่วงเวลา 8.00น. 10.00น. 12.00 น. 14.00น. และ 16.00น.	104
4.6 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 8 ที่ได้เลือกมาทำการทดสอบในทิศตะวันตก และทิศตะวันออกช่วง เวลา 8.00น. 10.00น. 12.00น. 14.00น. และ 16.00น.....	115
4.7 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ได้ปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน.....	142
5.1 ภาพแสดงผังพื้นที่ และตำแหน่งช่องแสง ตำแหน่งกระดาน ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา.....	150
5.2 ภาพแสดงรูปตัด ตำแหน่งช่องแสงด้านข้างและตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน, ตำแหน่ง กระดาน ภายในห้องเรียนกรณีศึกษาของแต่ละทิศ.....	151
5.3 ภาพแสดงรูปตัด และสัญลักษณ์บอกตำแหน่งของช่องแสงภายในห้องเรียน.....	151
5.4 การซ้อนชั้นของห้องเรียนเพื่อให้ได้รับแสงธรรมชาติเท่ากันทุกชั้น.....	153
5.5 ผังพื้นที่อาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ชั้นที่ 1.....	154
5.6 ผังพื้นที่อาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ชั้นที่ 2.....	155
5.7 รูปตัดอาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	156
5.8 หุ่นจำลองอาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ใช้สำหรับวัดค่าความส่องสว่าง...	157

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ระบายนอน (DF_H) ของกรณีศึกษาทั้ง 4 แบบ ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.).....	79
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_V) บริเวณกระดาน ของกรณีศึกษาทั้ง 4 ทั้งแบบ ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.).....	80
4.3 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ระบายนอน (DF_H) ของกรณีศึกษาที่ 5 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.).....	82
4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_V) บริเวณกระดาน ของกรณีศึกษาแบบที่ 5 ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.).....	83
4.5 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระบาย (DF_H) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบน (ไม่รวมอิทธิพลของช่องแสงด้านข้าง) ในกรณีศึกษาที่ 5 - 10 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)	85
4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_V) บริเวณกระดาน ของกรณีศึกษาแบบที่ 5-10 (ไม่รวมอิทธิพลของช่องแสงด้านข้าง) ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.).....	86
4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระบาย (DF_H) ของช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในกรณีศึกษาที่ 5 - 10 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.).....	87
4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_V) บริเวณกระดาน ของกรณีศึกษาแบบที่ 5-10 ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)	88
4.9 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระบาย (DF_H) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาดต่างๆ (ไม่รวมอิทธิพลของช่องแสงด้านข้าง) ในกรณีศึกษาที่ 8 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)	91
4.10 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระบาย (DF_H) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาดต่างๆ เมื่อใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้าง ในกรณีศึกษาที่ 8 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)	91
4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง(DF_V) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาดต่างๆ เมื่อใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้าง ในกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)	92
4.12 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระบาย (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) กรณีศึกษาที่ 8 ที่ระยะต่างๆ เวลา 8.00น.....	94

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า
4.13 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ เวลา 8.00น.	95
4.14 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) และ ปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) กรณีศึกษาที่8 ที่ระยะต่างๆ เวลา 10.00น.....	96
4.15 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ เวลา 10.00น.	97
4.16 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) เวลา 12.00น.	98
4.17 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ เวลา 12.00น.	99
4.18 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) เวลา 14.00น.	100
4.19 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ เวลา 14.00น.	101
4.20 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) เวลา 16.00น.	102
4.21 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ เวลา 16.00น.	103
4.22 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 8.00น.	105
4.23 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 8.00น.....	106
4.24 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 10.00น.....	107
4.25 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 10.00น.....	108
4.26 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 12.00น.	109
4.27 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane)ของกรณีศึกษาที่8 ที่ ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 12.00น.....	110
4.28 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 14.00น.....	113

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า
4.73 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกึ่งกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 8.00 - 16.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในทิศหลักทั้งสี่ทิศ.....	148
5.1 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ชั้นล่าง เวลา 12.00น.	157
5.2 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ชั้นบน เวลา 12.00น.	158



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยร่วมโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยร่วมเพื่อสร้างเป็นโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วย

เทคนิคการออกแบบส่วนของอาคารและการเลือกใช้วัสดุ โดยมีแนวคิดในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุต่างๆของอาคารเพื่อนำประโยชน์จากธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างสูงสุด ซึ่งแบ่งเป็น

- การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร (อภิรักษ์ พรหมสิริแสง, 2544)
- การพัฒนามังวัสดุธรรมชาติพื้นดินเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายในอาคาร กรณีศึกษาอาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2544)
- การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน (ไพบุลย์ วัชรุ่งเรืองกิจ, 2544)

เทคนิคการออกแบบด้านแสงสว่างและการมองเห็น โดยมีแนวคิดในการออกแบบโดยแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงความสบายทางการมองเห็น เพื่อให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งเป็น

- การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในห้องเรียนในชนบท (อวิรุทธ์ อรุณงศา, 2544)
- การจัดวางแสงประดิษฐ์ให้สัมพันธ์กับผังห้องเรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (อานิก สกุลญานนทวิทยา, 2544)
- แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาและเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท (ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ, 2544)

เทคนิคการออกแบบเพื่อการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยนำปัจจัยธรรมชาติมาใช้ในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อเพิ่มเวลาที่อยู่ในสภาวะสบายของที่ตั้งอาคารให้มากขึ้น ประกอบด้วย

- การปรับสภาพแวดล้อมเพื่อเอื้อประโยชน์ต่อห้องเรียนธรรมชาติในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง (มนต์ชัย อัสซพันธ์, 2544)
- การลดอุณหภูมิวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารโดยวิธีการระเหย (เลิศลักษณ์ วุฒิสุวรรณ, 2544)

เทคนิคการประเมินอาคาร ประกอบด้วย

- การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร (สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ, 2544)
- การเปรียบเทียบทางเลือกการสร้างสภาวะน่าสบายทางด้านความร้อนในห้องเรียนไม่ปรับอากาศ (รุจิยา มุสิกะลักษณ, 2544)
- ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน (พิมลมาศ วรรณคนาพล, 2544)
- แนวทางในการประเมินค่าเสี่ยงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษา (จันสอน สุลีวง, 2544)
- การออกแบบโรงเรียนห้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิธีการธรรมชาติ (นรากร พุทธิไธษย์, 2544)

เป็นการออกแบบโรงเรียน ที่นำเอาเทคนิคต่างๆ ในการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ มาวิเคราะห์ ผสมผสาน เป็นแบบอาคารโรงเรียนที่มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATED RESEARCH OF NON AIR-CONDITIONED ELEMENTARY SCHOOL DESIGN IN NORTHEASTERN THAILAND

This thesis is a part of group research of non air-conditioned elementary school design in the northeastern part of Thailand consists of:

Concepts of building and building materials are to utilize and optimize the natural assets by considered:

- THE DEVELOPEMENT OF ROOF DESIGN AND AIR CIRCULATION SYSTEM TO REDUCE TEMPERATURE IN BUILDING (PROMSIRISANG, APITOUCH, 2001)
- A DEVELOPMENT OF BUILDING THERMAL WALL FROM LOCAL NATURAL MATERIALS , CASE STUDY : NON-AIR CONDITIONED STUDY ROOM NORTHEASTERN REGION , THAILAND (THONGKAMSAMUT, CHOOPONG, 2001)
- A BENEFIT OF THERMAL COMFORT FROM EARTH CONTACT SURFACE (WANGRUNGRUANGKIT, PAIBOON, 2001)

Concepts of lighting design and visual comfort are to integrated daylight and artificial light by considered:

- DAYLIGHT UTILIZATION FROM CLERESTORY IN RURAL CLASSROOM (URUPONGSA, AVIRUTH, 2001)
- THE PLANING OF ARTIFICIAL LIGHT REGARDING CLASSROOM PLAN FOR INCREASING ENERGY PERFORMANCE (SAKULYANONDVITTAYA, ARNIC. 2001)
- AN APPROACH TO IMPROVE VISUAL COMFORT IN CLASSROOM IN RURAL AREAS (TANGPOONSUPSIRI, TIPPAWAN, 2001)

Concept of modifying microclimate is to improve the comfort condition by natural assets considered:

- THE USE OF SITE TO MODIFY THERMAL COMFORT CONDITION FOR NATURE CLASSROOM IN LOWER NORTHEASTERN REGION (AUTCHAPUN, MONCHAI, 2001)
- EXTERIOR SURFACE TEMPERATURE REDUCTION THROUGH EVAPORATION PROCESS (VUTTISUWAN, LERTLUX, 2001)

Concept of evaluation school performance is considered:

- A METHOD TO DEVELOP AN ENVELOPE INDEX FOR ENERGY EFFICIENCY BUILDING. (LOHASUWAN,SUTEewan, 2001)
- COMPARATIVE SOLUTION TO ACHIEVE THERMAL COMFORT IN NON-AIR CONDITIONED CLASSROOM (MUSIKALUCK, ROUJIYA. 2001)
- THE EMERGY INDEX OF BUILDINGS AND BUILDING MATERIALS DURING CONSTRUCTION AND DEMOLITION (WANKANAPON, PIMONMART. 2001)
- AN APPROACH TO FORMULATE ACOUSTIC EVALUATION INDEX IN PRIMARY SCHOOL (SOULIVONG, CHANSONE, 2001)
- PASSIVE DESIGN FOR SCHOOL IN NORTHEASTERN REGION (PUTTHACO, NARAKORN, 2001)

is the design of school which integrated, analyzed and optimized all natural factors, and techniques to create appropriate school for better learning environment.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานในอาคารต่างๆมีมากขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงตามไปด้วย แนวทางหนึ่งในการลดการใช้พลังงานคือการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร โดยผ่านทางช่องเปิดต่างๆ และเนื่องจากแสงธรรมชาติเป็นแสงสว่างที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับแสงจากหลอดประดิษฐ์ และในระดับความสว่างที่เท่ากันแสงธรรมชาติจะมีความร้อนน้อยกว่า ดังนั้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจึงเป็นการช่วยลดพลังงานในการใช้ไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ได้โดยตรง

การออกแบบระบบแสงสว่างภายในห้องเรียนเป็นเรื่องหนึ่งที่มีผู้ออกแบบมักจะมีข้อจำกัดและไม่ให้ความสำคัญ การทำช่องเปิดเพียงเพื่อระบายอากาศและเปิดมุมมองออกสู่ภายนอกเท่านั้น แสงสว่างภายในห้องเรียนจึงต้องใช้แสงจากหลอดประดิษฐ์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทำให้ห้องเรียนทุกห้องต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการส่องสว่าง เมื่อห้องเรียนทุกห้องที่มีอยู่ทั่วประเทศเปิดไฟเพื่อในการเรียนพร้อมกันหมด ก็จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของชาติเป็นอย่างมาก นอกจากนี้การออกแบบที่ไม่ได้คำนึงถึงการใช้แสงธรรมชาติบางครั้งทำให้แสงสว่างภายในห้องเรียนไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่นแสงสว่างไม่เพียงพอหรือบางจุดมีมากเกินไปเกินความต้องการ และปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นตามมาอีกเรื่องหนึ่งคือการเกิดแสงบาดตา(Glare) ทำให้เกิดการรบกวนสายตาของนักเรียนและอาจารย์ผู้สอน เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการเรียนการสอนลดน้อยลงไปด้วย

การออกแบบให้มีการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติภายในห้องเรียน มีความเป็นไปได้สูงเพราะโรงเรียนทุกแห่งมีช่วงเวลาในการใช้งานเวลาเดียวกันคือตอนเช้า 8.00น.จนถึงช่วงเย็น 16.00น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สามารถนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในห้องเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายของจำนวนดวงโคมที่ลดน้อยลง และท้ายที่สุดห้องเรียนนี้ จะทำให้เด็กนักเรียนที่ใช้เรียนได้ซึมซับแนวความคิดเรื่องการประหยัดพลังงานไปในขณะที่เรียนหนังสือหรือในขณะที่ทำกิจกรรมอื่นๆภายในห้องเรียน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. ศึกษาหาตัวแปรที่มีผลต่อความสว่างภายในห้องเรียน เพื่อหาแนวทางในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียนผ่านทางช่องแสงด้านข้างส่วนบน
2. ศึกษาหารูปแบบและสัดส่วนของช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่เหมาะสมกับการใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน
3. ศึกษาหาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการส่องสว่างของแสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่ส่งผลให้เกิดระดับการส่องสว่างที่สม่ำเสมอและเหมาะสมกับการใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การออกแบบทางเลือกโดยใช้หุ่นจำลอง

ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. รูปแบบของช่องแสงด้านข้างส่วนบน
2. สัดส่วนและตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ใน ห้องเรียนให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง

ตัวแปรควบคุม

1. แสงธรรมชาติที่ใช้เป็นแสงกระจายจากท้องฟ้าเท่านั้น (Diffuse Light) เนื่องจากเป็นแสงที่มีความแปรปรวนของแสงที่อยู่ในช่วงแคบ และปริมาณความร้อนที่เข้ามามีน้อยกว่าแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sunlight)
 2. ศึกษาการให้แสงเข้าในทิศทางต่างๆทั้ง 4 ทิศ (ทิศเหนือ, ทิศใต้, ทิศตะวันออก, ทิศตะวันตก)
 3. กำหนดค่าการสะท้อนแสงภายในห้องเรียน บริเวณพื้นมีค่าการสะท้อนแสง 30% บริเวณผนัง 50% และบริเวณเพดาน 70%
 4. ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเป็นสนามหญ้าโล่ง ไม่มีเงาพาดจากอาคารข้างเคียง
 5. ห้องเรียนที่ใช้ในการทดลองเป็นห้องเรียนในระดับประถมศึกษา เป็นห้องสำหรับนักเรียน 50 คน มีขนาด 7X9 ม. สูง 3.20 ม. มีทางเดินด้านหน้า (Single Corridor) และเป็นอาคารเรียนชั้นเดียวที่สามารถทำช่องแสงด้านบนเพื่อนำแสงสว่าง จากด้านบนมาใช้ได้
 6. ระดับพื้นที่ใช้งาน (Working plane) คือระดับ 0.70 เมตร จากพื้น
- การกำหนดตำแหน่งที่ตั้ง
1. งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้การทดลองและการเก็บข้อมูลตั้งอยู่ที่ละติจูดที่ 14° N โดยถือเป็นตัวแทนของสภาพท้องฟ้าของภูมิภาคเขตร้อนชื้น

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยพิจารณาหาแนวทางในการนำแสงธรรมชาติผ่านทางช่องแสงด้านข้างส่วนบนเข้ามาใช้ในห้องเรียนในเขตร้อนชื้น การศึกษาลักษณะเฉพาะของห้องเรียนและการให้แสงแบบต่างๆ เพื่อหาข้อดีข้อเสียของแต่ละแบบ แล้วนำไปพัฒนาเป็นรูปแบบใหม่ และทำการทดลองโดยใช้หุ่นจำลองรูปแบบต่างๆเพื่อหารูปแบบของช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่เหมาะสมต่อการให้แสงธรรมชาติ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์และสรุปหาแนวทางที่เหมาะสมต่อไป

สำหรับขั้นตอนในการวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

- การศึกษาค้นคว้าและเก็บข้อมูล
 1. ศึกษาจากทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ทั้งที่มีอยู่ในประเทศไทยและต่างประเทศ เกี่ยวกับการใช้ช่องแสงด้านบนเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารที่มีลักษณะเหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น และศึกษาปัญหาต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้และการป้องกันแก้ไข
 2. ศึกษาค้นคว้าหาตัวแปรต่างๆที่มีผลกระทบต่อการควบคุมปริมาณและคุณภาพของแสงที่จะเข้ามาภายในอาคาร วิเคราะห์จากทฤษฎีและพฤติกรรมของแสง
 3. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น การโคจรของดวงอาทิตย์และมุมของแสงอาทิตย์, การคำนวณปริมาณแสงจากธรรมชาติ เป็นต้น
 4. ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างสมมติฐานในการวิจัย
 5. ศึกษารูปแบบของช่องแสงด้านบนที่เหมาะสมกับกิจกรรมภายในห้องเรียน โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้
 - ความเหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น
 - การให้ปริมาณแสงสว่างบริเวณกระดานที่เพียงพอต่อการใช้งาน
 - การให้ปริมาณแสงสว่างบริเวณโต๊ะเรียนที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งาน
 - การแก้ปัญหาเรื่องการเกิดแสงแยงตา (Glare) ที่เกิดจากตำแหน่งช่องแสงโดยตรง
 - ความสะดวกในการก่อสร้าง และการใช้งาน
 - ความสะดวกในการบำรุงรักษา
 6. วิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของรูปแบบช่องแสงแต่ละแบบ เพื่อเลือกเทคนิคที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิจัย
- การเตรียมการทดลอง
 1. ตัวแปรคงที่ กำหนดให้เป็นตัวแปรที่มีอยู่ในการทดลองทุกกรณี
 - 1.1 ประเภทของแสงธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse Light) เท่านั้น
 - 1.2 วัสดุที่ใช้ทำช่องแสงกำหนดให้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติการส่องผ่านของแสง 100% เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเมื่อนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุชนิดอื่นที่มีค่าการส่องผ่านที่แตกต่างกันออกไป
 - 1.3 ลักษณะของห้องเรียน เป็นห้องสำหรับนักเรียน 50 คน มีขนาด 7X9 ตร.ม. สูง 3.20 ม. (คณะทำงาน กองออกแบบและก่อสร้าง กรมสามัญศึกษา: 2531) มีทางเดินด้านหน้า (Single Corridor) และเป็นอาคารเรียนชั้นเดียวที่สามารถทำช่องแสงเพื่อนำแสงสว่างจากด้านบนมาใช้ได้
 - 1.4 วัสดุที่ใช้เป็นพื้นมีค่าการสะท้อนแสง 30% บริเวณผนัง 50% และบริเวณเพดาน 70%

2. ตัวแปรที่ทำการศึกษา

2.1 รูปแบบของช่องแสงด้านข้างส่วนบน

2.2 ขนาดและสัดส่วนของช่องแสงด้านข้างส่วนบน

● การจัดเตรียมอุปกรณ์

1. ตรวจสอบคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflection) โดยใช้การวัดค่าจริงของวัสดุที่ใช้ในหุ่นจำลองเพื่อควบคุมค่าการสะท้อนแสงให้มีค่าเท่ากับที่กำหนด
2. ตรวจสอบคุณสมบัติความทึบแสงของวัสดุ (Opaque) ที่นำมาสร้างหุ่นจำลอง เพื่อไม่ให้แสงจากภายนอกส่องผ่านวัสดุดังกล่าว
3. ตรวจสอบการเล็ดลอดของแสง (Leakage) ที่เข้ามาทางรอยต่อของหุ่นจำลอง โดยเมื่อปิดช่องแสงทั้งหมดภายในหุ่นจำลอง ค่าความสว่างที่วัดได้จะต้อง มีค่าเท่ากับ 0 lux

● การทำการทดลอง

1. ทำการทดลองโดยการวัดแสงภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง โดยเน้นลักษณะท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) เนื่องจากเป็นสภาพท้องฟ้าที่มีความถี่ในการเกิดสูงในประเทศไทย (กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา)
2. วัดค่าการส่องสว่างภายในหุ่นจำลองด้วยเครื่องมือ Lux Meter โดยทำการวัดที่ระนาบใช้งาน (Working Plane) 0.70 เมตร จากพื้น โดยวัดทุกๆระยะ 1 ตร.ม. ทั่วห้อง และวัดค่าการส่องสว่างบริเวณกระดานในแนวตั้ง โดยวัดทุกๆระยะ 0.50ม. ไปจนถึงระยะ 2.50ม.
3. เลือกรูปแบบช่องแสงที่เหมาะสมกับกิจกรรมภายในห้องเรียน เพื่อทำการทดลองตัวแปรต่างๆต่อไป
4. ทำการทดลองโดยการติดตั้งช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่เลือก(จากข้อ 3) โดยในขั้นแรกจะศึกษาขนาดของช่องแสงที่สามารถให้ปริมาณแสงสว่างเหมาะสมภายในห้องเรียน
5. พิจารณาขนาดช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่มีความเหมาะสม(จากข้อ 4) มาทำการติดตั้งภายในหุ่นจำลองห้องเรียนที่กำหนดเพื่อศึกษาตำแหน่งที่เหมาะสม และทำการวัดปริมาณแสงสว่าง
6. นำผลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณค่า Daylight Factor ในแต่ละจุดเพื่อทำการวิเคราะห์และสรุปผล

● วิเคราะห์ผล

1. วิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร
2. การวิเคราะห์และประเมินผลด้าน Visual Performance
 - 2.1 ระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) ภายในจะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่เพียงพอต่อความต้องการ

2.2 ความสม่ำเสมอของระดับส่องสว่าง (Uniformity of Illumination) ควรมีระดับ Daylight factor ที่สม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง

3. นำข้อมูล ปริมาณแสงสว่างจากสภาพท้องฟ้าจริงมาใช้ประกอบกับค่า Daylight Factor ที่วัดได้ในหุ่นจำลอง ทำให้ได้ค่าการส่องสว่างในอาคารจริง เพื่อนำมาพิจารณาความเหมาะสมในการออกแบบระบบแสงประดิษฐ์ต่อไป
4. คำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวม ในส่วนของการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติในการลดการใช้ไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ในหนึ่งปี

- สรุปผลงานวิจัย

1. สรุปทางเลือกจากผลการทดลองว่ารูปแบบช่องแสงด้านข้างส่วนบนแบบใดที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในห้องเรียน โดยพิจารณาจากระดับการส่องสว่างที่เพียงพอต่อความต้องการ โดยเป็นแนวทางพื้นฐานในการนำไปใช้ออกแบบห้องเรียนในที่ต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในห้องเรียน
2. สรุปความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง พร้อมเสนอแนวทางในการออกแบบต่อไป

- การนำเสนอผลงานวิจัย

1. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ขึ้นต่ำตามมาตรฐานที่กำหนด คือ 2.5% (IES: 1984) กับค่า Daylight Factor ที่วัดได้จากหุ่นจำลองทุกกรณีที่ทำการศึกษาทดลอง
2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำการศึกษาและค่าการส่องสว่างที่เกิดขึ้นเป็นลำดับขั้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

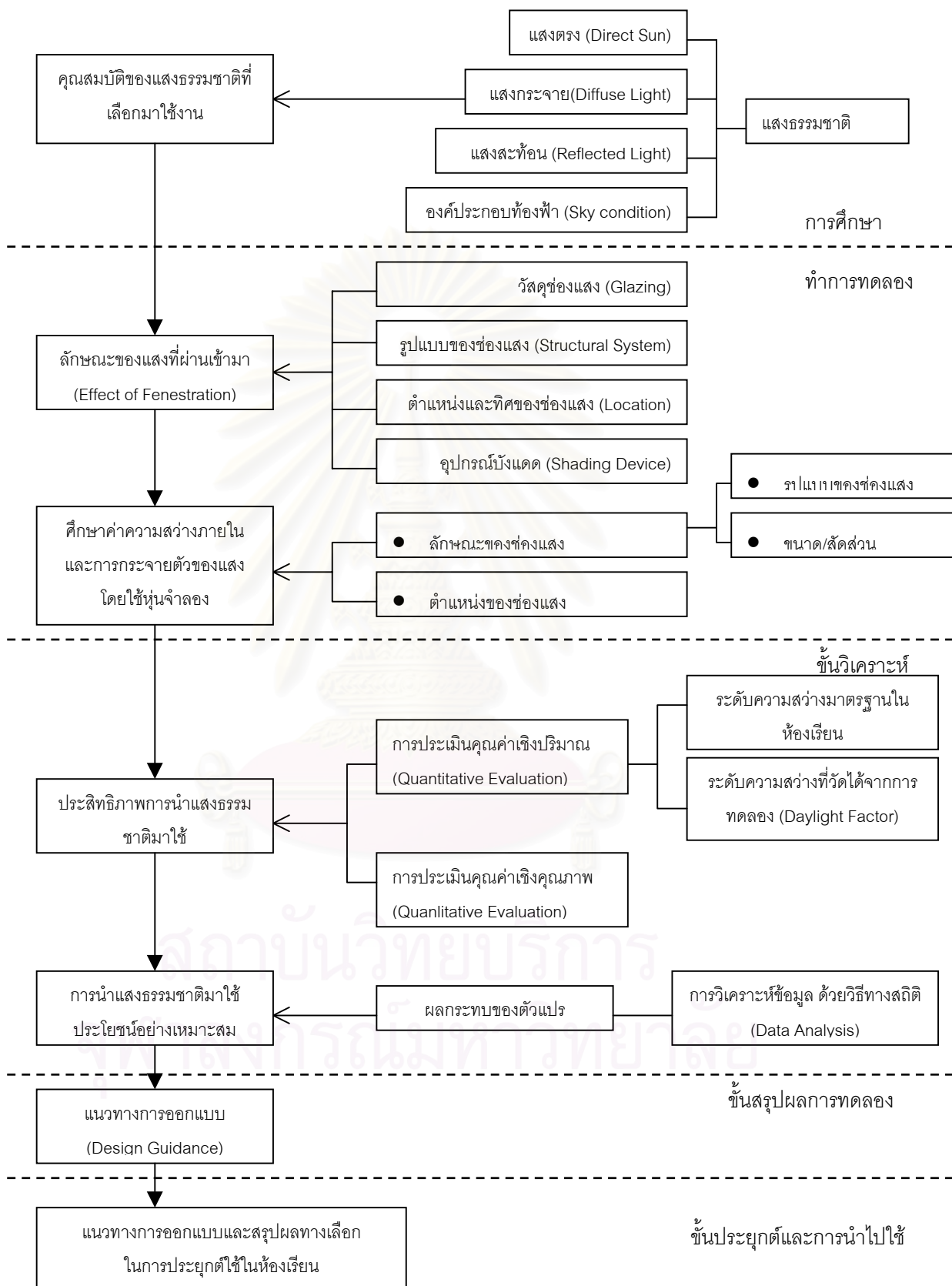
1. สามารถนำตัวแปรที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการออกแบบห้องเรียนที่ใช้แสงธรรมชาติ
2. สามารถหารูปแบบและสัดส่วนของช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่เหมาะสมกับการใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน
3. สามารถนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติในห้องเรียน และสามารถประยุกต์ใช้ในอาคารอื่นๆต่อไปในอนาคต

1.6 คำจำกัดความ

Clerestory that part of the building rising clear of the roofs or the other parts, whose walls contain windows for lighting the interior (Moore: 1991)

ช่องแสงด้านข้างส่วนบน (Clearstory) หมายถึง ช่องแสงในแนวตั้งที่อยู่บนส่วนหลังคาหรืออาคาร โดยเป็นส่วนที่สามารถให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาภายในอาคารได้

ผังแสดงแนวความคิดในการวิจัย



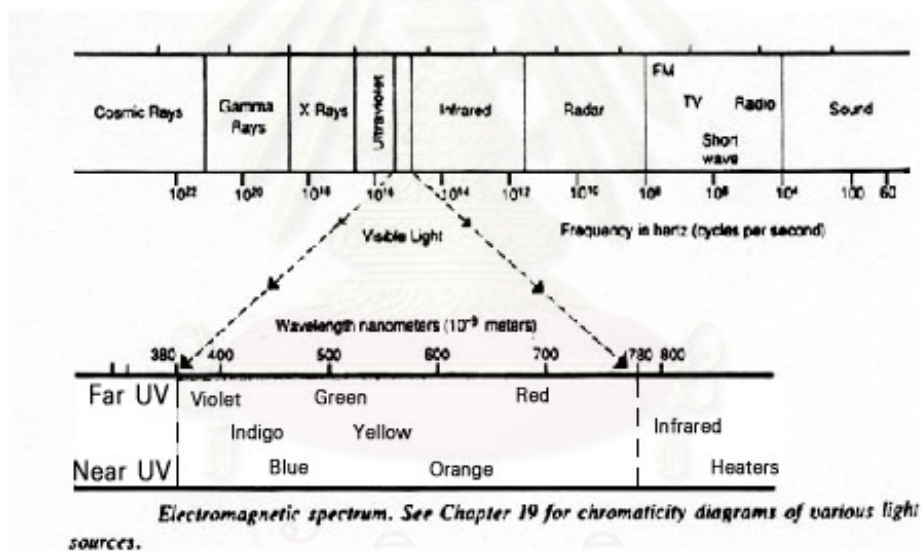
- ตัวแปรที่ทำการศึกษา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือความถี่หรือความยาว คลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน (พินูลย์ ดิษฐอุตม , 2521) หากเราพิจารณา แสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) ในคุณสมบัติของคลื่น แสงจะมีคุณสมบัติ ของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงาน ที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (micron) หรือ 380–760 นาโนเมตร (nanometers) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าวเมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา จะมีการกระตุ้น ของพลังงานกับประสาทตาปกติ ทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา

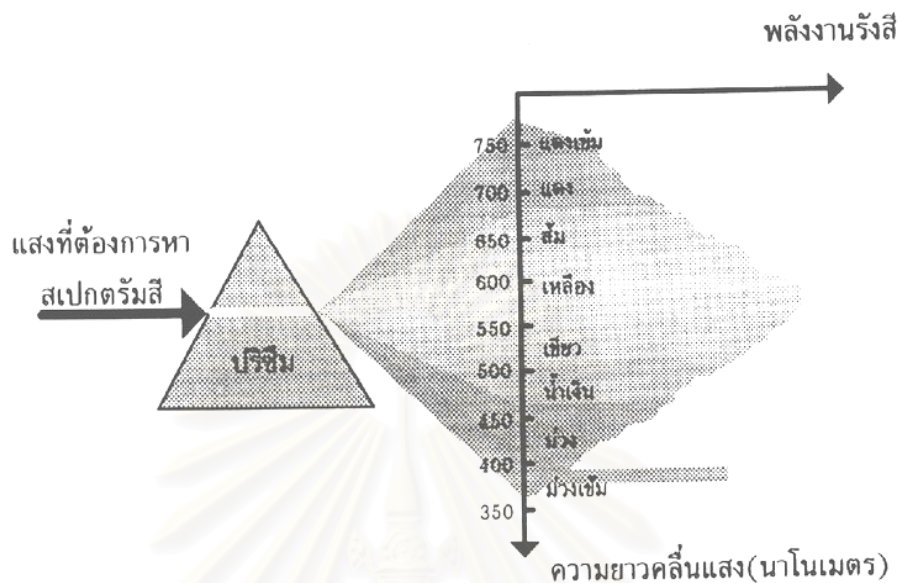


ภาพที่ 2.1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp 122

คลื่นแสง (Visible Light) จะประกอบไปด้วยสเปกตรัม(spectrum) ของแสงที่ระดับความถี่ที่แตกต่างกัน และในแต่ละสเปกตรัมของแสงจะมีความแตกต่างกันของสี ซึ่งความเข้มแสงของแต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป จะหาได้จากการผ่านแสงในช่วงที่ต้องการทดสอบผ่านปริซึมเพื่อให้เกิดการหักเหแสงของความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะทราบว่าแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ประกอบคลื่นความยาวแสงอะไรบ้าง และแต่ละความยาวคลื่นของแสงมีความเข้มที่แตกต่างกันอย่างไร ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีการหักเหเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสงจะเป็นตัวแสดงว่าแสงสีไหนมีมากกว่ากัน เช่น ถ้าแสงมีสีน้ำเงินมาก เมื่อส่องไปกระทบวัตถุที่มีสีน้ำเงินก็จะทำให้วัตถุสีน้ำเงินนั้นไม่เด่น แต่ถ้าวัตถุนั้น

มีสีแดง และแสงที่ตกกระทบวัตถุเป็นสีแดงเข้ม วัตถุสีแดงก็จะเด่นขึ้นมาทันที เนื่องจากสีแดงมีความเข้มของแสงมาก ดังนั้นถ้าต้องการให้แสงที่ส่องถูกวัตถุทุกสีเด่นก็ต้องมีสเปกตรัม ของสีที่มีความเข้มมาก แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มหมด เมื่อนำไปส่องวัตถุใดวัตถุหนึ่งก็จะเด่นหมด



ภาพที่ 2.2 สเปกตรัมของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น เกิดการหักเหไม่เท่ากัน

ของความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกัน

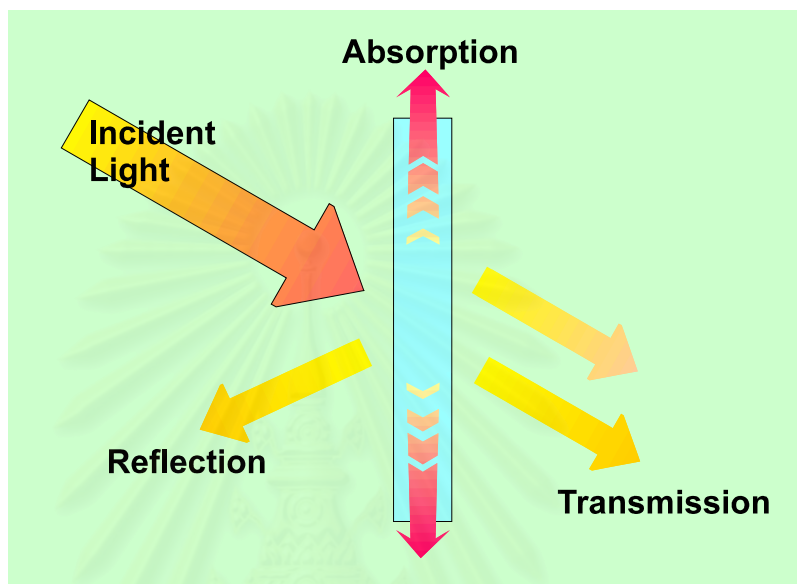
ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง, pp 1-20

แสงนอกจากจะมีช่วงของสเปกตรัมที่แตกต่างกันแล้ว แสงยังมีคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา (Electromagnetic Radiation) ที่มองเห็นได้ด้วยสายตามนุษย์ และ ความยาว คลื่นที่กันก็จะทำให้เห็นแสงสีที่แตกต่างกัน ตามีเซลล์โคนสามแบบ ที่สามารถตอบสนองกับสีแดง เขียว และน้ำเงิน และความสัมพันธ์ของสีทั้งสาม จะทำให้มองเห็นแสงสีต่างๆ ได้ การผสมของแสงสีต่างๆ จะมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้ทราบว่า การให้แสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับสถานที่หรือวัตถุต่างๆ ที่มีสีต่างกัน กันควรให้แสงสีแบบใด สีของแสงที่เกิดจากการผสมของสีทั้งสาม คือ แดง เขียว น้ำเงิน ในอัตราส่วนที่เท่ากันจะได้แสงสีขาว ดังนั้นเมื่อเราทราบว่าแสงสีขาวเกิดจากการผสมกันของสีต่างๆ เมื่อนำไปส่องวัตถุสีใดสีหนึ่ง ก็ให้ผลออกมาไม่เหมือนกัน แสงสีขาวที่เกิดจากการผสมสี ระหว่างสีน้ำเงิน และเหลือง เมื่อนำไปส่องวัตถุ ที่มีสีเหลืองวัตถุนั้นก็เด่นขึ้นมา แต่ถ้านำไปส่องวัตถุสีแดง วัตถุนั้นก็จะไม่เด่น

แสงเมื่อผ่านแผ่นกรองแสง ซึ่งเป็นวัตถุโปร่งแสง หรือโปร่งแสงที่มีสี แผ่นกรองแสงจะยอมให้แสงที่มีสีเดียวกันกับแผ่นกรองแสง หรือสีประกอบของแผ่นกรองแสงผ่านไปได้ และจะดูดกลืนแสงสีอื่นเอาไว้หรือแสงเมื่อส่องกระทบวัตถุ จะสะท้อนแสงที่เป็นสีเดียวกัน หรือสีองค์ประกอบออกมา และดูดกลืนแสงสีอื่นเอาไว้ ทำให้ไม่เห็นแสงสีอื่นเมื่อมองด้วยตาปกติ

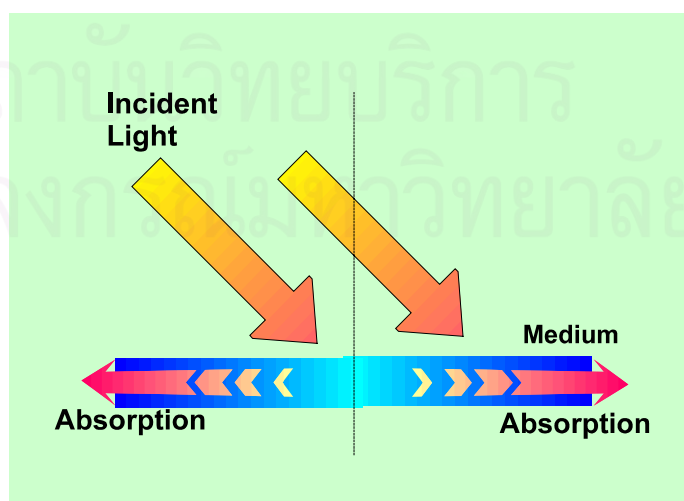
2.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง ผ่านตัวกลางต่างๆ (Medium) เช่น อากาศ น้ำ ของเหลว วัตถุโปร่งแสง วัตถุทึบแสง หรือละอองไอน้ำในชั้นบรรยากาศ ฯลฯ พฤติกรรมของแสง หรือแนวทางการเดินทางของแสง จะเปลี่ยนไป เมื่อกระทบกับตัวกลางเหล่านั้น พฤติกรรมของแสง เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆ จะมีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ



ภาพที่ 2.3 พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทบกับวัตถุ

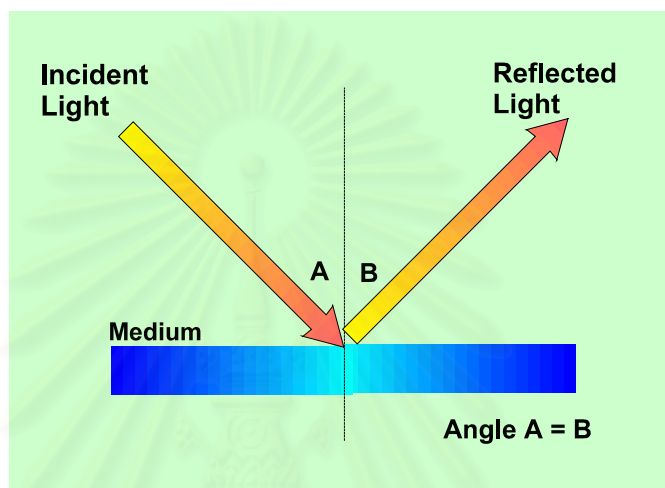
2.2.1 การดูดกลืน (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง (Medium) จะถูกดูดกลืนหายไปในตัวกลาง ซึ่งปริมาณการถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง จะขึ้นอยู่กับค่าการดูดกลืน แสงของตัวกลาง ที่แตกต่างกันไปในแต่ละวัสดุ โดยทั่วไปเมื่อแสงถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง จะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน จากในรูปของพลังงานแสง (Light) เป็นพลังงานความร้อน (Heat)



ภาพที่ 2.4 การดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง

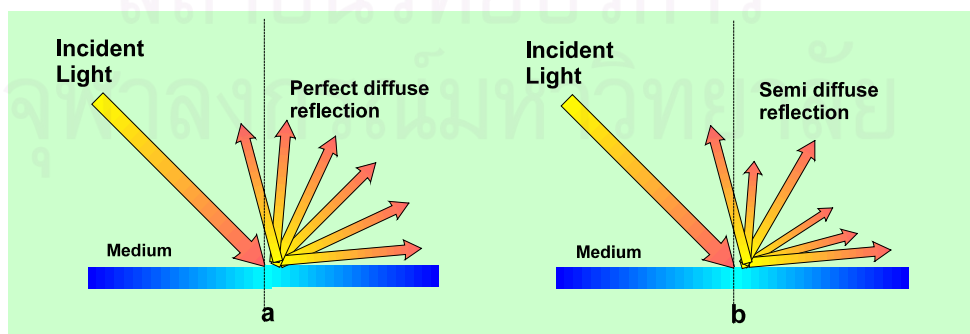
2.2.2 การสะท้อนของแสง (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลาง แล้วเกิดการสะท้อนแสงออกมาโดยที่ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง การสะท้อนของแสงมีหลายลักษณะ และสามารถจำแนกออกได้เป็นแต่ละลักษณะดังนี้

การสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา (Specula Reflection) เป็นลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบลงบนตัวกลางที่เป็นวัสดุทึบแสง (Opaque material) ที่มีผิวเรียบมัน (Polish surface) อาทิ กระจกเงา หรือผิวโลหะที่ขัดมัน แสงจะมีการสะท้อน ในลักษณะของมุมตกกระทบของแสง (Angle of Incident) เท่ากับ มุมสะท้อนของแสง (Angle of Reflection)



ภาพที่ 2.5 การสะท้อนของแสงแบบ Specula Reflection

การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) เป็นลักษณะที่เกิดขึ้น เมื่อแสงตกกระทบลงบนวัสดุหรือพื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือผิวด้าน แสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายไปในทุกทิศทาง มุมสะท้อนของแสงจะมีทิศทางที่ไม่แน่นอน และมุมตกกระทบของแสง จะไม่เท่ากับมุมสะท้อนของแสงออกมา หากผิววัสดุนั้น มีลักษณะไม่เรียบอย่างสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่สะท้อนออกมา จะเป็นแสงสะท้อน ที่มีการกระจายแสง อย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมสะท้อนเท่ากันทุกๆ มุมสะท้อน และมีค่าเฉลี่ยของแสงที่สะท้อนออกมาเท่ากัน แต่หากพื้นผิววัสดุไม่เรียบสม่ำเสมอ (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะ การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย (Semi Diffuse Reflection)

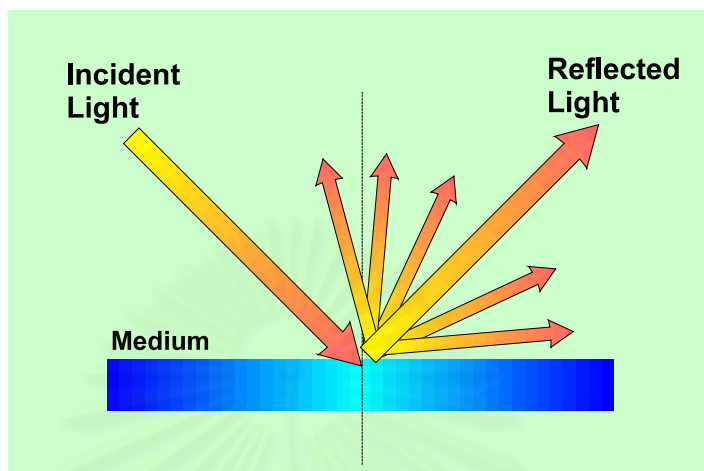


ภาพที่ 2.6 การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection)

(a) การสะท้อนแบบกระจกเงา Perfect diffuse reflection

(b) การสะท้อนแบบกึ่งกระจาย Semi diffuse reflection

การสะท้อนแสงแบบผสม (Combined Specular and Diffuse Reflection) เป็นลักษณะการสะท้อนแสงแบบผสม ที่เกิดจากการสะท้อนแสงแบบกระจกเงา (Specular) และแบบสะท้อนกระจาย (Diffuse Reflection) ซึ่งสภาพพื้นผิวโดยทั่วไปจะพบการสะท้อนแสงในลักษณะนี้มากที่สุด



ภาพที่ 2.7 การสะท้อนของแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงา และแบบสะท้อนกระจาย

2.2.3 การส่องผ่าน (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อกับด้านใดด้านหนึ่งของตัวกลาง (Medium) แล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของตัวกลาง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติของตัวกลางที่แสงส่องผ่านแล้ว จากคุณสมบัติของแสง มุมที่แสงตกกระทบตัวกลาง จะเท่ากับมุม ที่แสงสะท้อนออก และปริมาณของแสงจะต้องคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงกระทบตัวกลางชนิดโปร่งแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลางอีกส่วนจะสะท้อนกลับ ส่วนที่เหลืออีกส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านออกมาสามารถอธิบายด้วยสมการ

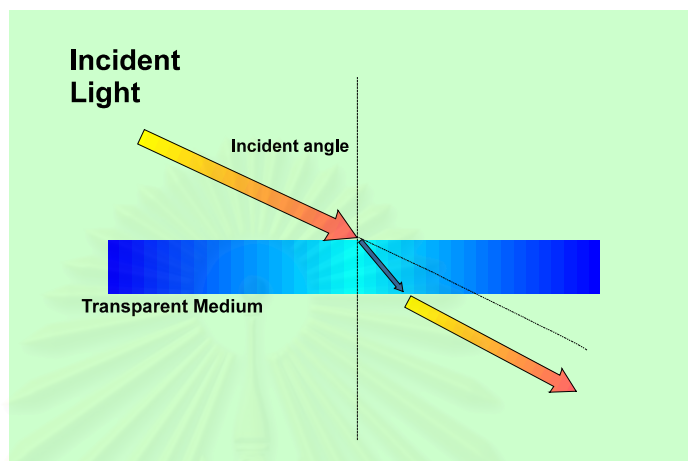
$$\text{ปริมาณแสงทั้งหมด} = \text{ปริมาณแสงที่ถูกดูดซึม} + \text{ปริมาณแสงสะท้อน} + \text{ปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่าน}$$

(Absorption) (Reflection) (Transmission)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

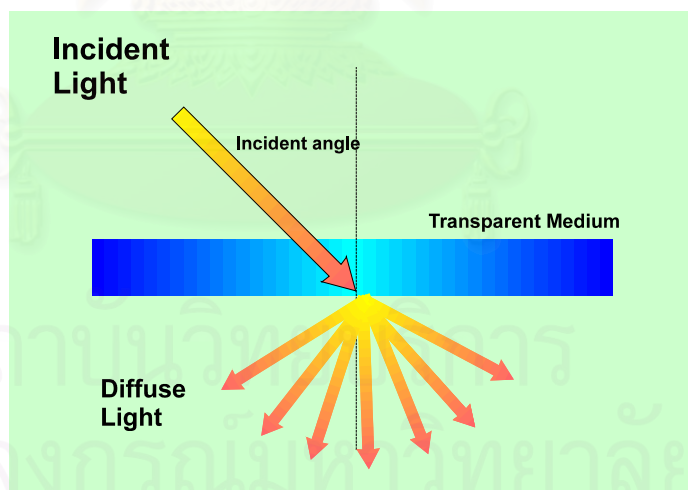
ชนิดของตัวกลางที่แสงส่องทะลุผ่านได้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ตัวกลางชนิดโปร่งใส (Transparent Medium) การส่องผ่านในลักษณะนี้ จะมีการหักเห (Refracted) ของแสงเกิดขึ้น หรือมีการเปลี่ยนทิศทางของแสง (Bent) ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลาง โดยสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดอีกด้านหนึ่งได้อย่างชัดเจน ตัวกลางประเภทนี้อาทิกระจกใส เป็นต้น



ภาพที่ 2.8 แสงตกกระทบตัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน

ตัวกลางชนิดโปร่งแสง (Translucent Method) การส่องผ่านของแสงในลักษณะนี้ จะเป็นแบบกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงในอีกด้านหนึ่งได้



ภาพที่ 2.9 แสงทะลุผ่านตัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย

การส่องผ่านของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่แสงตกกระทบมีค่าดัชนี การหักเหของแสงมากกว่า สภาพโดยรอบของวัสดุนั้น เช่น กระจกมีค่าดัชนีการหักเห 1.520 ซึ่งมากกว่าอากาศโดยรอบที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นแสงจะส่องทะลุผ่านกระจกออกมาได้ แต่เมื่อแสงผ่านตัวกลางผิวเรียบจะเกิดการหักเห หรือสะท้อนกลับ การหักเหหรือสะท้อนกลับของแสงจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ถ้ามุมตกกระทบของแสงน้อย แสงก็จะผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้ามุมตกกระทบของแสง มีค่ามากถึงค่าหนึ่ง แสงจะไม่ผ่านตัวกลางและไม่สะท้อนกลับด้วย (ในกรณีนี้มุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต) และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงจะสะท้อนออกมา

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ และมุมสะท้อนสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.1)$$

เมื่อ n_1, n_2 = ดัชนีการหักเหของแสง ของวัสดุ 1 และ 2 ตามลำดับ

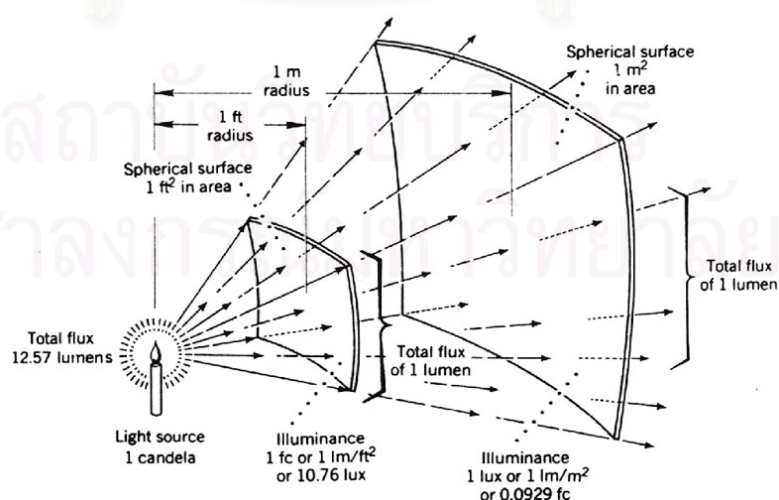
θ_1 = มุมตกกระทบของแสง

θ_2 = มุมสะท้อนของแสง

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง (Illuminance Theory)

แสงเมื่อส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง และตกกระทบกับวัตถุ หรือพื้นที่ใดๆ เป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา จะทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นที่แสงสะท้อนออกมา แต่ถ้าวัตถุนั้นไม่มีการสะท้อนของแสง ก็จะไม่สามารถมองเห็นวัตถุนั้นๆ ได้ ซึ่งปริมาณแสงที่ตกกระทบกับวัตถุ หรือตกกระทบพื้นที่นั้นๆ เรียกว่าการส่องสว่าง หรือความสว่าง (Illuminance) ของแสง

2.3.1 ปริมาณแสง (Luminous Flux) เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ ในรูปของความเข้มของการส่องสว่าง หรือกำลังการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง(Power of Light Source)ในรูปของเส้นแรงปริมาณแสงที่เปล่งแสงออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ มีหน่วยเป็น ลูเมน (Lumen)



ภาพที่ 2.10 ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux)

Solid angle (θ) เป็นการวัดส่วนพื้นที่ผิวของทรงกลม หนึ่งหน่วยที่สมมติเป็นทรงกรวย โดยมีส่วนแหลมสุด หรือ โคนของกรวยที่จุดกำเนิดแสงหรือศูนย์กลางของวงกลมนั้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของ ทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆ ยกกำลังสองมีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian)

$$\text{Solid angle } (\theta) = A / R^2 \text{ steradian(2.2)}$$

เมื่อ $A =$ พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

$R =$ รัศมีของทรงกลม

แคนเดลา (Candela) ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้ม ของการส่องสว่าง บนพื้นผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลตินัม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุม ที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

2.3.2 ความส่องสว่าง (Illuminance) หมายถึง ความสว่างของปริมาณแสง 1 หน่วย ที่ตกกระทบลง บนพื้นที่ใดๆ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit of area) หรือ ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยตาราง เมตร (หรือ ต่อ 1 ลักซ์) ซึ่งเป็นการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงภายในวงกลม เมื่อทรงกลมนั้นมีรัศมี 1 ฟุตหรือ 1 เมตร ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งตกกระทบลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่ได้ จะเท่ากับหนึ่งลูเมนต่อตารางฟุต (1 foot-candle) หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (foot-candle) ในทำนองเดียวกัน หากทรง กลมนั้น มีขนาดรัศมีจะเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตรหรือ 1 ลักซ์ ความส่องสว่างในหน่วยของลักซ์ (Lux) เมื่อเทียบกับในหน่วยของ ฟุตแคนเดิล (foot-candle)

$$1 \text{ Lux} = 10.76 \text{ footcandle (หรือประมาณ 10 ฟุตแคนเดิล)}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐานความส่องสว่างสำหรับพื้นที่และการทำงานต่างๆกัน ตามมาตรฐาน CIE (International Commission on Illumination)

ความส่องสว่าง	ชนิดพื้นที่ใช้งาน
20 – 30 – 50	ทางเดิน และ พื้นที่ใช้งานภายนอก
50 – 100 – 150	ทางเดินภายใน และการแวะผ่านระยะเวลาสั้นๆ
100 – 150 – 200	ห้องที่ไม่ได้ใช้ทำงานแบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน
200 – 300 – 500	งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่นในโรงงาน ช่างงานขนาดใหญ่
300 – 500 – 750	งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่นงานสำนักงาน
500 – 750 – 1000	งานที่ใช้สายตามาก เช่นงานเขียนแบบ
750 – 1000 – 1500	งานที่ใช้สายตามากๆ เช่นห้องผ่าตัดของแพทย์
1000 – 1500 – 2000	งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ
มากกว่า 2000	งานที่ใช้สายตาเพื่อการทำงานมากเป็นพิเศษ

ตาราง 2.1 แสดงค่าความส่องสว่าง ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตรฐาน CIE

ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , Page 1-6

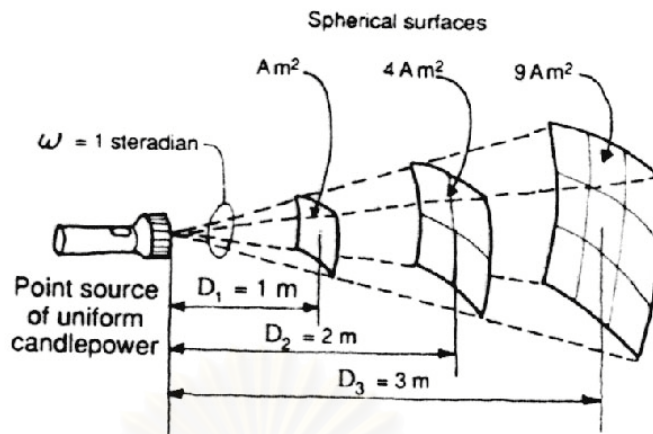
มาตรฐาน CIE ได้กำหนดค่าความส่องสว่างจากตารางออกเป็นสามค่า โดยค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีกสองค่าใช้ในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีความแตกต่างออกไปอาจจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าขึ้นกับสภาพต่างๆดังนี้

- ถ้าการสะท้อนแสงของผิวผนัง มีค่าคอนทราสต์ (Contrast) ต่ำกว่าปกติ ให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าเป็นงานที่ต้องการความละเอียดเพื่อให้งานมีความถูกต้องมากขึ้น อาจจะใช้ค่าความส่องสว่างที่มากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ควรจะใช้ค่าความส่องสว่างที่สูงขึ้น
- ถ้าผู้ใช้งานเป็นผู้สูงอายุ หรือบุคคล ที่มีความผิดปกติทางสายตา ให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น

2.3.3 การส่องสว่าง (Illumination) เป็นค่าการส่องสว่างของแสงบนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงและจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสองที่เกิดจากระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (foot-candle) มีสมการดังนี้

$$E = I / d^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

- เมื่อ
- E = ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc)
 - I = ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)
 - d = เป็นระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณา กับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น เมตร หรือฟุต



ภาพที่ 2.11 แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 cd ตามกฎกำลังสองผกผัน ที่ระยะทางต่างๆ จากแหล่งกำเนิดแสง

ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) คือปริมาณแสง ที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงใน (Solid Angle) ใดๆ ในทิศทางหนึ่งๆ แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยฟลักซ์ความสว่าง (Luminous Flux) ออกมารอบทิศทางเรียกว่าความเข้มความส่องสว่าง (Luminous Intensity) มีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen) ซึ่งจะแสดงถึงค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ หรือบางที่เรียกว่ากำลังการส่องสว่าง (Candle Power) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela) หรือลูเมนต่อสเตอเรเดียน (Lumen per steradian) ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเล็กมาก เหมือนแหล่งกำเนิดแสงนั้นเป็นจุด (Point source)

หากพิจารณานำแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทาง เท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (lumen) และเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ เท่ากับ 12.57 ลูเมน

2.4 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง

2.4.1 ความจ้า (Brightness) หรือความสว่าง (Luminance) เมื่อแสงส่องกระทบถูกวัตถุใดๆ ส่วนหนึ่ง จะถูกดูดกลืนอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตาของเราทำให้เกิดการเห็นวัตถุนั้นๆ หากแสงที่เข้าสู่ตามเรามีค่าความสว่างมากจะเรียกว่าความจ้าของแสงสว่างประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก คือความสามารถในการสะท้อนหรือส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุใดๆ ทำให้วัตถุนั้นเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงและความสามารถในการปรับตัวของสายตา

ความจ้า จะเป็นปริมาณที่เกิดขึ้นระหว่างความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ที่มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Foot-Lambert) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$FL = Fc \times \rho \dots\dots\dots(2.4)$$

$$FL = F_c \times \tau \dots\dots\dots(2.5)$$

- เมื่อ FL = ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต
- F_c = ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล
- ρ = ค่าการสะท้อนของแสงของวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)
- τ = ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

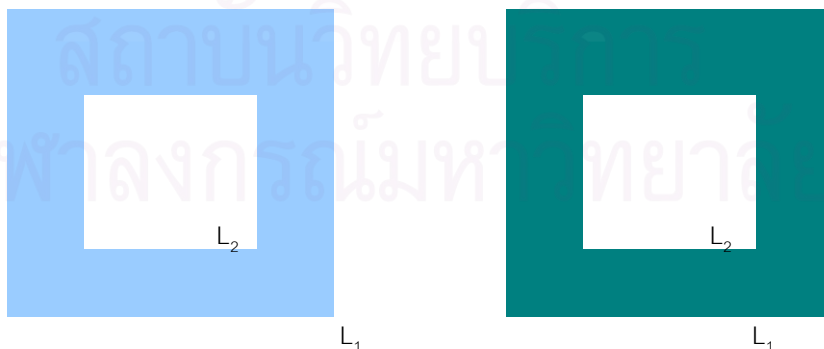
2.4.2 ความเปรียบต่าง (Contrast) คือค่าความส่องสว่างของวัตถุ หรือเหตุการณ์ที่ต้องการมอง เมื่อเทียบกับความสว่างของสภาพรอบข้าง ยิ่งมีความเปรียบต่างมาก การมองเห็นวัตถุนั้นก็จะง่ายขึ้นในขณะที่ความต้องการปริมาณแสงและเวลาในการรับภาพจะน้อยลง เช่น วัตถุสีขาวบนพื้นสีดำจะมองเห็นได้ง่ายกว่า วัตถุสีดำบนพื้นสีดำหรือสีเข้ม ซึ่งมีความเปรียบต่างน้อย อย่างไรก็ตามหากเหตุการณ์ที่เราพิจารณามีค่าความเปรียบต่างมากเกินไป เมื่อเทียบกับสภาพรอบข้าง ก็จะทำให้สายตาเกิดการปรับตัวมากเกินไป และอาจเป็นผลร้ายกับสายตาได้ ซึ่งลักษณะการที่สายตาต้องปรับตัวอย่างรวดเร็ว เราจะเรียกความสว่างในลักษณะนี้ว่า แสงจ้า (Glare)

ความเปรียบต่างสามารถกำหนดเป็นอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุ และของสภาพรอบข้างของวัตถุนั้นๆ เมื่อพิจารณาจากจุดสังเกต ได้ดังนี้

$$C = (L_2 - L_1) / L_1 \dots\dots\dots(2.6)$$

- เมื่อ C = ความเปรียบต่าง (Contrast)
- L₁ = ค่าความสว่าง (Luminance) ของสภาพแวดล้อม
- L₂ = ค่าความสว่างของวัตถุ

ค่าความเปรียบต่างยิ่งมาก การมองเห็นวัตถุก็จะง่ายขึ้น แต่หากค่าความเปรียบต่าง มีค่ามากเกินไปก็จะเกิดเป็นแสงจ้า (Glare)



ภาพที่ 2.12 ความเปรียบต่าง (contrast) ความส่องสว่างของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพข้างเคียง ในการมองเห็นวัตถุ
ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , Page 1-11

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

2.5.1 แหล่งกำเนิดแสงและการนำไปใช้งาน

วันและฤดูกาลที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้นจะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทางและตำแหน่งต่างๆ ของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ แต่อย่างไรก็ตามนอกจากรูปแบบที่แน่นอนแล้วยังมีลักษณะของรูปแบบที่ไม่แน่นอนของแสงธรรมชาติที่ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ด้วย ซึ่งจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และมวลภาวะปริมาณ ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกมากกว่าร้อยละ 40 จะเป็นคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่นแสงที่ตามองไม่เห็น ได้แก่แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต(Ultraviolet) ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าและอินฟราเรด(infrared) ที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าคลื่นแสง เมื่อแสงธรรมชาติตกกระทบพื้นผิวต่างๆ ก็จะถูกดูดซับและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในทันที ซึ่งจะมากหรือน้อยตามความยาวและความถี่ของคลื่นแสงและสภาพบรรยากาศของโลกที่แสงส่องผ่าน เนื่องจากแสงจะเกิดการกระจายตัวและแปรเปลี่ยนเมื่อกระทบกับบรรยากาศในชั้นต่างๆโดย Commission International de l'Eclairage (CIE) ได้มีการแบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติ ออกเป็นประเภทต่างๆตามแหล่งกำเนิดแสง ได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

- แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์

การหมุนของโลก ตามแกนโลกที่เอียงตามมุมต่างๆ นั้น จะมีความสำคัญต่อการเกิดของแสงธรรมชาติ จากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ ในตำแหน่งต่างๆ บนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้นโลก เราจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของท้องฟ้าจากพื้นโลกจาก มุมอะติจูด (Solar Altitude), a_s เป็นมุมในแนวตั้ง ที่จะบอกมุมเงยของดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับระดับพื้นราบ มุมอะซิมูท (Solar Azimuth), a_z เป็นมุมในแนวขนาน ที่จะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เมื่อวัดจากแกนในแนวทิศใต้ เป็นทิศเริ่มต้น ที่ 0 องศา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือที่ 180 องศา และ -180 องศา

- แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า

การส่องผ่านของแสงอาทิตย์ ผ่านบรรยากาศในชั้นต่างๆ จะเกิดการกระจายตัวของแสงไปทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่น ละอองไอน้ำ และสารแขวนลอยต่างๆ ในแต่ละชั้นบรรยากาศ การกระจายตัวของแสงในท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ทำให้เกิดเป็นลักษณะต่างๆ ของท้องฟ้าได้ ดังนี้

1. ท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)
2. ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly and Cloudy sky)
3. ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)

ซึ่งท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly and Cloudy Sky) จะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงสว่างในท้องฟ้าอย่างรวดเร็ว

- แสงธรรมชาติจากพื้นดิน

การสะท้อนของแสงจากพื้นดิน นับว่ามีความสำคัญต่อออกแบบด้วยแสงธรรมชาติ และเช่นเดียวกับแสงที่เกิดจากการสะท้อนจากเพดาน และผนังภายในตำแหน่งต่างๆของห้อง แสงที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นดิน เข้าสู่ช่องเปิดของอาคารนั้นจะมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10-15 ของปริมาณแสงทั้งหมดที่ผ่านช่องเปิดของอาคาร ซึ่งปริมาณแสงสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดอาคารจะมากหรือน้อยตามลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อน

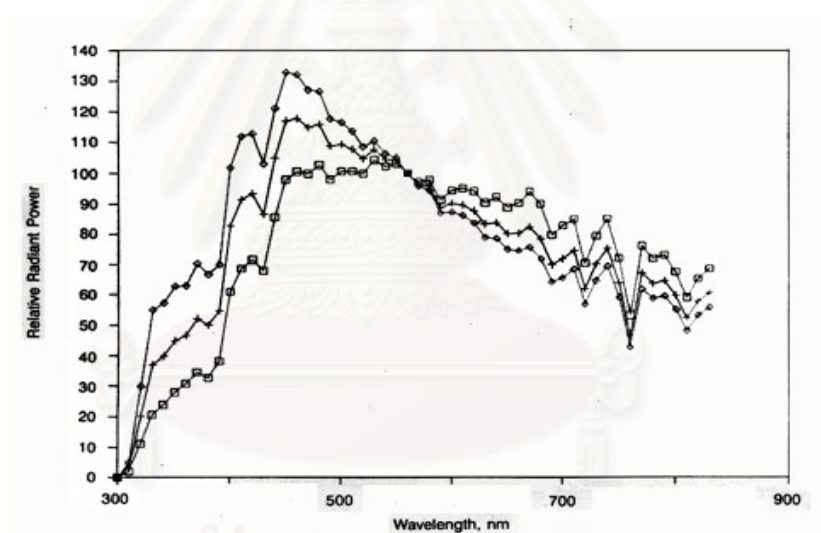
แสง หากพื้นผิวเป็นหิมะ หรือทราย หรือพื้นผิวที่มีสีขาวหรือสีอ่อนปริมาณของแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคารก็จะมากขึ้นกว่าค่าเฉลี่ยปกติ

หากปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคารมีมากเกินไปจนความจำเป็นต่อการใช้งานก็อาจจะควบคุมปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านเข้าสู่อาคารด้วยอุปกรณ์บังแดดชนิดต่างๆ ตามความจำเป็น

2.5.2 การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน

การคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆนั้นจะมีความยุ่งยากในการคำนวณมากกว่าการคำนวณแสงที่เกิดจากแสงจากการประดิษฐ์ การกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติที่ตกกระทบช่องเปิด (Window and Skylight) จะต้องคำนึงถึงช่วงเวลาต่างๆ ของท้องฟ้า และดวงอาทิตย์ในการคำนวณด้วย ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์ และแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร

ส่วนของการใช้งานแสงธรรมชาตินั้นจะกล่าวถึงปริมาณของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของ วัน เวลา และสภาพท้องฟ้าในขณะนั้นๆ ซึ่งการศึกษาทางด้านแสงธรรมชาติ ได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลอย่างจริงจังมามากกว่า 60 ปีแล้ว และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาก็สามารถนำมาพยากรณ์ และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่ออธิบายถึงความสว่างจากแสงธรรมชาติได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 2.13 เปรียบเทียบที่มาจากของรังสีดวงอาทิตย์ ที่มีความยาวคลื่นต่างกันสามลักษณะ

ที่มา : Daylighting, Daylight Sources and Availability

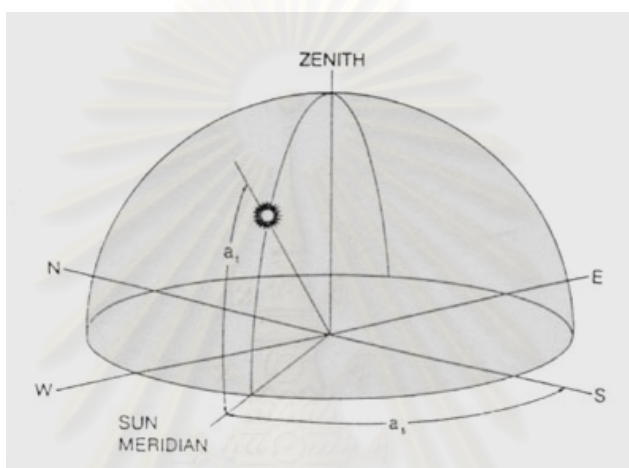
การนำแสงธรรมชาติไปใช้งานจะต้องศึกษาถึงข้อมูลและองค์ประกอบต่างๆ ที่อธิบายในข้างต้น ซึ่งในการคำนวณนั้น จะไม่สามารถอธิบายลักษณะของปริมาณแสง และความเข้มของแสง ได้อย่างแม่นยำ แต่ค่าที่ได้จะเป็นค่ากลาง เนื่องจากเกณฑ์ในการคำนวณจะให้ผลของการคำนวณในลักษณะกว้างๆ ซึ่งในความเป็นจริงค่าความส่องสว่างที่วัดจริงในช่วงเวลานั้นๆ จะแตกต่างจากค่าที่คำนวณตามข้อกำหนดต่างๆของการนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน อย่างไรก็ตามค่าที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาขณะนั้นจะมีค่าเฉลี่ยมากกว่าสองเท่า หรือน้อยกว่าครึ่งของค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการออกแบบ

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

การคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งานในแต่ละบริเวณนั้น จะเริ่มต้นจากการทิศทางตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบอื่นๆ ดังนี้

- ที่ตั้งตามตำแหน่งเส้นรุ้งและเส้นแวง (Latitude and Longitude of the site)
- วันตามปีปฏิทิน (Day of the year, Julian date)
- เวลาท้องถิ่น (Local time)

โดยที่ เวลาท้องถิ่น (Local time) จะแปรเปลี่ยนมาจากเวลาที่แท้จริงของดวงอาทิตย์ (Solar time) และมุมต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ จะเป็นมุมเรเดียน (Radian) ที่อธิบายถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2.14 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุม อลติจูด (a_s , altitude) และมุมอะซิมุมุท (a_l , azimuth)

ที่มา : Daylighting, Daylight Sources and Availability

2.6.1 ตำแหน่งของที่ตั้ง ตำแหน่ง และที่ตั้งของบริเวณที่จะศึกษานั้นจะถูกกำหนดขึ้นจาก เส้นรุ้ง (Longitude, l) และ เส้นแวง (Latitude, L) ที่มีอยู่ และตำแหน่งของเส้นรุ้งและเส้นแวงของจังหวัดที่สำคัญ ในประเทศจะแสดงได้ดังตารางด้านล่าง

โดยที่ เส้นแวง หรือ เส้นละติจูด (Latitude) จะกำหนดให้ด้านเหนือของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นบวก และด้านใต้ของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นลบ

เส้นรุ้ง หรือเส้นลองจิจูด (Longitude) จะกำหนดให้ด้านตะวันตกของเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน (Meridian, Greenwich, U.K.) เป็นลบ และ ด้านตะวันออกของเส้นแบ่งเวลา (Latitude) เป็นบวก

เมือง / จังหวัด	ละติจูด (Latitude) องศา-ฟิลิปดา	ลองจิจูด (Longitude) องศา-ฟิลิปดา
ภาคกลาง		
กรุงเทพมหานคร	13° 44'	100° 30'
สุพรรณบุรี	14° 30'	100° 10'
นครสวรรค์	15° 48'	100° 10'
กาญจนบุรี	14° 01'	99° 32'
ภาคเหนือ		
เชียงใหม่	19° 55'	99° 50'
เชียงราย	18° 47'	98° 59'
เพชรบูรณ์	16° 25'	101° 08'
พิษณุโลก	16° 55'	100° 16'
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		
ขอนแก่น	16° 20'	102° 51'
อุบลราชธานี	15° 15'	104° 53'
สุรินทร์	14° 52'	103° 29'
นครราชสีมา	14° 58'	102° 07'
ภาคตะวันออก		
ชลบุรี	13° 22'	100° 59'
จันทบุรี	12° 37'	102° 27'
ภาคใต้		
ชุมพร	10° 27'	99° 15'
นครศรีธรรมราช	08° 25'	99° 58'
สงขลา	07° 11'	100° 37'
ภูเก็ต	07° 58'	98° 24'

ตาราง 2.2 แสดงที่ตั้งของจังหวัดต่างๆที่สำคัญ ในประเทศไทย

ในแต่ละภูมิภาค ตามแนวละติจูด และลองจิจูด

ที่มา : เอกสารฝ่ายวิจัยการก่อสร้าง (Building Research Department), หน้า 47 – 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.2 การบอกเวลา

ในปัจจุบันนี้การบอกเวลาจะแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการบอกเวลาแบบปกติตามแต่ละท้องถิ่น แต่การบอกเวลาตามดวงอาทิตย์(Solar time) จะสามารถคำนวณได้จากเวลามาตราฐาน โดยเริ่มจากการกำหนดจากเส้นแวง (Longitude) ของเส้นแบ่งเวลาในช่วงต่างๆและจากสมการของเส้นบอกเวลา (Equation of Time) โดยเวลาเทียบเท่า(Equation of time)จะมีความแตกต่างจากเวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และเวลานาฬิกา (Clock Time) เนื่องจาก

- ตำแหน่งการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (Elliptical orbit of the earth)
- ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามแนวแกนที่พิจารณา (Solar declination of the axis)

การบอกเวลาแบบ Equation of time จะอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

$$ET = 0.170 \sin (4\pi (J - 80) / 373) - 0.129 \sin (2\pi (J - 8) / 355) \dots\dots\dots(2.7)$$

เมื่อ ET = เวลาเทียบเท่า (Equation of time) ในหน่วยของเวลาแบบทศนิยม (เช่นเวลา 13.30 น. จะเป็น 13.5)

J = วันที่ ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี(Julian date) โดยไม่สนใจเดือนต่างๆ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

ตารางแสดงเวลามาตราฐานตามเส้นแบ่งเวลาเมริเดียน (Time Zone Standard Meridians)

Time Zone	Standard Meridian	
	Degrees	Radians
Atlantic	60	1.05
Eastern	75	1.31
Central	90	1.57
Mountain	105	1.83
Pacific	120	2.09
Yukon	135	2.36
Alaskan-Hawaiian	150	2.62
Bering	165	2.88

ตาราง 2.3 แสดงที่ตั้งของเส้นแบ่งเวลาที่สำคัญของโลก

ที่มา : Daylighting, Daylight Sources and Availability

ค่าที่ได้จากสมการข้างต้น จะเป็นค่าที่น้อยที่สุดของสมการกำลังสอง (Prof. Lamm, 1970) ซึ่งจะไม่มีความแม่นยำนักในการนำมาใช้ในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้นในแต่ละบริเวณจะอ้างถึง เส้นรุ้ง ที่พาดผ่าน เพื่อนำมาคำนวณเวลาของเวลาดวงอาทิตย์ (solar time) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐาน (Standard time) และเวลาแสงอาทิตย์ (daylight time) จะสามารถกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$t_s = t_d - 1 \dots\dots\dots(2.8)$$

- เมื่อ t_s = เวลามาตรฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)
- t_d = เวลาแสงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Daylight time in decimal hours)

เวลาดวงอาทิตย์ (Solar time) จะสามารถคำนวณได้จาก เวลามาตรฐาน (standard time) ได้ดังนี้

$$t = t_s + ET + (12 (SM - L)) / \pi \dots\dots\dots(2.9)$$

- เมื่อ t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)
- t_s = เวลามาตรฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)
- ET = เวลาที่ใช้ในการคำนวณ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Time in decimal hours)
- SM = ระยะจากเส้นแบ่งเวลามาตรฐานเมริเดียน (standard meridian) หน่วยเรเดียน (rad)
- L = ตำแหน่งตามเส้นแวง หน่วยเรเดียน (site longitude in rad)

2.6.3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar Position)

ตำแหน่งและทิศทางต่างๆ ของดวงอาทิตย์จะถูกกำหนดโดยมุมอัลติจูด และมุมอะซิมุสของดวงอาทิตย์ (Solar altitude and Solar azimuth) ซึ่งจากลักษณะของมุมทั้งสองอิงกับ เส้นแวง ณ บริเวณนั้น , เวลาดวงอาทิตย์ (Solar time) และแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar declination) โดยแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar declination)จะประมาณได้จากสมการ ข้างล่างนี้

$$\delta = 0.4093 \sin (2\pi (J - 81) / 368) \dots\dots\dots(2.10)$$

- เมื่อ δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar declination in rad)
- J = วันที่ ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี (Julian date) โดยไม่สนใจเดือนต่างๆ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

สมการของมุมละติจูด อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a_t = \arcsin (\sin l \sin \delta - \cos l \cos \delta \cos (\pi t / 12)) \dots\dots\dots(2.11)$$

- เมื่อ a_t = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)
- l = ตำแหน่งละติจูด หน่วยเรเดียน (Site latitude in rad)
- δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad)
- t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

มุมของ solar altitude จะมีค่าของมุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง $\pi/2$ ถ้าทิศทางของดวงอาทิตย์อยู่ต่ำกว่าแนวระดับหรือเกินกว่า $\pi/2$ จะให้ค่าเป็นลบ สมการของมุมอัลซิมูทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth) อธิบายได้ดังนี้คือ

$$a_s = \arctan \frac{ (- [\cos \delta \sin (\pi t / 12)]) }{ - [\cos l \sin + \sin l \cos \delta \cos (\pi t / 12)] } \dots\dots\dots(2.12)$$

- เมื่อ a_s = ระดับมุมอัลซิมูทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in radian)
- l = ตำแหน่งของมุมละติจูด หน่วยเรเดียน (Site latitude in radian)
- δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad)
- t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

มุมอะซิมูท (Azimuth) จะเริ่มจากศูนย์องศา ในแนวของทิศใต้ และหมุนตามเข็มนาฬิกา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือ เป็นระยะทาง π และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงข้าม เมื่อเริ่มจากศูนย์องศาในแนวทิศใต้หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางเหนือผ่านทิศตะวันออกเป็นระยะทาง π จะให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่าง ๆ นั้น จะต้องมีการคำนวณถึงแสงธรรมชาติบนพื้นผิวแนวตั้งเสมอ เช่น หน้าต่าง หรือผนังอาคาร ดังนั้นมุมอะซิมูท ที่เกิดขึ้นจะเป็นมุมในแนวนอน ระหว่างมุมที่อ้างถึง(ศูนย์องศาทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดขึ้นจริงของผนังที่ตั้งฉากนั้นๆ

มุมอะซิมูท ของดวงอาทิตย์ เมื่อตกกระทบกับผนัง หรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ จะพิจารณามุมอะซิมูท ได้จากสมการดังนี้

$$a_z = a_s - a_e \dots\dots\dots(2.13)$$

- เมื่อ a_z = ระดับมุมอัลซิมูทของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-elevation azimuth in rad)
- a_s = มุมอัลซิมูท หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in rad)
- a_e = ความสูงมุมอัลซิมูท หน่วยเรเดียน (Elevation azimuth in rad)

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ จะเป็นมุมที่เกิดขึ้น ระหว่าง แนวระนาบปกติ กับมุมตกกระทบ ของดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$a_i = \arccos (\cos a_t / \cos a_z) \dots\dots\dots(2.14)$$

- เมื่อ a_i = ค่ามุมอาร์คโคซัส , $\arccos(\cos a_t \cos a_z)$
- a_i = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident angle in rad)
- a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude in rad)
- a_z = ระดับของมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation azimuth in rad)

มุม Profile angle เป็นมุมที่เกิดขึ้นจริงของมุมอะติจูด ในแนวตั้ง และพิจารณาได้จากสองสมการ ดังนี้

$$a_p = \arctan (\sin a_i / \cos a_z) \dots\dots\dots(2.15)$$

$$a_p = \arctan (\tan a_i / \cos a_z) \dots\dots\dots(2.16)$$

- เมื่อ a_p = มุมโพรไฟล์ หน่วยเรเดียน (Profile angle in rad)
- a_i = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)
- a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Incident angle in rad)
- a_z = ระดับของมุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation azimuth in rad)

2.7 การแผ่รังสีของแสงจากดวงอาทิตย์

สำหรับจุดมุ่งหมายโดยทั่วไปในการคำนวณแสงธรรมชาติ จะพิจารณาให้ดวงอาทิตย์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างคงที่ ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามวงโคจรของโลก ค่าความส่องสว่างคงที่ของดวงอาทิตย์ หมายถึงผลรวมของค่าความส่องสว่าง โดยปกติที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวหนึ่งๆ บนโลกตามระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

$$E_{sc} = Km \int_{380}^{770} G_\lambda V_\lambda d\lambda \dots\dots\dots(2.17)$$

- เมื่อ E_{sc} = ค่าคงที่ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)
- Km = spectral luminous ของ flux รังสีจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นลูเมนต่อวัตต์ (lm/W)
- G_λ = แถบความยาวคลื่น ของรังสีแสงอาทิตย์ หน่วยเป็นวัตต์ (W)
- V_λ = ประสิทธิภาพผลความสว่างในแต่ละช่วงความยาวคลื่น (Photopic Vision Spectral Luminous Efficiency at Wavelehgth)
- λ = ความยาวคลื่น หน่วยเป็น นาโนเมตร (สำหรับความยาวคลื่นแสง ที่ 380-770 นาโนเมตร)

ค่าคงที่ต่างๆ ของปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ ตามสมการข้างต้น

- ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Solar Illumination Constant) : 128 klx
- ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (Solar Irradiation Constant) : 1350 W/m² (126 W/ft²)
- ประสิทธิภาพผลความสว่างดวงอาทิตย์ (Solar Luminous Efficacy) : 94.2 lm/W

การพิจารณาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบลงสู่พื้นผิวโลก จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์ ดังนี้

- ระยะทางที่แตกต่างระหว่างดวงอาทิตย์ และพื้นผิวโลก ที่เกิดจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
- ผลกระทบของแสงธรรมชาติ จากการส่องผ่านบรรยากาศของโลกในชั้นต่างๆ

ค่าความส่องสว่างของ แสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial solar illuminance) จะมีความสัมพันธ์กับวงโคจร ของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนี้

$$E_{xt} = E_{sc} (1 + 0.034 \cos (2\pi (J - 2) / 365)) \dots\dots\dots(2.18)$$

- เมื่อ Ext = ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศของโลก หน่วยเป็น กิโลลักซ์ (klx)
- Esc = ค่าคงที่ของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)
- J = วันตามวงโคจรของโลก (Julian date)

เมื่อปริมาณแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศของโลกในชั้นต่างๆ จะมีผลทำให้ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์มีค่าความสว่างน้อยลง ซึ่งความสว่างของดวงอาทิตย์ ณ ระดับน้ำทะเล (E_{dn}) จะมีค่าความสัมพันธ์กับความสว่างของแสงอาทิตย์ในระบบสุริยะ ดังนี้

$$E_{dn} = E_{xt} e^{-cm} \dots\dots\dots(2.19)$$

- เมื่อ Edn = ค่าความส่องสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์ ที่ระดับน้ำทะเล หน่วยเป็น klx
- Ext = ค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในระบบสุริยะ หน่วยเป็น klx
- C = สัมประสิทธิ์ของท้องฟ้าในแต่ละประเภท
- m = ค่ามวลอากาศ (Optical air mass , Dimensionless)

ค่าคงที่ปริมาณแสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการคำนวณ

ลักษณะของท้องฟ้า	c	A (klx)	B (klx)	C
Clear sky	0.21	0.8	15.5	0.5
Partly Cloudy sky	0.80	0.3	45.0	1.0
Cloudy	*	0.3	21.0	1.0

* No direct sun; Edn = 0

ค่าของ Optical air mass ที่ใช้ในการคำนวณ เท่ากับ

$$m = 1 / \sin a_t \dots\dots\dots(2.20)$$

เมื่อ m = ค่ามวลอากาศ (Optical air mass, Dimensionless)
 a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude in rad)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ ในแนวราบ (Direct horizontal solar illuminance) จะมีความสัมพันธ์ ตามสมการดังนี้

$$E_{dh} = E_{dn} \sin a_t \dots\dots\dots(2.21)$$

เมื่อ E_{dh} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวราบ (Direct horizontal solar illumination) หน่วยกิโวลต์
 E_{dn} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล (Direct normal solar illuminance) หน่วยกิโวลต์
 a_t = มุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ ในแนวตั้ง (Direct vertical solar illumination) จะมีความสัมพันธ์ ตามสมการดังนี้

$$E_{dv} = E_{dn} \cos a_t \dots\dots\dots(2.22)$$

เมื่อ E_{dv} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวตั้ง (Direct vertical solar illuminance) หน่วยกิโวลต์
 E_{dn} = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล (direct normal solar illuminance) หน่วยกิโวลต์
 a_t = มุมตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า

วิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า จะจำแนกออกตามวิธีการ ได้สองวิธีการคือ

1. การจำแนกท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของท้องฟ้า (The sky ratio method) เป็นการแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยอัตราส่วนระหว่างปริมาณรังสีตกกระทบของท้องฟ้าบนพื้นราบ (Horizontal sky irradiance) ต่อปริมาณรังสีตกกระทบบนพื้นราบทั้งหมด (Global Horizontal Irradiance) ดังนั้นหากสัดส่วนของการจำแนกท้องฟ้าเท่ากับ 1.0 แสดงว่ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์จะเท่ากับศูนย์ แต่การแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธีการนี้ จะมีความคลาดเคลื่อน ถ้ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ มีค่าต่ำมากๆ

การจำแนกประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธี Sky ratio method จะแบ่งประเภทของท้องฟ้าออกตามอัตราส่วนต่างๆได้ 3 ลักษณะคือ

- ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : Sky ratio ≤ 0.3
- ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy) : $0.3 < \text{sky ratio} < 0.8$
- ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy) : Sky ratio ≥ 0.8

2. การจำแนกท้องฟ้าด้วยองค์ประกอบที่ปกคลุมท้องฟ้า (The sky cover method) เป็นวิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า โดยการประมาณปริมาณก้อนเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามีมาตราส่วนในการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 10 (0 หมายถึง ท้องฟ้าปราศจากเมฆปกคลุม, 10 หมายถึง ท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมมาก) และจำแนกลักษณะของท้องฟ้าออกเป็นลักษณะตามปริมาณของก้อนเมฆ ได้ดังนี้

- ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : 0 - 3
- ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy) : 4 - 7
- ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy) : 8 - 10

ค่าความสว่างในแนวราบของท้องฟ้า และ มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ จะแสดงความสัมพันธ์ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน ในรูปแบบของสมการ ได้ดังนี้

$$E_{kh} = A + B \sin^C a_t \dots\dots\dots(2.23)$$

- เมื่อ E_{kh} = ค่าความส่องสว่างในแนวราบของท้องฟ้า ที่ปราศตาสีงปกคลุม หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)
- A = ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ขณะดวงอาทิตย์ขึ้น และดวงอาทิตย์ตก หน่วยกิโลลักซ์ (klx)
- B = ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)
- C = ค่าเอกซ์โปเนนท์ชี้ยล ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)
- a_t = มุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

โดยรูปแบบของสมการในข้างต้นจะใช้ได้กับลักษณะของท้องฟ้าทั้งสามประเภท แต่จะมีความแตกต่างกันบ้าง ตามตัวแปรคงที่บางตัวที่จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของท้องฟ้า ซึ่งจะทำให้สมการ และค่าความส่องสว่าง ที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีข้อพิจารณา ดังนี้

- ค่าความส่องสว่างของแสงจะมีความกระจายมากหรือน้อย ตามค่าความส่องสว่างที่มุมเซนิท (Zenith Illuminance) ของท้องฟ้า
- ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท

วิธีการ ที่ใช้ในการคำนวณ ค่าความส่องสว่างที่เซนิท จากความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ จะขึ้นกับค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าท้องฟ้าที่มุมเซนิท ตามสมการ

$$L_z = E_{kh} ZL \dots\dots\dots(2.24)$$

- เมื่อ
- L_z = ค่าความส่องสว่างที่เซนิท หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)
 - E_{kh} = ค่าความสว่างในแนวราบ ที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง จากสมการ $E_{kh} = A + B \sin^c a_i$
 - ZL = ค่าความส่องสว่างที่เซนิท (Zenith illuminance factor) ในตำแหน่งที่ละติจูด เดียวกับ E_{kh} หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)

ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เซนินท์ที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับลักษณะของชั้นบรรยากาศ และแสดงรายละเอียดต่างๆของค่าความสว่างที่เซนินท์ ได้จากตารางต่อไปนี้

Solar Altitude (Degree)	Clear sky	Partly Cloudy sky
	ZL	ZL
90	1.034	0.637
85	0.825	0.567
80	0.664	0.501
75	0.541	0.457
70	0.445	0.413
65	0.371	0.375
60	0.314	0.343
55	0.269	0.315
50	0.234	0.292
45	0.206	0.272
40	0.185	0.255
35	0.169	0.241
30	0.156	0.230
25	0.148	0.221
20	0.142	0.214
15	0.139	0.209
10	0.139	0.205
5	0.140	0.202
0	0.144	0.201

ตาราง 2.4 ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนินท์ (Sky zenith illuminance) สำหรับท้องฟ้าในลักษณะ

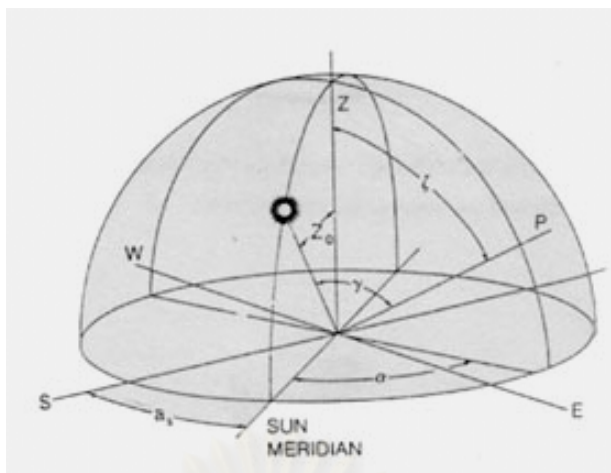
Overcast sky, ZL = 0.409 ในแต่ละมุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์

ที่มา : Delighting, Daylight Sources and Availability

ความสัมพันธ์ของมุมต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดค่าความสว่างของท้องฟ้าจะแสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ จะมีความสัมพันธ์กับมุมเซนินท์ที่ศูนย์องศาและมุมเซนินท์ที่ศูนย์องศาจะหาได้จากสูตร

$$Z_0 = \pi/2 - \alpha t \dots\dots\dots(2.25)$$

ตำแหน่งที่จุด P จากรูป จะแสดงตำแหน่งของท้องฟ้า ที่ต้องการคำนวณความสว่าง ซึ่งจะประกอบด้วย มุม ζ ของเซนินท์ (หน่วยเป็น rad) และ มุม α เป็นมุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2.15 ค่าของมุมต่างๆ มีใช้ในสมการ
ที่มา : Daylighting, Daylight Sources and Availability

ค่าความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) ของท้องมาตรฐาน (CIE)

$$L_{\zeta, \alpha} = L_z \frac{(0.91 + 10e^{-3\gamma} + 0.45\cos^2\gamma) (1 - e^{-0.32/\cos\zeta})}{(0.91 + 10e^{-3Z_0} + 0.45\cos^2Z_0) (1 - e^{-0.32})} \dots\dots\dots(2.26)$$

- เมื่อ $L_{\zeta, \alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่ง P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลมที่เกิดจาก คอร์ดดิเนต (coordination) ระหว่าง ζ และ α หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)
- L_z = ความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท หน่วยกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)
- γ = มุมระหว่างดวงอาทิตย์ และตำแหน่ง P บนท้องฟ้า หน่วยเป็นเรเดียน (rad)
- ζ = มุมเซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)
- α = มุมอะซิมูท จากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)
- Z_0 = มุมเซนิทของดวงอาทิตย์ (Zenithal sun) หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ของมุม γ จะกำหนดขึ้นจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของจุด P บนท้องฟ้า

$$\gamma = \arccos (\cos Z_0 \cos \zeta + \sin Z_0 \sin \zeta \cos \alpha) \dots\dots\dots(2.27)$$

สมการสำหรับท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จะมีความคล้ายคลึงกับสมการความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง แต่จะแตกต่างกัน เฉพาะค่าคงที่บางตัว ของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน

$$L_{\zeta, \alpha} = L_z \frac{(0.526 + 5e^{-1.5\gamma}) (1 - e^{-0.80/\cos\gamma})}{(0.526 + 5e^{-1.5Z_0}) + (1 - e^{-0.80})} \dots\dots\dots(2.28)$$

สมการสำหรับท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)

$$L_{\zeta,\alpha} = L_z \left(\frac{0.864 e^{-0.52/\cos \zeta}}{e^{-0.52}} + \frac{0.136 (1 - e^{-0.82/\cos \zeta})}{1 - e^{-0.52}} \right) \dots\dots\dots(2.29)$$

จากรูปแบบของสมการของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky) จะมีการแบ่งสมการออกเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรก จะเป็นความสว่างที่กระจายตัวจากก้อนเมฆ และส่วนที่สองจะเป็นความสว่างของแสงในชั้นบรรยากาศระหว่างชั้นล่างสุดของเมฆและพื้นดิน ซึ่งสมการดังกล่าวจากการเก็บข้อมูลทำให้สามารถสรุปรูปแบบของสมการ (Mark-Spencer) ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบที่ของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้น ได้ดังนี้

$$L_{\zeta,\alpha} = (L_z/3) (1 + 2\cos \zeta) \dots\dots\dots(2.30)$$

เมื่อ $L_{\zeta,\alpha}$ = ค่าความสว่างของท้องฟ้า หน่วยเป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

L_z = ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่ Zenith หน่วยเป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

ζ = มุมเซนิท (Zenithal point angle) หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

สมการความสว่างของท้องฟ้า บนพื้นระนาบ จากการดิฟเฟอเรน (Differential) องค์ประกอบของท้องฟ้า จะได้สมการต่างๆ ของท้องฟ้าในประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

$$dE_{kh} = L_{\zeta,\alpha} \cos \zeta d\omega = L_{\zeta,\alpha} \cos \zeta \sin \zeta d\zeta d\alpha \dots\dots\dots(2.31)$$

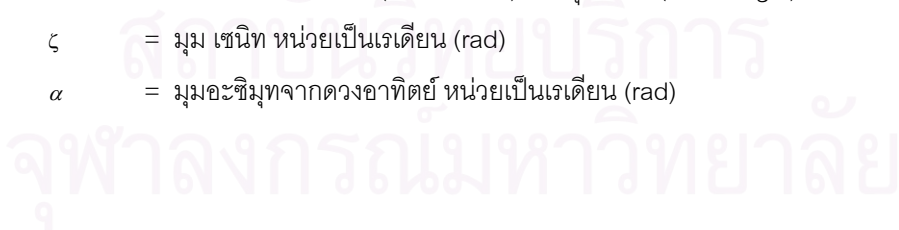
เมื่อ E_{kh} = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวแนวระนาบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดของมุม ζ และมุม α หน่วย เป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

$d\omega$ = ค่าดิฟเฟอเรนเชียล (Differential) ของมุมโซลิด (Solid angle) ในทิศทางของจุด P

ζ = มุม เซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมูทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)



พิกัดของมุมต่างๆ ในสมการจะอิงจาก ท้องฟ้าในแบบครึ่งวงกลม และหาก Integrated สมการข้างต้น จะได้สมการของความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ

$$E_{kh} = 1/\pi \iint L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta \cos\zeta d\zeta d\alpha \dots\dots\dots(2.32)$$

- เมื่อ E_{kh} = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวในแนวราบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)
- $L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดของมุม ζ และมุม α หน่วยเป็นหน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m²)
- ζ = มุม เซนทิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)
- α = มุมอะซิมูทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ขอบเขตของการอินทิเกรต (Integration) จะขึ้นกับตำแหน่ง และแนวเขตของท้องฟ้า ซึ่งจะเป็นขอบเขตของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 2π และ 0 ถึง $\pi/2$

สมการแสดงความสว่างของพื้นแนวระนาบ

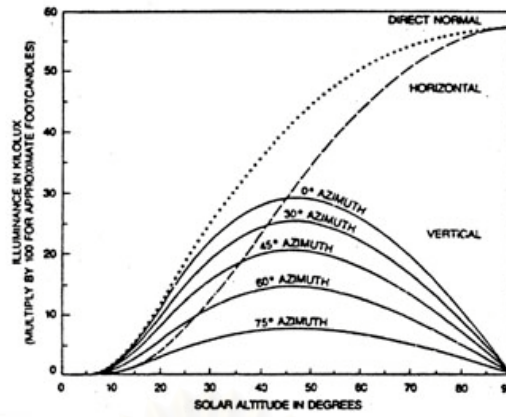
$$E_{kh} = 1/\pi \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta \cos\zeta d\zeta d\alpha \dots\dots\dots(2.33)$$

สมการแสดงความสว่างของพื้นแนวระนาบตั้ง

$$E_{kv} = 1/\pi \int_{az+\pi/2}^{az+\pi/2} \int_0^{\pi/2} L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta \cos\zeta d\zeta d\alpha \dots\dots\dots(2.34)$$

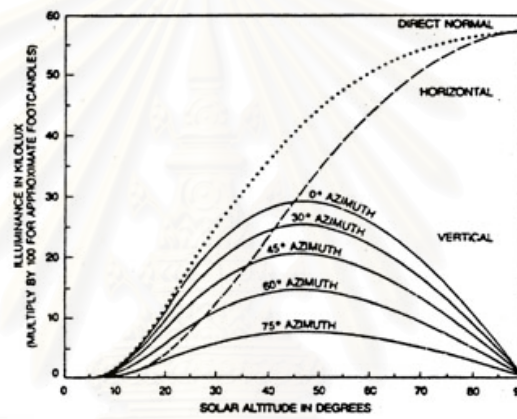
สมการ E_{kh} และ E_{kv} จะเป็นการคำนวณค่าความสว่างของแสงด้วยวิธีดิฟเฟอเรนท (Differentials) และดิสครีต (Discrete) เพื่อหาตำแหน่งของความสว่าง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ บนระนาบพื้นราบแนวนอนและแนวตั้งที่ปราศจากสิ่งกีดขวางซึ่งค่าความสว่างของท้องฟ้าที่คำนวณได้จากสมการจะสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟในท้องฟ้าแต่ละประเภทได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)

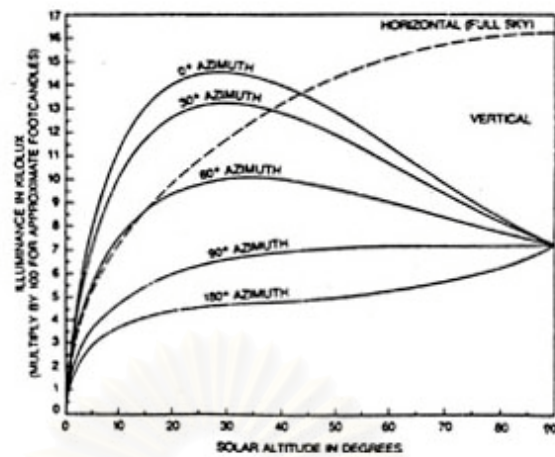
(b) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



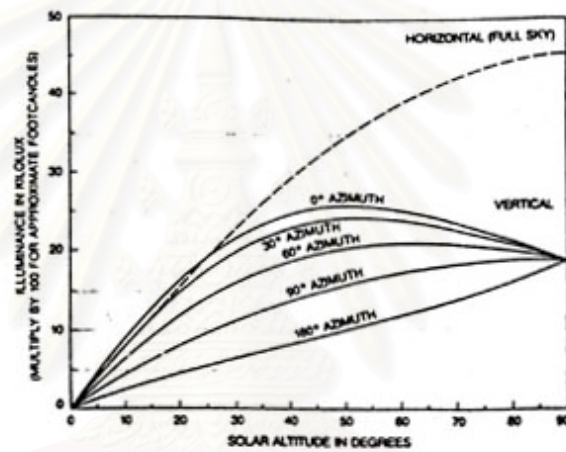
ภาพที่ 2.17 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูด และ มุมอัลซิมูท ของดวงอาทิตย์

ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building pp. 679

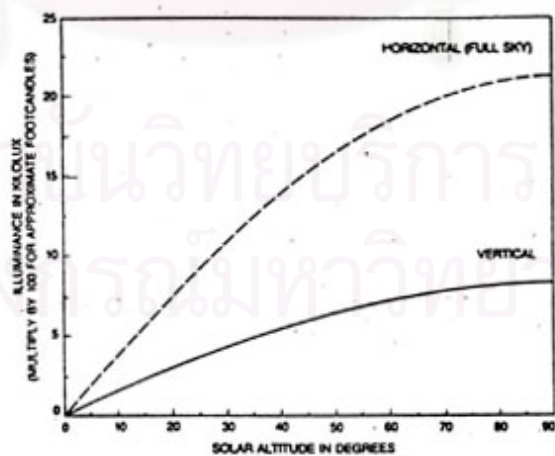
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



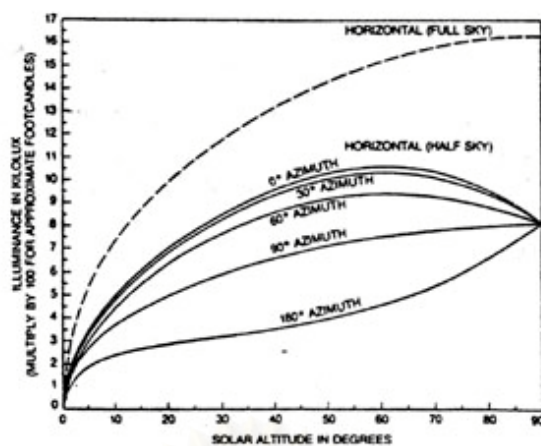
(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



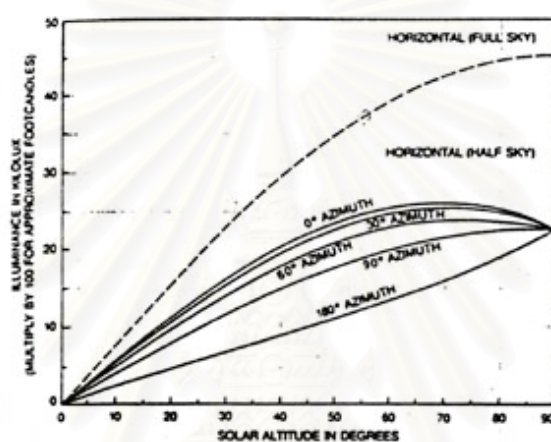
(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

ภาพที่ 2.17 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบตั้ง ตามมุมอัลติจูด และมุมอัลซิมูทของดวงอาทิตย์

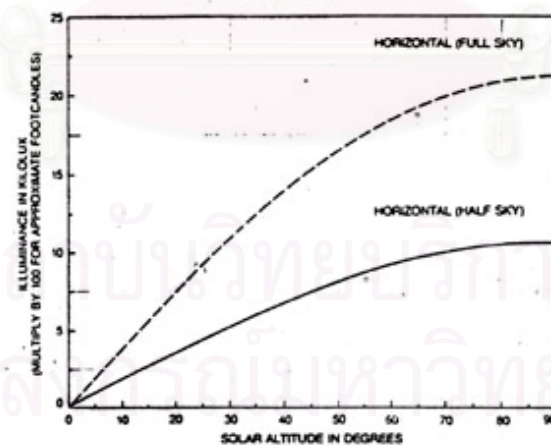
ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building, pp. 680



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

ภาพที่ 2.18 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบนอน ในแต่ละมุมอัลติจูด และมุมอัลซิมูท ของดวงอาทิตย์

ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building, page. 681

2.9 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

เมื่อพิจารณาการแบ่งประเภทของท้องฟ้า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้าซึ่งมีดัชนีของปริมาณเมฆในท้องฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 10

การแบ่งประเภทของท้องฟ้า จะมีวิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทของท้องฟ้าหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ การแบ่งประเภทของท้องฟ้าจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า

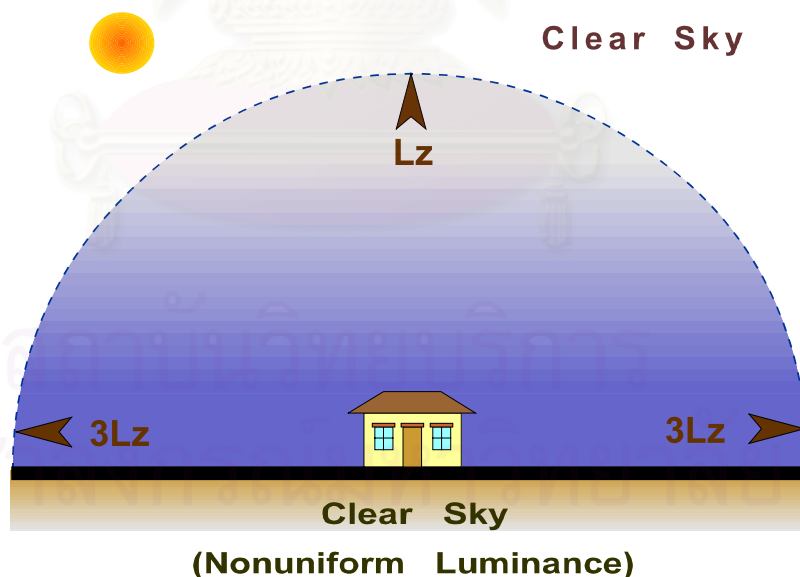
2.9.1 สภาพท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆคลุม (Clear Sky)

2.9.2 สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

2.9.3 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ (Overcast Sky)

2.9.1 สภาพท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุม (Clear Sky)

ความสว่างของท้องฟ้า จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ความสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง (Direct sun) และความสว่างของแสงจากการกระจายแสง (Diffuse Illuminance) ของท้องฟ้า โดยองค์ประกอบทั้งสองนี้จะแปรผันตามตำแหน่งมุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) เป็นหลัก (Prof. Kittler, 1981) ความสว่างของท้องฟ้าจะมีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งที่ระดับสูงสุดของท้องฟ้าจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าที่ระนาบกลางของท้องฟ้า โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้น เป็น 3 เท่าที่ระดับระนาบกลางสุดของท้องฟ้า และท้องฟ้าประเภทนี้จะมีความสว่างสูงสุด ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และมีความส่องสว่างต่ำสุด ที่ตำแหน่งตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ (Prof. Hopkinson and Prof. Moon , 1968)



ภาพที่ 2.20 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, pp. 974

จากการที่ความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง มีความแปรผันตามตำแหน่งมุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์เหนือแนวระนาบ ดังนั้นสมการที่ในการคำนวณจะหาได้จาก

$$LA = LZ (1 + 2 \sin A) / 3 \dots\dots\dots(2.35)$$

เมื่อ LA = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่งมุม A องศาเหนือแนวระนาบของดวงอาทิตย์
 LZ = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุด
 ความสว่างที่ตำแหน่งมุม A = 0 องศา จะมีค่าเท่ากับ = LZ / 3

จากองค์ประกอบของท้องฟ้า ที่ประกอบด้วยแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun Illuminance) และแสงอาทิตย์กระจาย (Diffuse Sun Illuminance) ซึ่งสมการจะมีลักษณะดังนี้

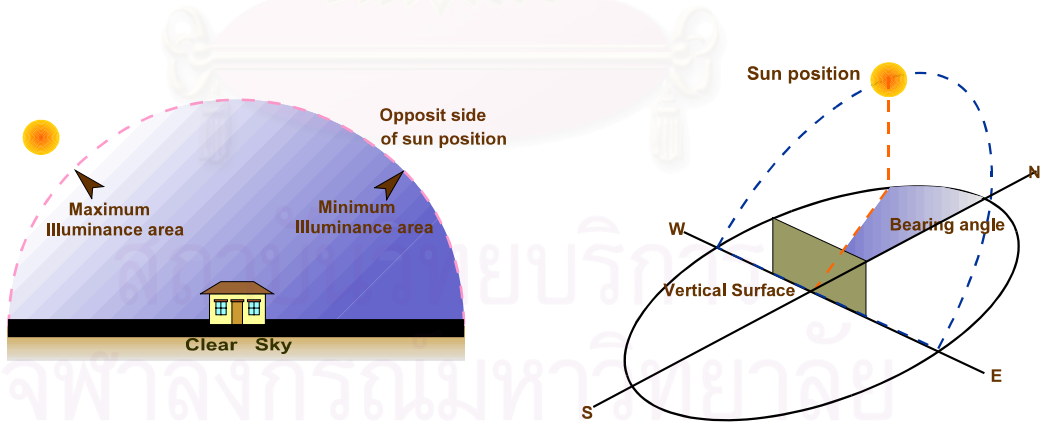
กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

$$Eh = 300 + 21,000 \sin A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.36)$$

กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงกระจายของท้องฟ้า

$$Eh = 1345 + 14,795 \sin A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.37)$$

หากพิจารณาแสงกระจายจากท้องฟ้าเพียงครึ่งระนาบของท้องฟ้าจะมีความสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล (เฉลี่ยที่ 1,000 ฟุตแคนเดิล)



ภาพที่ 2.21 รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริง (Bearing Angle)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, pp. 974

2.9.2 สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

การพิจารณาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้จะทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา(Dynamic) และจากข้อมูลสถิติที่ได้มีการรวบรวมไว้ จะพบว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly cloudy sky) จะมีความส่องสว่างของท้องฟ้ามากกว่าท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear sky) ประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการที่แสงจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบก้อนเมฆ และสะท้อนไปมา ระหว่างก้อนเมฆ (Prof. Nakamura and Prof. Oki, 1983) สามารถอธิบายลักษณะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570 A \dots\dots\dots(2.38)$$

เมื่อ E_{HP} = ความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบ ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมทึบ มีหน่วยเป็นกิโลลักซ์
 A = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) ของดวงอาทิตย์

ถึงแม้ว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนจะให้ปริมาณของแสงมากกว่าท้องฟ้าโปร่ง แต่ในบางกรณีหากกลุ่มเมฆที่เกิดขึ้นเป็นเมฆฝน หรือ มีสีดำทึบก็อาจทำให้แสงถูกกั้น หรือถูกดูดซึมมากกว่าที่จะสะท้อนหรือเกิดการกระจายของแสงทำให้ค่าความสว่างของท้องฟ้ามีค่าลดลง และจากการศึกษาโดยอาศัยดัชนีเมฆ หรือ Cloud Ratio (The Gillete prediction model, 1985) มาพิจารณาค่าความสัมพันธ์ของการส่องสว่างของท้องฟ้าที่เกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงกระจายจากท้องฟ้าจะมีความสัมพันธ์กันของความสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบบนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$E_H = 0.35 E_s + 0.89 E_c \dots\dots\dots(2.39)$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)
 E_s = ความส่องสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์
 E_c = ความส่องสว่างที่ได้จากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์

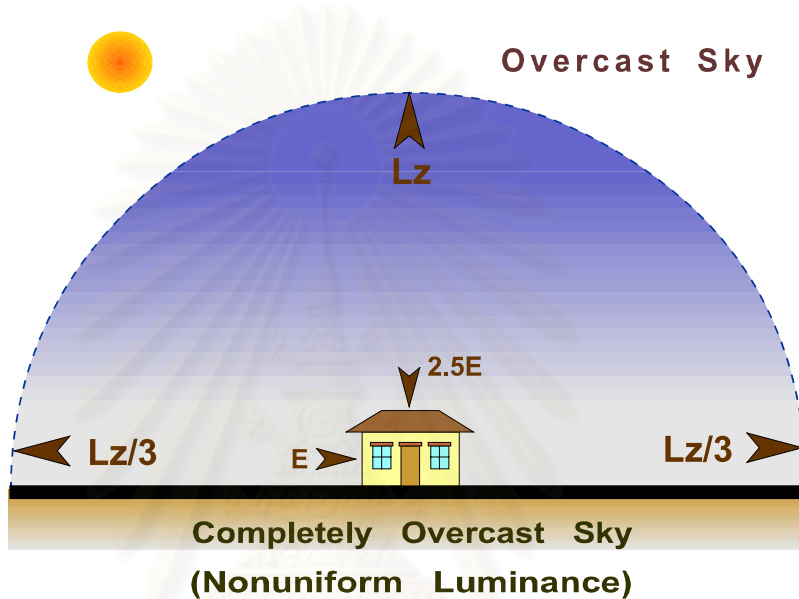
2.9.3 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนไม่สามารถมองเห็นแสงจากดวงอาทิตย์ (Overcast Sky หรือ CIE Sky)

ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้า ในแถบสแกนดิเนเวีย และตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก เช่น ประเทศอังกฤษ ความสว่างของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนจะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก (Non-uniform Brightness Distribution) โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากระดับพื้น (Horizon-Brightness) ความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับสูงสุดของท้องฟ้า ที่ระดับเซนิท (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าความสว่างที่ระดับพื้น ประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดใดๆจะพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณาจากมุมอัลซิมูทของดวงอาทิตย์ โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_A = L_z (1 + 2 \sin A) / 3 \dots\dots\dots(2.40)$$

เมื่อ L_A = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือระดับในแนวระนาบ (Horizon) ในทุกๆทิศทาง
 L_z = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ระดับสูงสุด ที่ระดับเซนิท (Zenith)

ดังนั้นความสว่าง ณ ตำแหน่งในแนวระนาบ หรือที่มุม $A = 0$ องศา จะมีความสว่าง มากกว่าเพียงหนึ่งในสามของความสว่างที่ระดับสูงสุด $L_A = L_z / 3$



ภาพที่ 2.22 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Overcast Sky

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, pp. 974

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ จะแปรเปลี่ยนไปตามมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์แต่ก็ยังมีท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ ในอีกลักษณะหนึ่งที่มีความสว่างของท้องฟ้าที่เท่ากันทั่วทั้งท้องฟ้า และทุกระดับความสูง (Uniform-Brightness) ซึ่งจะมีความใกล้เคียงกับท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่ (Uniform sky) (เป็นท้องฟ้าในอุดมคติ ที่จะมีความสว่างของท้องฟ้าเท่ากันทุกจุด) โดยความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท (Zenith) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบจะมีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง (Prof. Krochman, 1993) จะอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21,000 \sin A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.41)$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)
 A = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์

2.10 ทฤษฎีการให้แสงสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

การกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกอาคารที่มีต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร ซึ่งมีลักษณะการแปรผันคล้ายตามกัน (แปรผันตรง) โดยทั่วไปวิธีการคำนวณจะมีหลายวิธี ตามลักษณะของเทคนิคในการคำนวณที่แตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณที่เป็นที่นิยมใช้ทั่วไป จะแยกได้เป็น 3 วิธีการหลัก คือ

1. Lumen Transfer Method
2. Daylight Factor Method

ซึ่งการศึกษาวิธีการทั้งสามแบบนี้ จะแยกกล่าวดังนี้

2.10.1 Lumen Transfer Method

หรือเรียกว่า Lumen input Method หรือ Total flux method ตามลักษณะของพื้นฐานของการคำนวณในการหาค่าความส่องสว่าง ในแต่ละจุด (station point, SP) ภายในอาคาร วิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Method) ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกที่มหาวิทยาลัย Southern Methodist University สหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1953 และถูกพัฒนาต่อมาในปี 1956 โดยในหลักการของวิธีการดังกล่าวจะเป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมทั้งตกระยะ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ในแต่ละระยะความลึกที่กำหนดภายในอาคารนั้น อันเนื่องมาจากปริมาณของแสงสว่างภายนอกที่กระทำกับผ่านช่องเปิด หรือช่องแสงต่างๆ เข้ามาภายในอาคาร

การพิจารณาด้วยวิธีการแบบลูเมนนั้น จะสามารถพิจารณาถึงปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารเป็นลักษณะของแต่ละตำแหน่งต่างๆ ภายในอาคารที่ระดับการทำงานปกติ (Worked plane) ประมาณ 2.5 ฟุต หรือ 0.75 เมตร เนื่องจากที่ระดับความสูงอื่นๆ จะไม่มีผลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณมากนักและจุดต่างๆ ที่กำหนดจะแบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ จำนวน 3-5 จุด ที่ใช้ในการอ้างอิงถึงระดับของปริมาณความส่องสว่างภายในห้องที่ตั้งตรงในแนวตั้งฉากจากเส้นกลางของช่องแสงหรือช่องเปิด โดยมีการกำหนดจุดต่างๆ เรียงตามลำดับได้ ดังนี้ จุดที่ใกล้กับหน้าต่างมากที่สุด กำหนดให้เป็น

SP,max คือตำแหน่งที่อยู่ห่างจากช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุต หรือ ร้อยละ 10 ของความยาวห้อง ที่ระดับความสูงทำงานปกติ (Working plane) 0.75 เมตร

SP, mid คือตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของห้อง ที่ระดับความสูงทำงาน (Working plane)

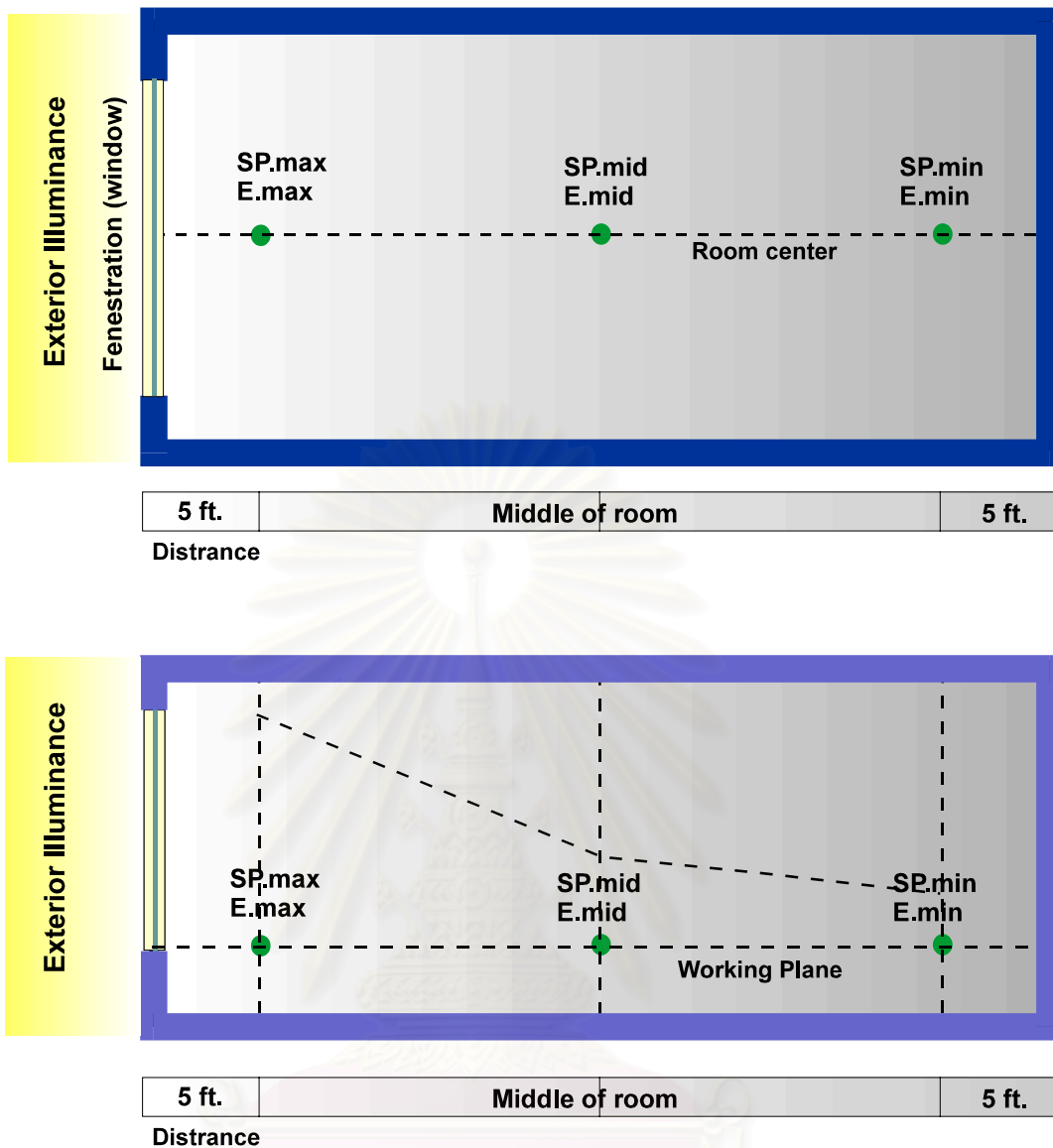
SP, min คือตำแหน่งที่จุดสุดท้าย หรือจุดที่ห่างจากผนังห้องด้านในสุด เข้ามา 5 ฟุต หรือ ร้อยละ 10 จากผนังด้านลึกของห้อง หรือ ระยะร้อยละ 90 จากช่องแสง

โดยที่ค่าความส่องสว่างที่ได้ จากจุดดังกล่าวทั้ง 3 จุดนั้น (บางวิธีการคำนวณจะใช้ 5 จุด) คือ Emax, Emid, Emin เมื่อ

E max คือค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยของห้อง (Absolute Illuminance) ที่คำนวณปริมาณความส่องสว่างได้ที่จุด SP, max

E mid คือค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยของห้อง ที่คำนวณปริมาณความส่องสว่างได้ที่จุด SP, mid

E min คือค่าความส่องสว่างรวมเฉลี่ยของห้อง ที่คำนวณปริมาณความส่องสว่างได้ที่จุด SP, min



ภาพที่ 2.23 ความส่องสว่างที่ระยะความลึกต่างๆ ของห้อง ด้วยวิธีการคำนวณแบบ Lumen Method

ตัวแปรที่สำคัญในการพิจารณาถึงปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้าสู่อาคารด้วยวิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Transfer Method) จะประกอบด้วย องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

- ก. ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดเหนือระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรของแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และท้องฟ้าที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสง ได้แก่
 - ค่าความส่องสว่าง และสภาพของท้องฟ้า (Sky illumination and Sky condition)
 - มุมของดวงอาทิตย์ ที่กระทำต่อช่องเปิด (Solar altitude and Solar azimuth)
 - ปริมาณความเข้มของแสงแดด (Intensity of Sunlight) โดยไม่รวมแสงแดดที่ส่องเข้าสู่ภายในห้อง

- ข. ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดต่ำกว่าระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบ ดังนี้
 - ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง หรือท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ โดยที่กำหนดให้ $E_{GH,c}$ คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)
 $E_{GH,o}$ คือค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)
 - ค่าการสะท้อนแสงของดิน (ρ_{GR})
- ค. ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร โดยพิจารณาจากตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้
 - พื้นที่กระจกของช่องเปิดที่แสงส่องผ่านได้ (Ag)
 - ค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุที่เป็นช่องแสง (Tg)
 - อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของช่องแสง ที่สามารถส่องผ่านได้ต่อพื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด
 - ความสกปรกของช่องแสง ซึ่งมีผลต่อการส่องผ่านแสงอันเนื่องมาจากการสะสมของฝุ่นบนพื้นผิวระนาบ (Dirt Collection ,Dg)
- ช. ปริมาณแสงที่สามารถนำมาใช้งาน และการกระจายของแสงในระดับทำงาน (Working plane)
 - การกระจายตัวของแสงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวของวัสดุภายในห้อง
 - อัตราส่วนความกว้าง ต่อความสูงของช่องเปิด
 - อัตราส่วนความกว้าง ต่อความยาว ต่อความสูงของห้อง

วิธีการคำนวณแบบลูเมน (Lumen Method) จะพิจารณาเฉพาะปริมาณของแสงสว่างที่ระดับทำงานเท่านั้น เนื่องจากระดับของช่องเปิดต่ำกว่า หรือเท่ากับระดับทำงานจะมีผลต่อปริมาณแสงสว่างที่ระดับทำงานน้อยมาก ส่วนช่องเปิดที่อยู่เหนือระดับทำงานเท่านั้นที่ถือว่าจะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างที่ระดับทำงาน และให้ถือว่าความกว้างของช่องแสงมีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีลูเมน มีสมการมาตรฐานในการการคำนวณ ดังนี้

$$Esp = (Ee) (Ag) (Tg) (LLF) (CU) \dots\dots\dots(2.42)$$

- เมื่อ Esp = ค่าระดับความส่องสว่าง ณ บริเวณจุดที่ต้องการพิจารณา (Station point)
- Ee = ค่าระดับความส่องสว่างของท้องฟ้า ณ ขณะที่พิจารณา
- Ag = พื้นที่ของช่องเปิด ที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้
- Tg = ค่าการส่องผ่านของ ช่องแสง ของวัสดุช่องเปิด
- CU = ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization) หรือ ค่าความสามารถในการนำแสงสว่าง มาใช้งานภายในอาคาร

จากสมการข้างต้น ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า Ee ในความเป็นจริงจะประกอบไปด้วยค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าในแนวนอน (Eg) และแนวตั้ง (Es) ส่วน Ag และ Tg คือพื้นที่ของช่องเปิด และ ค่าการส่องทะลุผ่านของแสงของช่องเปิด ตามลำดับ

การพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU) สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ จุดใดๆในห้องต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิด ซึ่งประกอบด้วยแสงที่เกิดจากท้องฟ้าและแสงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นดิน ดังนั้นค่า CU จะถูกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือองค์ประกอบของขนาด รูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนังเป็นการพิจารณาสัดส่วนของห้องในระดับระนาบที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และองค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้องค่าการสะท้อนแสงของผนังเป็นการพิจารณา สัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย K

ส่วนค่าการส่องสว่างภายนอก Ee จะพิจารณาเป็น 2 ส่วน เช่นเดียวกัน คือค่าการส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้า โดยมีทิศทางจากบนลงล่าง (Downward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย Esv และ ค่าการส่องสว่างภายนอกอันเนื่องมาจากแสงสะท้อนจากพื้นดินที่มีทิศทางจากล่างขึ้นบน (Upward) เมื่อเทียบกับช่องเปิด แทนด้วย Egv

ดังนั้น ค่า CU จะต้องมีการแยกพิจารณาตามแนวของระนาบแสงออกเป็นสองระนาบตามลักษณะทิศทางของแสงที่เกิดขึ้น เป็น Cs, Ks และ Cg, Ks ทำให้สมการข้างต้น เปลี่ยนรูปเป็น

$$Esp = [(Esv) (Ag) (Tg) (Cs) (Ks)] + [(Egv) (Ag) (Tg) (Cg) (Kg)] \dots\dots\dots(2.43)$$

- เมื่อ Cs, Cg = คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานตามความกว้าง, ยาว, ความสูงของห้อง และค่าการสะท้อนแสงของผนัง ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบของช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้า และพื้นดิน
- Ks, Kg = คือค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน ตามความสูงฝ้าเพดาน และค่าการสะท้อนแสงของผนัง ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้า และพื้นดิน
- Tg = ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของวัสดุช่องเปิด
- Ag = พื้นที่สุทธิที่แสงส่องผ่านได้

เนื่องจากค่า C, K จะแปรผันตามขนาดของห้องหรืออาคาร ดังนั้นการหาระดับความส่องสว่าง ที่จุดใดๆ สามารถเทียบกับปริมาณแสงสว่างมาตรฐานที่ต้องการใช้งาน ทำให้ทราบว่า ณ ตำแหน่งต่างๆภายในห้อง มีแสงสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติเพียงพอหรือไม่ ซึ่งอาจต้องใช้แสงประดิษฐ์มาช่วยเสริมระดับความสว่างให้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยที่ค่า C และ K จะมีค่าคงที่ภายใต้สภาพท้องฟ้าหนึ่งๆ ดังนั้นในการพิจารณาค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจะต้องพิจารณาถึงลักษณะสภาพของท้องฟ้าแต่ละสภาพซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

ก. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Overcast sky) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมเต็มท้องฟ้า และไม่มีแสงแดดตรงจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบพื้นผิวใดๆ ปริมาณความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้า (E_{vk}) และพื้นดิน (E_{vg})หน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

$$E_{s,o} = E_{Gv,o} - [E_{GH,o} * 0.1] \dots\dots\dots(2.44)$$

$$E_{G,o} = E_{GH,o} * 0.1 \dots\dots\dots(2.45)$$

โดยที่ $E_{s,o}$ คือ ค่าความสว่างจากท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง
 $E_{Gv,o}$ คือ ค่าความสว่างรวมทั้งตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน
 $E_{GH,o}$ คือ ค่าความส่องสว่างรวมทั้งตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ
 $E_{G,o}$ คือ ค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดิน ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

ข. สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ปราศจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Clear sky without direct sunlight) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆปกคลุมแต่ไม่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงจากดวงอาทิตย์ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้า (E_{vk}) และพื้นดิน (E_{vg}) หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล

$$E_{s,c} = E_{dv,c} \dots\dots\dots(2.46)$$

$$E_{g,c} = E_{GH,c} \dots\dots\dots(2.47)$$

โดยที่ $E_{dv,c}$ คือ ค่าความสว่างของแสงกระจายจากท้องฟ้าโปร่ง ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง
 $E_{GH,c}$ คือ ค่าความสว่างรวมทั้งตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ
 $E_{g,c}$ คือ ค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

ค. สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Clear sky with direct sunlight) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆปกคลุมแต่ได้รับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงจากดวงอาทิตย์ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งจากท้องฟ้า (E_{vk}) และพื้นดิน (E_{vg}) หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล

$$E_{s,c} = E_{Gv,c} - [E_{GH,c} * 0.1] \dots\dots\dots(2.48)$$

โดยที่ กรณีนี้พิจารณาโดยถือว่ามีกำบังกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด
 $E_{GH,c}$ คือ ค่าความสว่างรวมทั้งตกกระทบพื้นผิวแนวระนาบ
 $E_{Gv,o}$ คือ ค่าความสว่างรวมทั้งตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง

ง. สภาพท้องฟ้ามีค่าความสว่างคงที่ (Uniform Sky) เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่มีการกระจายแสงที่ใกล้เคียงกันทั่วท้องฟ้า ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้า (E_{vk}) และพื้นดิน (E_{vg}) เป็นหน่วยฟุตแคนเดิล กรณีที่พิจารณาโดยถือว่า มีการป้องกันแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

$$E_{s,u} = E_{gu} \dots\dots\dots(2.49)$$

กรณีที่พิจารณาสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะหาได้จากสมการ

$$E_{s,u} = 0.5 * E_{GV} \dots\dots\dots(2.50)$$

2.10.2 Daylight Factor Method

Daylight Factor Method หรือ sky factor หรือ split flux method เป็นวิธีการคำนวณระดับความส่องสว่างภายในอาคารวิธีหนึ่งที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากกว่า 70 ปี (โดยเฉพาะในประเทศอังกฤษ ได้มีการกำหนดกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และอาศัยการคำนวณ ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้) วิธีโดยไลต์แฟกเตอร์ (Daylight Factor) (Prof. Waldram, 1940) และได้รับการพัฒนาให้เหมาะสมต่อมา เพื่อการใช้งานที่สะดวกขึ้น (Prof. Hopkison, Prof. Petherbridge, and Prof. Longmore ,1966)

หลักการของเดย์ไลท์แฟกเตอร์ (Daylight factor, DF) จะเป็นวิธีการที่กำหนดขึ้นจากอัตราส่วนเปรียบเทียบ ระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคาร ในระนาบพื้นผิว (E_i) ต่อค่าความส่องสว่างภายนอกของอาคาร (E_e) ในระนาบเดียวกันโดยความสว่างที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา โดยมีสมการมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$DF_o = (E_i / E_e) \times 100 \dots\dots\dots(2.51)$$

$$DF(\%) = \frac{\text{ความส่องสว่างภายใน}}{\text{ความส่องสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดดตรง)}} \times 100 \dots\dots\dots(2.52)$$

เมื่อ ลักษณะของท้องฟ้าใกล้เคียงลักษณะท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน หาก DF มีค่าเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ จะหมายความว่าค่าความส่องสว่างภายใน (E_i) ณ จุดนั้น (station point) จะมีค่าความส่องสว่าง เท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความส่องสว่างจากภายนอก (E_e)

องค์ประกอบของวิธีการคำนวณแบบ Daylight Factor

การพิจารณาหาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติด้วยวิธีเดย์ไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor , DF) จะเป็นวิธีการคำนวณที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ โดยองค์ประกอบที่สำคัญ มีดังนี้คือ

1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component)
2. องค์ประกอบภายนอก (External reflected component)
3. องค์ประกอบจากภายใน (Interior reflected component)

องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component, SC)

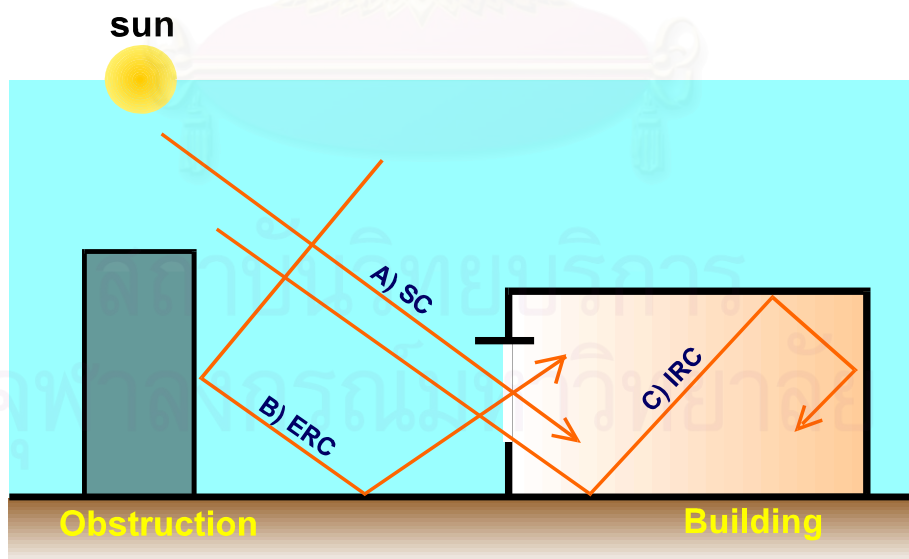
จะเป็นแสงธรรมชาติภายนอกที่เข้าสู่อาคารโดยตรง โดยแสงธรรมชาติจะมีปริมาณความส่องสว่าง ที่มาก หรือน้อยตามสภาพของท้องฟ้าที่ต่างกัน เช่นท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear sky) หรือท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมจนบางครั้งไม่สามารถมองเห็น ดวงอาทิตย์ได้ (Completely overcast sky)

องค์ประกอบจากภายนอก (Externally reflected component, ERC)

เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอก หรือบริเวณข้างเคียงอาคาร และสะท้อนวัตถุดังกล่าว เข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้น

องค์ประกอบจากภายในอาคาร (Internal reflected component, IRC)

เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายในอาคารจากแสงที่มาจากองค์ประกอบจากท้องฟ้า และองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก ปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่สะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ เช่นเดียวกันกับองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร



- ภาพที่ 2.24 แสดง เดย์ไลท์แฟกเตอร์ เมื่อ A) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (sky component ,SC) ,
 B) องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก (Exterior reflective component, ERC),
 C) องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายใน (Interior reflective component, IRC)

สมการมาตรฐานค่าเดย์ไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor) จากตัวแปรขององค์ประกอบข้างต้น อธิบายได้ดังนี้

$$DF_o = SC_o + ERC_o + IRC_o \dots\dots\dots(2.53)$$

และหากผนังภายในอาคาร เป็นผนังที่มีการใช้งานมานาน หรือมีความสกปรก จะทำให้สมการเปลี่ยนไป โดยมีค่าการบำรุงรักษา (Maintenance Factor, MF) เกิดขึ้น

$$DF_o = SC_o + ERC_o + [(MF) (IRC_o)] \dots\dots\dots(2.54)$$

การกำหนดค่าของเดย์ไลท์แฟกเตอร์ ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่หนึ่งๆ พิจารณาได้ดังนี้

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

ตาราง 2.5 แสดงค่า Daylight Factor ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ

ที่มา : Millet and Bedrick (1980) อ้างอิงใน Mechanical and Electrical Equipment for Building 8th Edition. pp 197

2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างและปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์

ในสภาพท้องฟ้าที่มีความแตกต่างกันพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยอินฟราเรด, อัลตราไวโอเล็ต, และรังสีของคลื่นแสง ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ได้ โดยเทียบหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยของแสงสว่างต่อหน่วยของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ ประสิทธิภาพความส่องสว่างของดวงอาทิตย์จะแปรผันตามปริมาณพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยช่วงคลื่นที่มีความยาวคลื่นระหว่างช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นและไม่เห็น (อินฟราเรด และ อัลตราไวโอเล็ต) และตัวแปรที่มีอิทธิพลของลักษณะท้องฟ้าโปร่ง ,ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบและค่าเฉลี่ยจากท้องฟ้า (Clear, overcast, average sky) และมุมอัลติจูด, มุมอัลซิมูทของดวงอาทิตย์ ซึ่งในส่วนใหญ่ประสิทธิภาพของความสว่างจะแยกออกเป็น จากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว, จากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว และจากปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์และท้องฟ้า (Global Radiation Sun Plus Sky)

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลตัวอย่างที่ต่างกันในส่วนต่างๆของโลก จะพบว่าประสิทธิภาพความสว่างของแสงอาทิตย์ ที่ได้จากการตรวจวัดในเวลาเดียวกันของ ความส่องสว่างและปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งยกตัวอย่างให้เห็นภาพได้ โดยการวัดประสิทธิภาพความส่องสว่างในหน่วยลูเมนต่อวัตต์ (Lumen per watt) ให้เป็นปริมาณความสว่างต่อหนึ่งพื้นที่เทียบกับความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่เดียวกัน และการ

วิเคราะห์ (Pleijel, 1970) จากวิธีข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่าท้องฟ้าโปร่ง และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมที่บจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อประสิทธิภาพของความส่องสว่าง ตามมุมของดวงอาทิตย์ (ในแต่ละช่วงเวลาของปี) แต่การลดลงของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์อย่างมากของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Sun's direct radiation) จะเกิดจากมุมอับติจุดของดวงอาทิตย์ที่น้อยกว่า 30 องศา อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบผลในยุคแรกนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนของผลจากอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบได้ แต่จากการพัฒนาของเครื่องมือในยุคปัจจุบันการวัดประสิทธิภาพของแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ จากเครื่องมือที่ทันสมัย และมีความละเอียดในการวัดที่มากขึ้น ผลที่ได้มีความถูกต้องและ สามารถเชื่อถือได้ (Prof. Blackwell, Kew Observatory, England and Prof. Drummond of Pretoria Institute, South Africa, 1976) ได้สรุปผลงานวิจัยในทำนองเดียวกันดังนี้

ความสามารถในการวัดความสัมพันธ์ของรังสีกระจายทั้งหมด (Global radiation) จากท้องฟ้าโปร่ง, ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมที่บ (Clear sky, Overcast sky and Average sky) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของความสว่าง ที่พบอยู่ระหว่าง 119 +/- 2 , 120 +/- 5 และ 116 +/- 7 ลูเมนต่อวัตต์ (lm/W) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของท้องฟ้าที่เป็นแบบรวม (Global radiation) จะพบว่ามีความแตกต่างกันจากน้อยที่สุด 105 lm/W ในเดือนมีนาคมถึง 128 lm/W ในเดือนพฤศจิกายน แต่แท้จริงแล้วจุดประสงค์ในการศึกษาเรื่องแสงสว่างนั้น ค่าของแสงสว่างที่นำมาใช้งานจะเป็นค่าของความสว่างจากดวงอาทิตย์ และจากท้องฟ้าในลักษณะต่างๆเป็นตัวกำหนดด้วย นอกจากนี้จากการแสดงข้อมูลด้วยกราฟการกระจายแสงของดวงอาทิตย์จะแสดงให้เห็นถึงค่าที่เกือบคงที่ค่าหนึ่งของประสิทธิภาพของความสว่าง ซึ่งจะได้ประมาณ 117 lm/W สำหรับมุมอับติจุดของดวงอาทิตย์ ที่มากกว่า 25 องศา และจะลดลงเหลือ 90 lm/W เมื่อมุมอับติจุดของดวงอาทิตย์เท่ากับ 7½ องศา โดยทั่วไปเพื่อสะดวกในการคำนวณจะใช้ค่าความสว่าง 100 lm/w ซึ่งสามารถยอมรับได้ในความถูกต้อง และความสว่างของดวงอาทิตย์ ที่ได้ในท้องฟ้าแบบ clear sky จะต่ำกว่าประมาณ 20% จากตาราง 2.6

จากการทดสอบทั่วไปไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความสว่างที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์ของค่าเฉลี่ยจากท้องฟ้าที่จะตรงข้ามกับค่ารวมของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ (Global Radiation) แต่จากการรวมกันของค่าเฉลี่ยของรังสีจากท้องฟ้าที่เกี่ยวกับค่าเฉลี่ย ความสว่างของท้องฟ้า (Prof. Kew, 1983) และจากรายงานที่เกี่ยวข้อง จะใช้ค่าเฉลี่ยที่เท่ากับ 125 ลูเมนต่อวัตต์ เป็นค่าคงที่ในการพิจารณาความสว่างของแสงจากท้องฟ้าตลอดทั้งปี และจากการพิจารณา ถึงค่าสูงสุดของการกระจายสเปกตรัมของพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าโปร่งจากคลื่นสั้นเปรียบเทียบกับท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมทั้งหมด ที่สามารถจะลดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของพลังงานในคลื่นแสงอินฟราเรดที่เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมคลื่นแสงทั้งหมดนั้นจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของความสว่างของแสงในท้องฟ้าโปร่ง เพิ่มขึ้นเป็น 150 ลูเมนต่อวัตต์

การหาค่าเฉลี่ยความสว่าง (Average Illumination) ของแสงจากดวงอาทิตย์ หรือท้องฟ้าจากค่าของรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) และการแปลงค่าเฉลี่ยของรังสีจากดวงอาทิตย์ หรือท้องฟ้าสามารถเปลี่ยนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Average sun/sky illumination (lm/ft}^2\text{)} = \text{Average sun/sky radiation (w/ft}^2\text{)} \times \text{luminous efficiency of sun/sky radiation (lm/W)} \dots\dots\dots (2.55)$$

หากอัตราส่วนค่ารังสีดวงอาทิตย์ต่อค่ารังสีจากท้องฟ้า (Sun / Sky radiation) มีหน่วยเป็น มิลลิวัตต์ ต่อตารางเซนติเมตร (milliwatts per sq.cm. , mW/cm²) ซึ่งเป็นหน่วยของที่ใช้ในกรมอุตุนิยมวิทยาของอังกฤษ จะมีสมการในการแปลงดังนี้

$$\text{Average sun/sky illumination (lm/ft}^2\text{)} = 0.929 \times \text{Average sun/sky radiation (mw/ft}^2\text{)} \times \text{luminous efficiency of sun/sky radiation (lm/W) (2.56)}$$

และจากสมการข้างต้น IES. (Illuminating Engineering Society) ได้ใช้ในการอ้างอิงในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพผลความสว่าง (Luminous efficiency) ของท้องฟ้าเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปีของเมือง Eskdalemuir ในทางใต้ของประเทศสก๊อตแลนด์(Southern Scotland)และเมืองเลวิก (Lerwick) บนเกาะไฮสแลนด์ (Shetland, Island) ซึ่งค่าความสว่างของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการคำนวณสามารถพิจารณาได้จากตารางข้างล่างนี้

Source	Luminous efficiency (lm/W)
Sun (solar altitude < 7 1/2°)	90
Sun (solar altitude > 25°)	117
Sun (suggested mean)	100
Sky (clear)	150
Sky (average)	125
Global (average)	115

ตาราง 2.6 แสดงค่าประสิทธิภาพผลค่าความสว่าง (Luminous efficiency) ของแสงสว่างธรรมชาติ หน่วยเป็น ลูเมน ต่อวัตต์

ที่มา : Daylighting by R.G.Hopkinson, Ph.D., MIEE, FIES, FRPS, p 51

2.11.1 การคำนวณและการคาดคะเนภาระการทำความร้อน

การคำนวณความร้อนเพิ่ม (Heat gain) ซึ่งการคำนวณภาระการทำความร้อนทั้งหมดเป็นความร้อนเพิ่ม แต่ในบางครั้งภาระความร้อนที่ใช้จะต้องมีการแก้ไขค่าความร้อนเพิ่ม

แบบที่ 1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างเข้ามาในห้องทำให้พื้นและวัตถุอื่นๆ ร้อนขึ้นแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายในห้อง ซึ่งหมายความว่าความร้อนเพิ่มจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มีช่วงที่ช้าก่อนที่จะมาเป็นภาระความร้อน มีผลให้ภาระความร้อนเบื้องต้น (Primary load) น้อยลงไปกว่าค่าที่คาดหมายไว้ก่อน

แบบที่ 2 การคำนวณความร้อนเพิ่มมาตรฐานเป็นการคำนวณเมื่ออุณหภูมิภายในคงที่ที่ภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่แน่นอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่ในความเป็นจริงความร้อนจะถูกเก็บไว้ในพื้นและวัตถุอื่นๆใน

ระหว่างวันเมื่อเครื่องปรับอากาศไม่ทำงาน ดังนั้นความร้อนดังกล่าวจึงควรนำไปรวมเข้ากับค่าการคำนวณความร้อนเพิ่มมาตรฐานด้วย

การคำนวณทั้ง 2 แบบเรียกว่า การคำนวณภาระความร้อนสะสม (Storage heat load calculation) ในการคำนวณ Heat load หรือ Cooling load นี้จะยึดถือตามวิธีการของ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc.) การคำนวณ Cooling load อันเกิดจากการนำความร้อนและการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจกเมื่อรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์กระทบพื้นผิวกระจกจะมีการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในพื้นที่ 3 ส่วนคือ

1. ความร้อนเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอกและภายใน
2. ความร้อนเนื่องจากรังสีที่ทะลุผ่านกระจก
3. ความร้อนที่สะสมในเนื้อกระจก

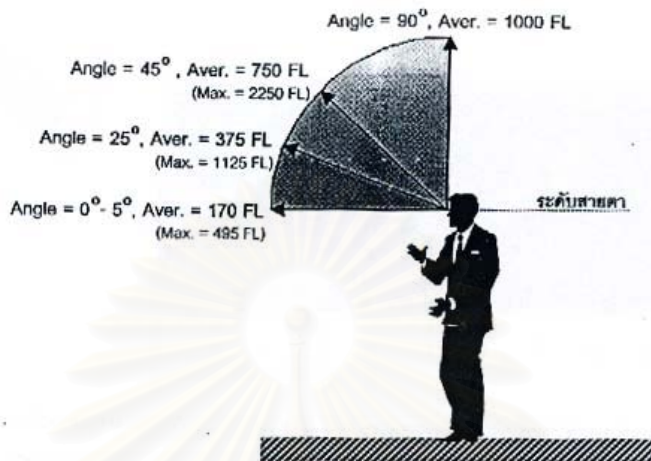
ความร้อนในข้อ 2. และ 3. จะเกิดเฉพาะเมื่อกระจกถูกแสงแดด ไม่ว่าจะเป็นแสงโดยตรง (Direct sunray) หรือเป็นแสงกระจาย (Diffuse sun ray) ส่วนความร้อนในข้อ 1. นั้นเกิดขึ้นตลอดเวลาตราบเท่าที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงกว่าภายในไม่ว่ากระจกจะถูกแดดหรือไม่ (ASHRAE, 1997.)

การนำความร้อนผ่านกระจก การคำนวณปริมาณความร้อนเนื่องจากการนำผ่านพื้นผิวกระจก ใช้สูตรพื้นฐานในการคำนวณคือ $Q = U \times A \times \Delta T$ แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ได้คิดถึงผลการถ่ายเทความร้อน 2 แบบเข้าด้วยกัน คือการนำความร้อนและการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างภายนอกและภายใน และการนำความร้อนผ่านเนื้อกระจก ดังนั้น ΔT จึงไม่ใช่ผลต่างโดยตรงของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน แต่ต้องทำการแก้ไขโดยใช้ Transfer function method ผลลัพธ์ที่ได้คือค่า CLTD และสูตรที่ใช้ในการคำนวณจะเปลี่ยนเป็น

$$Q = U \times A \times CLTD$$

ในการคำนวณหาค่าความร้อนที่เข้ามาในอาคาร จะพิจารณาเฉพาะความร้อนที่เกิดเนื่องจากรังสีของดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งเป็นบริเวณปรับอากาศเมื่อพิจารณาถึงรูปร่างภายนอกของอาคารความร้อนจะผ่านเข้ามาได้ 2 วิธีคือ จากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคารโดยการนำความร้อนจากการรังสีของดวงอาทิตย์และจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ในหัวข้อวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะกรณีแรกเท่านั้น โดยถือว่าผนังมีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกทั้งหมดเท่ากับพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านทะลุกระจก + ความร้อนที่ระบายสู่ภายในเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน + ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

เมื่อพิจารณาความสามารถของตามนุษย์ในการยอมรับความสว่างหรือความจ้าของแสงจะพบว่าขึ้นอยู่กับทิศทางของมุมมองที่แสงสว่างเข้าสู่ตา (Flynn, 1988) ถ้ามุมมองเป็นเงที่มีองศาของการมองยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้สายตาสามารถยอมรับความจ้าได้มากขึ้น



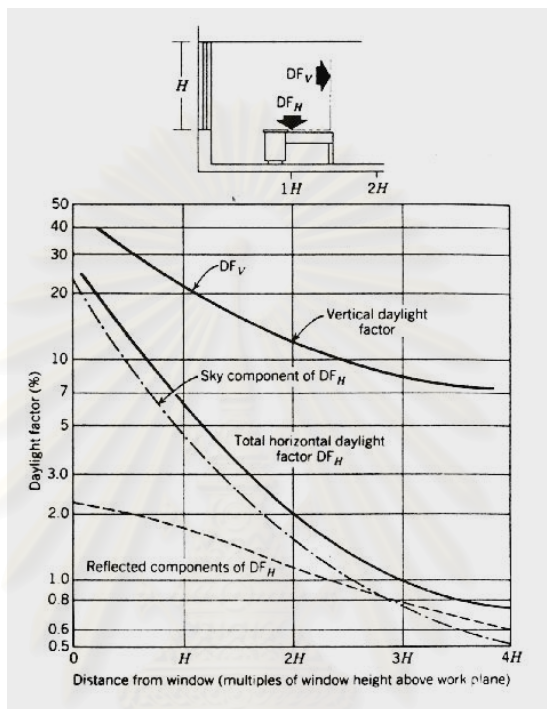
ภาพที่ 2.25 แสดงข้อจำกัดของความสามารถรับความส่องสว่างได้ของการมองเห็นในมุมต่างๆ

มุมที่มอง (องศา)	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง (FootLamberts)	ความส่องสว่างมากที่สุด maximum Luminance (FootLamberts)
45	750	2250
35	535	1605
25	375	1125
15	250	750
0.5	170	495

ตารางที่ 2.7 แสดงข้อจำกัดของความสามารถรับความส่องสว่างได้ของการมองเห็นในมุมต่างๆ

ที่มา: Flynn, John E., Kremers, Jack A., Segil, Arthur W. and Staffy Gary R. Architectural Interior Systems: Lighting, Acoustics, Air Conditioning. 3rd Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992, page 37.

ปริมาณความสว่างของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ทำงาน (Working plane) ใดๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงบนระนาบนั้นๆ ที่กระทำกับเส้นตั้งฉากของระนาบ (Stein, 1992) ดังนั้นเมื่อระนาบใช้งานตั้งฉากกับแหล่งที่มาของแสงก็จะทำให้ปริมาณของแสงที่สะท้อนออกมามีมากกว่าระนาบที่ขนานกับแหล่งที่มาของแสง ดังแสดงในภาพด้านล่าง



ภาพที่ 2.26 ภาพแสดงปริมาณแสงสว่างจากแนวระนาบและแนวตั้งที่ได้จากช่องแสงด้านข้าง ในระยะต่างๆของห้อง

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, pp. 982

ดังนั้นหากห้องเรียนมีช่องแสงที่อยู่ด้านข้าง ปริมาณของแสงสว่างบริเวณโต๊ะเรียนก็จะน้อย แต่ถ้าหากช่องแสงอยู่ด้านบน ปริมาณของแสงที่บริเวณโต๊ะเรียนก็จะมากขึ้นเพราะตั้งฉากกับแหล่งที่มาของแสงมากกว่า

2.12 การใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน

การใช้แสงธรรมชาติในห้องเรียนเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบห้องเรียน คือการออกแบบให้ภายในห้องมีแสงสว่างที่เพียงพอต่อความต้องการ ทั้งทางด้านปริมาณแสงสว่างและคุณภาพของแสงสว่างที่เกิดขึ้นในห้องเรียนให้สัมพันธ์กับกิจกรรมที่ใช้ คือการอ่านหนังสือและการมองดูกระดาน

- ปริมาณแสงสว่าง

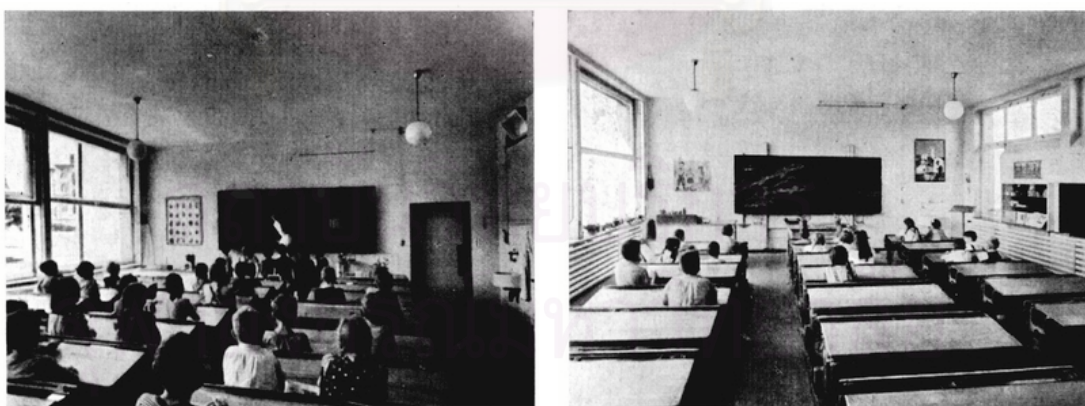
จากตารางที่ 2.5 ที่กำหนดค่า Daylight factor สำหรับกิจกรรมการเรียนและอ่านหนังสือไว้ที่ 2.5 โดยที่บริเวณอ่านหนังสือควรมีปริมาณแสงเท่ากับที่กำหนด

- คุณภาพแสงสว่าง

ในการวัดคุณภาพของแสงสว่างจะทำการวัดในเรื่องของความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของแสงสว่างภายในห้อง และค่าความสว่างที่พื้นผิววัสดุเกิดจากแสงสะท้อนจากวัสดุเข้าสู่ดวงตา โดยที่ค่าความสว่างมีหน่วยเป็น Foot lamberts ซึ่งจะต้องมีปริมาณที่เหมาะสมกล่าวคือ ไม่มากหรือน้อยเกินไป

Function	Reflectance
Ceiling	85%
Walls	60-70%
Floors	20-25%
Blackboard	15-20%
Furniture	40-60%

ที่มา: American standards for school building



ภาพที่ 2.27 แสดงปริมาณแสงสว่างของห้องเรียนที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการและไม่มีแสงสว่างที่สม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่าง (ภาพซ้าย) เปรียบเทียบกับห้องเรียนที่มีปริมาณแสงที่เพียงพอต่อความต้องการ และมีแสงสว่างที่สม่ำเสมอ (ภาพขวา)

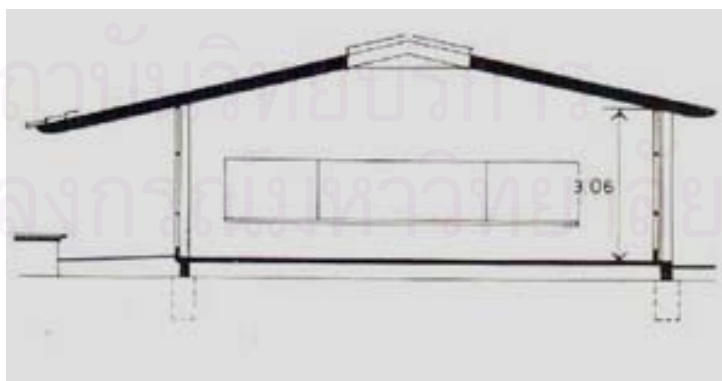
2.13 กรณีศึกษา

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบของช่องแสงด้านบนในห้องเรียน จึงได้ทำการศึกษาดูตัวอย่างของรูปแบบช่องแสงด้านบนแบบต่างๆ ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

ช่องแสงด้านบน

เป็นการเปิดช่องแสงด้านบนของห้องเรียนโดยให้แสงจากดวงอาทิตย์เข้ามาโดยตรง (Direct Light) ซึ่งจะทำให้ได้รับปริมาณแสงสว่างมากแต่ก็จะมีปัญหาเรื่องความร้อนที่เข้ามามากด้วยเช่นกัน ดังนั้นในประเทศไทยจึงควรหลีกเลี่ยงด้วยการออกแบบส่วนบังแดด เพื่อป้องกันแสงที่ผ่านเข้ามาโดยตรง แต่รูปแบบดังกล่าวนี้เป็นที่นิยมในประเทศเขตร้อนเพราะต้องการความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางช่องแสงด้านบน

1.1 North Hillsborough School, California (1954/55) Architect: Ernest J. Kump



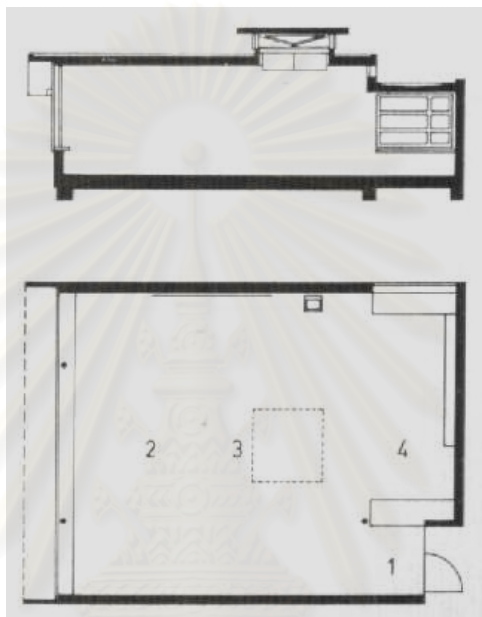
ภาพที่ 2.28 บรรยากาศภายในห้องเรียน และรูปตัดของห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Sky light

ที่มา: Alfred Roth. *New school building*. London: Thomas & Hudson, 1966.

ช่องแสงด้านข้างที่ตำแหน่งสูง

เป็นรูปแบบของช่องแสงด้านบนที่ให้แสงเข้ามาได้ 2 ด้าน หรือมากกว่านั้น โดยแสงที่ผ่านเข้ามาจะเป็นแสงกระจายจึงลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารได้มากกว่าช่องแสงแบบ Sky light รูปแบบช่องแสงลักษณะนี้สามารถควบคุมปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาในอาคารได้ง่าย และมีความสม่ำเสมอทั่วบริเวณ โดยช่องแสงรูปแบบนี้ทำให้เกิดแสงที่เหมาะสมกับกิจกรรมการอ่านหนังสือและลดปริมาณแสงที่จำเป็นความจำเป็น

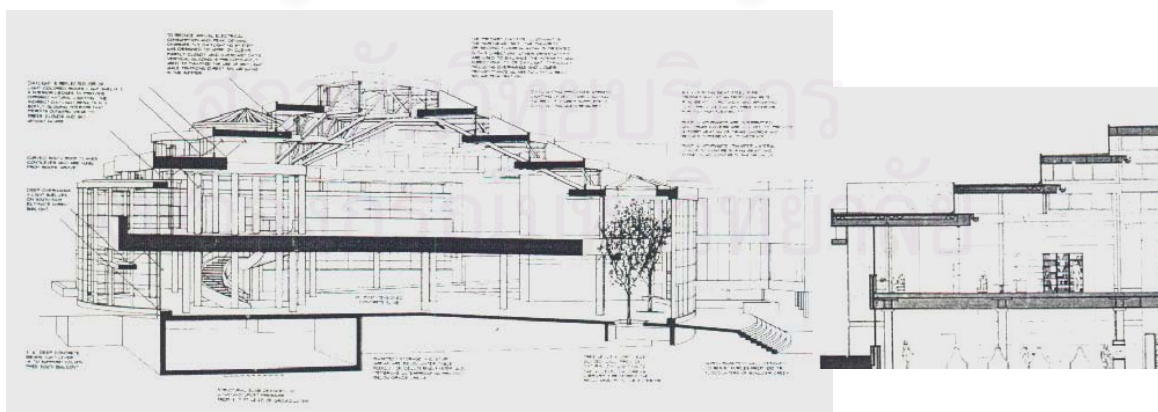
2.1 Risdhof Primary School, Zurich (1961-1963), Architect: Alfred Roth



ภาพที่ 2.29 บรรยากาศภายในห้องเรียน และรูปตัด, ผังพื้นของห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Monitor

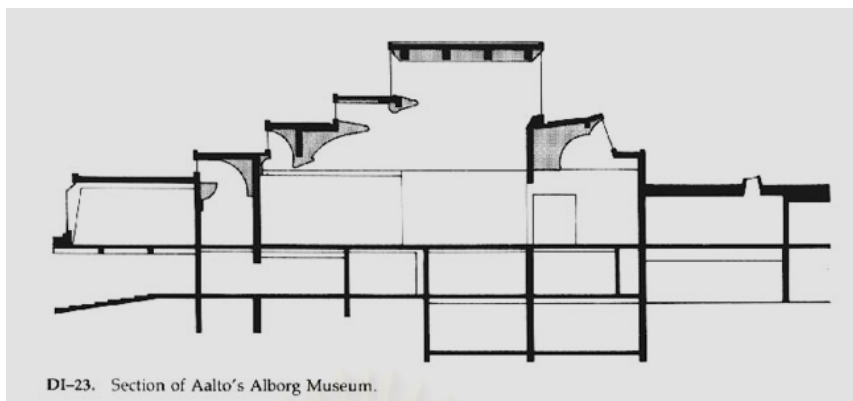
ที่มา: Alfred Roth. *New school building*. London: Thomas & Hudson, 1966.

2.2 Boulder Public Library, Colorado. Architect: Midyette/ Seieroe/ Hartrnft



ภาพที่ 2.30 ภาพแสดงรูปตัดของอาคารห้องสมุดที่ใช้ช่องแสงแบบ Monitor

ที่มา: ที่มา: Gregg D. Arder, AIA. *Daylight Performance and Design*. Van Nostrand Reinhold, New York. 1995.



ภาพที่ 2.31 ภาพแสดงการใช้ตัวสะท้อนแสงโค้งร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนแบบ Clerestory
ที่มา: William M. C. Lam. Sunlighting as formgiver for architecture. . New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.

ช่องแสงแบบ Clerestory

ช่องแสงแบบ Clerestory เป็นช่องแสงที่ทำให้เกิดแสงในแนวราบ (Horizontal Plane) ซึ่งต่างจากรูปแบบของการให้แสงจากด้านบนรูปแบบอื่นๆ ที่เน้นการเปิดรับแสงในแนวตั้ง (Vertical Plane) ซึ่งมีข้อดีในด้านการป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารเนื่องจากรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และปริมาณแสงที่จ้าเกิดความจำเป็น

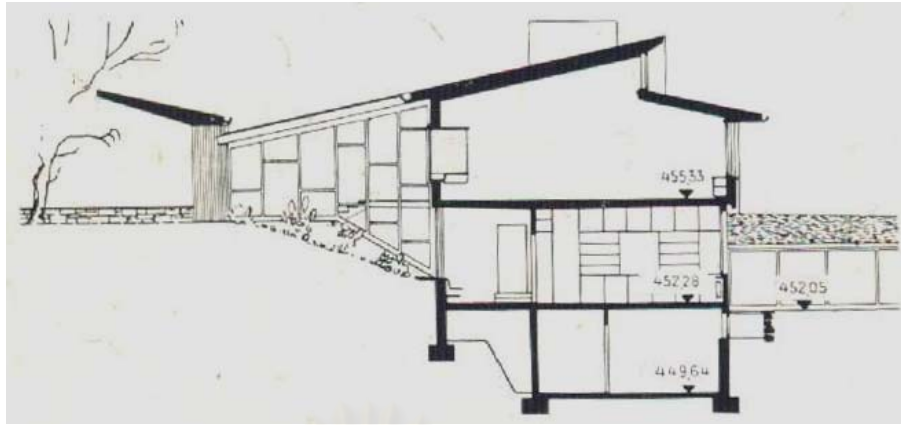
ช่องแสงแบบ Clerestory นี้มีลักษณะคล้ายกับช่องแสงแบบ Saw tooth ที่นำเอาช่องแสงแบบ Clerestory มาเรียงต่อกันเพื่อให้ได้ปริมาณแสงมากขึ้น

3.1 Matt Primary School, Luzen (1952/54), Architect: W.H. Schaad & E. Jauch



ภาพที่ 2.32 รูปห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory

ที่มา: Alfred Roth. New school building. London: Thomas & Hudson, 1966.

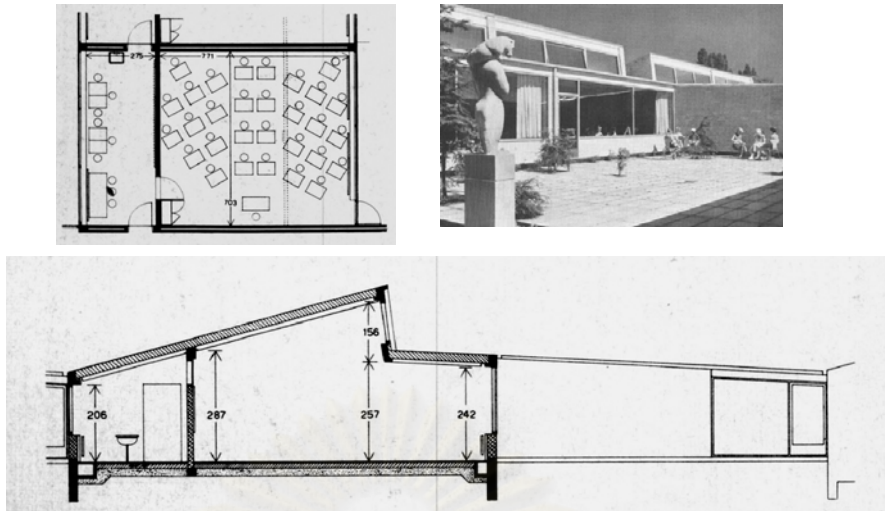


ภาพที่ 2.33 รูปตัดของห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory
ที่มา: Alfred Roth. New school building. London: Thomas & Hudson, 1966.

3.2 Munkegaard School, Gentofte, Denmark (1954/56) Architect: Arne Jacobson



ภาพที่ 2.34 บรรยากาศห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory
ที่มา: Alfred Roth. New school building. London: Thomas & Hudson, 1966.



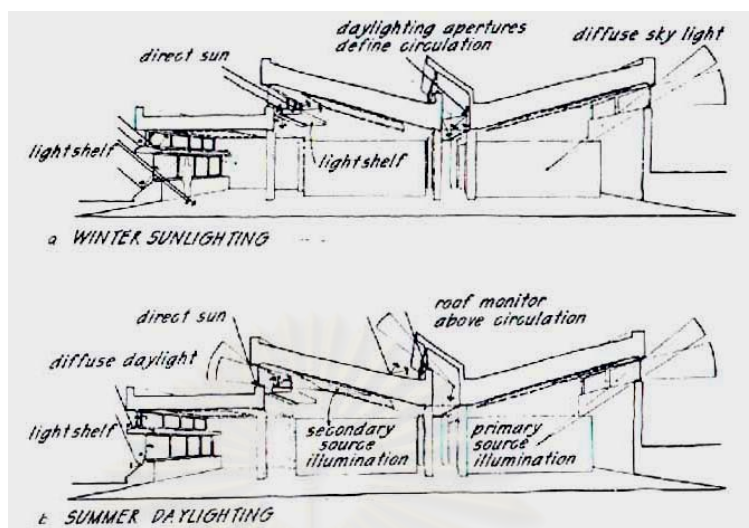
ภาพที่ 2.35 รูปตัด ผังพื้นและทัศนียภาพภายนอกของห้องเรียน
ที่มา: Alfred Roth. *New school building*. London: Thomas & Hudson, 1966.

3.3 อาคาร Emerald People's District Headquarter Building, Architect: Equinox Design, Inc., John S. Reynolds



ภาพที่ 2.36 ภาพแสดงรูปตัดของอาคารที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory
ที่มา: Gregg D. Arder, AIA. *Daylight Performance and Design*. Van Nostrand Reinhold, New York. 1995.

3.4 อาคาร Mount Airy Library Architect: Fuller More



ภาพที่ 2.37 ภาพแสดงรูปตัดของห้องสมุดที่ใช้ช่องแสงแบบ Clerestory

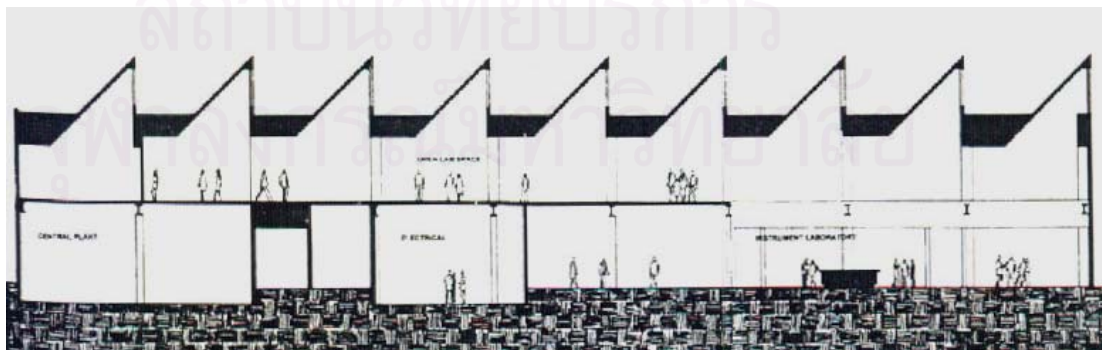
ที่มา: Fuller More, *Environmental control system: Heating cooling lighting*. Mc Graw-Hill. New York, 1993.

การใช้ช่องแสงด้านข้างส่วนบนในส่วนที่อยู่ห่างจากกรอบอาคารจะสามารถนำแสงสว่างให้เข้ามาในอาคารได้ลึกมากยิ่งขึ้น จากภาพด้านบน จะพบว่าการใช้ช่องแสงด้านข้างร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบน จะทำให้แสงสว่างกระจายเข้ามาได้ทั่วห้อง

4 ช่องแสงแบบฟันเลื่อย (Saw tooth)

ช่องแสงแบบฟันเลื่อย มีลักษณะคล้ายกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนแต่จะมีจำนวนช่องแสงมากกว่าและเรียงกันตลอดแนวของอาคารเพื่อให้แสงสว่างเข้ามาได้ทั่วห้องและมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น แต่ข้อเสียของช่องแสงลักษณะนี้คือ ไม่มีความสะดวกในการทำงานเนื่องจากจำนวนของแสงที่มีมากทำให้ดูแลรักษาลำบากและไม่เป็นที่นิยมในการทำงานกับอาคารทั่วไป แต่จะใช้กับอาคารประเภทโรงงานมากกว่า

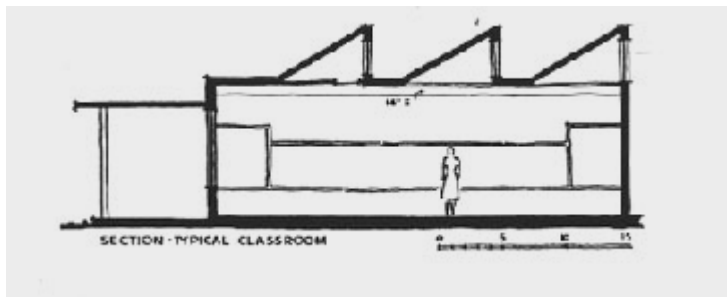
4.1 อาคาร South coast Air Quality Management, Architect: Meyer & Allen Associates



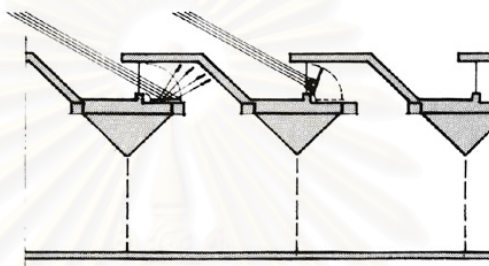
ภาพที่ 2.38 ภาพแสดงรูปตัดของอาคาร ช่องแสงแบบ Saw tooth

ที่มา: Gregg D. Arder, AIA. *Daylight Performance and Design*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1995.

4.2 San Bernadino School, California, Architect: Jerome Armstrong.



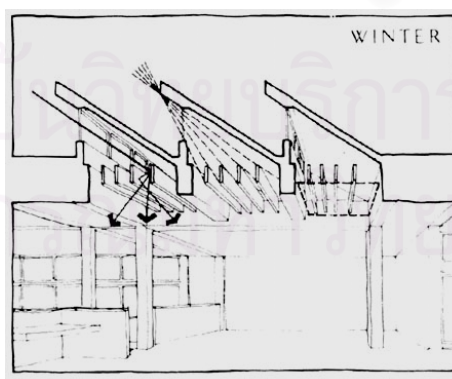
ภาพที่ 2.39 ภาพแสดงรูปตัดของอาคารห้องเรียนที่ใช้ช่องแสงแบบSaw tooth



7-29. At the Tarble Arts Museum (case study D2), we baffled south sunlight with lightshelf panels that will fold up as dynamic insulated panels.

ภาพที่ 2.40 ภาพแสดงช่องแสงด้านบนแบบ ฟันเลื่อย ของ Tarble Arts Center, Eastern Illinois University
Charleston, Illinois ที่มา: William M. C. Lam. *Sunlighting as formgiver for architecture*. . New York : Van Nostrand

Reinhold, 1986.

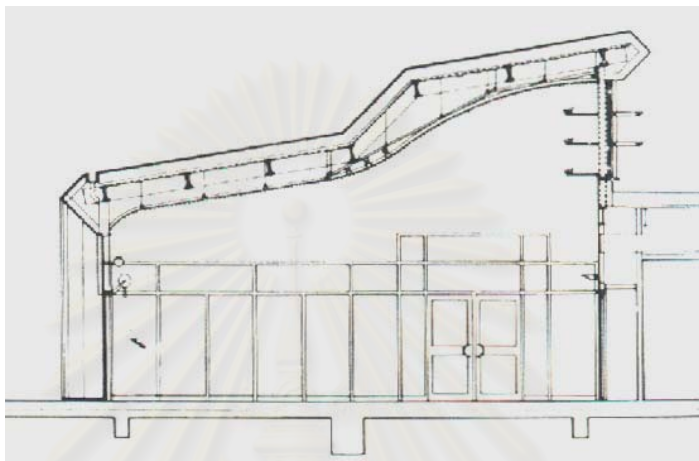


ภาพที่ 2.41 ภาพแสดงการใช้บานเกล็ดในการบังแสงอาทิตย์โดยตรงร่วมกับช่องแสงด้านบน
ที่มา: William M. C. Lam. *Sunlighting as formgiver for architecture*. New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.

5. ช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูง

ช่องแสงลักษณะนี้จะให้ปริมาณแสงสว่างที่มากในบริเวณใกล้กับช่องแสง และถ้าไม่มีการใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้างในระดับสายตา ห้องดังกล่าวก็จะขาดการเชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมภายนอกซึ่งถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอาคารที่มีการใช้งานบ่อย

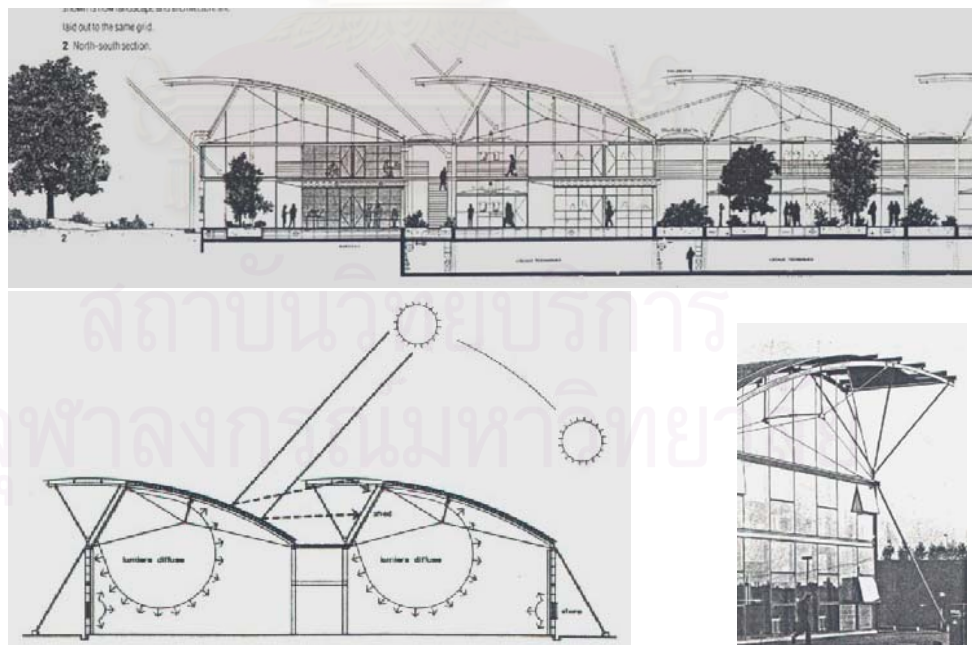
5.1 College Activity Building, Architect: Olson/ Sundberg Architects



ภาพที่ 2.42 ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูง

ที่มา: Gregg D. Arder, AIA. Daylight Performance and Design. Van Nostrand Reinhold, New York. 1995.

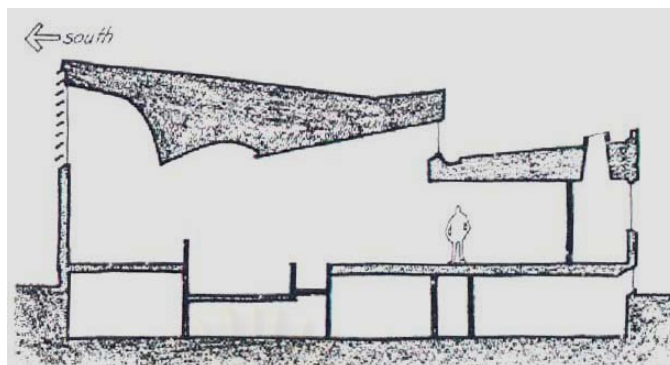
5.2 Thomson Optronics Factory, Architect: Renzo Piano



ภาพที่ 2.43 ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูงที่ใช้การสะท้อนแสงของหลังคาฝั่งตรงข้ามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่าง

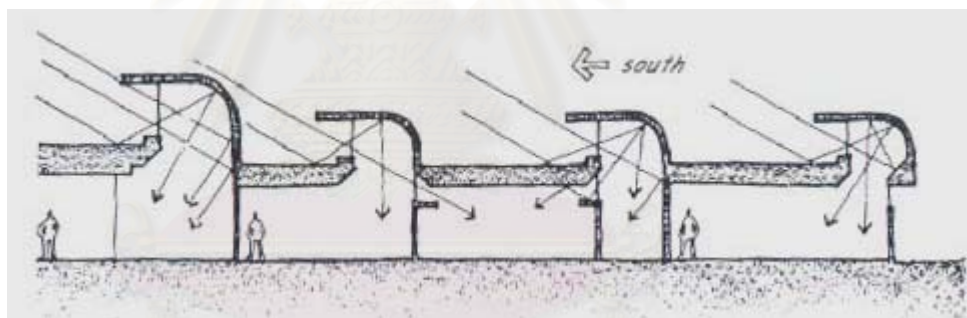
ที่มา: Renzo Piano, Renzo Piano Building Workshop. Phaidon Press Limited, 1995.

5.3 Seinajoki Library. Architect: Alvar Aalto



ภาพที่ 2.44 ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูงที่ใช้ฝ้าเพดานภายในเป็นตัวกระจายแสง
ที่มา: Fuller More, Environmental control system: Heating cooling lighting. Mc Graw-Hill. New York, 1993.

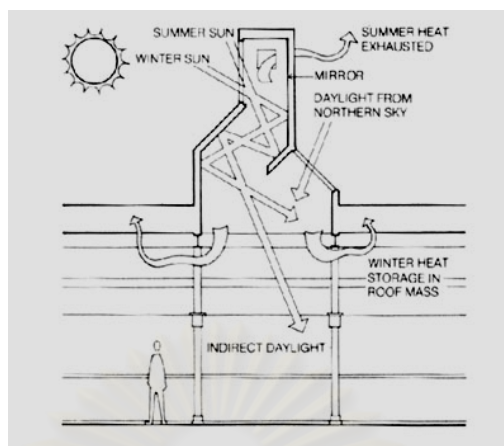
5.4 Ganado High School. Architect: Don Felts



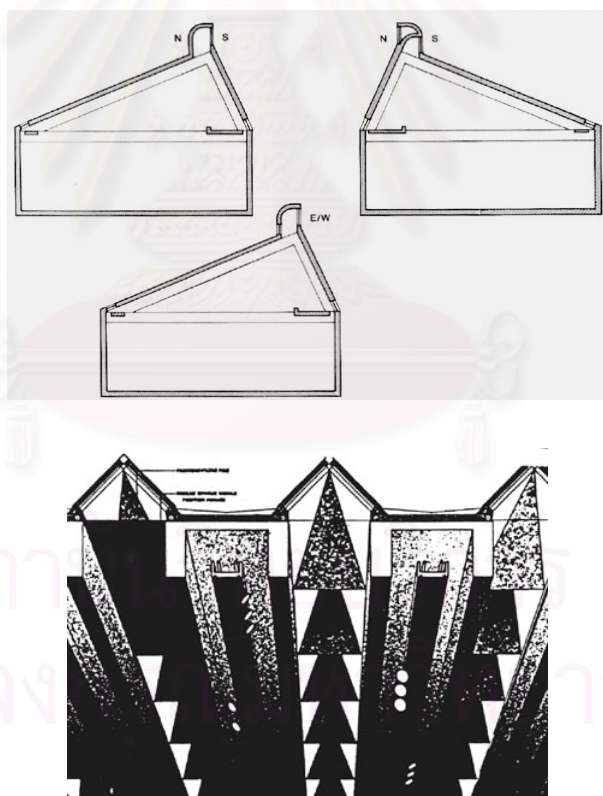
ภาพที่ 2.45 ภาพแสดงช่องแสงด้านข้างตำแหน่งสูง
ที่มา: Fuller More, Environmental control system: Heating cooling lighting. Mc Graw-Hill. New York, 1993.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบอื่นๆของช่องแสงด้านบน



ภาพที่ 2.46 ภาพแสดงการใช้ช่องแสงด้านบนแบบ monitor ร่วมกับระบบระบายอากาศ
ที่มา: William M. C. Lam. *Sunlighting as formgiver for architecture*. . New York : Van Nostrand Reinhold,
1986.



ภาพที่ 2.47 ภาพแสดงช่องแสงด้านบนที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้งเพื่อช่วยในการสะท้อนแสงให้นุ่มนวลขึ้น
โดยช่องแสงในแต่ละทิศจะมีลักษณะต่าง ๆ กัน เพื่อป้องกันแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์

สถานที่: Musee National de la Civilisation Quebec city, Canada

ที่มา: William M. C. Lam. *Sunlighting as formgiver for architecture*. . New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.

ปัญหาในการนำแสงธรรมชาติมาใช้สำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น

แสงจากดวงอาทิตย์จะมีทิศกระจายไปทั่วท้องฟ้าขึ้นอยู่กับสภาพของเมฆเป็นหลัก (Cloudiness Factor) ในเขตนหนาวจะมีปริมาณเมฆบนท้องฟ้ามากเรียกว่าท้องฟ้ามีด (Overcast Sky) จะมีปริมาณแสงที่ค่อนข้างคงที่ สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้นมักจะมีปริมาณเมฆบนท้องฟ้าปานกลางจนถึงน้อยมาก เรียกว่าท้องฟ้ามีเมฆ (Party Cloudy Sky) ทำให้มีปริมาณแสงสว่างไม่ค่อยคงที่ และถ้าท้องฟ้าแจ่มใสมีปริมาณแสงก็จะคงที่และความเข้มสูง และในกรณีที่มีเมฆความคงที่ของแสงจะไม่แน่นอนสลับไปมา เมื่อถูกแสงแดดโดยตรง (Direct Sun) ปริมาณความส่องสว่างอาจมากถึง 10,000 FC แต่ในขณะที่เป็นแสงสะท้อน (Diffuse Sun) ปริมาณความส่องสว่างอาจลดลงเหลือเพียง 2,000 FC ดังนั้นในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติจึงควรคำนึงถึงความส่องสว่างและความสม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้น เพราะมีผลต่อการประกอบกิจกรรมภายในอาคาร ในบางครั้งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก็สามารถส่องตรงไปยังพื้นที่ใช้งานได้ (Direct Sunlight) เป็นสาเหตุทำให้เกิดสภาวะที่ไม่สบายทางสายตา ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นลดลง การให้แสงสว่างธรรมชาติเข้าไปในอาคารนั้นควรมีการออกแบบให้เหมาะสม เช่นการออกแบบช่องเปิดเพื่อรับแสงนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดของช่องแสงด้วยว่าช่องแสงที่มีขนาดใหญ่ปริมาณแสงที่เข้ามาก็มากตาม แต่ก็มีปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารมากเช่นกัน ดังนั้นการออกแบบช่องแสงควรมีขนาดที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณแสงสว่างได้พอเพียงพอกับกิจกรรม และมีความร้อนเข้ามาน้อย รวมไปถึงการกำหนดตำแหน่งการให้แสงสว่างในพื้นที่ที่ต้องการ รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดการรบกวนต่อบริเวณทำงาน แต่สำหรับในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างเช่นประเทศไทยพบว่าการเปิดหน้าต่างทางทิศเหนือจะได้รับประสิทธิภาพมากกว่าทิศใต้ เพราะแสงสว่างจากทิศเหนือมีปริมาณความเข้มของแสงที่คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงเท่ากับทิศใต้ เมื่อมีปริมาณความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์น้อยก็ย่อมนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยลง ส่วนการเปิดหน้าต่างทางทิศใต้นั้น แม้ว่าจะได้รับปริมาณส่องสว่างมากกว่าทิศเหนือ แต่ก็เป็นแสงที่มีความเข้มสูงและมีความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มากกว่า ถึงแม้จะมีการบังเงาให้แก่ช่องแสง ซึ่งต้องการบังเงาทั้งในแนวอนเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมอัลติจูดที่สูง (ช่วงเวลาสายของวันจนถึงบ่าย) และบังเงาแนวตั้งเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมอัลติจูดที่ต่ำ (ช่วงเวลาเช้าและตอนเย็น) แต่ก็เป็นการบดบังปริมาณความส่องสว่างจากดวงอาทิตย์ไปด้วย เป็นสาเหตุให้ภายในอาคารได้รับแสงสว่างไม่เพียงพอต่อความต้องการ

ดังนั้นสำหรับประเทศไทย การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติควรต้องคำนึงถึงหลักการสำคัญดังนี้

1. หลีกเลี่ยงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ โดยเน้นการใช้แสงสว่างที่ได้จากการสะท้อนจากดวงอาทิตย์
2. ขนาดของช่องเปิด ไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น คือมีขนาดพอดีต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน

แนวทางที่จะนำแสงเข้าสู่ภายในอาคารเพื่อหลีกเลี่ยงแสงแดดตรง จึงควรออกแบบให้มีระดับของขอบวงกบกลางของช่องเปิดสูงกว่าระดับสายตา หรือสร้างการบังเงาให้กับพื้นที่ช่องเปิดของอาคารเพื่อควบคุมความสว่างและการสะท้อนแสงภายนอกที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจคือการใช้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องแสงด้านบน (Top Lighting) ซึ่งเป็นแนวทางในการนำแสงกระจายมาใช้ ซึ่งดีกว่าแสงที่ผ่านช่องเปิดด้านข้าง (Side Lighting) นอกจากนี้แสงจากทางด้านบนยังช่วยลดปัญหาในการเกิดแสงจ้าหรือแสงบาดตา (Glare)

นอกจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพท้องฟ้าแล้ว ปัจจัยแวดล้อมโดยรอบอาคารและปัจจัยที่อยู่ภายในอาคารที่ส่งผลเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารทั้งการสะท้อนแสงภายนอกและการสะท้อนแสงภายในของอาคารทั้งหมดในทิศทางต่างๆจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งาน

การสะท้อนแสงของผิวภายในอาคารหากมีค่าการสะท้อนแสงของเพดานและผนังที่สูง จะทำให้ค่าความสว่างภายในเพิ่มขึ้นได้ ในช่วงที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากและมีค่าความส่องสว่างลดลง แต่หากภายในอาคารได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ค่าการสะท้อนแสงภายในที่สูงก็อาจจะก่อให้เกิดความไม่สบายต่อการมองเห็นได้ อย่างไรก็ตามทิศทางของดวงอาทิตย์ และปริมาณความส่องสว่างจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงวันและเวลาต่างๆ ซึ่งผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้มีความสอดคล้องกับทิศทางต่างๆในแต่ละช่วงเวลาได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การวิเคราะห์เลือกกรณีศึกษาที่ใช้ในการทดลอง

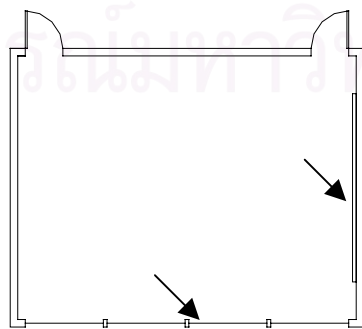
จากกรณีศึกษาที่ได้เลือกมาในบทที่ 2 เมื่อพิจารณาลักษณะเฉพาะในแต่ละรูปแบบ เพื่อหารูปแบบที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับห้องเรียนในประเทศไทยที่อยู่ในภูมิภาคเขตร้อนชื้น ที่มีสภาพอากาศภายนอกร้อนและมีแสงแดดจัดเกือบตลอดทั้งปีซึ่งเป็นภาวะที่ไม่น่าสบาย ดังนั้นความเย็นสบายและปริมาณแสงที่พอดีกับการใช้งานจึงเป็นสิ่งที่ผู้ใช้อาคารต้องการมากที่สุด รูปแบบของช่องเปิดที่เหมาะสมที่จะใช้กับอาคารในเขตร้อนชื้นอย่างเช่นประเทศไทยจึงควรเป็นรูปแบบที่สามารถลดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นสาเหตุของความร้อนและปริมาณแสงจ้าเกินความต้องการที่เข้ามาสู่อาคาร

ในการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาการใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน ดังนั้นในการพิจารณาเลือกลักษณะของช่องเปิดภายในห้องเรียน จึงได้กำหนดเกณฑ์ในการเลือกลักษณะของช่องเปิดดังนี้

1. การให้ปริมาณแสงสว่างบริเวณโต๊ะเรียนที่เพียงพอต่อการใช้งาน
2. การให้ปริมาณแสงสว่างบริเวณกระดานที่เพียงพอต่อการใช้งาน
3. ความเหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น
4. การแก้ปัญหาเรื่องการเกิดแสงแยงตาที่เกิดจากตำแหน่งช่องแสงโดยตรง
5. ความสะดวกในการก่อสร้าง
6. ความสะดวกในการใช้งาน และการบำรุงรักษา

โดยลักษณะของช่องเปิดจะต้องไม่ได้รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ จึงต้องออกแบบแผงบังแดดที่สามารถป้องกันแสงแดดได้ตลอดช่วงเวลาใช้งาน (8:00 – 16:00 น.)

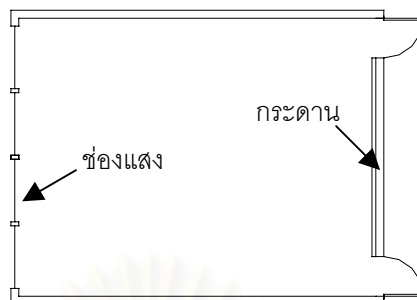
ดังนั้นในการเลือกรูปแบบที่นำมาใช้ในการวิจัย จึงได้นำเอารูปแบบช่องแสงที่ได้ศึกษาจากกรณีศึกษาและวิธีการใช้แสงธรรมชาติจากการศึกษาจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน และจากการศึกษารูปแบบของช่องแสงที่ใช้ภายในห้องเรียนพบว่า ห้องเรียนที่มีช่องแสงอยู่ด้านข้างจะพบได้บ่อยในเกือบทุกโรงเรียน แต่ช่องแสงลักษณะดังกล่าวไม่สามารถให้ปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอทั่วทั้งห้องและให้แสงสว่างที่บริเวณกระดานในปริมาณน้อย ทั้งยังก่อให้เกิดแสงปัญหาแยงตาทั้งนักเรียนและครูผู้สอน



Plan

ภาพที่ 3.1 ภาพแสดงผังพื้นของห้องเรียนทั่วไปที่ได้จากกรณีศึกษา

ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้เปลี่ยนตำแหน่งช่องแสงมาอยู่ด้านหลังห้องเพื่อให้แสงที่ผ่านเข้ามากระทบกับกระดานโดยตรงส่งผลให้ปริมาณความสว่างที่กระดานมีมากยิ่งขึ้นในขณะที่ช่องเปิดมีขนาดเท่าเดิม



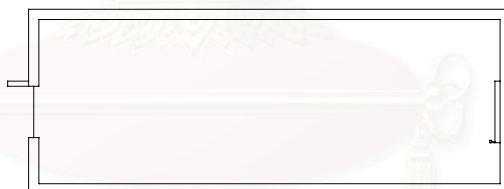
Plan

ภาพที่ 3.2 ภาพแสดงผังพื้นของห้องเรียนที่ได้ประยุกต์ขึ้นมา

ดังนั้นจึงได้ประยุกต์รูปแบบช่องแสงของห้องเรียนร่วมกับรูปแบบที่ได้จากกรณีศึกษาต่างๆที่ได้ศึกษา มาในบทที่ 2 ดังนี้

1. ห้องเรียนที่มีช่องแสงด้านหลังห้อง

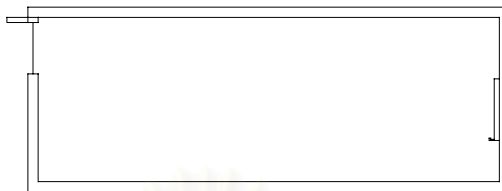
ช่องแสงที่อยู่ด้านหลังห้องตรงข้ามกับกระดาน ทำให้ปริมาณแสงสว่างที่ได้จากช่องแสงมีมากขึ้นกว่าช่องแสงด้านข้างกระดาน แต่ช่องแสงดังกล่าวอยู่ในระดับสายตาของผู้สอน (เนื่องจากในระดับสายตาของมนุษย์สามารถยอมรับแสงสว่างได้น้อย) จึงแก้ปัญหาด้วยการเลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านแสง 38% (กระจกสีชา)



Section

ภาพที่ 3.3 ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 1

2. ห้องเรียนที่มีช่องแสงด้านหลังห้องตำแหน่งบนซิดฝ้าเพดาน
ช่องแสงที่อยู่สูงชันจะสามารถให้ปริมาณแสงสว่างเข้ามาในห้องได้ดีมากขึ้น แต่ช่องแสงดังกล่าวอยู่ในระดับสายตาของผู้สอน จึงแก้ปัญหาด้วยการเลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่าน 38%



Section

ภาพที่ 3.4 ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 2

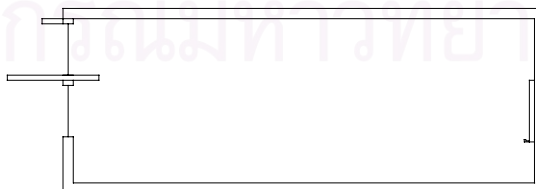
3. ห้องเรียนที่มีช่องแสงด้านหลังห้องร่วมกับช่องแสงด้านหลังตำแหน่งบนซิดฝ้าเพดาน
ช่องแสงดังกล่าวให้ปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาได้ดีมากขึ้น แต่ช่องแสงดังกล่าวอยู่ในระดับสายตาของผู้สอน จึงแก้ปัญหาด้วยการเลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านแสง 38%



Section

ภาพที่ 3.5 ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 3

4. ห้องเรียนที่มีช่องแสงด้านหลังห้องรูปแบบที่ 3 ร่วมกับหิ้งแสง
หิ้งแสงจะช่วยสะท้อนแสงให้เข้ามาในห้องได้ดียิ่งขึ้นและยังทำหน้าที่เป็นแผงบังแดดให้กับช่องแสงด้านหลังห้องอีกด้วย แต่ช่องแสงดังกล่าวอยู่ในระดับสายตาของผู้สอน จึงแก้ปัญหาด้วยการเลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านแสง 38%

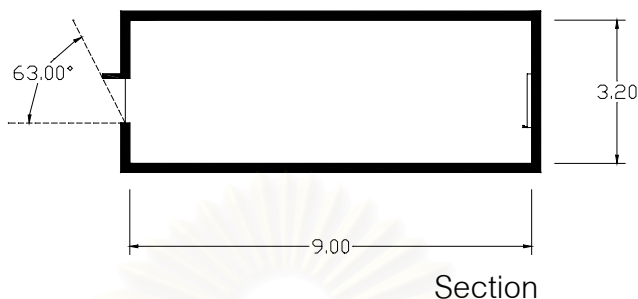


Section

ภาพที่ 3.6 ภาพแสดงรูปตัดของห้องเรียนกรณีศึกษาแบบที่ 4

1. กรณีศึกษาแบบที่ 1 ช่องแสงอยู่ด้านหลังห้อง

1.1 ทดสอบหุ่นจำลองในสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) โดยใช้แสงที่มาจากทิศเหนือในช่วงเวลา 12:00 น.



ภาพที่ 3.7 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 1 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ

2. กรณีศึกษาแบบที่ 2 ห้องเรียนที่มีช่องแสงด้านหลังห้องตำแหน่งบนซิดฝ้าเพดาน

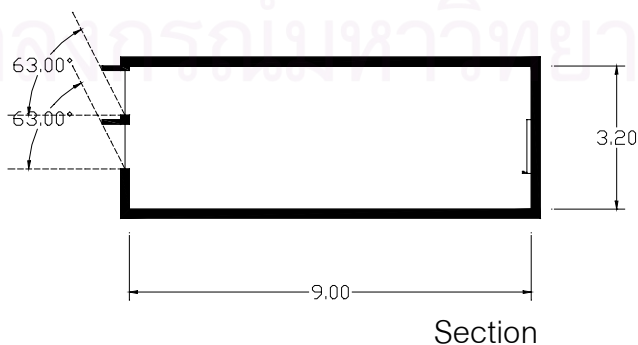
2.1 ทดสอบหุ่นจำลองในสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) โดยใช้แสงที่มาจากทิศเหนือในช่วงเวลา 12:00 น.



ภาพที่ 3.8 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 2 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ

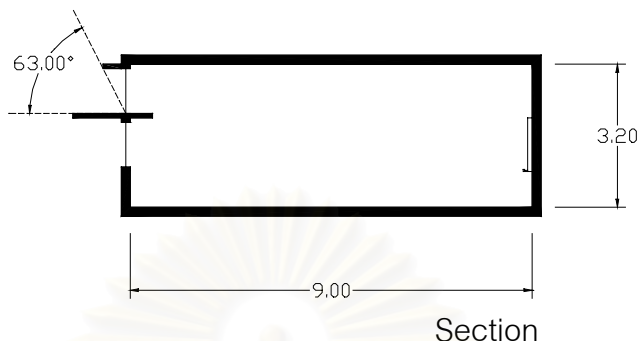
3. กรณีศึกษาแบบที่ 3 ห้องเรียนที่มีช่องแสงด้านหลังห้องร่วมกับช่องแสงด้านหลังตำแหน่งบนซิดฝ้าเพดาน

3.1 ทดสอบหุ่นจำลองในสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) โดยใช้แสงที่มาจากทิศเหนือ ในช่วงเวลา 12:00 น.



ภาพที่ 3.9 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 3 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ

4. กรณีศึกษาแบบที่ 4 ห้องเรียนที่มีช่องแสงด้านหลังห้องรูปแบบที่ 3 ร่วมกับหิ้งแสง
 - 4.1 ทดสอบหุ่นจำลองในสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky) โดยใช้แสงที่มาจากทิศเหนือ ในช่วงเวลา 12:00 น.



ภาพที่ 3.10 แสดงรูปตัดหุ่นจำลองกรณีศึกษาแบบที่ 4 และการกันมุมแดดในทิศเหนือ

หลังจากการวัดปริมาณแสงสว่างของหุ่นจำลองทั้ง 4 แบบแล้วจึงนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อนำไปพัฒนาหารูปแบบต่อไป โดยทำการทดลองเพื่อหาตำแหน่งของช่องแสงและขนาดของช่องแสงที่มีความเหมาะสมกับกิจกรรมในการเรียนการสอนภายในห้องเรียน โดยจะทำการทดสอบที่ทิศต่างๆทั้งสี่ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยทำการทดสอบที่เวลา 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00น.

5. นำรูปแบบของหุ่นจำลองทั้ง 4 แบบมาปรับปรุงและพัฒนาต่อเพื่อหารูปแบบที่มีความเหมาะสมทั้งที่ใช้กับอาคารชั้นเดียวและอาคารหลายๆชั้น และทำการทดลองเพื่อหาขนาดของช่องแสงที่มีความเหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนการสอนภายในห้องเรียน
6. คำนวณเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้งานเปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพอากาศในประเทศไทย นำผลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณค่า Daylight Factor ในแต่ละจุดเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ในสภาพท้องฟ้าจริงมาเพื่อใช้ในการคำนวณ และในการคำนวณได้เลือกใช้ข้อมูลสภาพท้องฟ้าและสภาพเมฆของกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อคำนวณหาจำนวนช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการใช้ช่องแสงที่ได้ทดลองว่ามีโอกาสใช้งานร้อยละเท่าไรในหนึ่งปี โดยการพิจารณาจากกราฟข้อมูลปริมาณแสงสว่างที่คำนวณจากข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยา
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
 - 7.1 วิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปร
 - 7.2 การวิเคราะห์และประเมินผลด้าน Visual Performance
 - 7.2.1 ระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) ระดับความส่องสว่างภายในจะต้องมีค่าน้อยที่สุดที่เพียงพอต่อความต้องการ
 - 7.2.2 ความสม่ำเสมอของระดับส่องสว่าง (Uniformity of Illumination) ระดับความส่องสว่างควรมีระดับ Daylight factor ที่สม่ำเสมอทั่วทั้งห้อง

- 7.3 นำข้อมูล ปริมาณแสงสว่างจากสภาพท้องฟ้าจริงมาใช้ประกอบกับค่า Daylight Factor ที่วัดได้ในหุ่นจำลอง ทำให้ได้ค่าการส่องสว่างในอาคารจริง เพื่อนำมาพิจารณาความเหมาะสมในการออกแบบระบบแสงประดิษฐ์ต่อไป
- 7.4 คำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวม ในส่วนของการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติในการลดการใช้ไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ในหนึ่งปี

8. สรุปผลงานวิจัย

- 8.1 สรุปทางเลือกจากผลการทดลองว่ารูปแบบช่องแสงด้านข้างส่วนบนรูปแบบใดที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในห้องเรียน โดยพิจารณาจากระดับการส่องสว่างที่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งจะเป็นแนวทางพื้นฐานในการนำไปใช้ออกแบบห้องเรียนในที่ต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในห้องเรียน
- 8.2 สรุปความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง พร้อมเสนอแนวทางในการออกแบบต่อไป

การนำเสนอผลงานวิจัย

1. กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ขึ้นต่ำตามมาตรฐานที่กำหนด คือ 2.5% (IES: 1984) กับค่า Daylight Factor ที่วัดได้จากหุ่นจำลองทุกกรณีที่ทำการศึกษาทดลอง
2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำการศึกษาและค่าการส่องสว่างที่เกิดขึ้นเป็นลำดับขั้น

3.2 ลักษณะของหุ่นจำลอง

เนื่องจากการทำวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถนำรูปแบบของช่องแสงด้านข้างส่วนบนไปใช้กับห้องเรียนที่มีรูปแบบการใช้แสงธรรมชาติจากด้านข้าง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารอื่นๆ ได้หลากหลาย ดังนั้นในการออกแบบลักษณะหุ่นจำลองจึงใช้รูปแบบห้องเรียน ขนาดกว้าง 7 เมตรและยาว 9 เมตร มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3.2 เมตร

ขนาดมาตราส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้คือ 1:20 ซึ่งจะเป็นมาตราส่วนที่มีความเหมาะสมเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระดับการส่องสว่างภายใน และเหมาะสมต่อการเคลื่อนย้าย ทำให้สะดวกต่อการเก็บข้อมูลนอกสถานที่และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่ายทั้งภายใน และภายนอกหุ่นจำลอง เพื่อความสะดวกในการพิจารณาแนวทางต่างๆ ที่หลากหลาย โดยในการออกแบบหุ่นจำลองดังกล่าวได้ออกแบบที่มีมุมละติจูด 14 องศาเหนือ และบังแดดในช่วงเวลาเรียน คือ 8.00 น. – 16.00 น. ตลอดทั้งปี

การศึกษาเพื่อพิจารณาเลือกขนาดของพื้นที่ช่องเปิดที่จะนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบกับรูปแบบช่องเปิดรูปแบบต่างๆนั้น ทำการเลือกจากการทดสอบปริมาณแสงสว่างที่ได้จากการทดสอบพื้นที่ช่องเปิดขนาดต่างๆ โดยเริ่มทำการทดสอบช่องเปิดที่มีความสูง 1.00 ม. ยาวตลอดแนวห้อง เพื่อดูแนวโน้มปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องเรียน และทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเพื่อความสะดวกของแต่ละรูปแบบต่อไป

นำรูปแบบที่ได้ไปทำการทดลองกับทิศทางต่างๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ, ทิศใต้, ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เป็นแนวทางในการพัฒนาแบบต่อไป เนื่องจากมุมแสงของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวันของแต่ละทิศแตกต่างกัน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3.1 มินอลต้าลักซ์มิเตอร์ (Minolta T -10)

เป็นเครื่องมือวัดแสงที่ใช้วัดความสว่างที่เกิดขึ้นภายในหุ่นจำลอง (Model) โดยติดตั้งตัวรับแสง (sensor) ไว้บนฐาน ซึ่งสมมติให้ความสูงของฐานบวกกับความสูงของตัวรับแสงที่บริเวณจุดรับแสงมีความสูงเท่ากับความสูงระดับใช้งาน (Working plane) ที่ 0.70 เมตร โดยที่จุดรับแสงจะมีสายเชื่อมต่อกับมิเตอร์ดังกล่าวภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจอแสดงผลของเครื่องมือวัด จะตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกในการอ่านข้อมูล และไม่มีผลกระทบต่อค่าความสว่าง และการกระจายแสงของหุ่นจำลอง



ภาพที่ 3.11 เครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (Minolta T -10)

การเก็บข้อมูล จะเก็บข้อมูลที่ระยะต่างๆ ของหุ่นจำลอง เพื่อให้ตำแหน่งของข้อมูลที่ได้มีความละเอียดมากพอ ในระยะความห่างของแต่ละจุดที่พอเพียง ที่ไม่ใกล้ หรือไกลเกินไป เนื่องจากจะมีผลต่อการนำข้อมูลมาสรุปเป็นกราฟ

3.3.2 ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)

เป็นเครื่องมือวัดแสงที่มีช่วงการวัดแสง (Measuring range) อยู่ระหว่าง 5 – 50,000 ลักซ์ ซึ่งเพียงพอสำหรับการวัดแสงภายนอกที่ไม่ได้รับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ วัดค่าระดับการส่องสว่างภายนอกที่ตกกระทบลงบนแนวระนาบนอน ไม่รวมรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Exterior Illumination Exclude Direct Sun) การวัดแสงการวัดแสงจะเริ่มจาก การปรับเทียบเครื่อง (Calibrate) เพื่อให้เข้าสู่สภาวะพร้อมทำงาน การวัดจะนำลักซ์มิเตอร์ไปติดตั้งยังขาค้างที่ได้มีการเตรียมไว้ในสถานที่ที่ต้องการวัดแสง ซึ่งจะเป็นกลางแจ้ง โดยขาตั้งที่ได้เตรียมไว้ ที่สามารถปรับเปลี่ยนให้เพื่อให้เกิดเงาแก่อุปกรณ์รับแสงที่ใช้วัดแสงได้



ภาพที่ 3.12 เครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (Minolta - Lux Meter)

ในการวัดค่าระดับรังสีดวงอาทิตย์ และความส่องสว่างภายนอกไม่รวมรังสีดวงอาทิตย์อาศัยอุปกรณ์บังแดดที่เป็นแถบเงา (Shadow Band) มีความทึบแสงเพื่อป้องกันไม่ให้ตัววัดได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ความกว้างของแถบเงากำหนดให้มีความกว้างน้อยที่สุดเพื่อให้ตัววัดสามารถรับค่ารังสีกระจายของดวงอาทิตย์มากที่สุด แถบเงานี้มีลักษณะเป็นแถบโค้งพาดไปตามวงโคจรของดวงอาทิตย์ โดยอาศัยตารางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อปรับตั้งแถบเงาให้สามารถบังดวงอาทิตย์ได้ในวันและเวลาที่ต้องการซึ่งหากมีการคลาดเคลื่อนการปรับมุมของแถบเงา ก็อาศัยการปรับด้วยมือโดยการสังเกตเงาที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทำการวัด

3.4 วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง และการตรวจสอบ

วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง คือโฟมอัด หนา 5 มิลลิเมตร ผิวทั้งสองด้านของโฟมเป็นกระดาษดำด้าน เพื่อให้วัสดุนี้มีความทึบแสงและเสริมความแข็งแรงโดยการใช้กระดาษลังหนา 2 มิลลิเมตรที่ง่ายในการตัดและประกอบและกระดาษลังมีขนาดที่ทำการผลิตต่อ 1 แผ่นครอบคลุมขนาดของหุ่นจำลองโดยไม่ทำให้เกิดช่องที่เป็นรอยต่อที่จะทำให้เกิดการเล็ดลอดของแสงขณะที่ทำการทดสอบได้ แต่ในขณะเดียวกันก็มีน้ำหนักไม่มาก ซึ่งจะทำให้หุ่นจำลองไม่เกิดการชำรุดเนื่องจากการขนย้าย แต่วัสดุภายในที่ใช้จะแตกต่างกันไปในแต่ละลักษณะของหุ่นจำลองที่ต้องการทดสอบ และเพื่อป้องกันการเล็ดลอดผ่านของแสง ที่อาจทำให้การทดสอบมีค่าผิดไปจากความเป็นจริงได้ จะมีการปิดรอยต่อต่างๆ ของหุ่นจำลองด้วยวัสดุสีดำทึบ (ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้เทปกาวยึดดำ)

ในการกำหนดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุในการวิจัยครั้งนี้เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบ เนื่องจากการวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอาคารจริง ดังนั้นจึงได้นำข้อมูลของค่าการสะท้อนแสงของวัสดุและพื้นผิวอาคารจาก IES มาเป็นพื้นฐานสำหรับค่าการสะท้อนแสง

นอกจากค่าการสะท้อนแสงของวัสดุแล้วสิ่งที่ต้องพิจารณาคือผิวของวัสดุที่จะใช้ในการทดลอง เนื่องจากแสงที่ต้องการใช้ในการวิจัยต้องการแสงกระจาย (Diffuse Light) เข้ามาใช้ภายในอาคาร ดังนั้นผิวของวัสดุที่ใช้นอกจากจะมีค่าการสะท้อนแสงตามที่ต้องการแล้วยังต้องมีลักษณะของพื้นผิวที่ให้การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) จากการพิจารณาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุจะเห็นว่าวัสดุผิวด้านจะมีการสะท้อนในลักษณะที่เป็นแบบผสม โดยมีเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแบบกระจายสูงมากกว่า 90% ของการสะท้อนแบบสะท้อน (Specular Reflection) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นผิวด้านสำหรับการทดสอบการสะท้อนแสงในส่วนพื้นที่ภายในและส่วนของหลังคา ณ ค่าการสะท้อนต่างๆกับหุ่นจำลอง

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

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ (Typical Reflectance)

ที่มา : Courtesy of the IESNA

จากลักษณะของหุ่นจำลองที่ต้องมีลักษณะใกล้เคียงกับห้องเรียนจริง ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้เป็นพื้น ผนัง และเพดานของห้อง ซึ่งวัสดุที่ใช้จะเป็นกระดาษโปสเตอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งการวัดค่าการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นจากวัสดุต่างๆจะวัดได้โดยใช้ลักซ์มิเตอร์วัดปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัสดุและปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัสดุ แล้วนำมาหาอัตราส่วนร้อยละ จะได้ค่าการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นกับวัสดุนั้นๆ โดยทำการวัดในจุดต่างๆแล้วใช้วิธีทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ย

- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลองมาตรฐาน มีรายละเอียดดังนี้

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ทำพื้น = 30%

วัสดุที่ใช้คือกระดาษเทาขาวพิเศษด้านสีเทา

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ทำผนัง = 50%

วัสดุที่ใช้คือกระดาษสีครีม

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ทำเพดาน = 70%

วัสดุที่ใช้คือกระดาษอาร์ตสีขาว

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ทำหลังคา = 30%

วัสดุที่ใช้คือกระดาษเทาขาวพิเศษด้านสีเทา

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาเพียงค่าความส่องสว่างที่เกิดจากแสงที่ผ่านเข้ามาทางช่องแสงด้านบน และแสงสะท้อนกระจายภายในอาคารเท่านั้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ช่องเปิดของหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบไม่มีการปกคลุมหรือปิดกั้นจากวัสดุใดๆ รวมถึงวัสดุที่ใช้เป็นกรอบของช่องเปิด และค่าการส่องผ่านของแสงผ่านช่องเปิด จะมีค่าเท่ากับ 1

3.4.1 การตรวจสอบหุ่นจำลอง

ในการทดสอบจะมีการวัดค่าความส่องสว่างของแสง ภายในหุ่นจำลองก่อนการทดสอบ โดยภายในหุ่นจำลองจะต้องมีค่าการส่องสว่างเท่ากับศูนย์ จึงจะถือได้ว่าหุ่นจำลองดังกล่าวไม่เกิดการเล็ดลอดของแสงจากภายนอก และต้องแน่ใจว่าแสงสว่างภายในหุ่นจำลองต้องเป็นแสงจากช่องเปิดที่ทำการทดสอบเท่านั้น

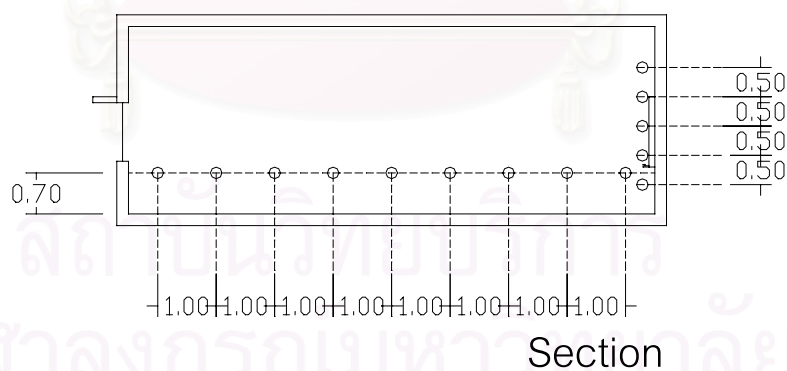
3.4.2 ตำแหน่งที่ทำการวัดปริมาณความส่องสว่างภายใน

โดยในการศึกษาจะทำการศึกษาทั้งปริมาณแสงสว่างในแนวระนาบจากตำแหน่งใกล้ช่องแสงจนถึงตำแหน่งกระดาน และปริมาณแสงสว่างในแนวตั้งฉากกับกระดาน โดยมีระดับความสูงตั้งแต่ 0.50 เมตร โดยวัดทุกๆระยะ 0.50 เมตร

ตำแหน่งที่ทำการวัดกำหนดให้จุดที่วัดมีระยะห่างกันทุกๆ 1 เมตร และตั้งฉากกับระนาบช่องเปิด โดยเริ่มจากระยะ 0.50 เมตร, 1.50 เมตร, 2.50 เมตร, 3.50 เมตร, 4.50 เมตร, 5.50 เมตร, 6.50 เมตรและ 7.50 เมตร จากผนังตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างที่ระยะต่างๆ ของช่องเปิด และในการวัดจะวัดที่ระดับ 0.70 เมตรจากพื้น ซึ่งเป็นระนาบการใช้งานปกติของห้องเรียน ตามอัตราส่วนของหุ่นจำลอง

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลองคือ เครื่องมือวัดแสงมินิโวลต์ลักซ์มิเตอร์ จะติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้ภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อค่าความส่องสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง และติดตั้งตัวรับแสงไว้ที่ระดับ 0.70 เมตร ตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง

ส่วนการเก็บข้อมูลความสว่างที่จุดต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ภายในหุ่นจำลองเพื่อให้ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลมีความเที่ยงตรงและมีความสะดวก จึงได้ทำการยึดติดตัวรับแสง สายของตัวรับแสงบนก้านกระดาษแข็งที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับพื้น พร้อมทั้งทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งของตัวรับแสงที่ระยะต่างๆบนกระดาษซึ่งสามารถสังเกตได้ง่ายจากภายนอกหุ่นจำลอง



รูปที่ 3.13 รูปแสดงตำแหน่งการวัดภายในหุ่นจำลอง

ในการทดสอบนอกจากทำการวัดในแนวระนาบใช้งานแล้ว ยังต้องวัดปริมาณความสว่างในแนวตั้งบริเวณกระดานอีกด้วยเพราะเป็นบริเวณที่ต้องมีปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสม โดยทำการวัดที่าระยะ 0.50 เมตร ตั้งแต่ระดับ 0.70 เมตร จากพื้น จนถึงขอบด้านบนของผนัง

ทำการทดสอบหุ่นจำลองในบริเวณสนามหญ้าที่เป็นพื้นที่โล่ง เนื่องจากต้องการศึกษาเฉพาะอิทธิพลของท้องฟ้า โดยปราศจากสภาพแวดล้อมโดยรอบหรืออาคารข้างเคียง



ภาพที่ 3.14 ภาพแสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงภายในห้องจำลอง

ในการเก็บข้อมูลความสว่างที่จุดต่างๆตามที่กำหนดไว้ภายในห้องจำลอง เพื่อให้ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลมีความเที่ยงตรงและสะดวกรวดเร็ว จึงยึดตัวรับแสงและสายของตัวรับแสงไว้บนก้านกระดานแข็ง ที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับระนาบที่วัด พร้อมทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งของตัวรับแสงที่ระยะต่างๆบนก้านกระดานแข็งที่สามารถสังเกตได้ง่ายจากภายนอกห้องจำลอง



ภาพที่ 3.15 ภาพห้องจำลองที่ใช้ในงานวิจัย

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนการแสดงผลการทดลองกรณีศึกษาในบทที่ 3 ซึ่ง จะทำการทดสอบเฉพาะ ทิศเหนือ เวลา 12.00น. เพื่อศึกษาแนวโน้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องซึ่งผลที่ได้ จะทำการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบของช่องแสงต่อไป และในส่วนที่สองจะเป็นผลการทดลอง ของกรณีศึกษาที่ได้พัฒนาแล้ว ซึ่ง จะทำการทดสอบในสี่ทิศทางหลัก คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยทำการทดสอบที่เวลา 8.00 น. 10.00น. 12.00น. 14.00น.และ16.00น.

4.1 ผลการทดลอง กรณีศึกษาแบบที่ 1-4 ช่องแสงด้านข้างที่ได้ทำการศึกษา

ผลการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ปริมาณความสว่างในระนาบนอน บริเวณโต๊ะเขียน และ ปริมาณแสงสว่างในระนาบตั้ง บริเวณกระดาน โดยจะนำผลของทั้งส่วนมาประกอบกันเพื่อพิจารณารูปแบบของ ช่องแสงว่ารูปแบบใดที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

4.1.1 ผลการทดลองปริมาณแสงสว่างในระนาบนอนของกรณีศึกษาแบบที่ 1-4

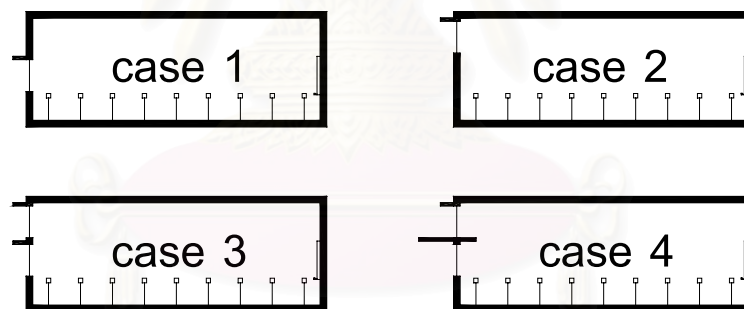
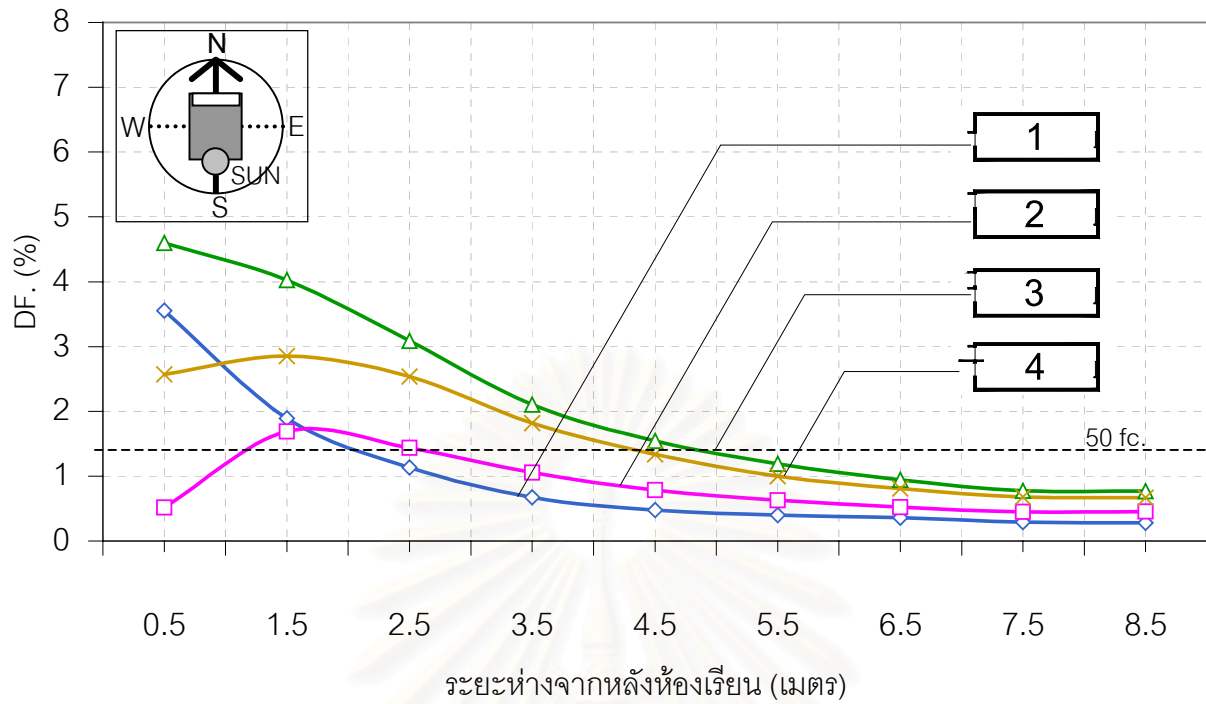
(ทิศเหนือ เวลา12.00น. และกำหนดค่าการส่องผ่านแสงของกระจกเท่ากับ 0.38%)

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณแสงสว่างในกรณีศึกษาแบบที่ 1 จะให้ปริมาณแสงสว่างที่ เพียงพอ (50 fc.) ในระยะเพียง 2 เมตรจากตำแหน่งช่องแสงด้านหลังห้อง โดยที่ปริมาณแสงสว่างจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะที่เพิ่มมากขึ้น

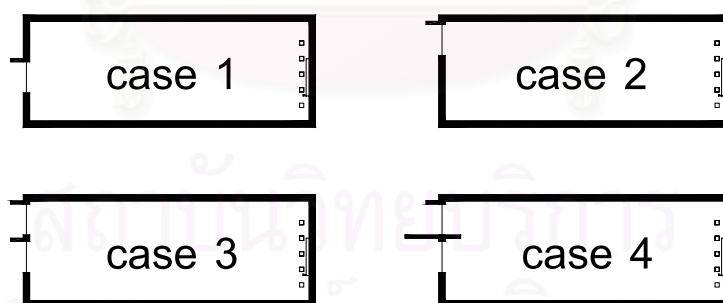
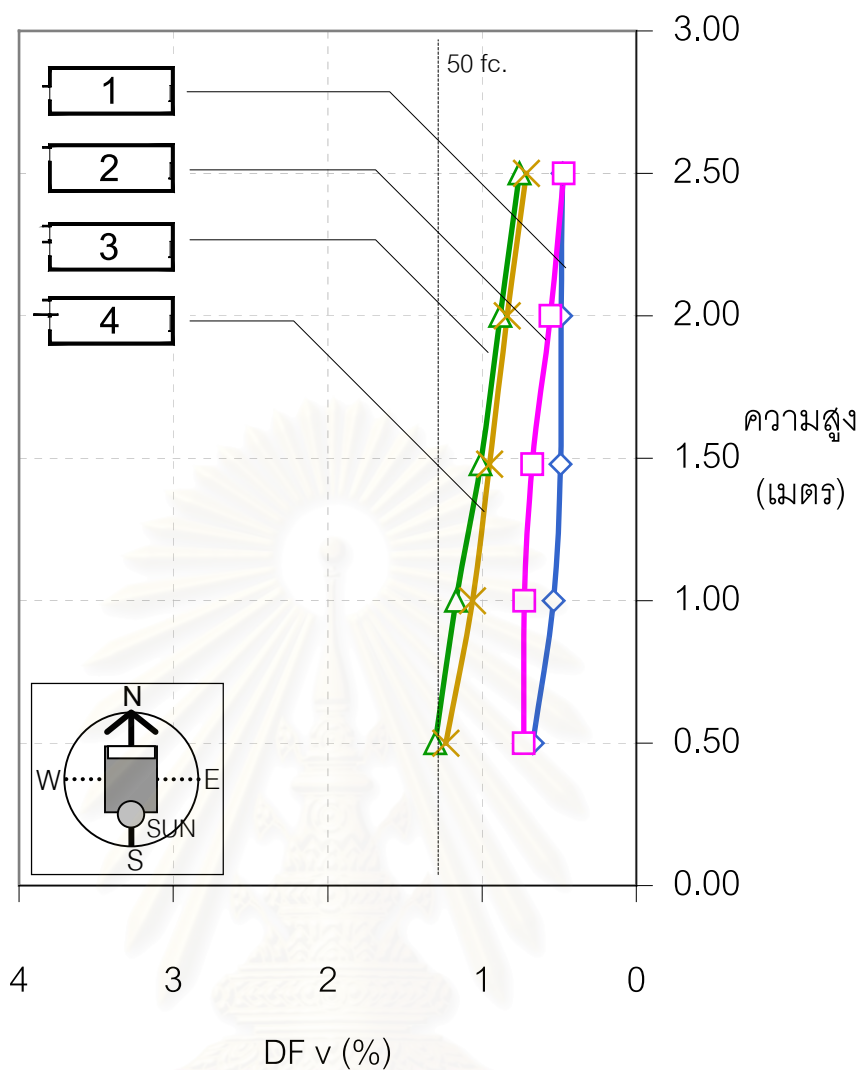
ปริมาณแสงสว่างในกรณีศึกษาแบบที่ 2 จะให้ปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอในระยะ 3 เมตร จากตำแหน่งช่องแสงด้านหลังห้อง โดยที่จะมีปริมาณแสงสว่างน้อยในบริเวณใกล้ช่องแสงเนื่องจากตำแหน่งของ ช่องแสงที่ยกสูงขึ้นทำให้เกิดการบังภายในห้อง แต่ปริมาณแสงจะเพิ่มขึ้นในช่วง 1 เมตรจากตำแหน่งช่องแสง และจะลดลงเรื่อยๆตามระยะที่เพิ่มมากขึ้น

ปริมาณแสงสว่างในกรณีศึกษาแบบที่ 3 ซึ่งมีขนาดช่องแสงใหญ่เป็นสูงเท่าของกรณีศึกษา แบบที่ 1 และ 2 แต่จะให้ปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอในระยะเพียง 5 เมตรจากตำแหน่งช่องแสงด้านหลังห้อง โดยที่ปริมาณแสงสว่างจะลดลงเรื่อยๆตามระยะที่เพิ่มมากขึ้น

ปริมาณแสงสว่างในกรณีศึกษาแบบที่ 4 ที่มีขนาดช่องแสงเท่ากับกรณีศึกษาแบบที่ 3 แต่จะ เพิ่มหิ้งแสงที่เป็นตัวช่วยสะท้อนแสงเข้ามาในอาคารมากขึ้น แต่จากผลการทดลองพบว่า หิ้งแสงดังกล่าวเมื่อไม่ ได้รับอิทธิพลของแสงตรงจากดวงอาทิตย์ หิ้งแสงก็จะกลายเป็นที่บังแดดทำให้ปริมาณแสงสว่างภายในห้องลด น้อยลง โดยผลจากการทดลองช่องแสงรูปแบบดังกล่าวจะให้ปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอในระยะเพียง 4-5 เมตร จากตำแหน่งช่องแสงด้านหลังห้อง โดยที่ปริมาณแสงสว่างจะลดลงเรื่อยๆตามระยะที่เพิ่มมากขึ้น



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ระบายนอน (DF_{μ}) ของกรณีศึกษาทั้ง 4 แบบ ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดิท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน ของกรณีศึกษาทั้ง 4 ทั้งแบบ ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

4.1.2 ผลการทดลองปริมาณแสงสว่างของกรณีศึกษาแบบที่ 1-4 (ทิศเหนือ เวลา12.00น.)

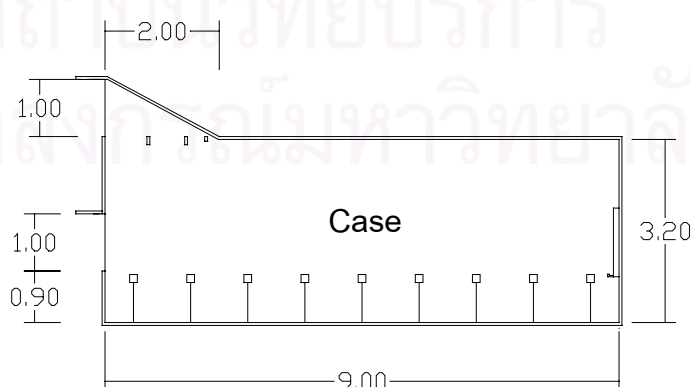
จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแสงสว่างที่บริเวณกระดานของช่องแสงทั้ง 4 กรณีศึกษามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย กล่าวคือให้ปริมาณแสงได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการเหมือนกันทั้ง 4 กรณีศึกษา เนื่องมาจากระยะห่างของช่องเปิดกับกระดานมีมากเกินไป ทำให้แสงสว่างไม่สามารถมาถึงบริเวณกระดานได้ แม้ว่าขนาดของช่องแสงจะเพิ่มขึ้นจากกรณีศึกษาแบบที่ 1 คือ 1.00 ม. เป็นกรณีศึกษาแบบที่ 3 และกรณีศึกษาแบบที่ 4 เป็นสองเท่าก็ตาม

จากผลการทดลองกรณีศึกษาทั้ง 4 แบบที่ผ่านมาพบว่า ตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างที่ยกสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณแสงสว่างสามารถเข้ามาในห้องได้ดีมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากกว่าขนาดของช่องแสงด้านข้างที่แม้จะเพิ่มขนาดให้ใหญ่มากขึ้นแต่ส่งผลต่อปริมาณแสงสว่างภายในเพียงเล็กน้อย และยังส่งผลต่อการมองเห็นเพราะช่องแสงด้านข้างระดับสายตาที่มีขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดปัญหาแสงแยงตา

กรณีศึกษา	ปริมาณแสงที่เพียงพอ	ข้อดี	ข้อเสีย
1	2.5 เมตร	สร้างทัศนวิสัย และมุมมอง	ความจ้ำในระดับสายตา
2	3 เมตร	ยอมรับความจ้ำได้มากกว่า	ขาดทัศนวิสัยที่ดี
3	5 เมตร	แสงเข้ามาในอาคารได้ดี	ความจ้ำ, พื้นที่กรอบอาคารมาก
4	4.5 เมตร	แสงเข้ามาในอาคารได้ดี	บำรุงรักษายาก, ลดปริมาณแสง

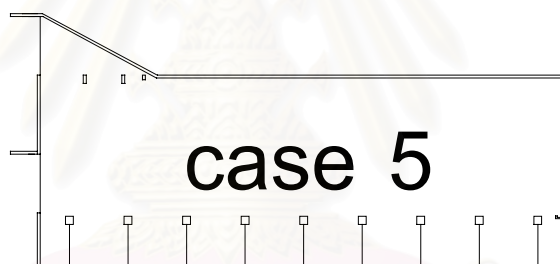
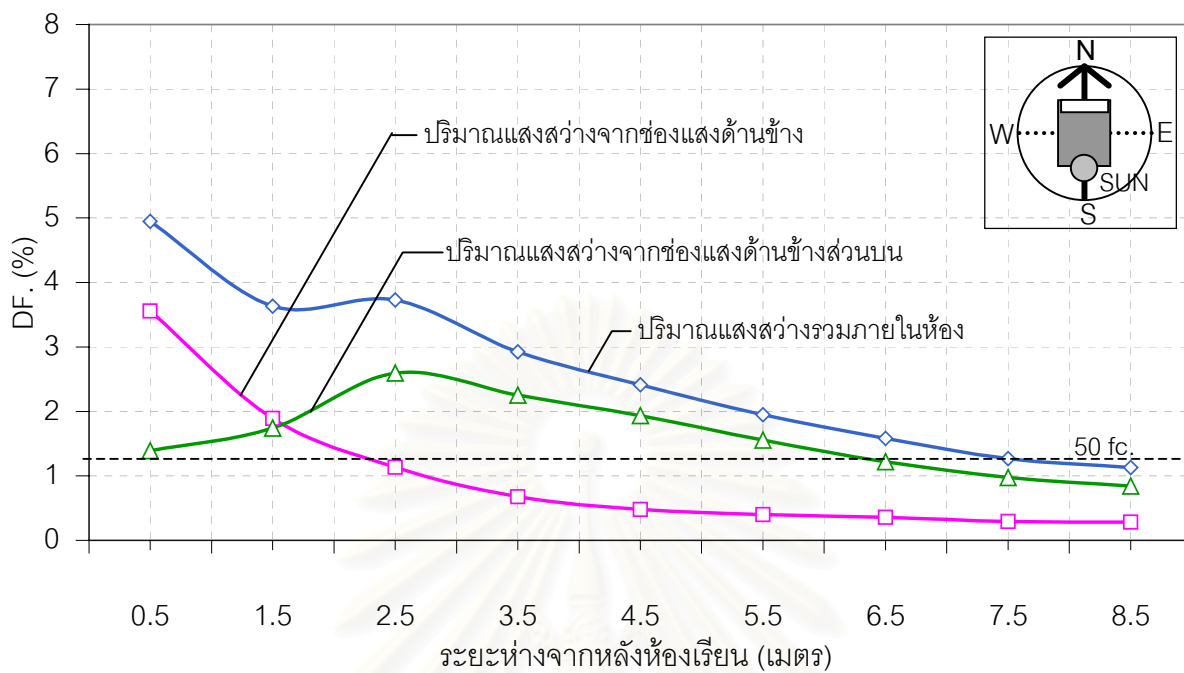
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกรณีศึกษาที่ 1-4

ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมจากกรณีศึกษาที่ผ่านมา โดยเลือกเอากรณีศึกษาแบบที่ 3 มาพัฒนาเพราะให้ปริมาณแสงสว่างได้มาก ด้วยการยกตำแหน่งช่องแสงด้านข้างให้สูงขึ้นเหนือฝ้าเพดานเพราะช่องแสงในมุมที่สูงขึ้นสายตามนุษย์สามารถยอมรับความสว่างได้มากกว่า และศึกษาดูปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นทั้งในระนาบนอนและระนาบตั้งบริเวณกระดาน โดยกำหนดค่าการส่องผ่านแสงของกระจกช่องแสงด้านข้างส่วนบนเท่ากับ 0.88% และช่องแสงด้านข้างเท่ากับ 0.38% และเปิดพื้นที่มุมเอียงให้มีขนาดเป็นสองเท่าของขนาดความสูงของช่องแสง



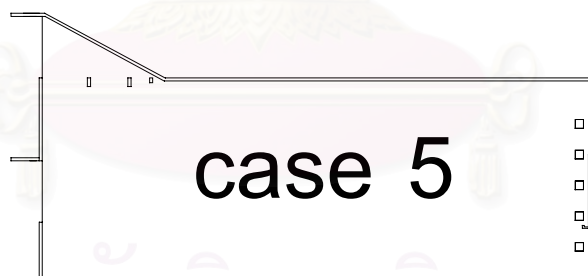
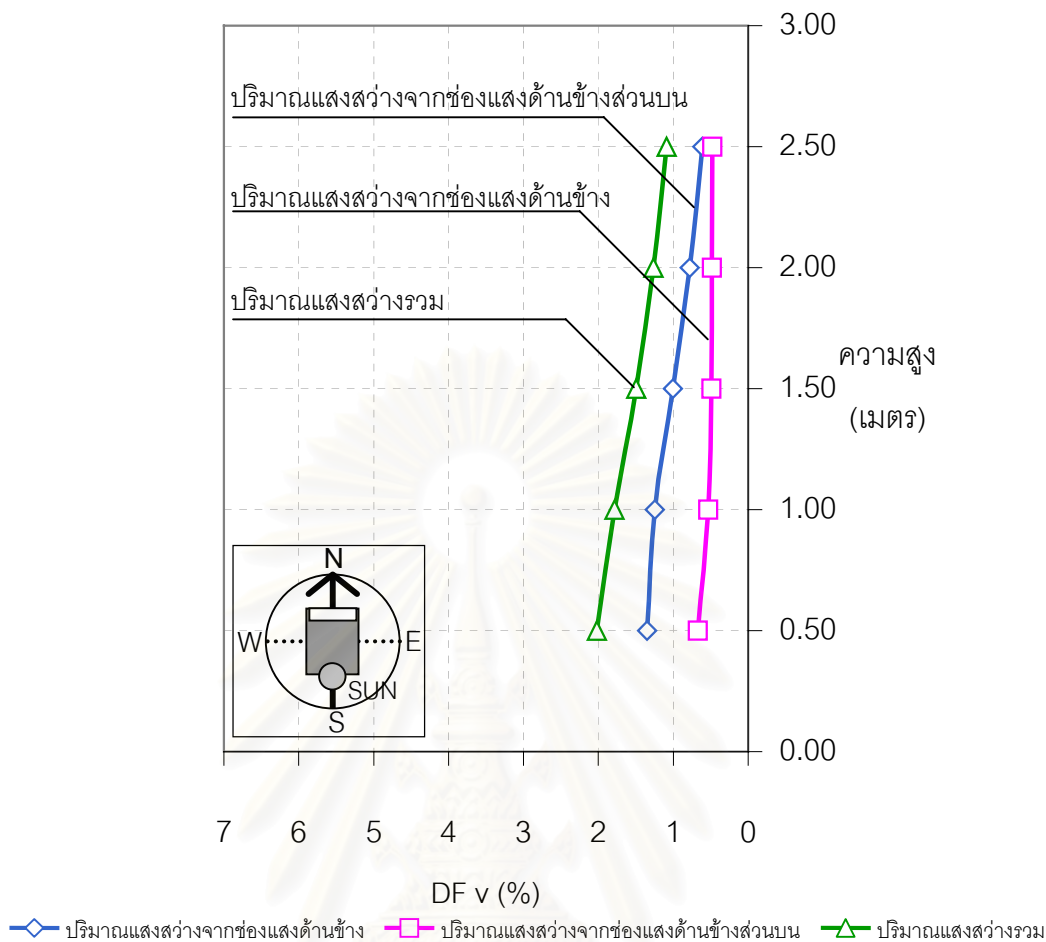
ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 5 ช่องแสงด้านข้าง ร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนเหนือฝ้าเพดาน
ขนาดความกว้างช่องแสง 1.00 ม.

4.1.3 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 5



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ระบายบนอน (DF_{p}) ของกรณีศึกษาที่ 5 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

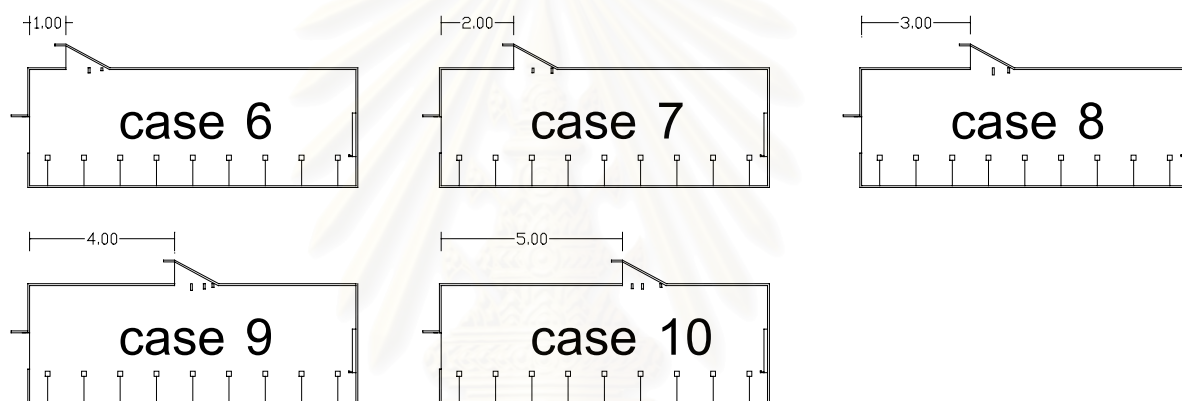


แผนภูมิที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดลิทไฟต์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดานของกรณีศึกษาแบบที่ 5 ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

จากผลการทดสอบพบว่าช่องแสงด้านข้างส่วนบนสามารถให้ปริมาณแสงสว่างได้ลึกจนถึง 8 เมตร แต่ปริมาณแสงสว่างจะมากเกินความจำเป็นในระยะใกล้กับช่องแสงด้านข้าง ประกอบกับช่องแสงที่อยู่ในตำแหน่งที่สูงขึ้นจากระดับสายตา ทำให้สามารถใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสงได้สูงมากยิ่งขึ้น เพราะสายตาของมนุษย์จะรับความสว่างได้มากขึ้นเมื่อมุมของตำแหน่งแสงสว่างสูงมากขึ้น จึงเป็นส่วนที่ให้แสงสว่างเพิ่มมากขึ้น

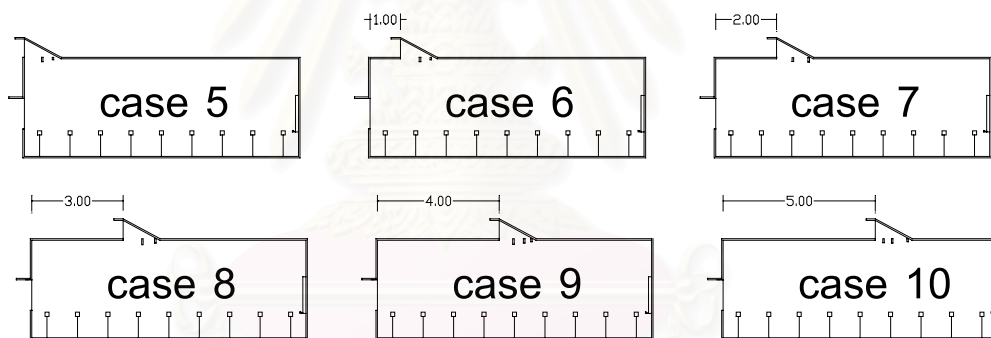
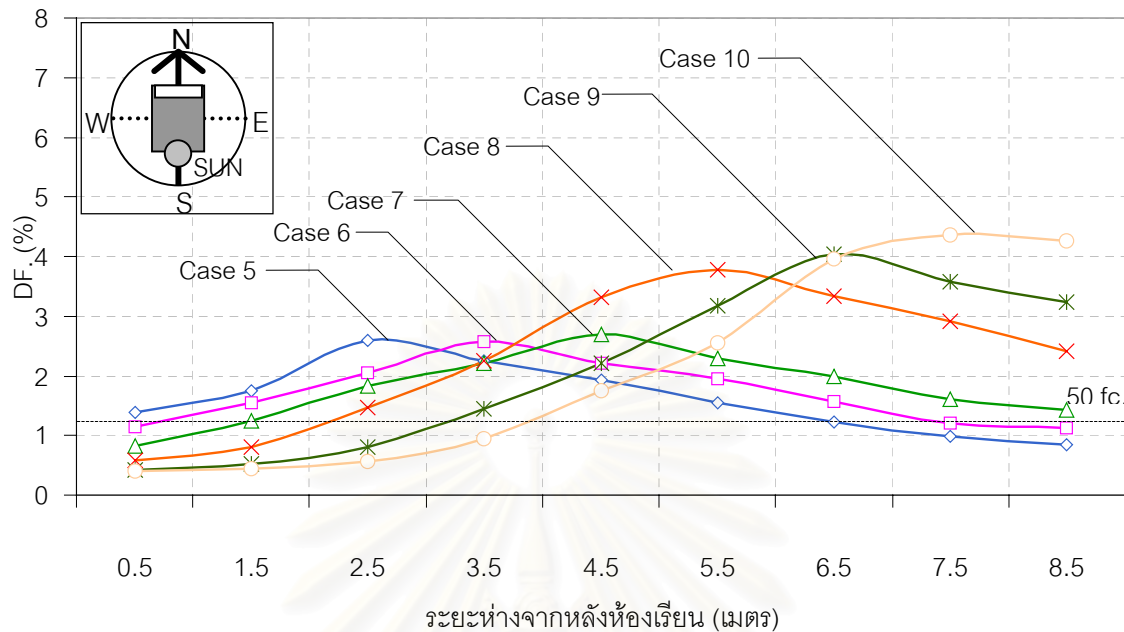
ในส่วนของการแสงสว่างในแนวตั้งบริเวณกระดาน ปริมาณแสงสว่าง จะเพียงพอต่อการใช้งานที่ระยะ ตั้ง แต่พื้นจนถึงความสูง 1.70 เมตร ซึ่งยังไม่ทั่วบริเวณกระดาน และความแตกต่างของค่าเดไลท์แฟคเตอร์ของระยะ ขอบกระดานด้านล่าง และขอบกระดานด้านบน ประมาณ 1% ซึ่งไม่ถือว่าแตกต่างมากนัก

จากการทดสอบกรณีศึกษาแบบที่ 5 พบว่า ตำแหน่งช่องแสงด้านข้างที่อยู่สูงนั้น สามารถให้แสงสว่าง ได้ดีขึ้นแต่ตำแหน่งที่อยู่ติดผนังด้านหลังห้อง ยังไม่เหมาะสมเพราะทำให้แสงสว่างด้านหลังห้องมีมากเกินไป จำเป็น และทำให้ความแตกต่างของปริมาณแสงสว่างทั่วทั้งห้องมีสูงเกินไป ดังนั้นจึงได้ทำการปรับเปลี่ยน ตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนให้เข้ามาด้านในห้องมากขึ้น เพื่อกระจายปริมาณแสงสว่างให้เข้าไปทาง ด้านหน้าห้องมากยิ่งขึ้นและลดปริมาณแสงสว่างด้านหลังห้อง โดยในการทดสอบจะกำหนดให้ระยะของช่องแสง ด้านข้างตำแหน่งสูง อยู่ห่างจากด้านหลังห้องเข้ามากรณีศึกษาละ 1.00 เมตร เพื่อพิจารณาแนวโน้มของแสง สว่างภายในห้อง ประกอบการตัดสินใจเลือกกรณีศึกษานั้นมาพัฒนาต่อไป



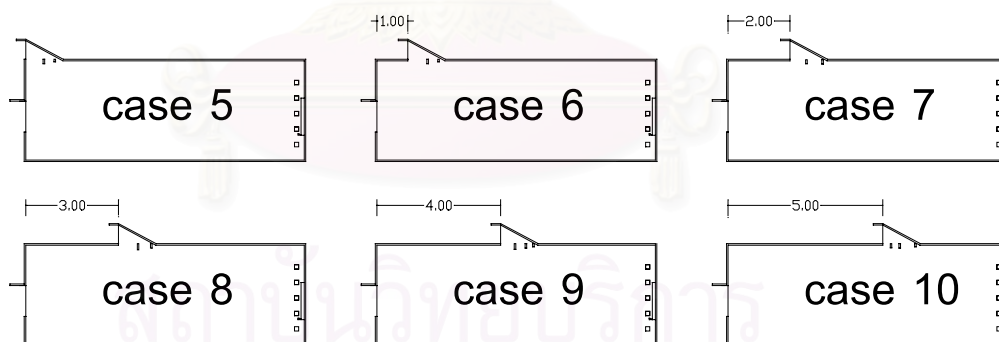
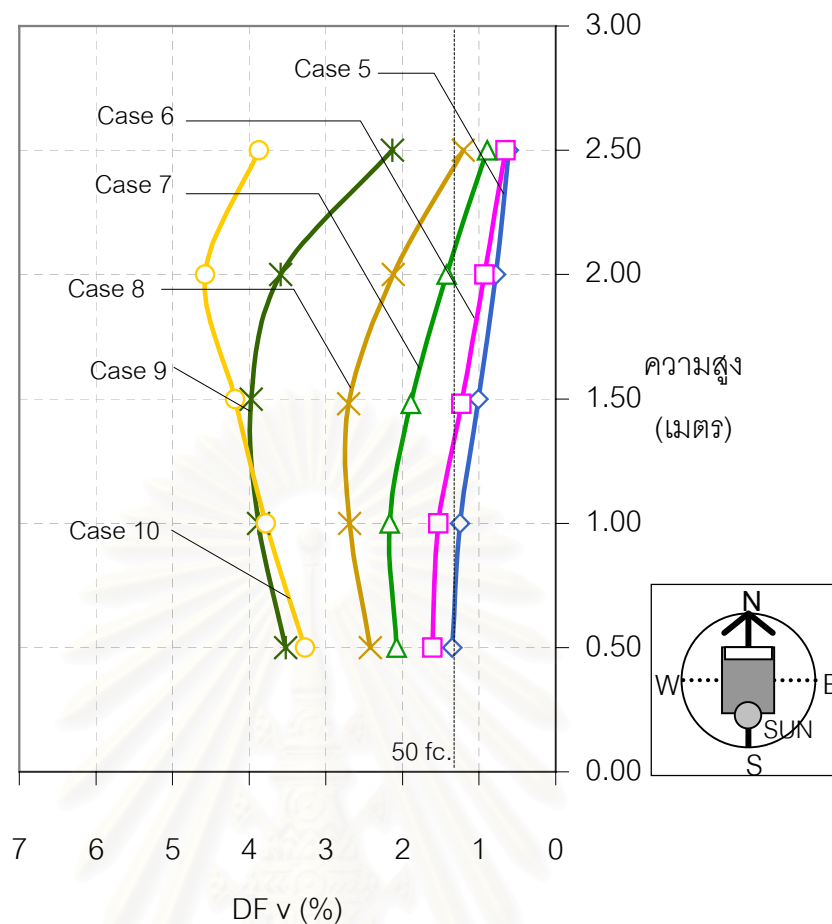
ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงกรณีศึกษาแบบที่ 6-10

4.1.4 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 5-10

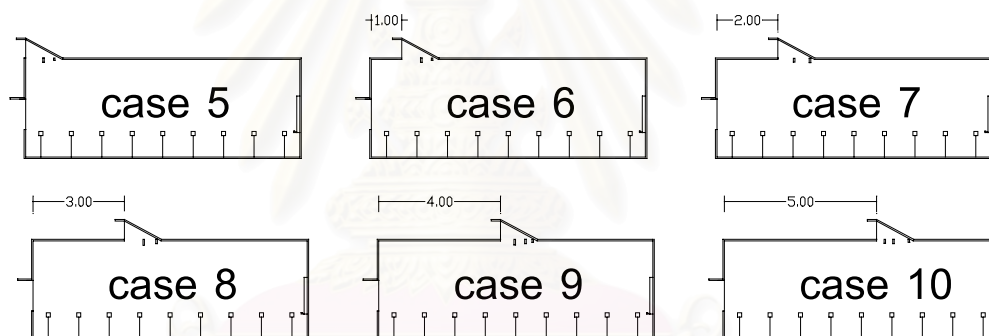
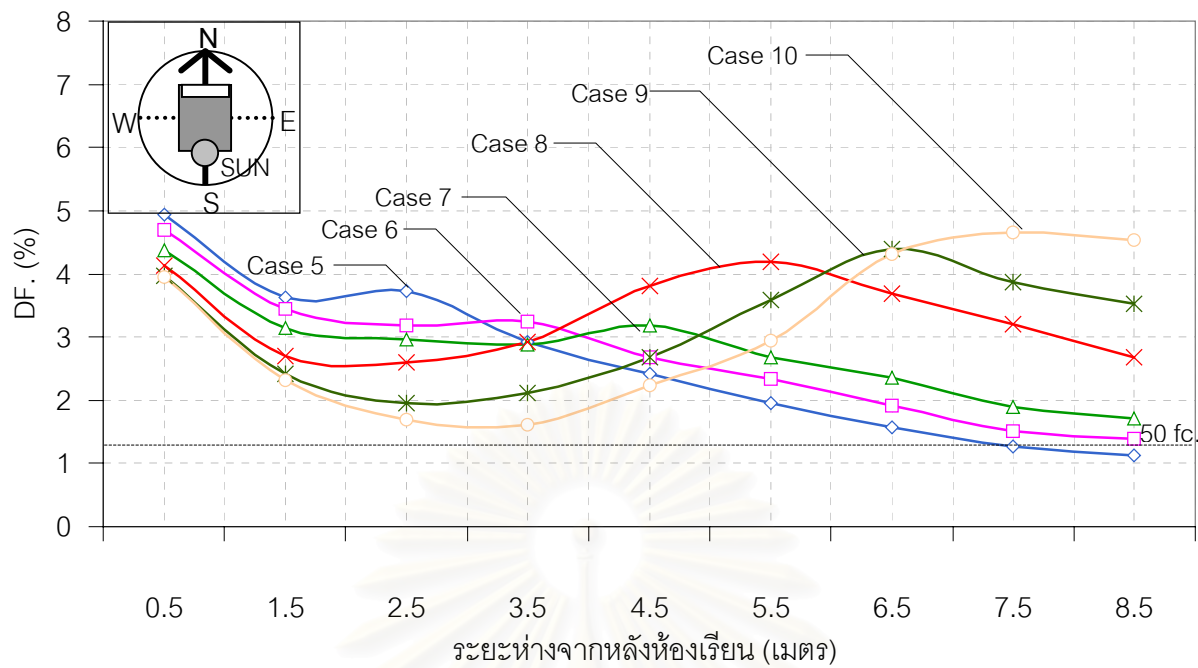


แผนภูมิที่ 4.5 แสดงค่าเดิไลท์แฟคเตอร์ แนวนระนาบ (DF_{H}) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบน (ไม่รวมอิทธิพลของช่องแสงด้านข้าง) ในกรณีศึกษาที่ 5 - 10 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

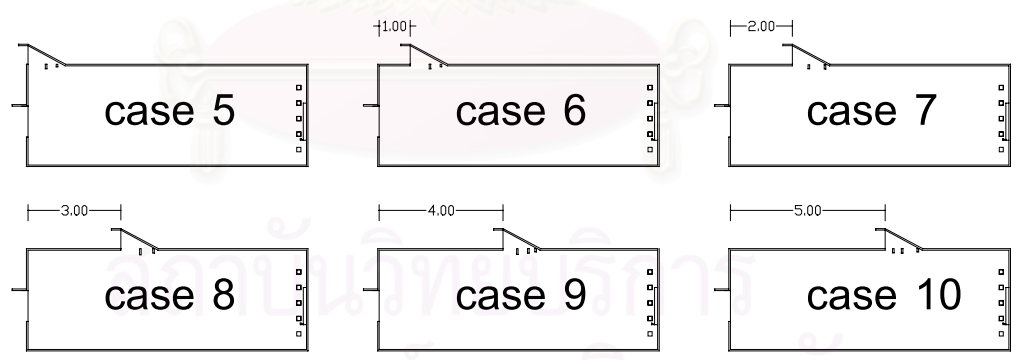
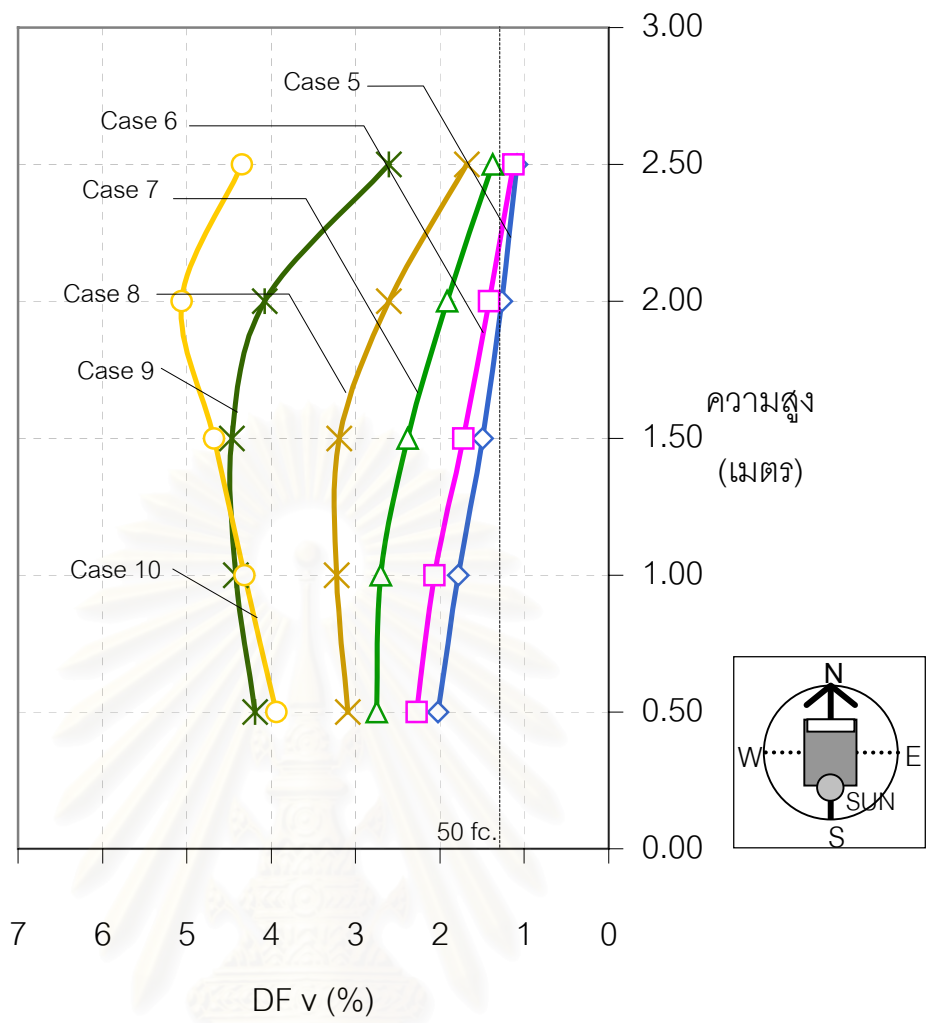
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน
ของกรณีศึกษาแบบที่ 5-10 (ไม่รวมอิทธิพลของช่องแสงด้านข้าง) ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน
(ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) ของช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในกรณีศึกษาที่ 5 - 10 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดานของกรณีศึกษาแบบที่ 5-10 ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

จากผลการทดลองกรณีศึกษาแบบที่ 5 – 10 พบว่าช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่ตำแหน่งเข้าใกล้ภายในห้องมากขึ้น ปริมาณแสงสว่างมีแนวโน้มของจุดสูงสุดเข้ามาในห้องตามระยะของช่องแสงด้านข้างส่วนบน และเมื่อช่องแสงด้านข้างส่วนบนเปลี่ยนตำแหน่งเข้ามาในห้องมากขึ้น ก็จะเพิ่มพื้นที่ส่วนหลังคาที่จะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนแสงเข้ามาในห้องได้มากขึ้นเช่นกัน ส่งผลให้เมื่อช่องแสงด้านข้างส่วนบนเข้ามาในห้องมากขึ้น ปริมาณแสงสว่างก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ประกอบกับแสงที่เข้ามากระทบกับบริเวณกระดานจะสะท้อนกลับมาที่พื้นที่ใช้งานแนวระนาบมากขึ้น ดังเช่นกรณีศึกษาที่ 8-10 ที่แสดงในแผนภูมิที่ 4.7

ในส่วนช่องแสงสว่างบริเวณกระดาน ที่เป็นระนาบตั้ง จะมีปริมาณแสงสว่างเพิ่มมากขึ้น เมื่อตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบนเข้ามาใกล้กระดานมากขึ้นดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.8 และปริมาณแสงสว่างของกรณีศึกษาทั้ง 6 พบว่า มีปริมาณที่เพียงพอ

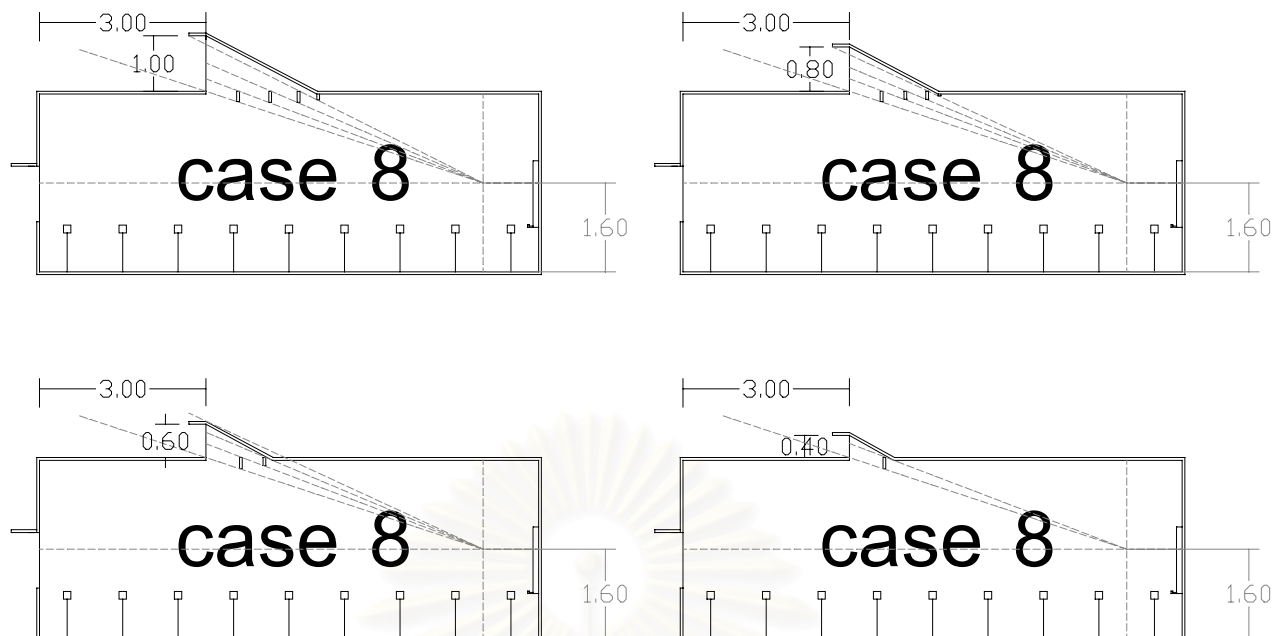
ในการพิจารณาเลือกตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนจะพิจารณาจากกราฟที่ 4.7 ว่าตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนเมื่อใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้างแล้ว ปริมาณแสงสว่างที่ได้ภายในห้องมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด(มีความสม่ำเสมอมากที่สุด) เพราะปริมาณแสงที่ได้จะไม่ก่อให้เกิดความเปรียบต่างจนทำให้ไม่สบายตา

กรณีศึกษา	ช่วงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF_v)	ปริมาณที่แตกต่าง
กรณีศึกษาแบบที่ 5	1.3 – 5	3.7
กรณีศึกษาแบบที่ 6	1.5 – 4.8	3.3
กรณีศึกษาแบบที่ 7	1.8 – 4.3	2.5
กรณีศึกษาแบบที่ 8	2.6 – 4.2	1.6
กรณีศึกษาแบบที่ 9	1.9 – 4.5	2.6
กรณีศึกษาแบบที่ 10	1.7 – 4.7	3

ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวระนาบ (DF_h) ของกรณีศึกษาแบบที่ 5-10

(ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

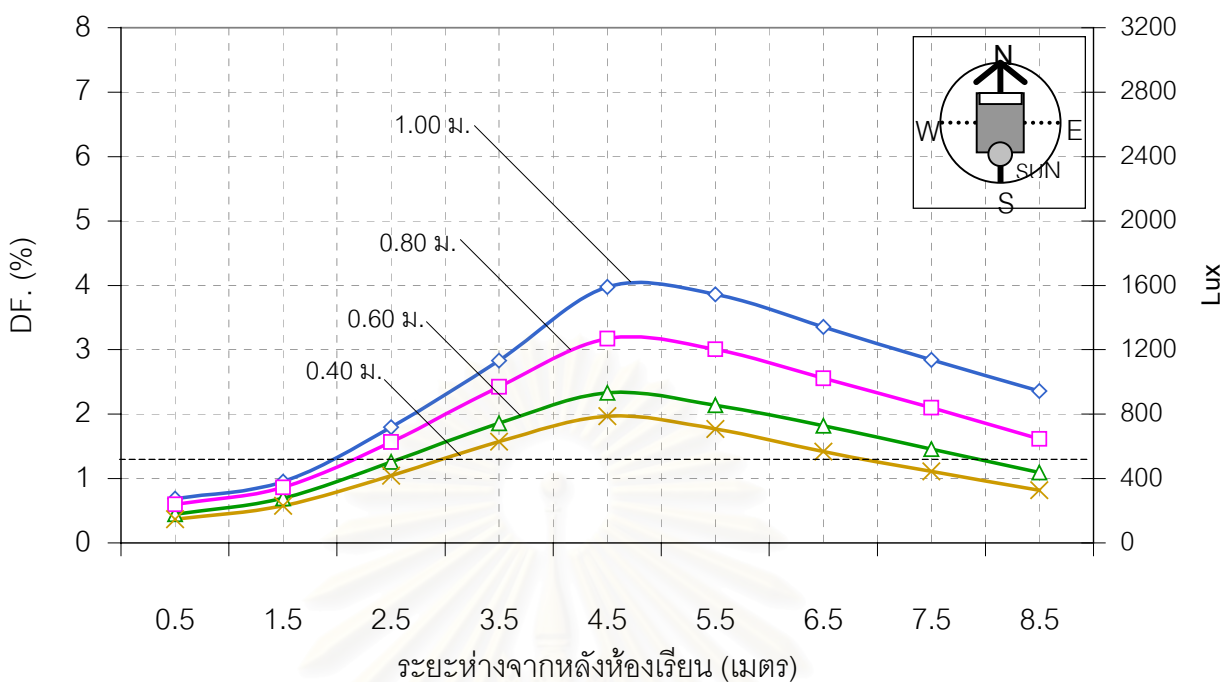
เมื่อพิจารณาเรื่องปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน พบว่าจากกรณีศึกษาที่ 8 ปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน มีมากเกินไปจนจำเป็นและส่งผลให้ปริมาณความร้อนภายในห้องเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงได้พิจารณาลดขนาดของช่องแสงด้านข้างส่วนบนลง เพื่อให้แสงสว่างที่ได้พอเหมาะกับการใช้งาน คือ 50 ฟุตแคนเดิล (fc.) โดยได้ทำการทดลองลดขนาดของช่องแสงด้านข้างส่วนบนในกรณีศึกษาที่ 8 ลง จาก 1.00 ม. เหลือ 8.00ม. 6.00ม. และ 4.00 เมตร และทำการวัดปริมาณแสงสว่างในช่วงเวลา 12.00น. เพื่อพิจารณาปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียนและเลือกขนาดของช่องแสงมาใช้ในการทดลองต่อไป



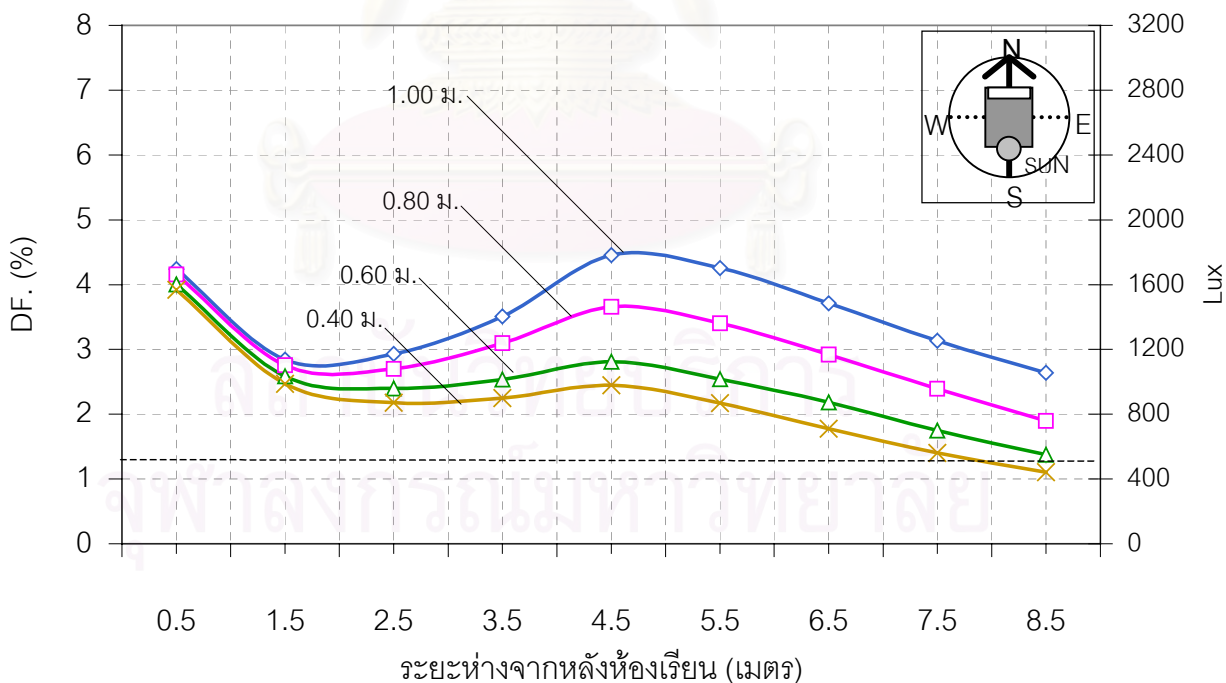
ภาพที่ 4.3 แสดงรูปแบบกรณีศึกษาที่ 8 ที่มีขนาดพื้นที่ช่องเปิดของช่องแสงด้านข้างส่วนบน 1.00ม. , 0.80ม. , 0.60ม. , 0.40ม. และการวิเคราะห์มุมป้องกันแสงแยงตาของทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.5 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 เมื่อขนาดของช่องเปิดของช่องแสงด้านข้างส่วนบนแตกต่างกัน



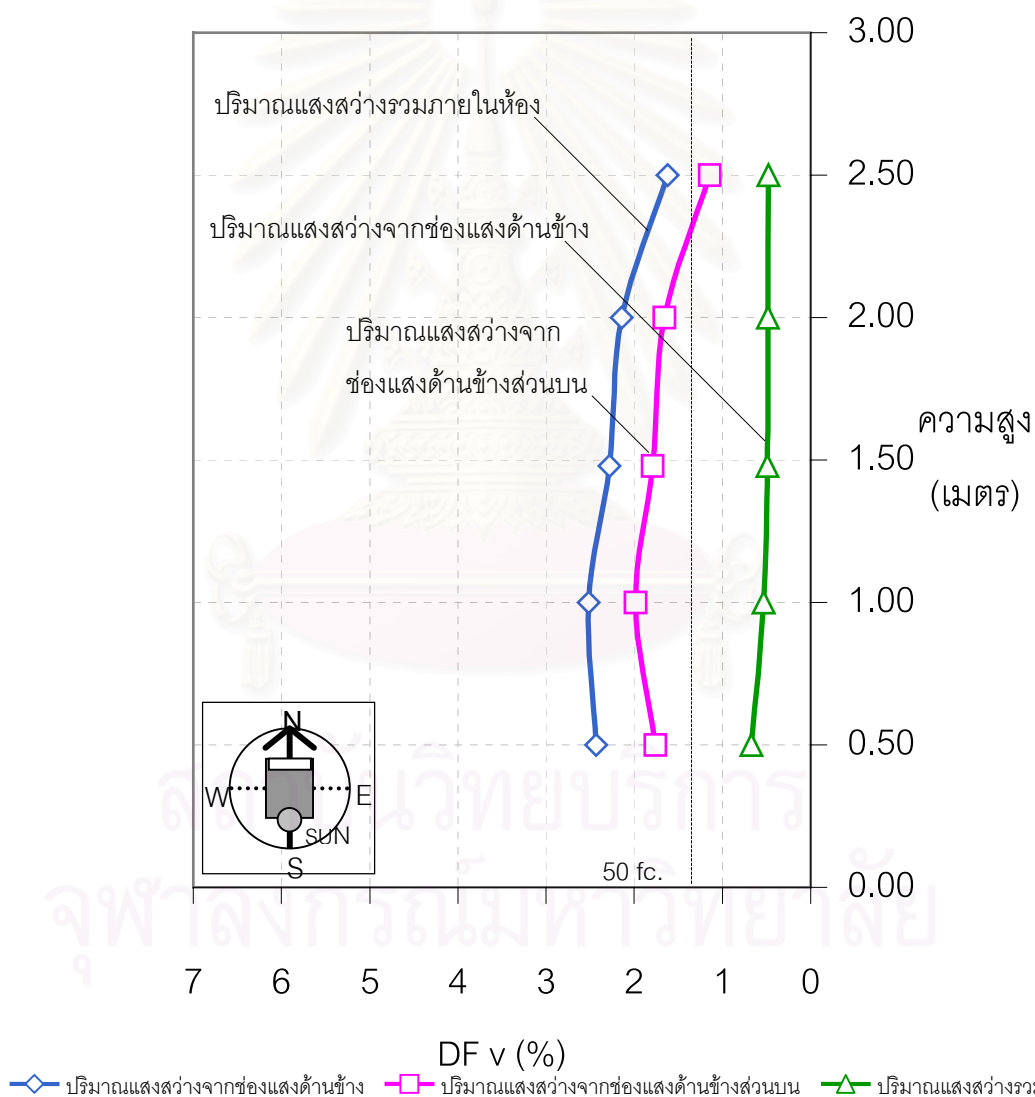
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาดต่างๆ (ไม่รวมอิทธิพลของช่องแสงด้านข้าง) ในกรณีศึกษาที่ 8 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาดต่างๆ เมื่อใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้าง ในกรณีศึกษาที่ 8 ที่ระยะต่างๆภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

จากแผนภูมิที่ 4.9 และ 4.10 ช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่มีขนาดเล็กลง จะทำให้ปริมาณแสงสว่างภายในห้องน้อยลงตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาด้วยปริมาณความสว่างภายในห้องเรียนที่เพียงพอต่อการใช้งาน พบว่าช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาด 0.60ม. สามารถใช้งานได้เหมาะสม ส่วนช่องแสงขนาด0.40ม. ให้ปริมาณที่เพียงพอเช่นกัน แต่จากการทดลองได้ทำการทดลองเวลาเที่ยง ซึ่งมีปริมาณแสงสว่างจากท้องฟ้ามาก ดังนั้นหากเลือกช่องแสงขนาด 0.40ม. มาใช้งานก็จะทำให้ช่วงเวลาเช้า และเย็นมีปริมาณแสงสว่างที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ส่วนช่องแสงขนาด 1.00ม. นั้นให้ปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียนมากเกินไปจนความจำเป็น ซึ่งจะส่งผลเสียในเรื่องความร้อนที่ผ่านเข้ามาพร้อมกับแสงสว่าง

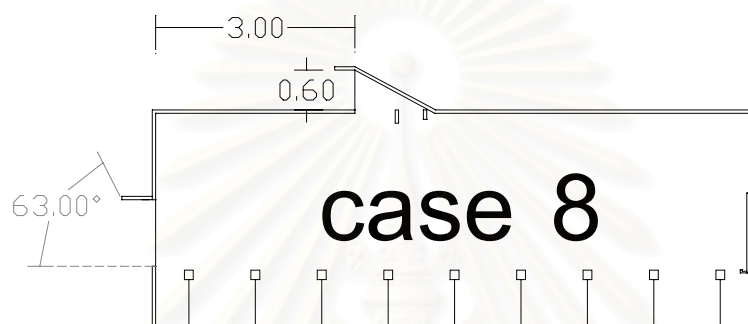
ในส่วนของปริมาณแสงสว่างบริเวณกระดานจะพบว่า ช่องแสงด้านข้างส่วนบน สามารถให้แสงสว่างที่เพียงพอโดยไม่ต้องใช้ช่องแสงด้านข้างมาช่วย ซึ่งช่องแสงด้านข้างจะให้ปริมาณแสงสว่างบริเวณกระดานเพียงเล็กน้อยเท่านั้นดังแสดงในแผนภูมิที่ 4.11



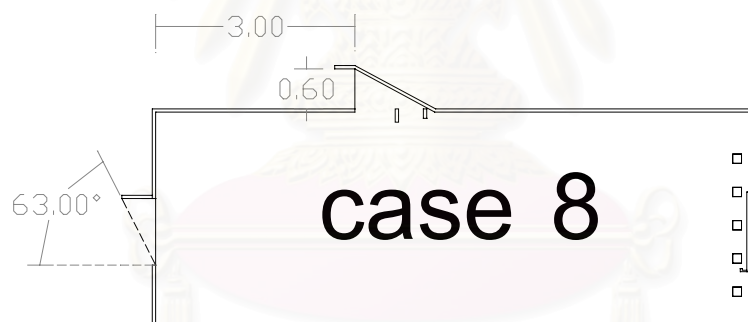
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_v) ของช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาด 0.6ม. เมื่อใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้าง ในกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆบริเวณกระดานภายในห้องเรียน (ช่องเปิดทางด้านทิศเหนือ ช่วงเวลา 12.00น.)

4.2 ผลการทดลอง กรณีศึกษาแบบที่ 8

จากผลการทดลองพบว่า กรณีศึกษาที่ 8 ขนาดช่องแสง 6.00ม. ที่มีระยะของช่องแสงด้านข้างส่วนบน ห่างจากหลังห้อง 3 เมตร จะให้ปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสมทั้งแนวระนาบบริเวณโต๊ะเขียนและแนวตั้งบริเวณ กระดาน ดังนั้นจึงเลือกกรณีศึกษาดังกล่าวไปทำการทดลองเพิ่มเติมในช่วงเวลา 8.00, 10.00, 12.00, 14.00, 16.00น. เพื่อศึกษาดูแนวโน้มของปริมาณแสงสว่างใน 1 วัน และทดลองในสี่ทิศหลัก คือทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศ ตะวันออก และทิศตะวันตก เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของการใช้งานช่องแสงรูปแบบดังกล่าวในทิศต่างๆ และทำการพัฒนารูปแบบต่อไป



ตำแหน่งวัดแสงแนวระนาบ



ตำแหน่งวัดแสงแนวตั้ง

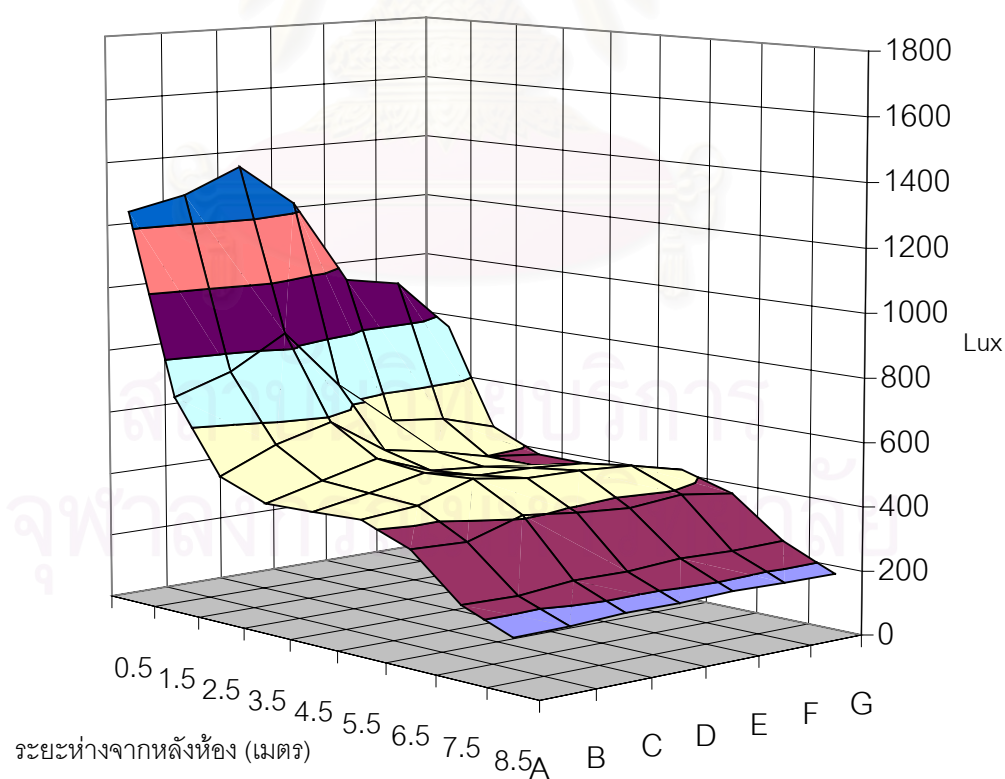
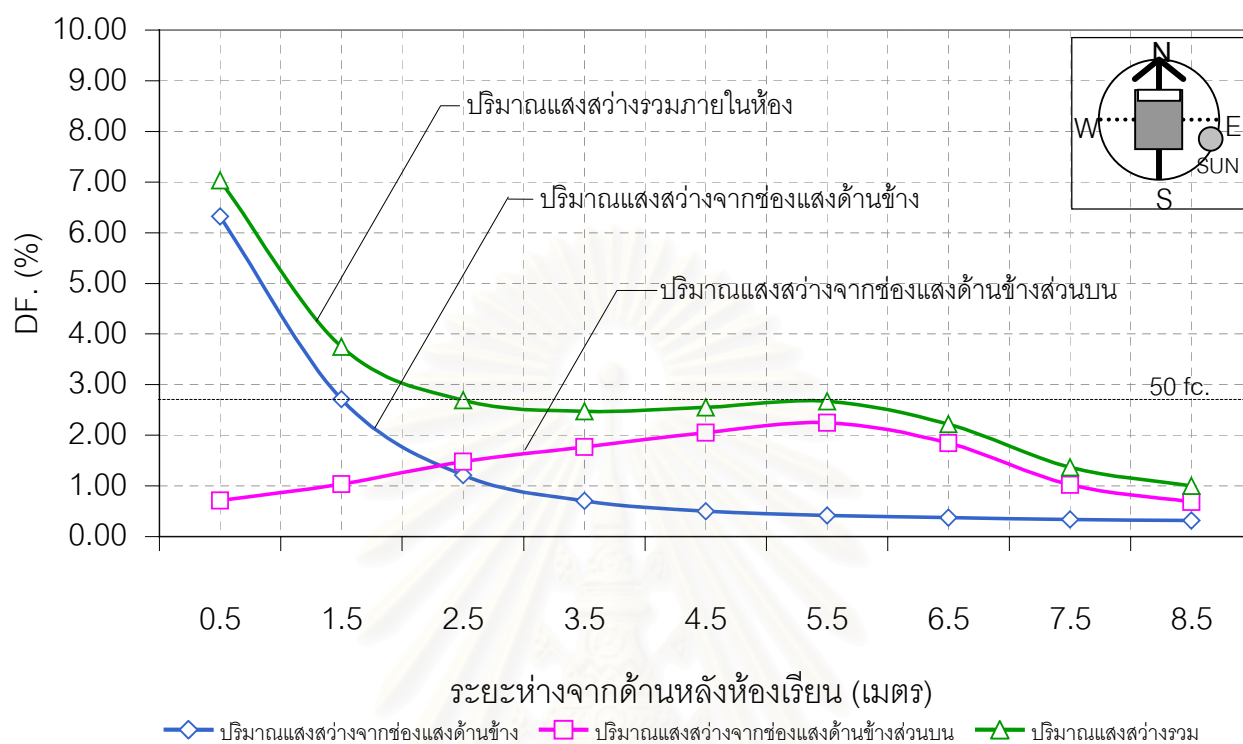
ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 8 ที่ได้เลือกมาทำการทดสอบในทิศเหนือ

ช่วงเวลา 8.00น. 10.00น. 12.00น. 14.00น. และ 16.00น.

4.2 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ได้เลือกมาทดลองในทิศหลักทั้ง 4 ทิศ

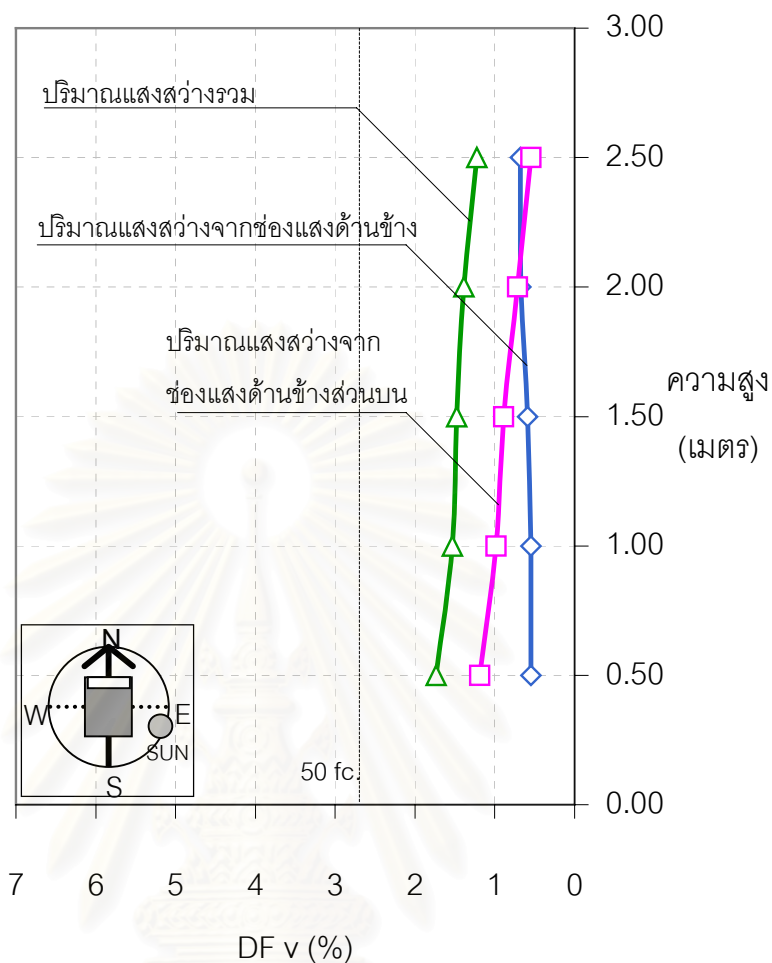
4.2.1 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น.

(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux)

บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) กรณีศึกษาที่ 8 ที่ระยะต่างๆ เวลา 8.00น.

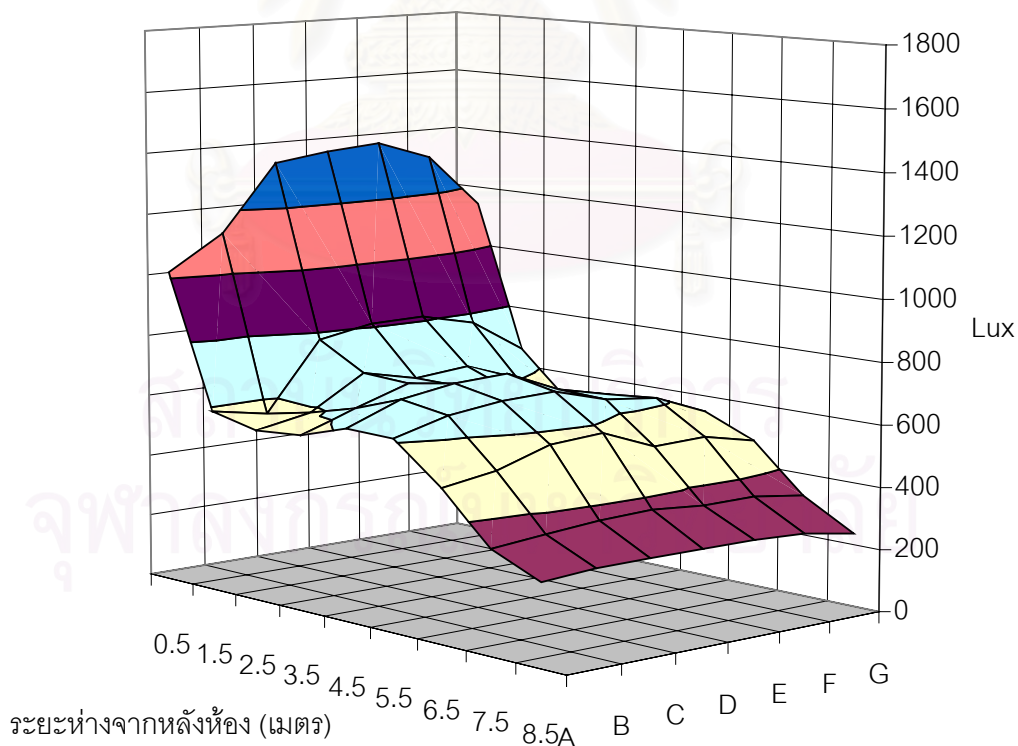
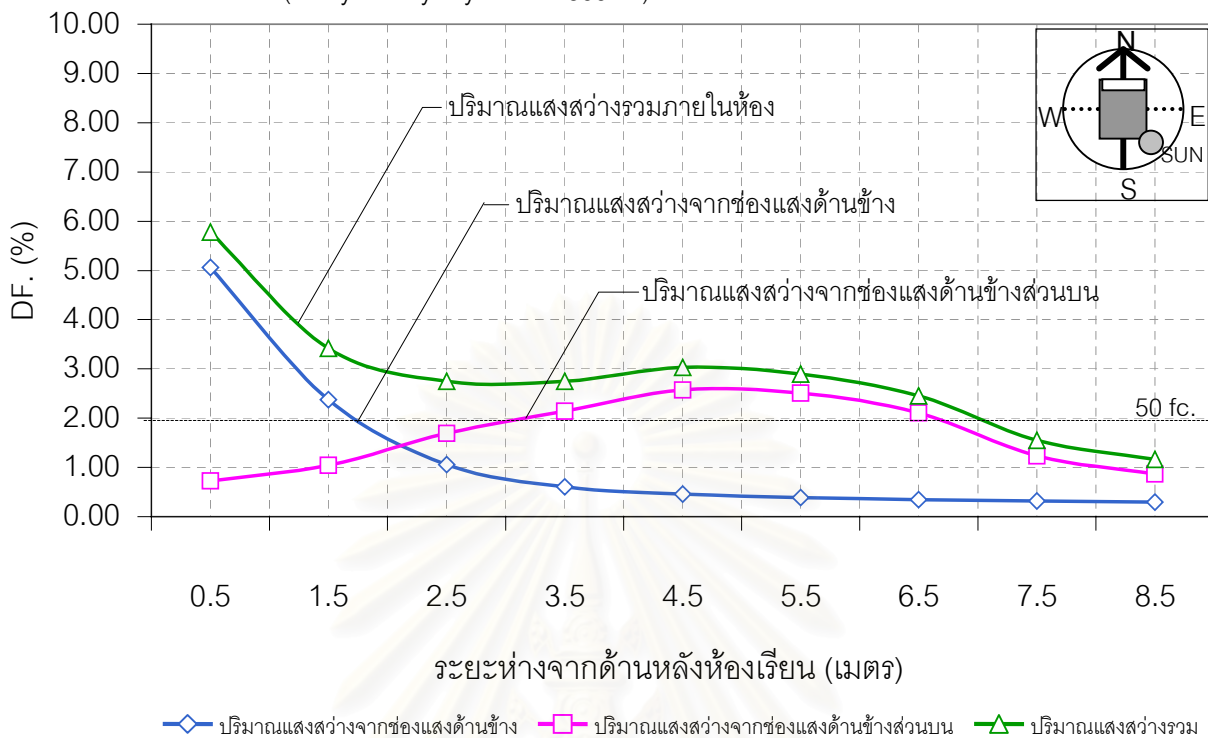


—◇— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้าง —□— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างส่วนบน —△— ปริมาณแสงสว่างรวม

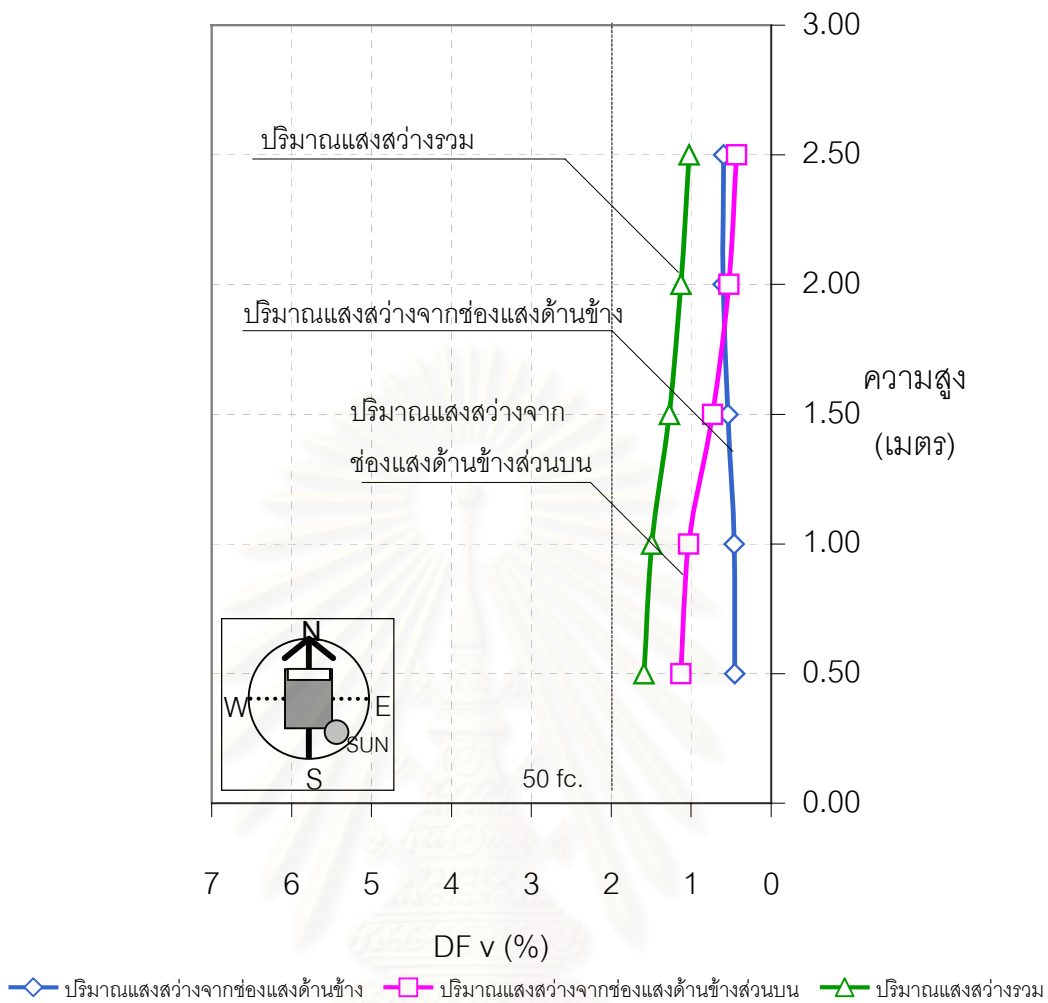
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane)

ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ เวลา 8.00น.

4.2.2 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศเหนือ เวลา 10.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)



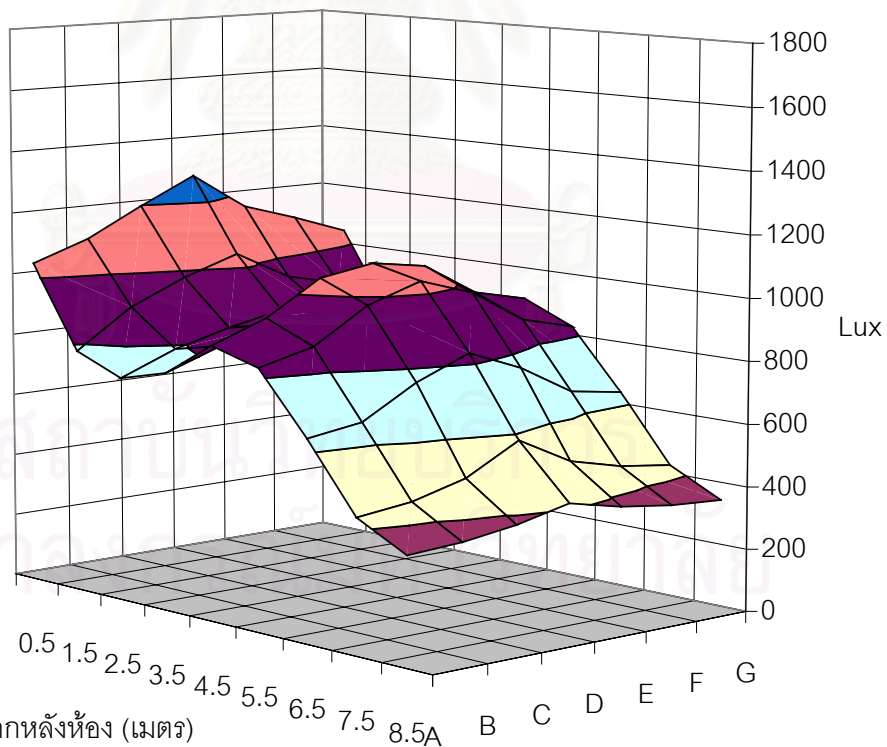
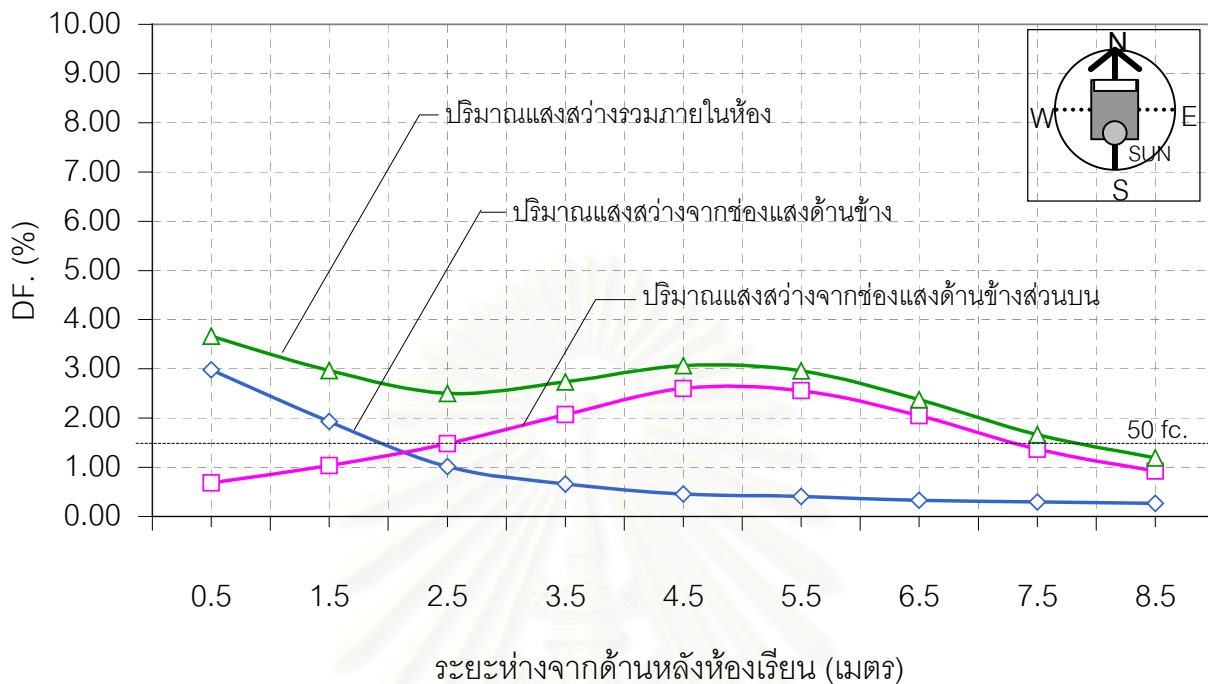
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) กรณีศึกษาที่ 8 ที่ระยะต่างๆ เวลา 10.00น.



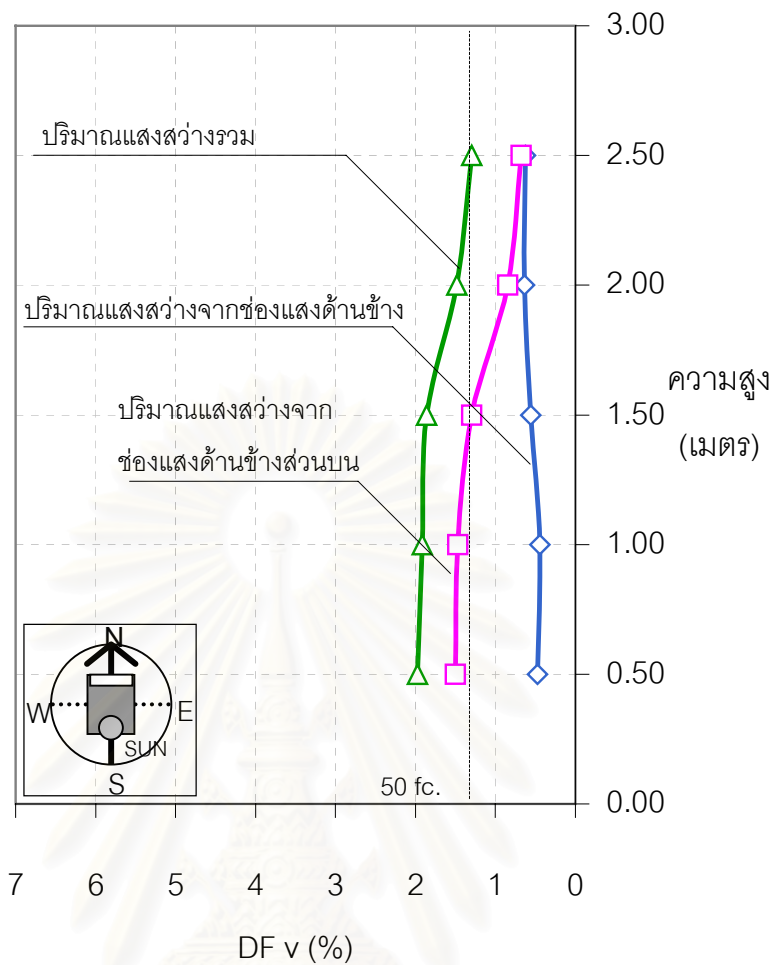
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงค่าเดโกลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ เวลา 10.00น.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศเหนือ เวลา 12.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 3500 fc.)



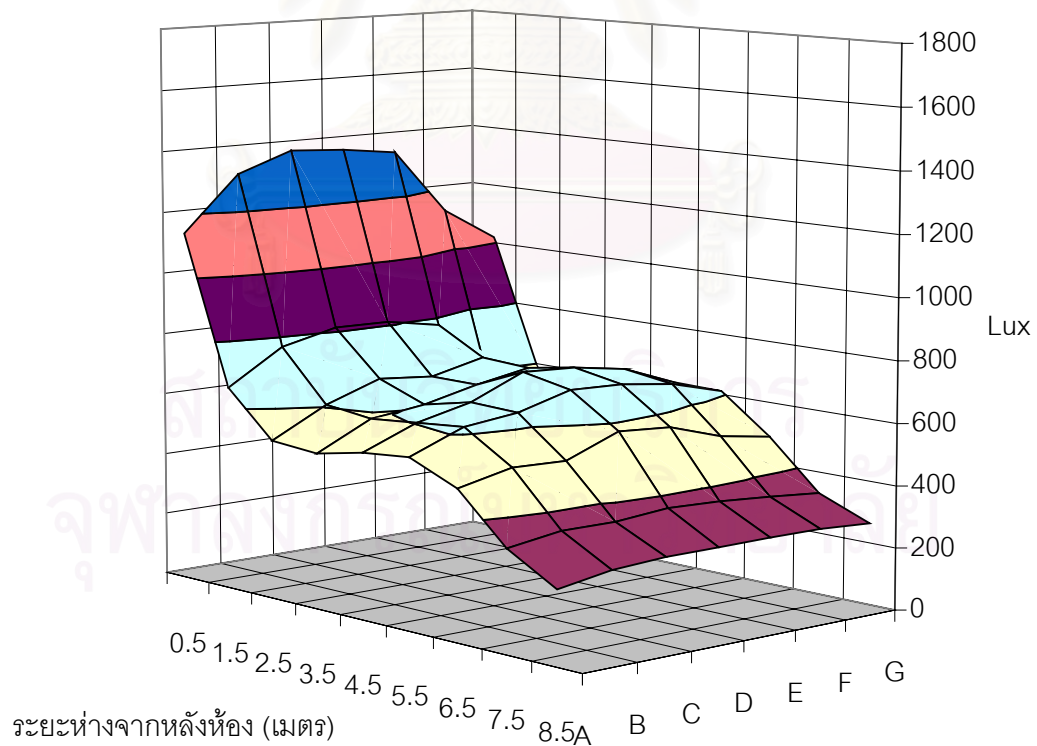
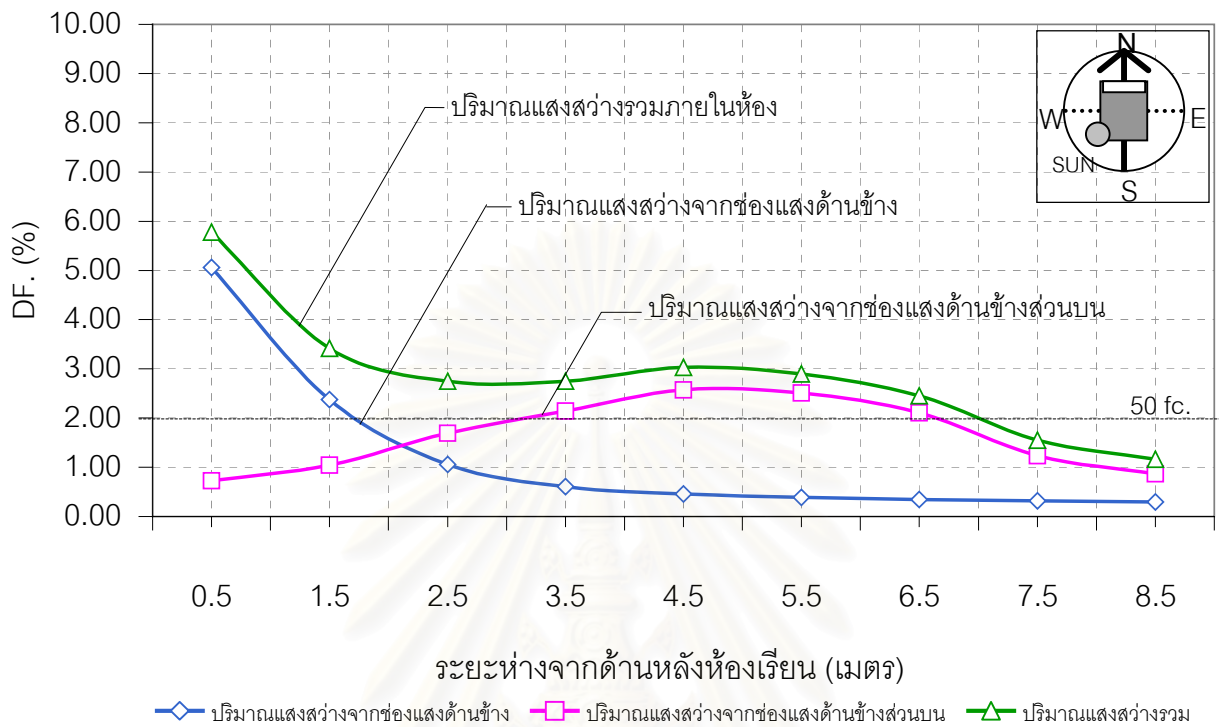
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) เวลา 12.00น.



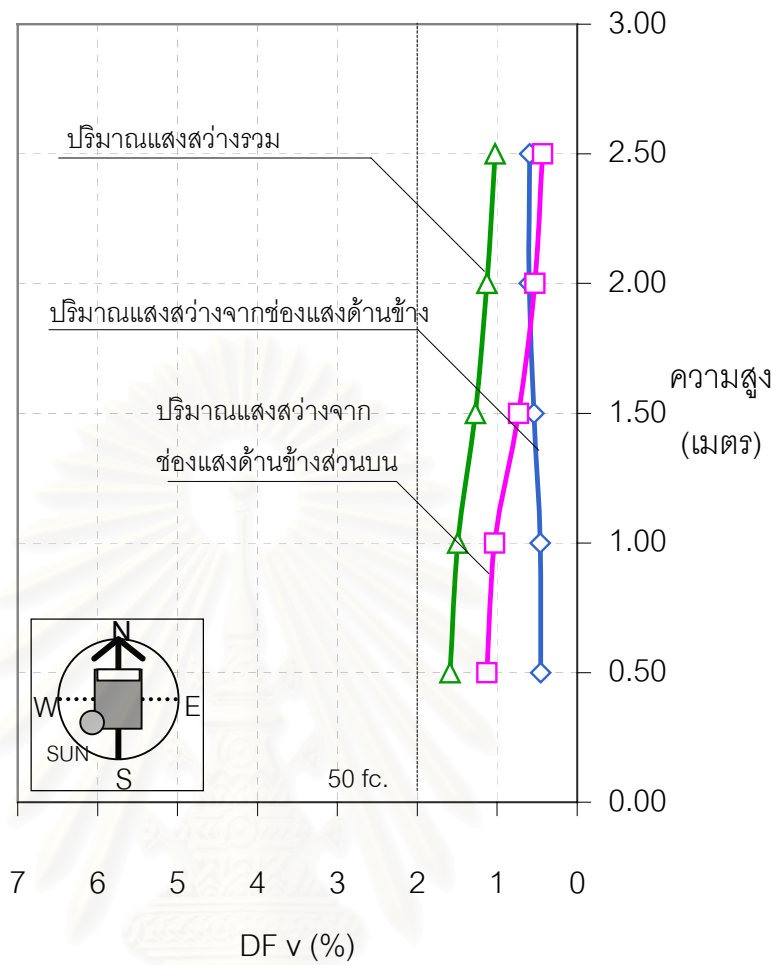
◆ ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้าง
 ◻ ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างส่วนบน
 ▲ ปริมาณแสงสว่างรวม

แผนภูมิที่ 4.17 แสดงค่าเดโกลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ เวลา 12.00น.

4.2.4 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศเหนือ เวลา 14.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)



แผนภูมิที่ 4.18 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) เวลา 14.00น.

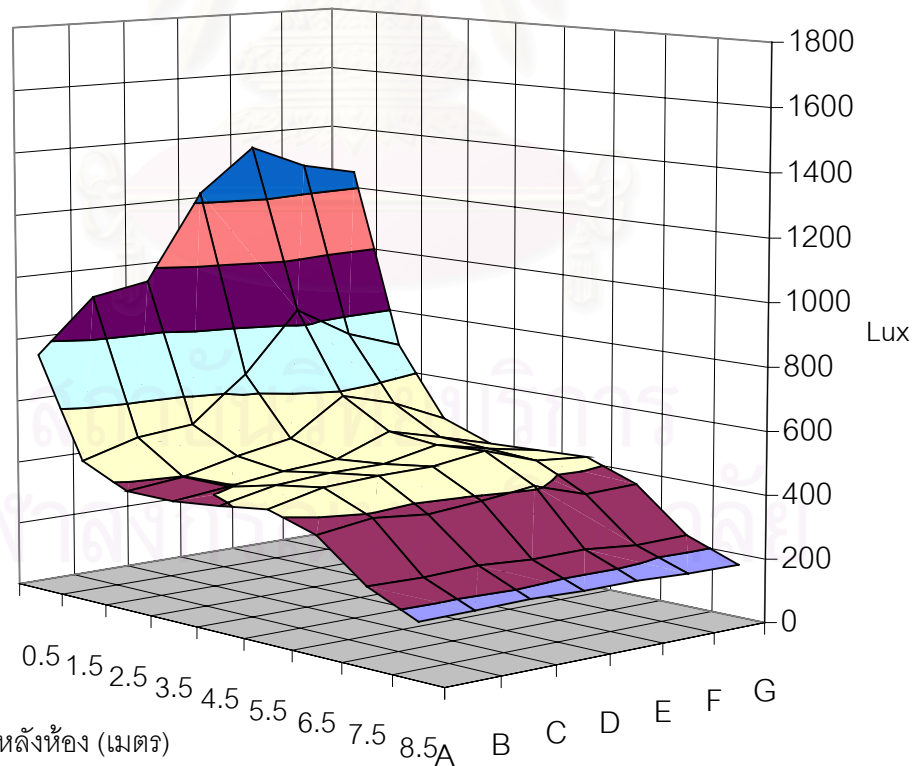
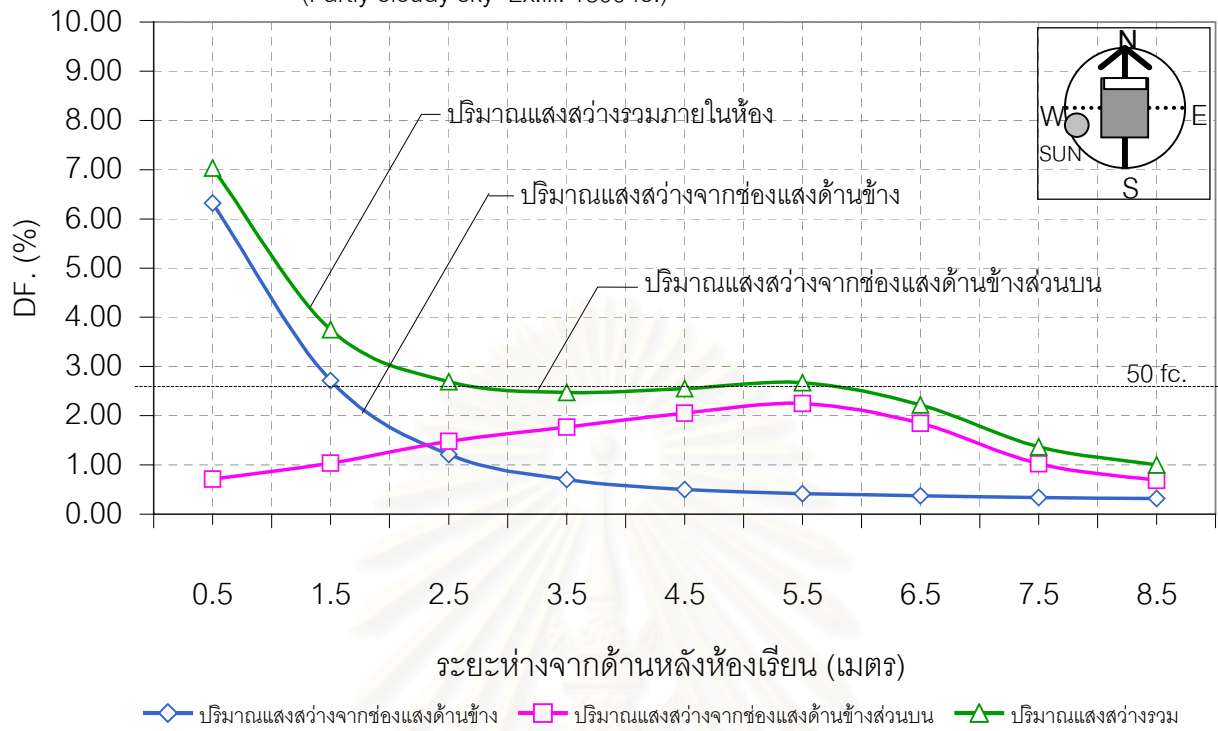


—◇— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้าง —□— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างส่วนบน —△— ปริมาณแสงสว่างรวม

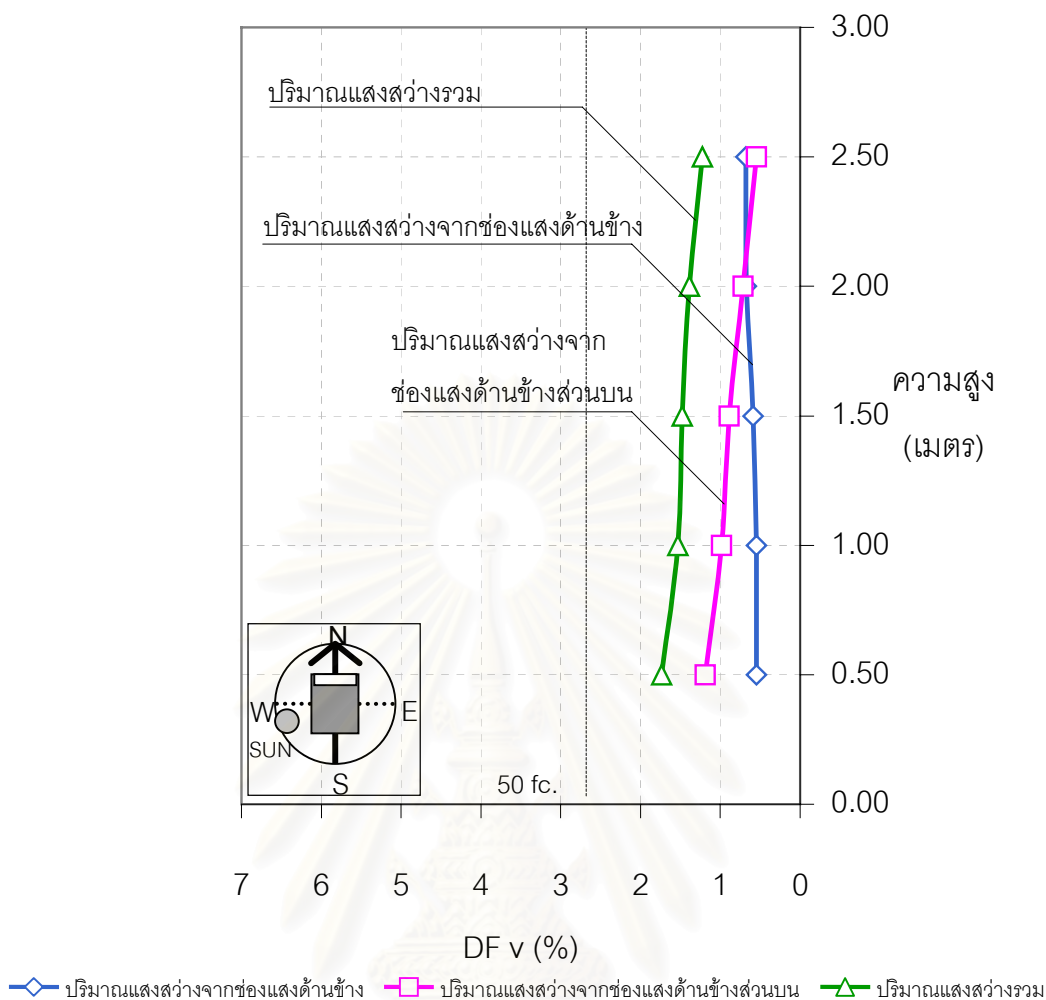
แผนภูมิที่ 4.19 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ เวลา 14.00น.

4.2.5 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศเหนือ เวลา 16.00 น.

(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)

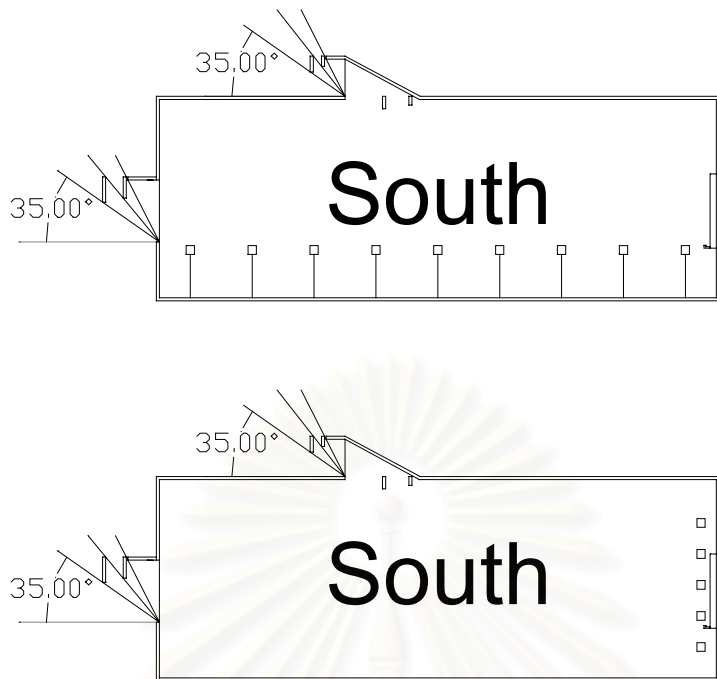


แผนภูมิที่ 4.20 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) เวลา 16.00น.



แผนภูมิที่ 4.21 แสดงค่าเดโกลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ เวลา 16.00น.

จากผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 ที่มีช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาด 0.60ม. ในทิศเหนือช่วงเวลา 8.00 น. และ 16.00น. (ปริมาณแสงสว่างภายนอกแนวระนาบ มีค่า 1800 ฟุตแคนเดิล) พบว่าปริมาณแสงสว่างในระนาบนอนบริเวณโต๊ะเรียนมีความสว่างน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิลเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่าปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งาน ส่วนเวลา 10.00น. -14.00น. (ปริมาณแสงสว่างภายนอกแนวระนาบ มีค่า 2500 ฟุตแคนเดิล) มีปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งาน แต่ในส่วนของปริมาณแสงสว่างในแนวตั้งบริเวณกระดาน ในช่วงเวลา 8.00น. และ 10.00น. มีประมาณ 30 ฟุตแคนเดิล ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐาน เป็นผลมาจากช่องแสงด้านข้างส่วนบนไม่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนแสงบริเวณหลังคาเข้ามาสู่ช่องแสงด้านข้างส่วนบน แต่ได้รับเพียงความสว่างจากท้องฟ้าเท่านั้นจึงมีปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาไม่มาก ส่วนเวลา 12.00น. (ปริมาณแสงสว่างภายนอกแนวระนาบ มีค่า 3500 ฟุตแคนเดิล) แสงสว่างบริเวณกระดานมีมากกว่า 50 ฟุตแคนเดิล เพราะได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนบริเวณหลังคาเข้ามาสู่ช่องแสงด้านข้างส่วนบนได้มากกว่า ช่วงเวลาเช้าและเย็น

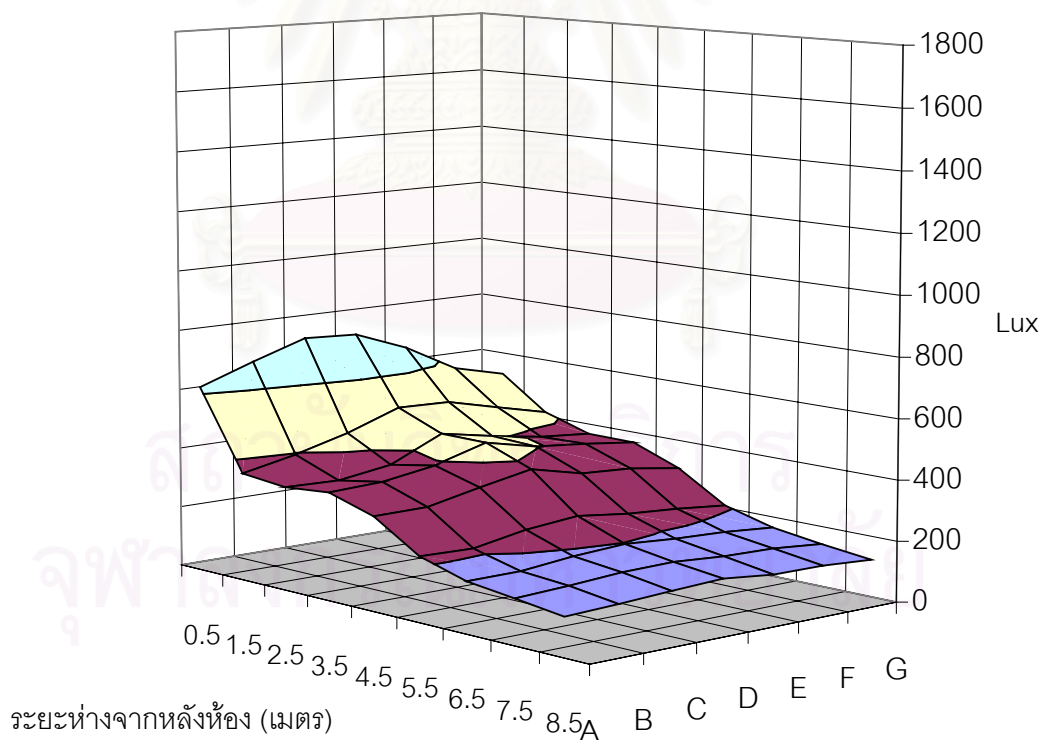
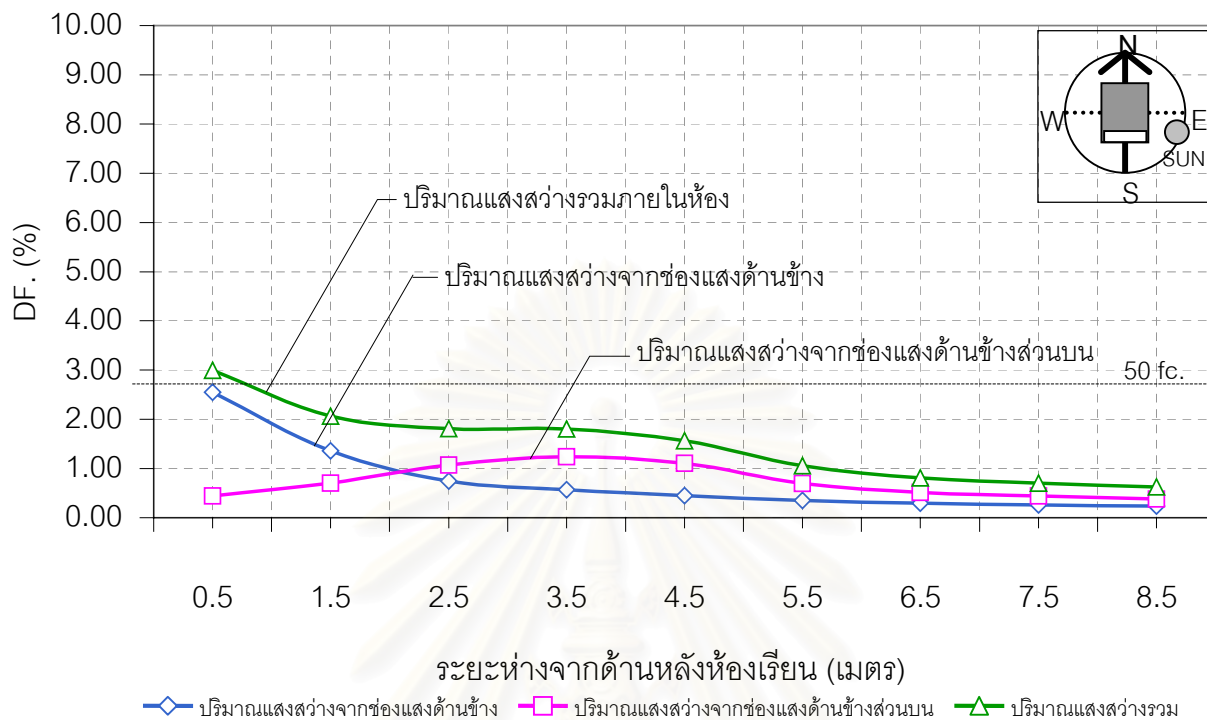


ภาพที่ 4.5 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 8 ที่ได้เลือกมาทำการทดสอบในทิศใต้
ช่วงเวลา 8.00น. 10.00น. 12.00น. 14.00น. และ 16.00น.

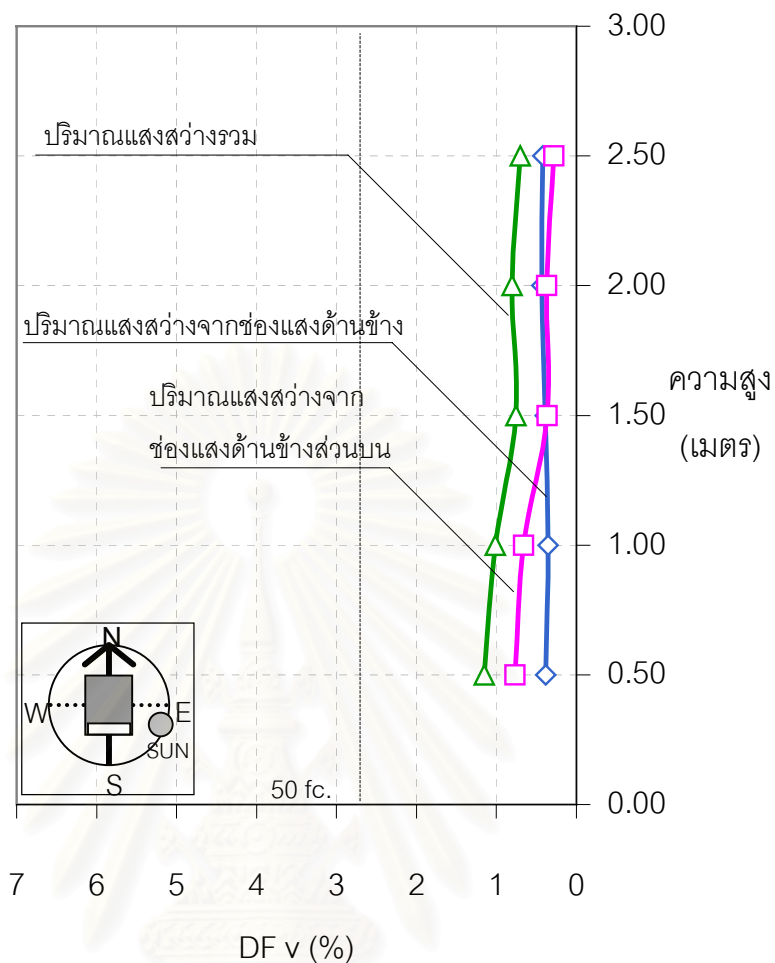
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.6 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศใต้ เวลา 8.00 น.

(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)



แผนภูมิที่ 4.22 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 8.00น.

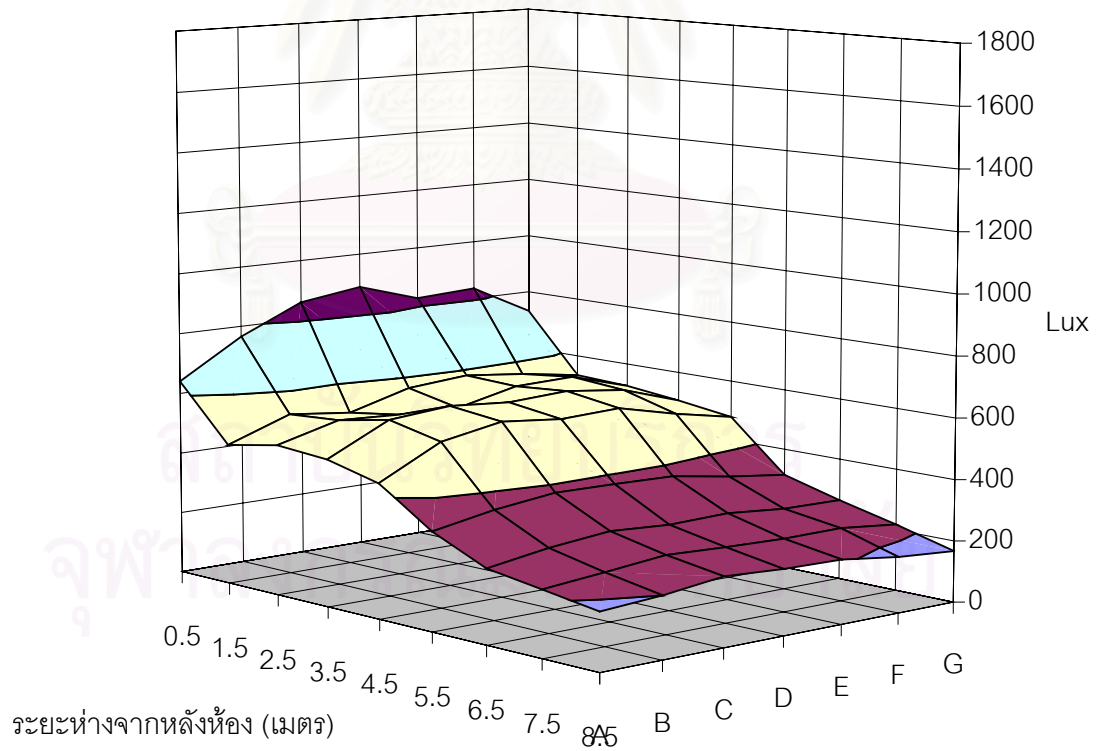
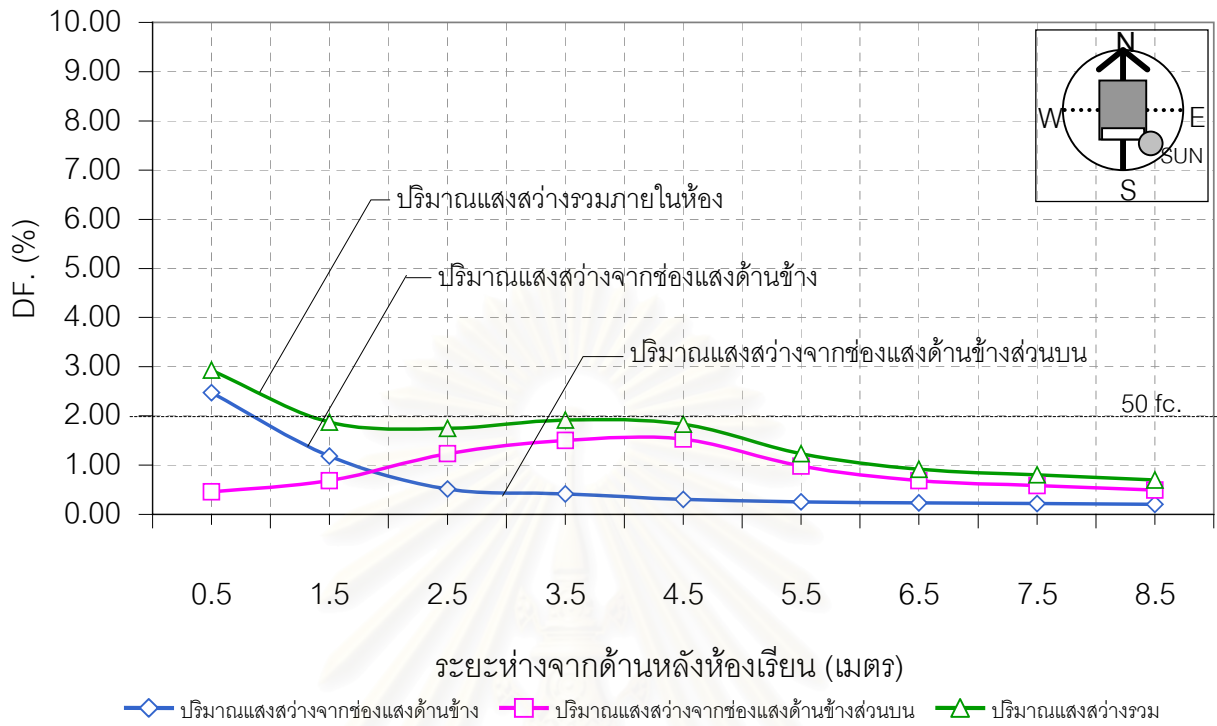


—◇— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้าง —□— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างส่วนบน —△— ปริมาณแสงสว่างรวม

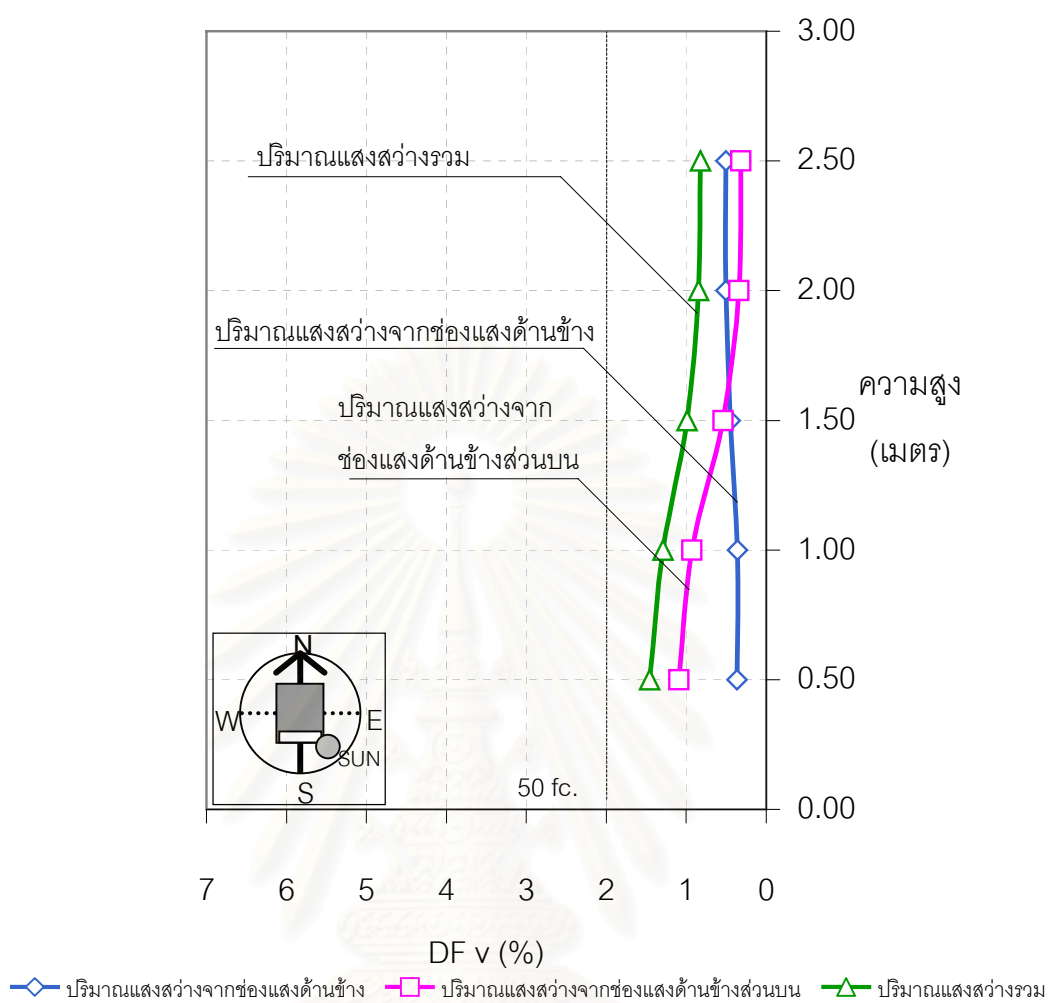
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงค่าเดโกลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 8.00น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.7 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศใต้ เวลา 10.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)



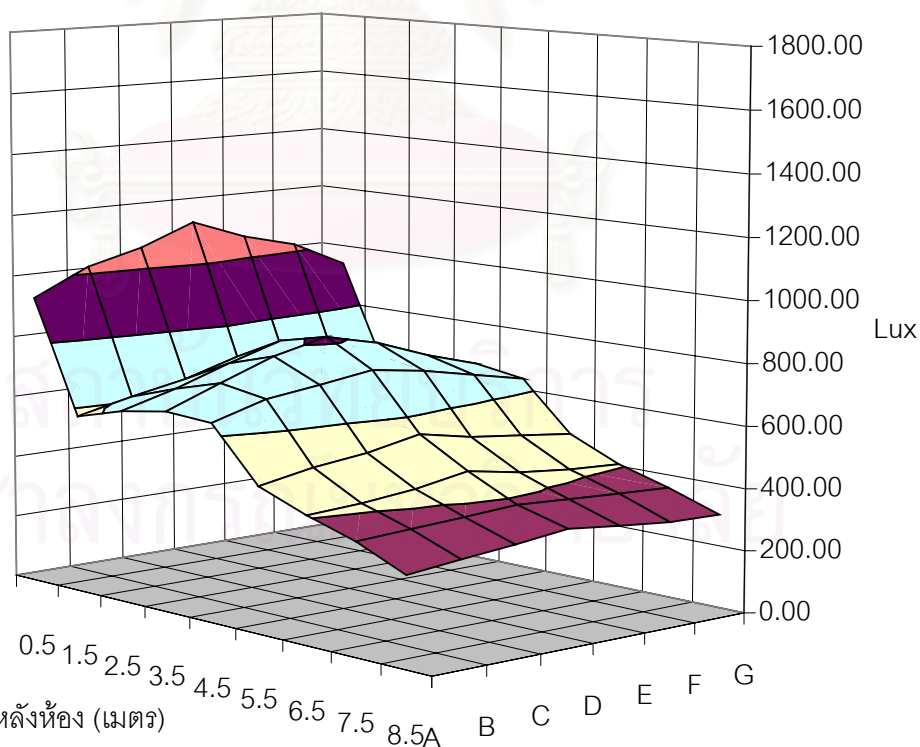
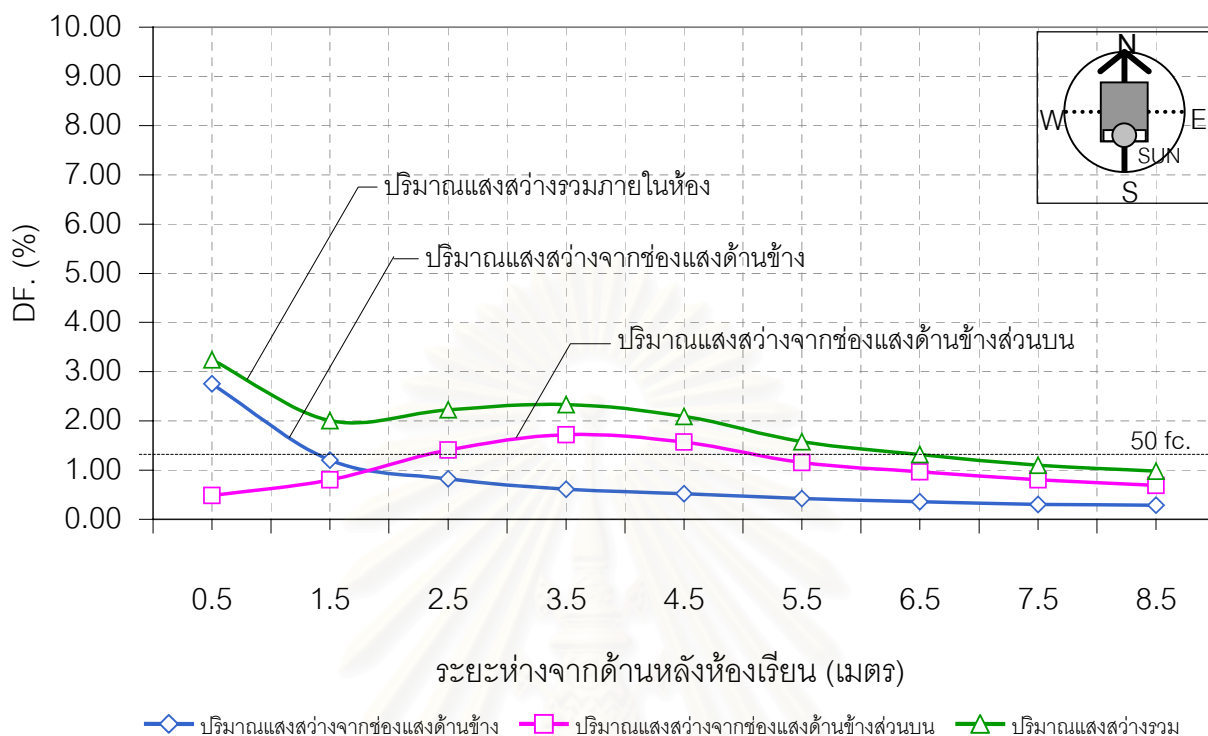
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 10.00น.



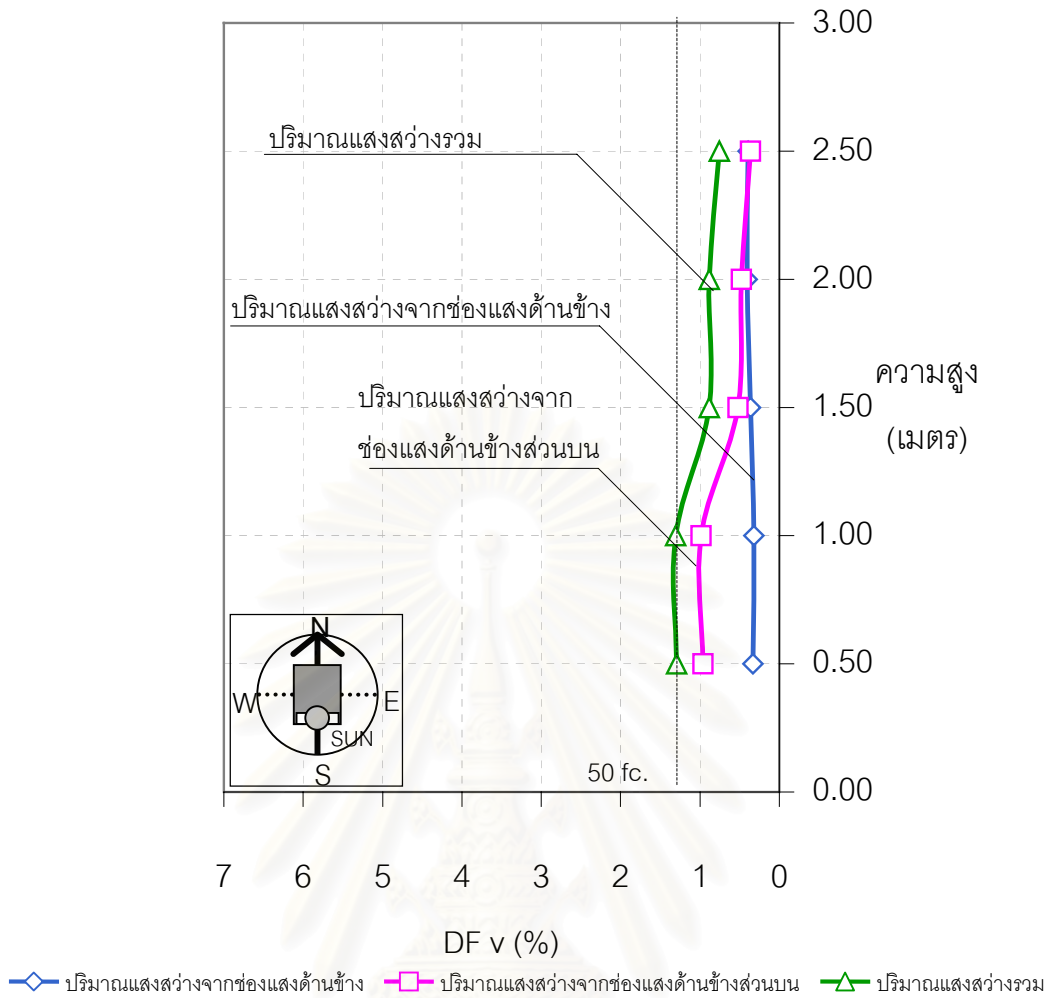
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 10.00น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.8 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศใต้ เวลา 12.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 3500 fc.)



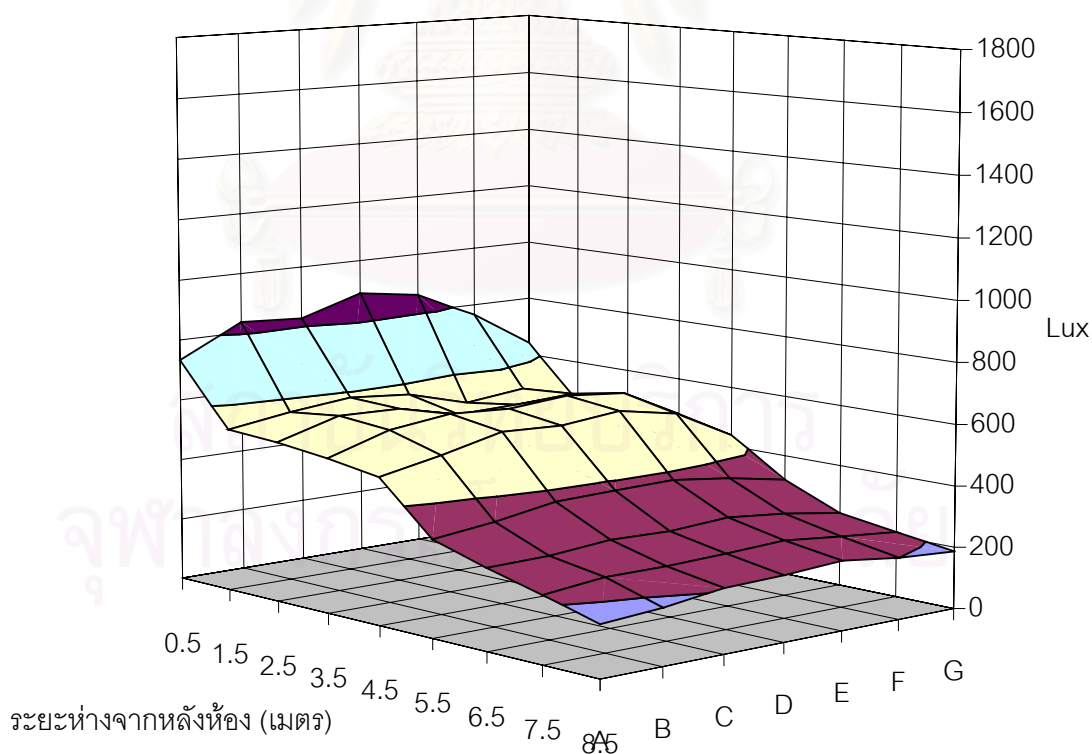
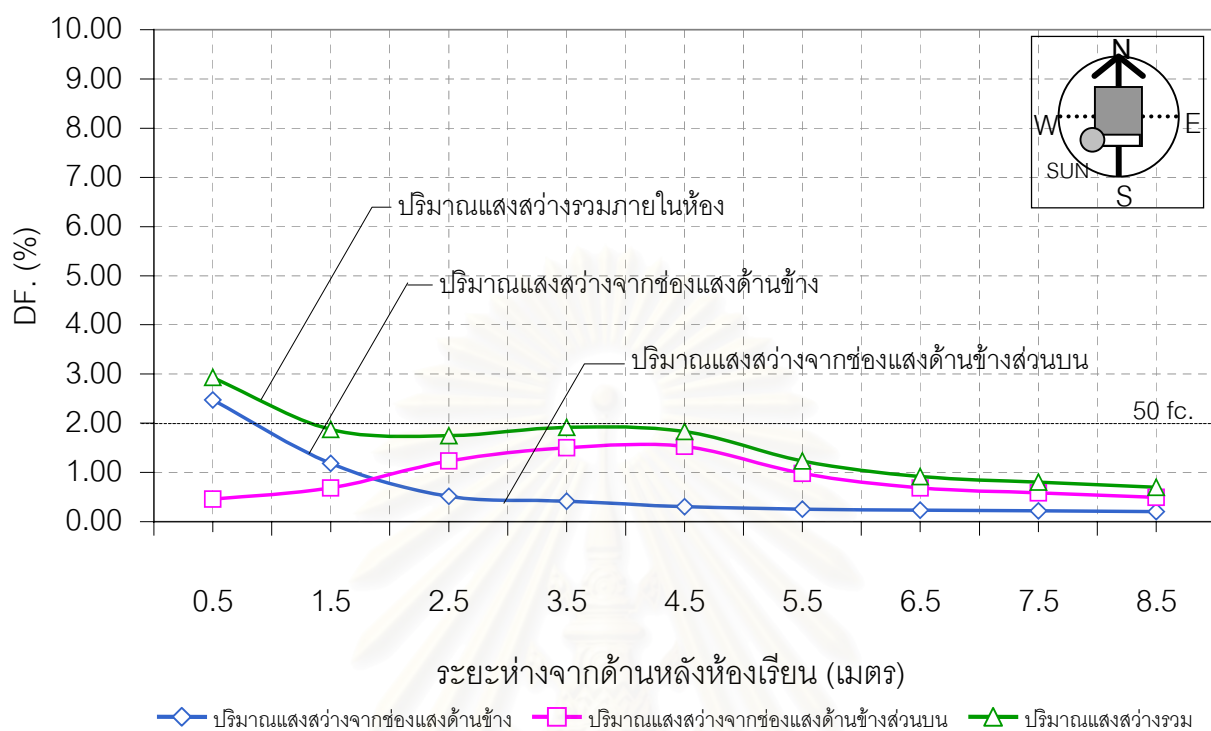
แผนภูมิที่ 4.26 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 12.00น.



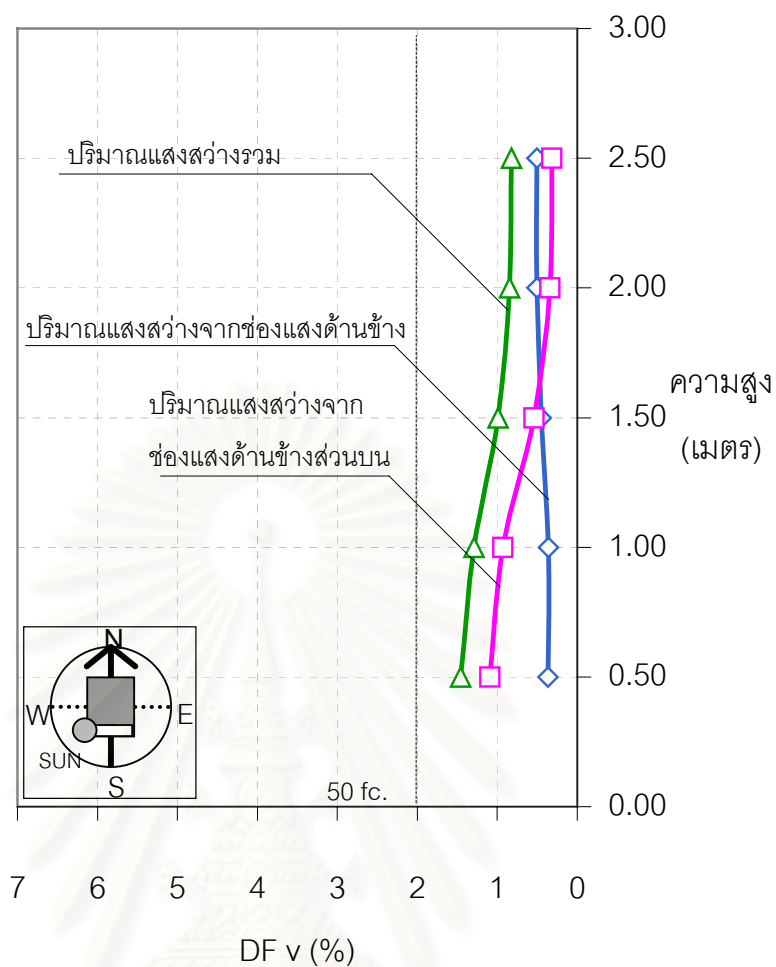
แผนภูมิที่ 4.27 แสดงค่าเดโด้ทีแฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 12.00น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.9 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศใต้ เวลา 14.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)



แผนภูมิที่ 4.28 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟกเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 14.00น.

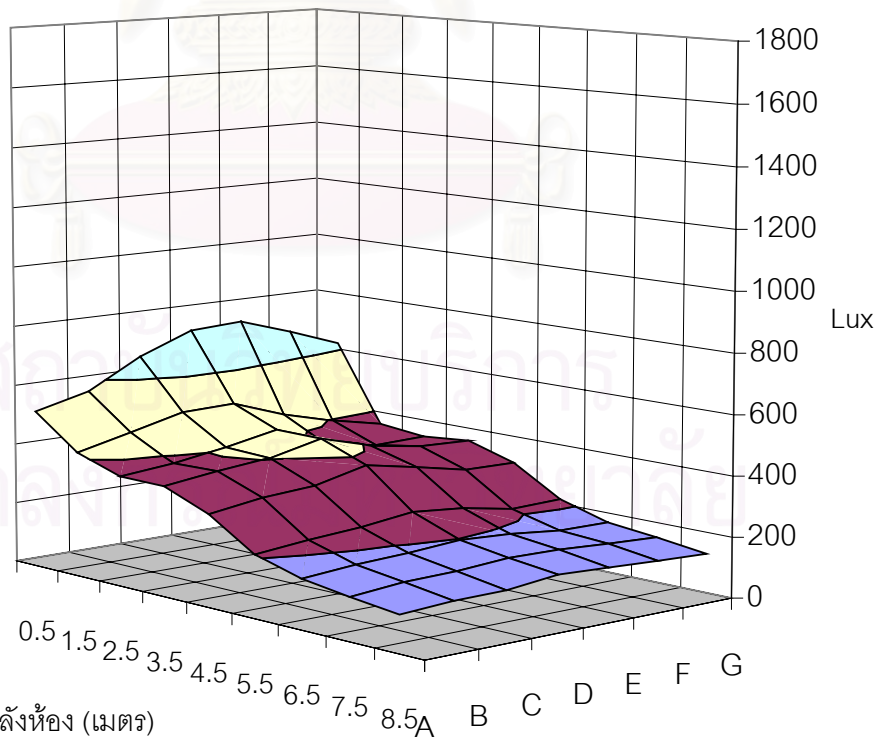
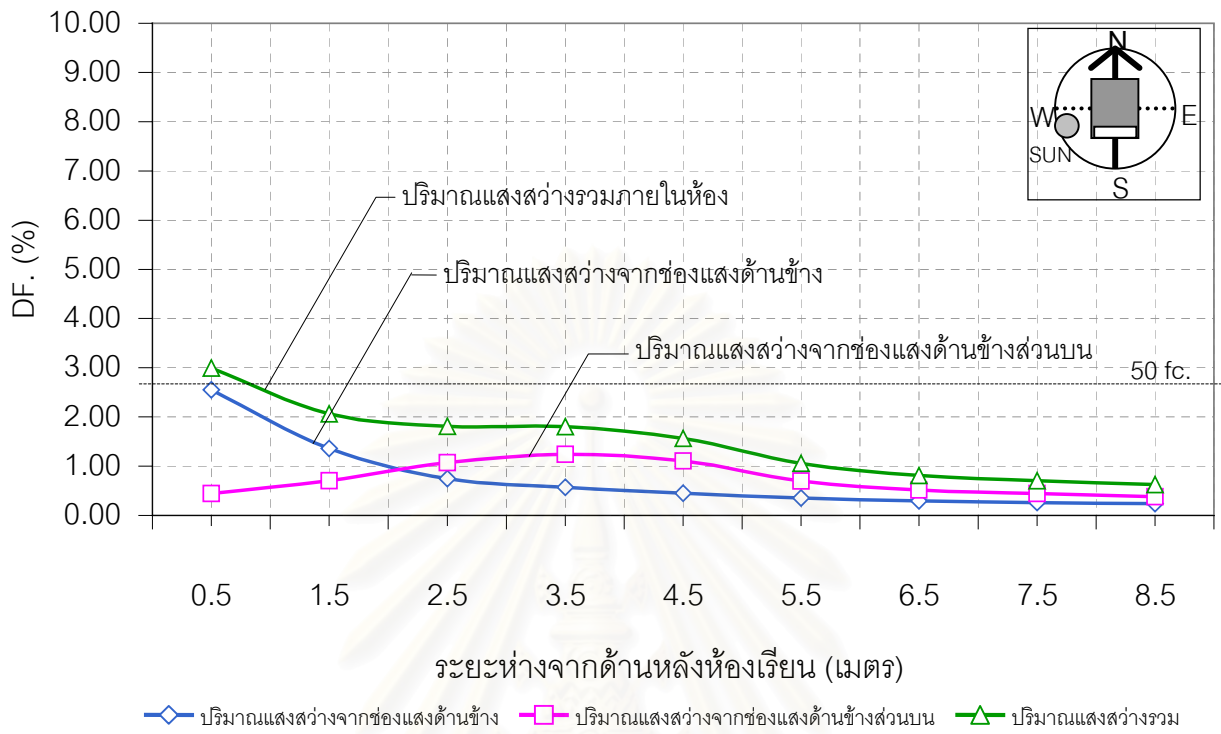


—◇— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้าง —□— ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างส่วนบน —△— ปริมาณแสงสว่างรวม

แผนภูมิที่ 4.29 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 14.00น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

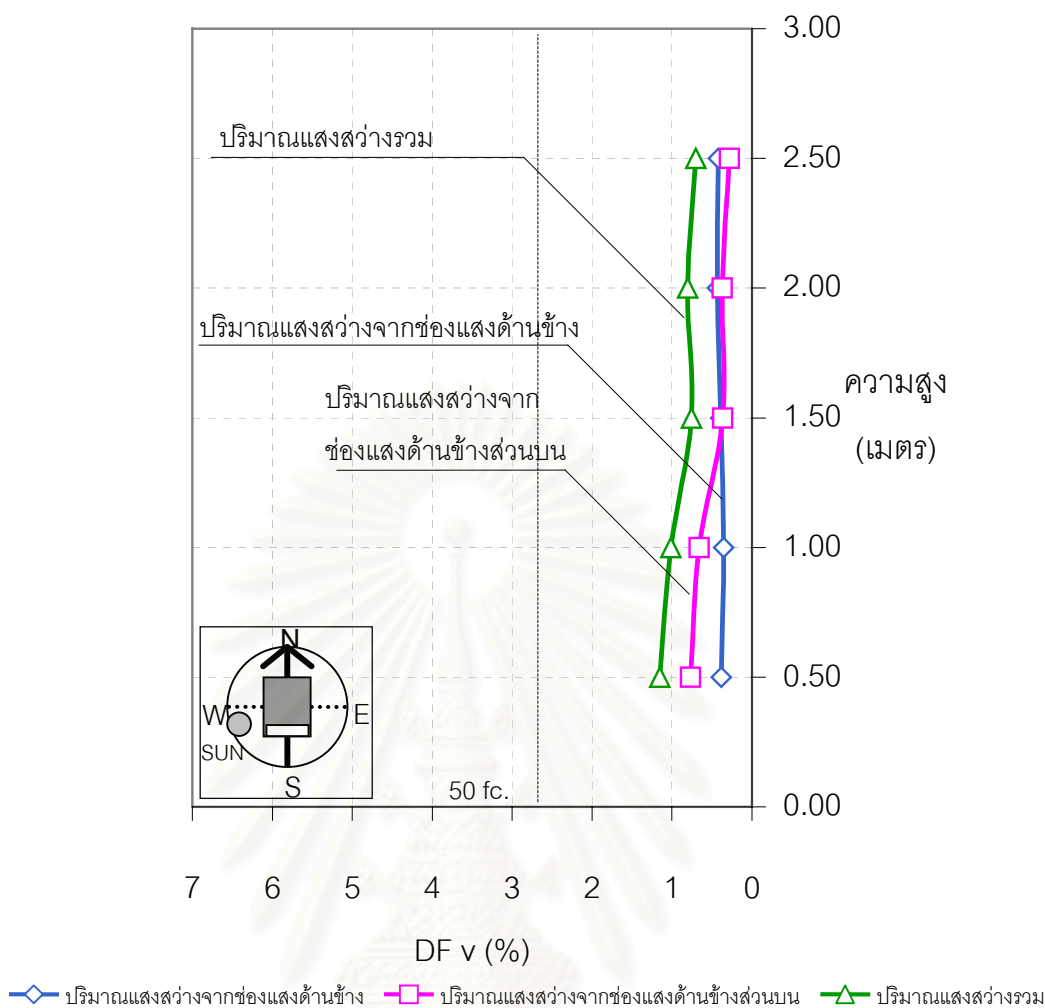
4.2.10 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศใต้ เวลา 16.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)



ระยะห่างจากหลังห้อง (เมตร)

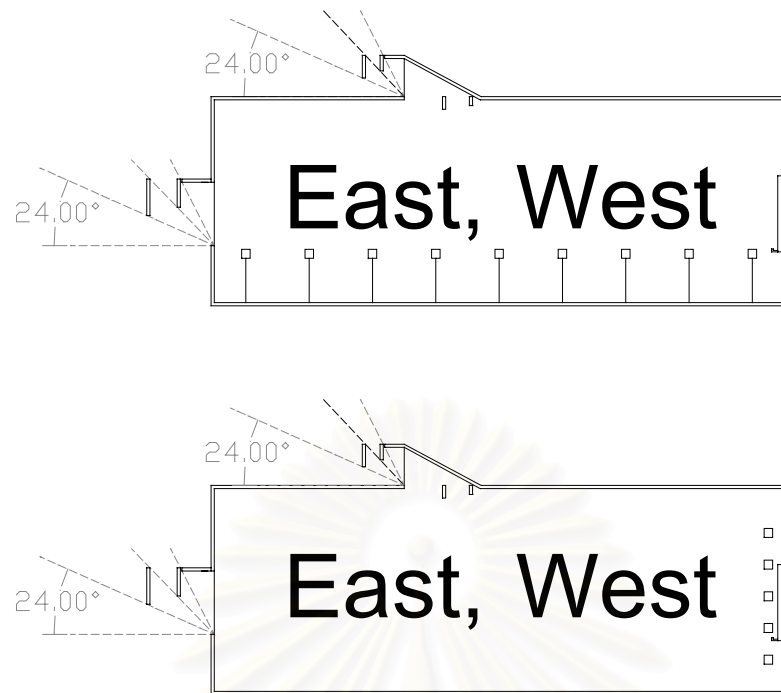
แผนภูมิที่ 4.30 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux)

บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศใต้ เวลา 16.00น.



แผนภูมิที่ 4.31 แสดงค่าเดิท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศใต้ เวลา 16.00น

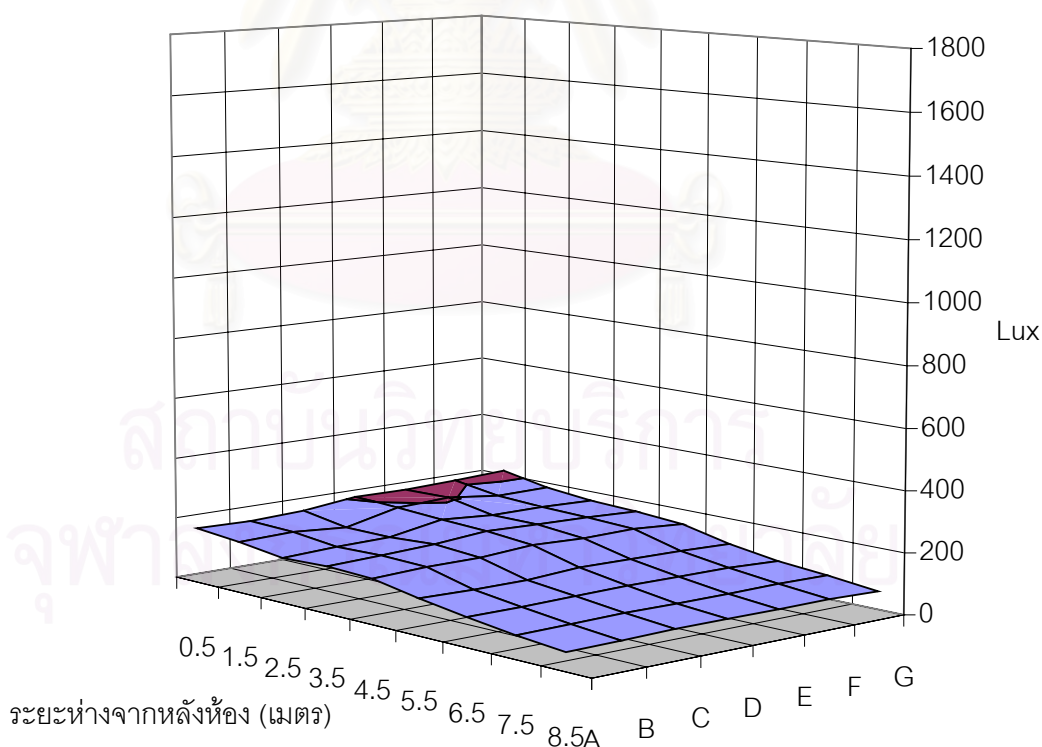
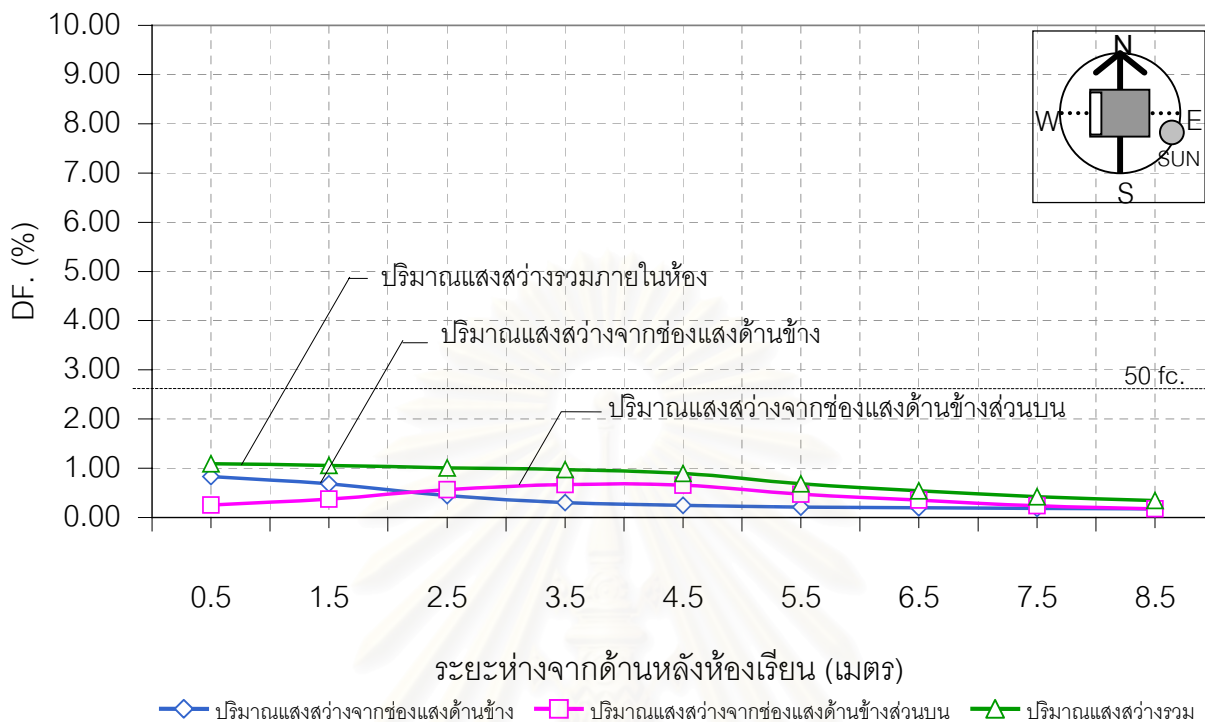
จากผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศใต้พบว่าช่วงเวลา 8.00น. และ 16.00น. (ปริมาณแสงสว่างภายนอกแนวระนาบ มีค่า 1800 ฟุตแคนเดิล) ปริมาณแสงสว่างในระนาบนอนบริเวณโต๊ะเรียนมีความสว่างน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิล ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งานโดยจะมีปริมาณแสงสว่างมากในส่วนที่ใกล้ช่องแสงด้านข้างและจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเข้ามาในห้องมากขึ้น ส่วนเวลา 10.00น. และ 14.00น. (ปริมาณแสงสว่างภายนอกแนวระนาบ มีค่า 2500 ฟุตแคนเดิล) มีปริมาณแสงสว่างน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิลเล็กน้อยบริเวณใกล้กระดาน ซึ่งถือว่ามีเพียงพอต่อการใช้งาน ในเวลา 12.00น.(ปริมาณแสงสว่างภายนอกแนวระนาบ มีค่า 3500 ฟุตแคนเดิล) ปริมาณแสงสว่างเพียงพอต่อการใช้งาน แต่ในส่วนของปริมาณแสงสว่างในแนวตั้งบริเวณกระดาน ในช่วงเวลา 8.00น. และ 10.00น. มีประมาณ 30 ฟุตแคนเดิล ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐาน เป็นผลมาจากช่องแสงด้านข้างส่วนบนไม่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนแสงบริเวณหลังคาเข้ามาสู่ช่องแสงด้านข้างส่วนบน แต่ได้รับเพียงความสว่างจากท้องฟ้าเท่านั้นจึงมีปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาไม่มาก ส่วนเวลา 12.00น. แสงสว่างบริเวณกระดานมีน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิลเพียงเล็กน้อยซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนบริเวณหลังคาเข้ามาสู่ช่องแสงด้านข้างส่วนบนได้มากกว่าช่วงเวลาเช้าและเย็น



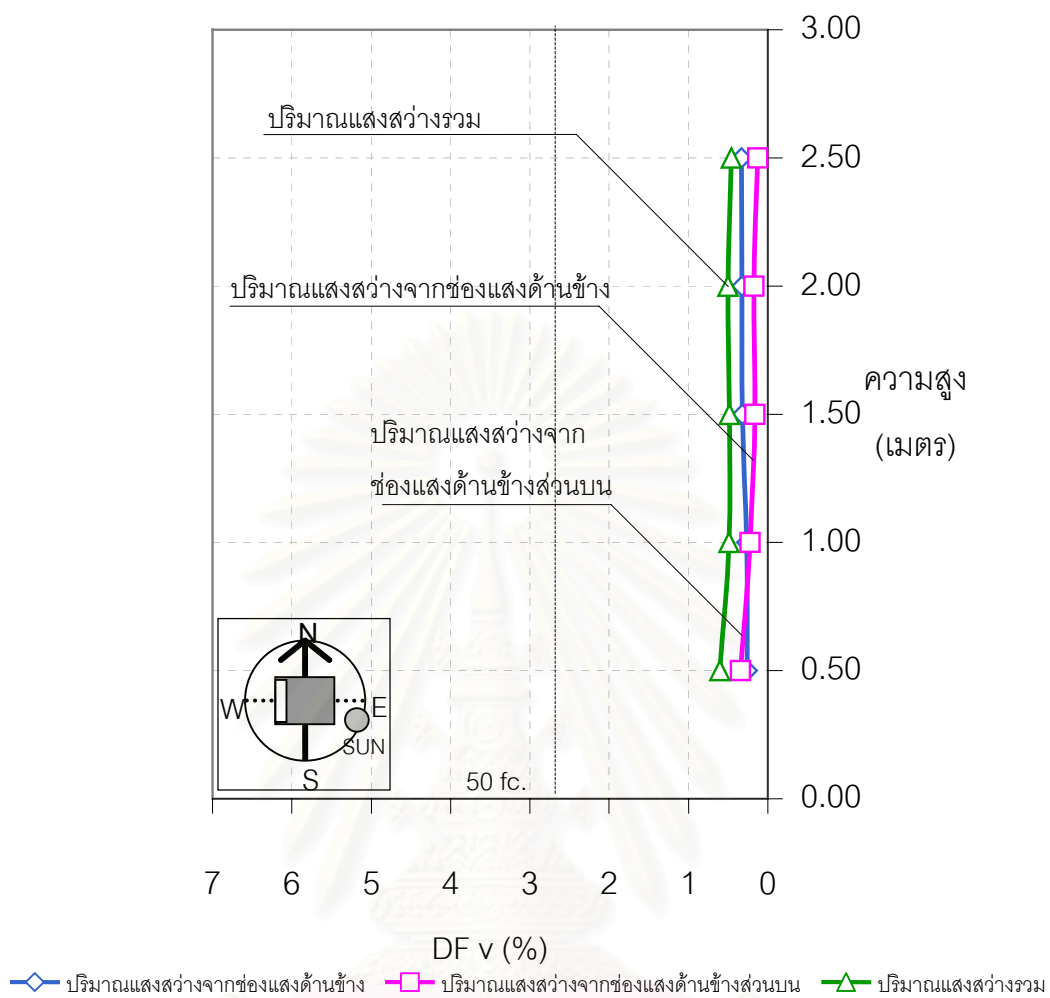
ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ 8 ที่ได้เลือกมาทำการทดสอบในทิศตะวันตก และทิศตะวันออก
ช่วงเวลา 8.00น. 10.00น. 12.00น. 14.00น. และ 16.00น.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.11 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันตก เวลา 8.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)



แผนภูมิที่ 4.32 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันตก เวลา 8.00น.

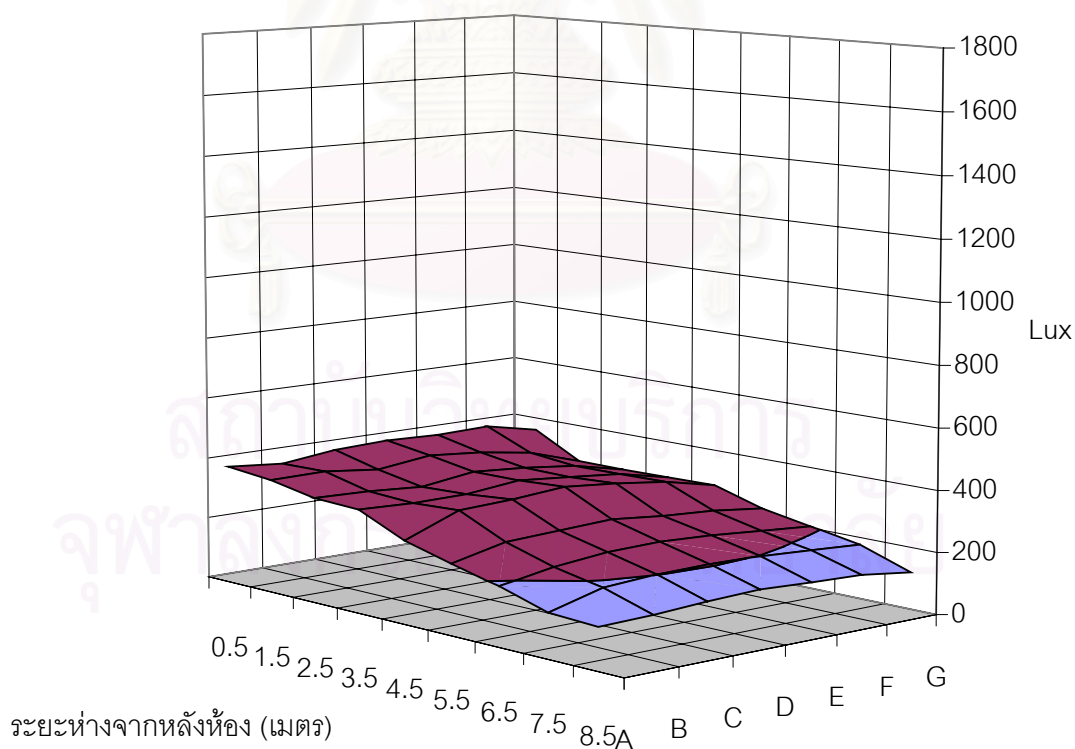
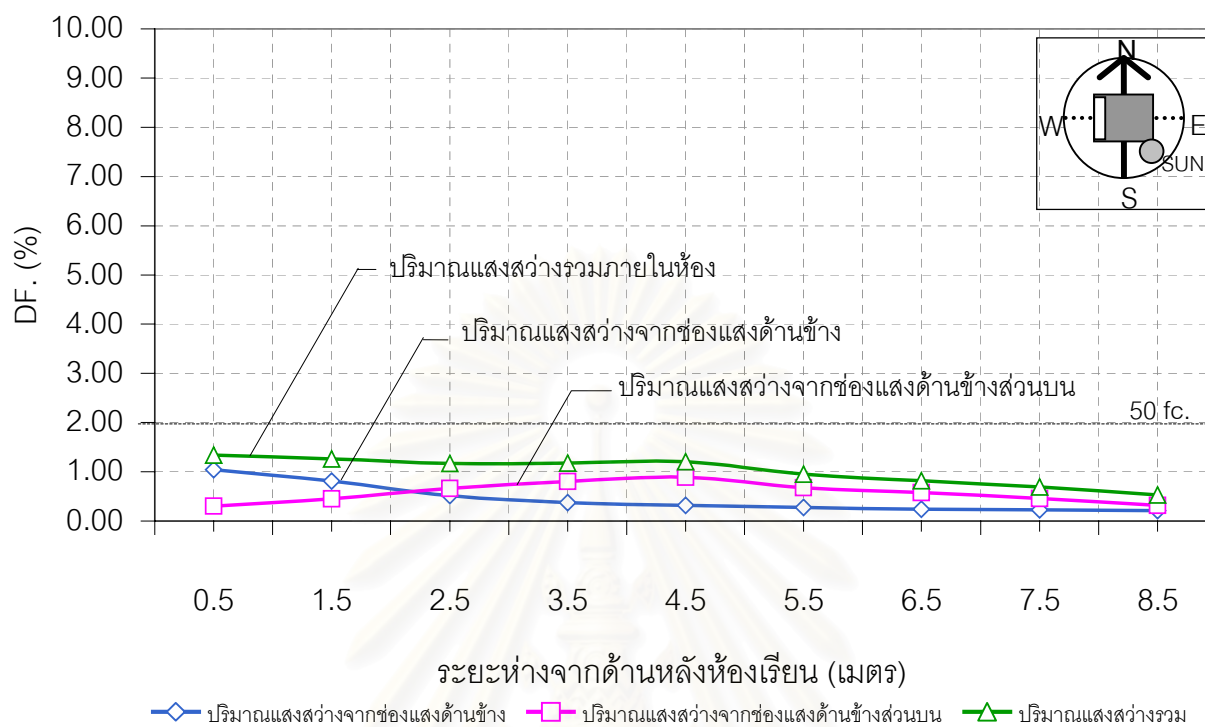


แผนภูมิที่ 4.33 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane)

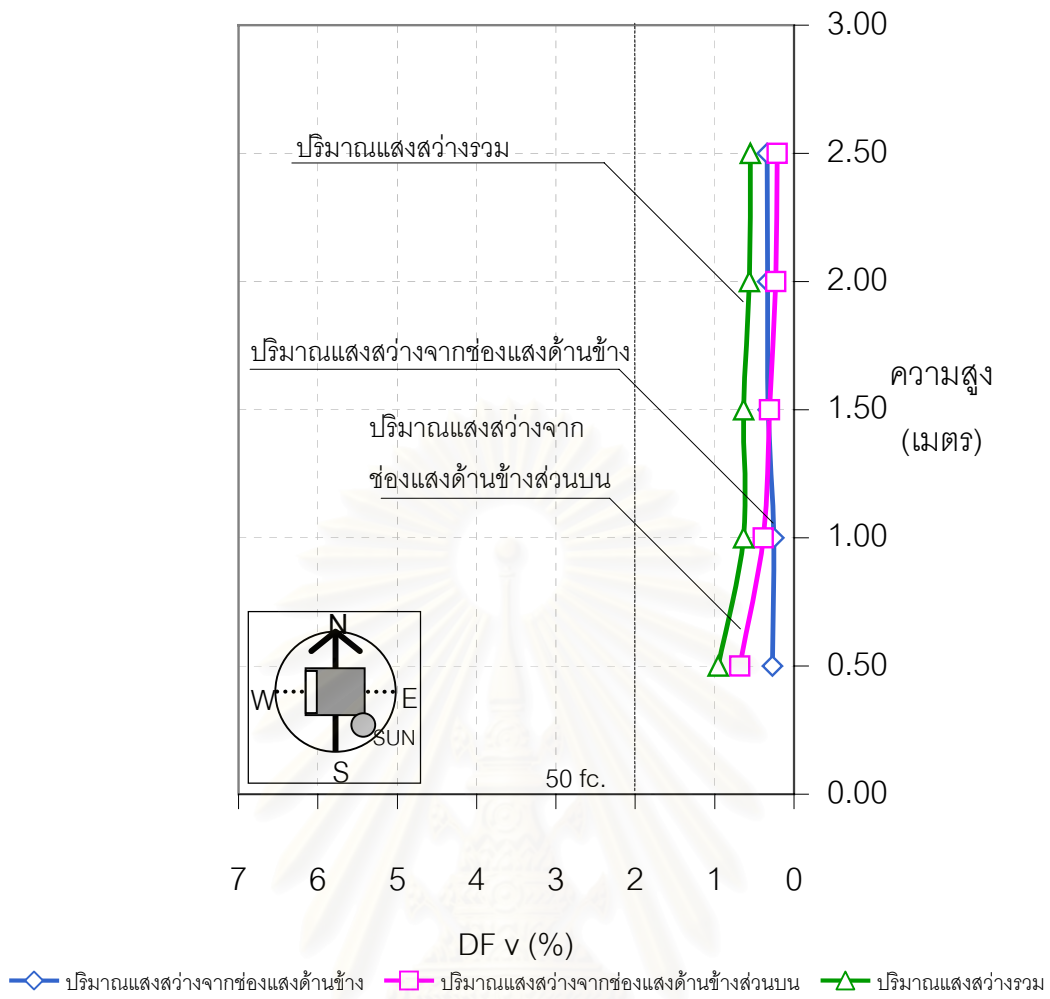
ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันตก เวลา 8.00น.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.12 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันตก เวลา 10.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)

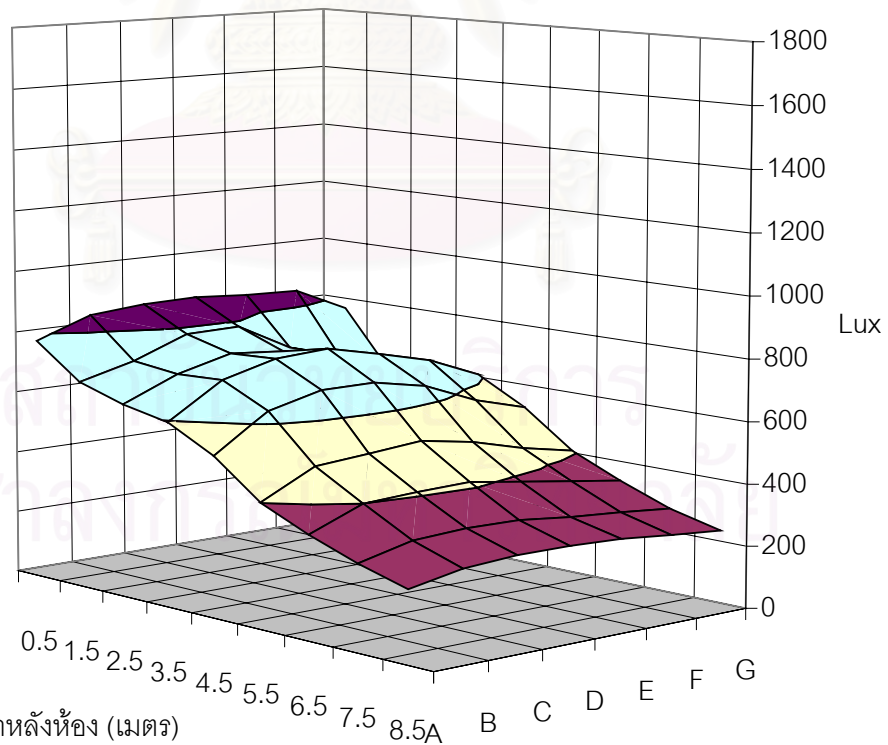
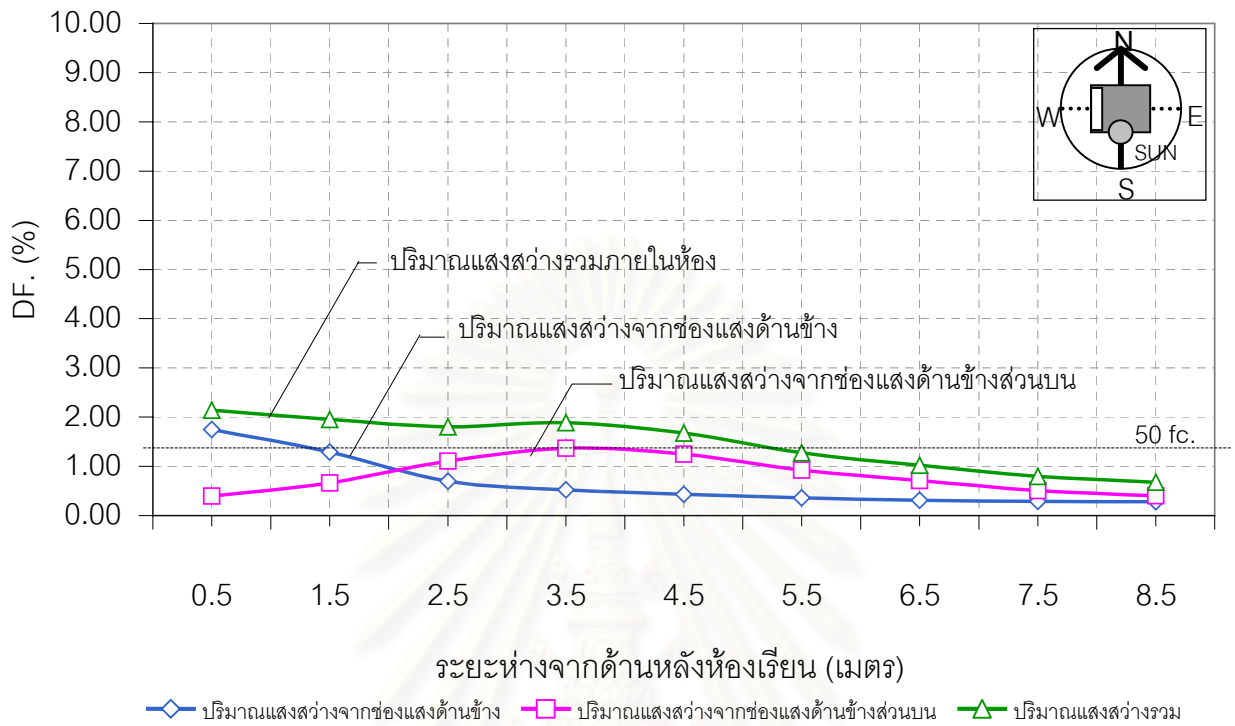


แผนภูมิที่ 4.34 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันตก เวลา 10.00น.

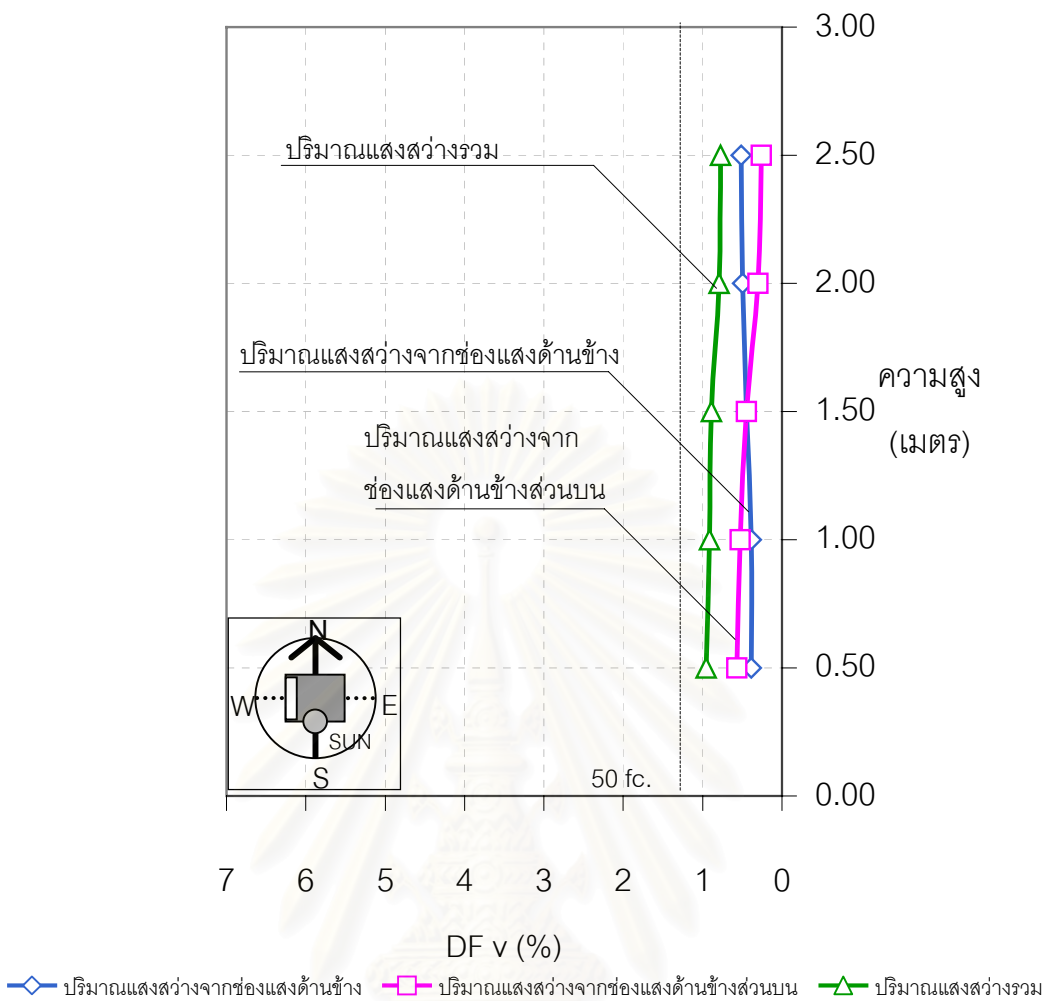


แผนภูมิที่ 4.35 แสดงค่าเดโฑท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันตก เวลา 10.00น.

4.2.13 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันตก เวลา 12.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 3500 fc.)

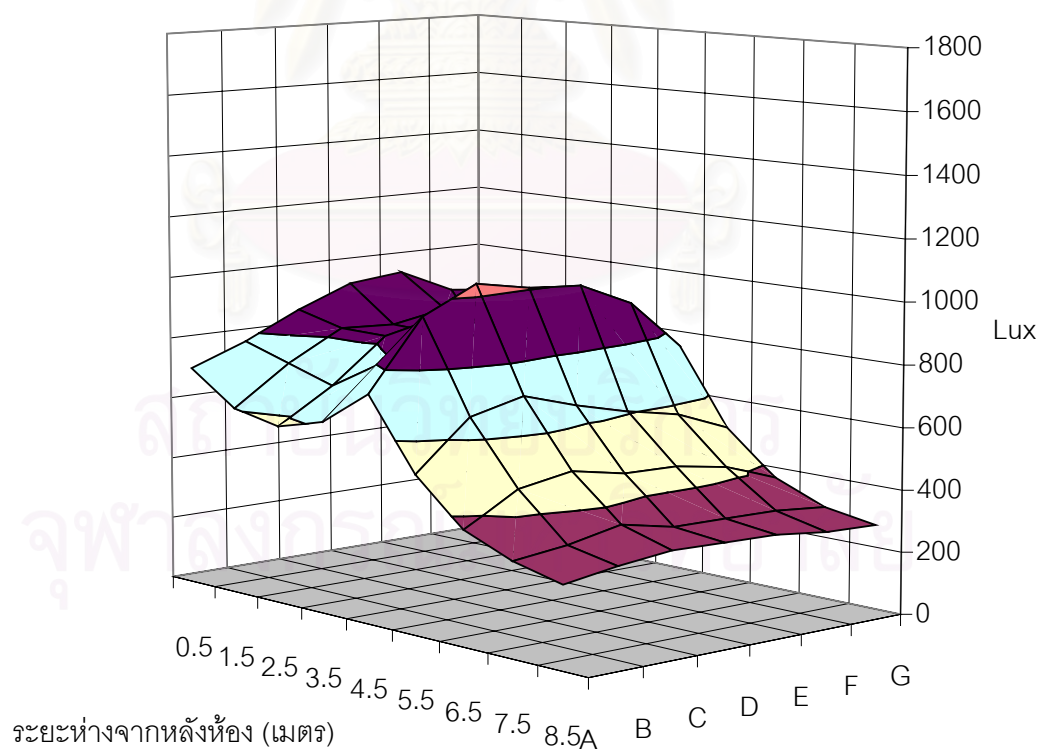
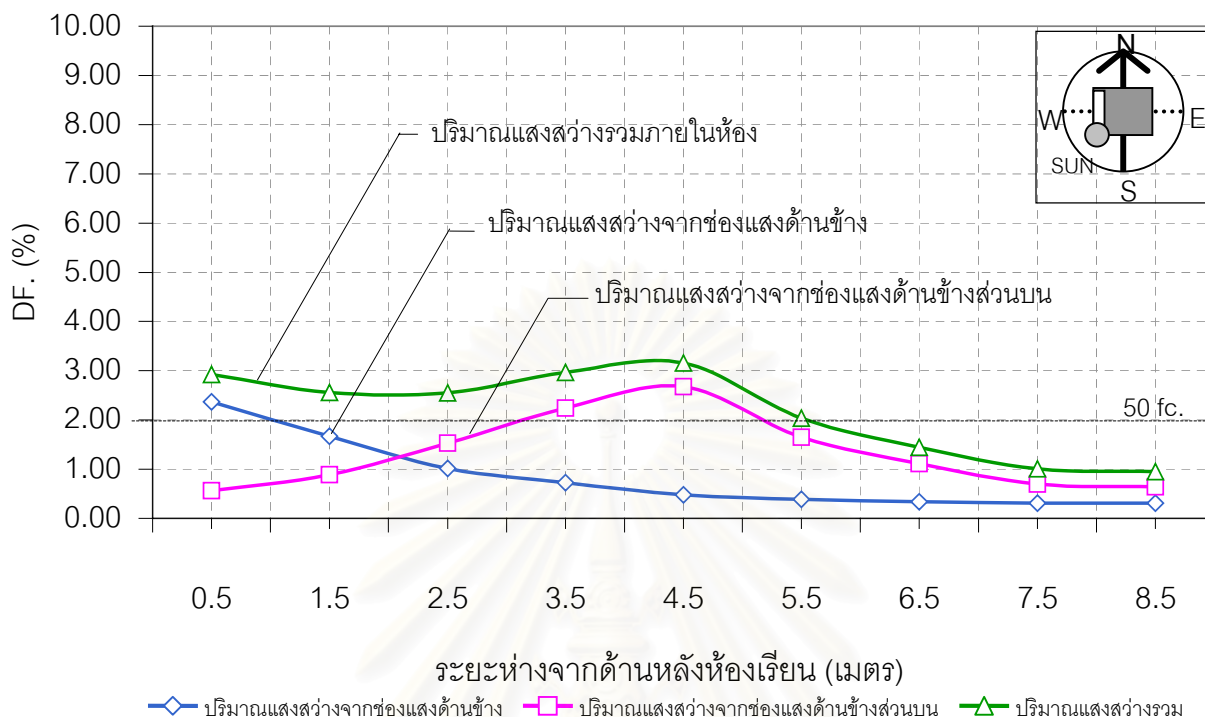


แผนภูมิที่ 4.36 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันตก เวลา 12.00น.

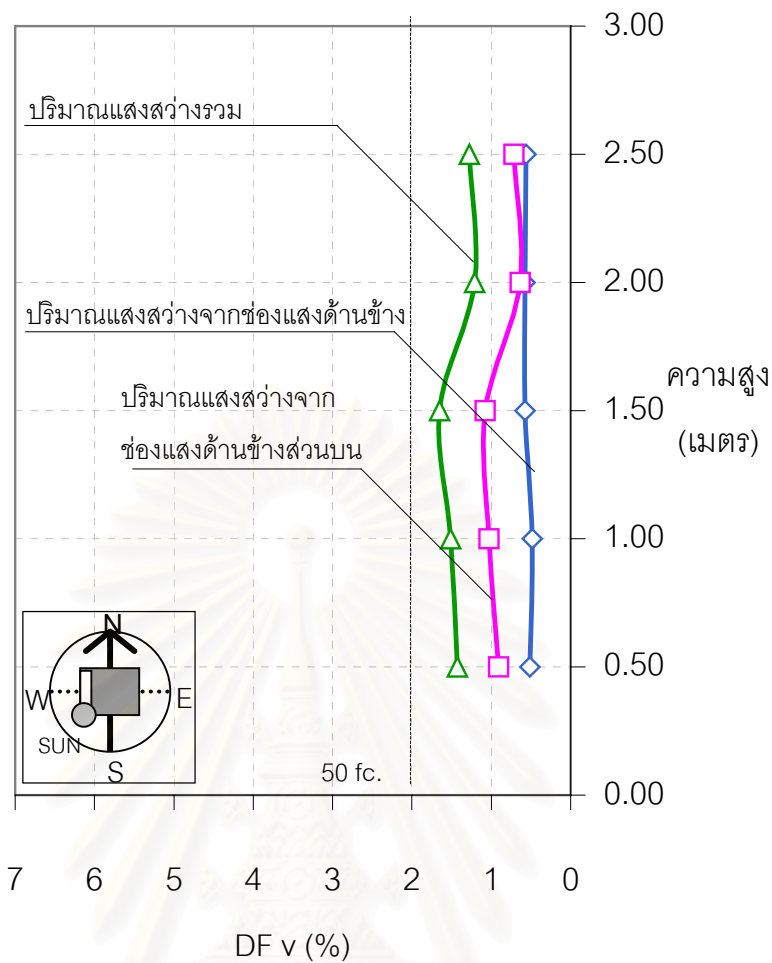


แผนภูมิที่ 4.37 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันตก เวลา 12.00น.

4.2.14 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันตก เวลา 14.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)

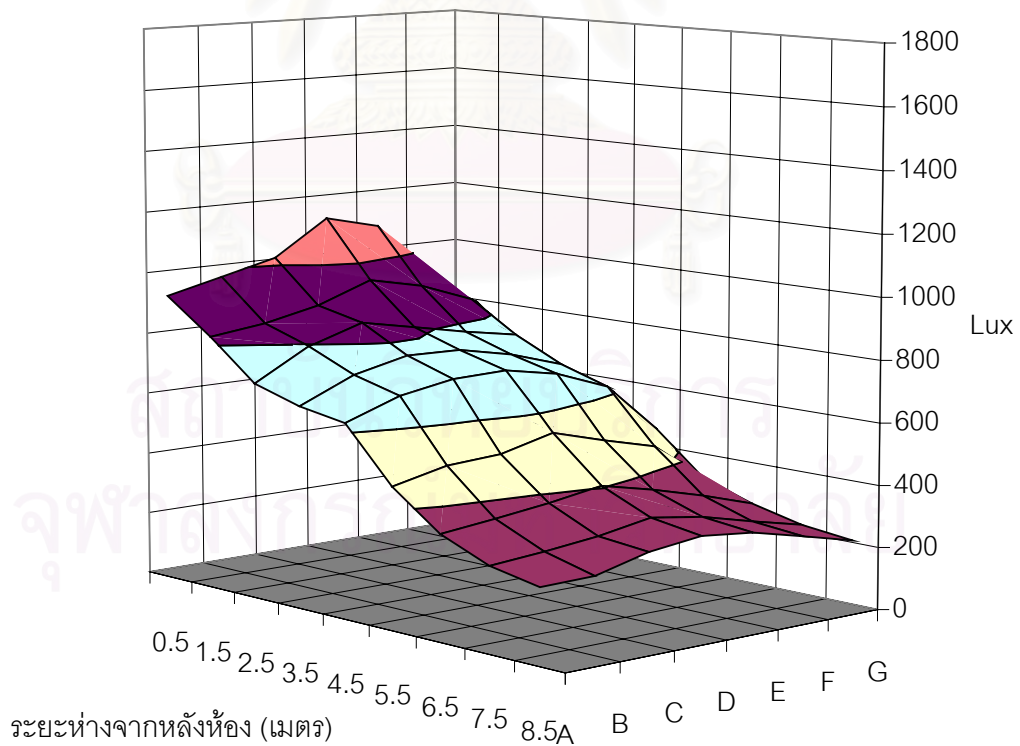
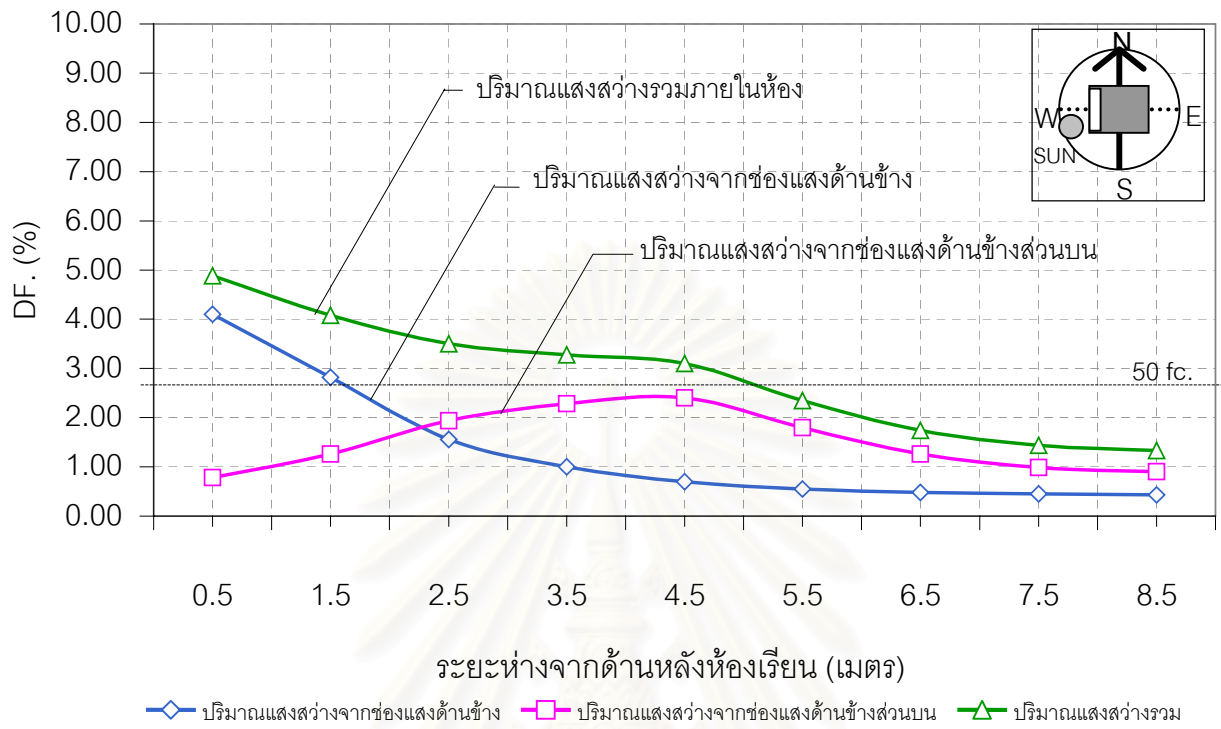


แผนภูมิที่ 4.38 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันตก เวลา 14.00น.

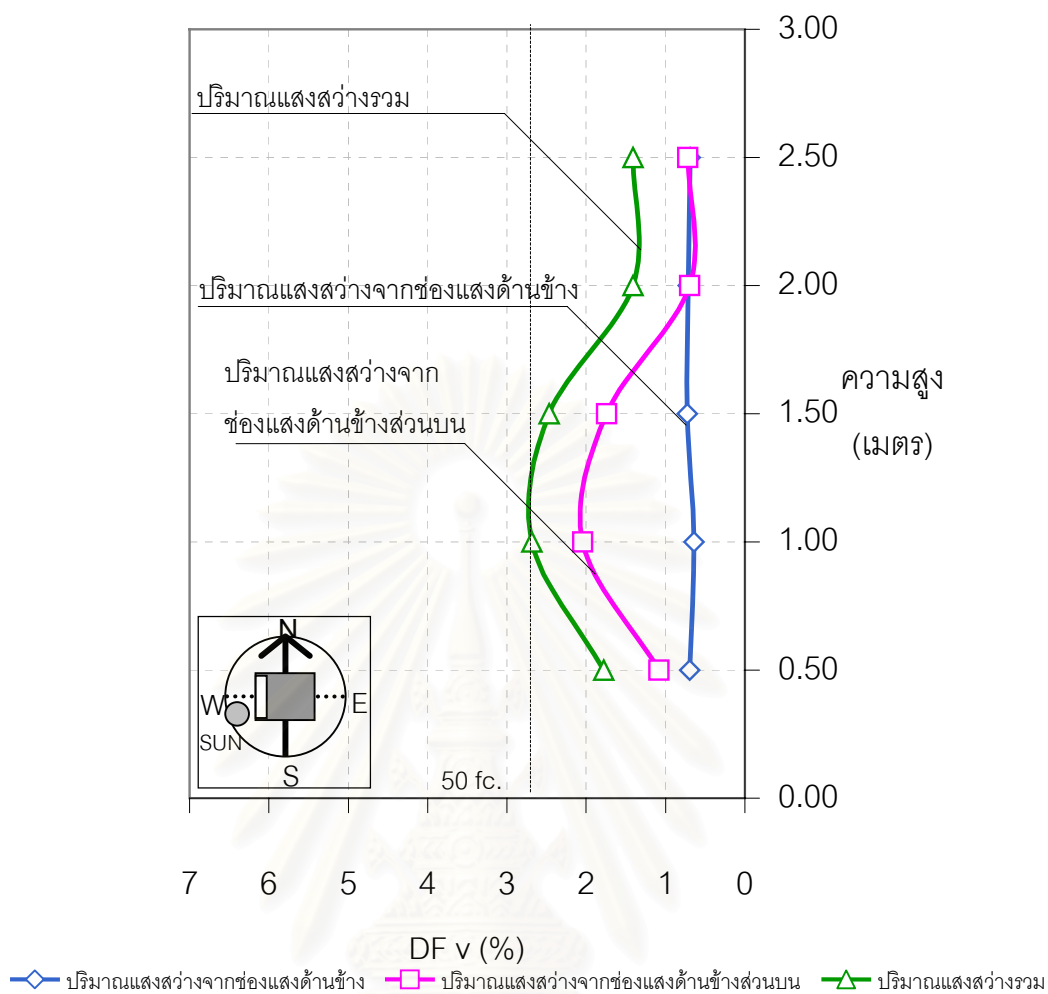


แผนภูมิที่ 4.39 แสดงค่าเดโกลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(VERTICAL PLANE) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันตก เวลา 14.00น.

4.2.15 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันตก เวลา 16.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)



แผนภูมิที่ 4.40 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันตก เวลา 16.00น.

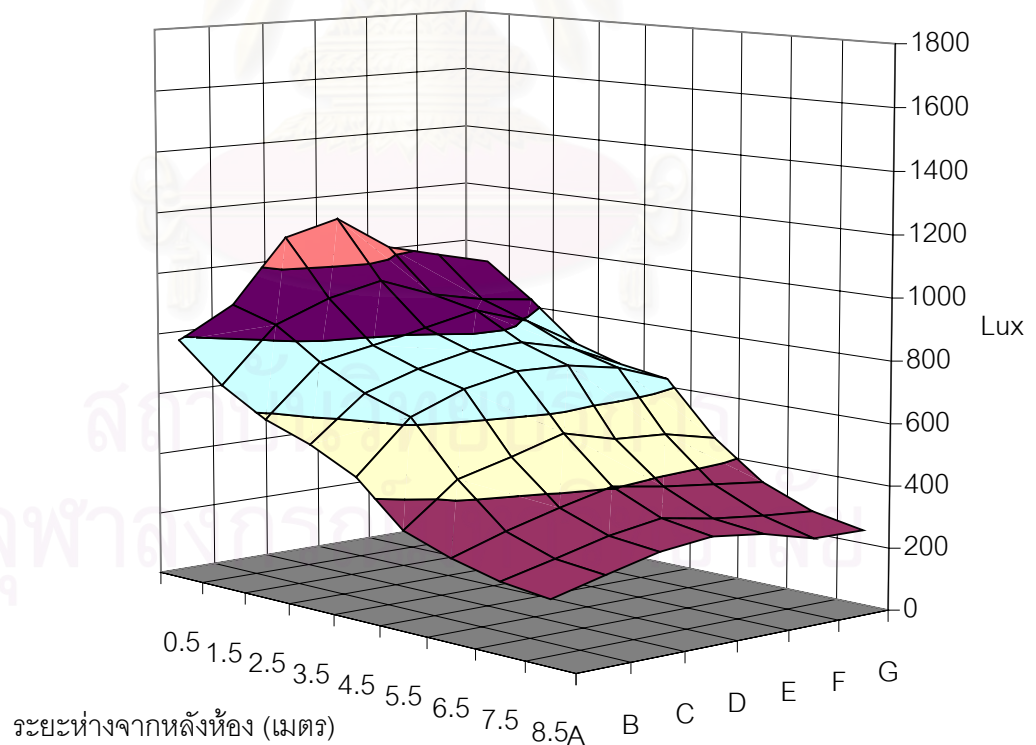
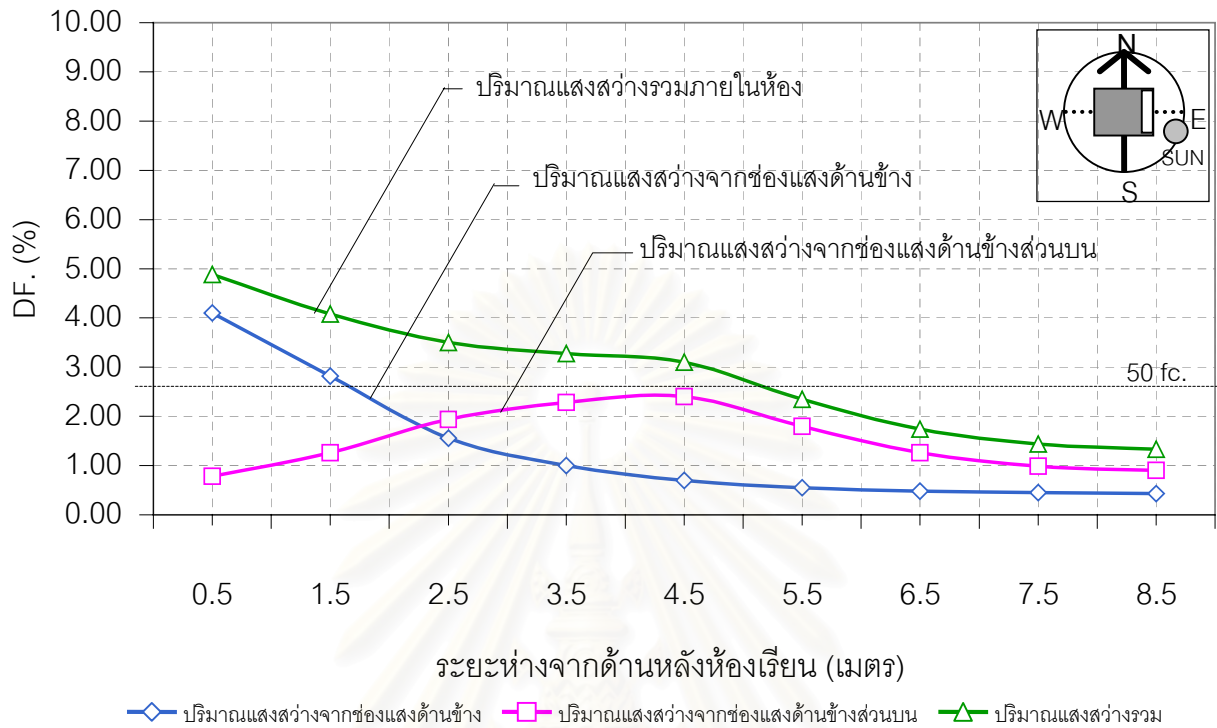


แผนภูมิที่ 4.41 แสดงค่าเดโไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane)

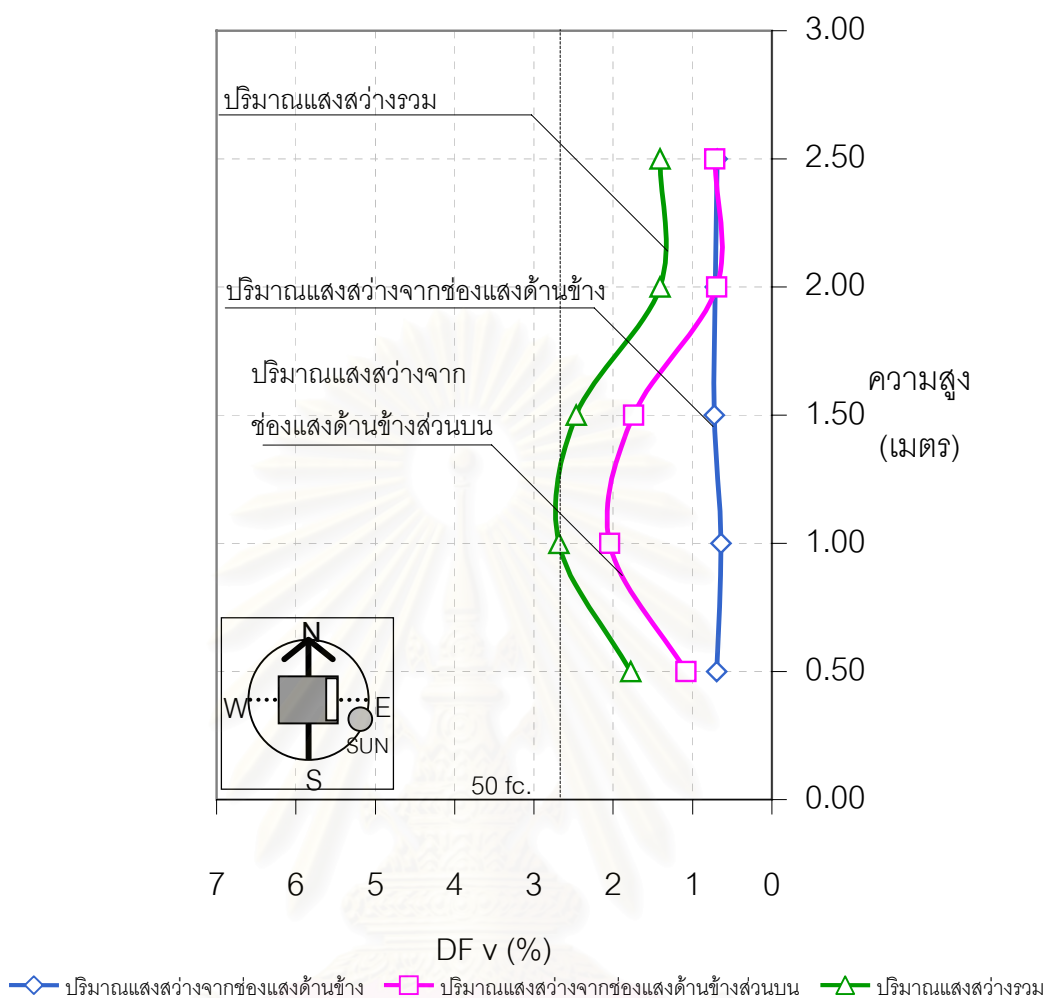
ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันตก เวลา 16.00น.

จากผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศตะวันตกพบว่าช่วงเวลา 8.00น. และ 10.00น. ปริมาณแสงสว่างในระนาบนอนบริเวณโต๊ะเรียนมีความสว่างน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิลมาก ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งานเนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ ประกอบกับแผงบังแดดที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมุมเงาแดดที่มีมากในทิศนี้ ส่วนเวลา 12.00น. 14.00น. และ 16.00น. มีปริมาณแสงสว่างมากกว่า 50 ฟุตแคนเดิลเนื่องจากอิทธิพลของมุมดวงอาทิตย์ที่ส่องเข้าหาช่องแสงโดยตรง โดยจะมีปริมาณแสงสว่างมากในส่วนที่ใกล้ช่องแสงด้านข้างและจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเข้ามาในห้องมากขึ้น ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อการใช้งาน ในส่วนของปริมาณแสงสว่างในแนวตั้งบริเวณกระดาน ในช่วงเวลา 8.00น. และ 10.00น. มีประมาณ 10-20 ฟุตแคนเดิล ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐาน เป็นผลมาจากช่องแสงด้านข้างส่วนบนไม่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนแสงบริเวณหลังคาเข้ามา ได้รับเพียงความสว่างจากท้องฟ้าเท่านั้นจึงมีปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาไม่มาก ส่วนเวลา 12.00-16.00น. แสงสว่างบริเวณกระดานมีน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิลเพียงเล็กน้อยซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนบริเวณหลังคาเข้ามาสู่ช่องแสงด้านข้างส่วนบนได้มากกว่าช่วงเวลาเช้า

4.2.16 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันออก เวลา 8.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)



แผนภูมิที่ 4.42 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันออก เวลา 8.00น.

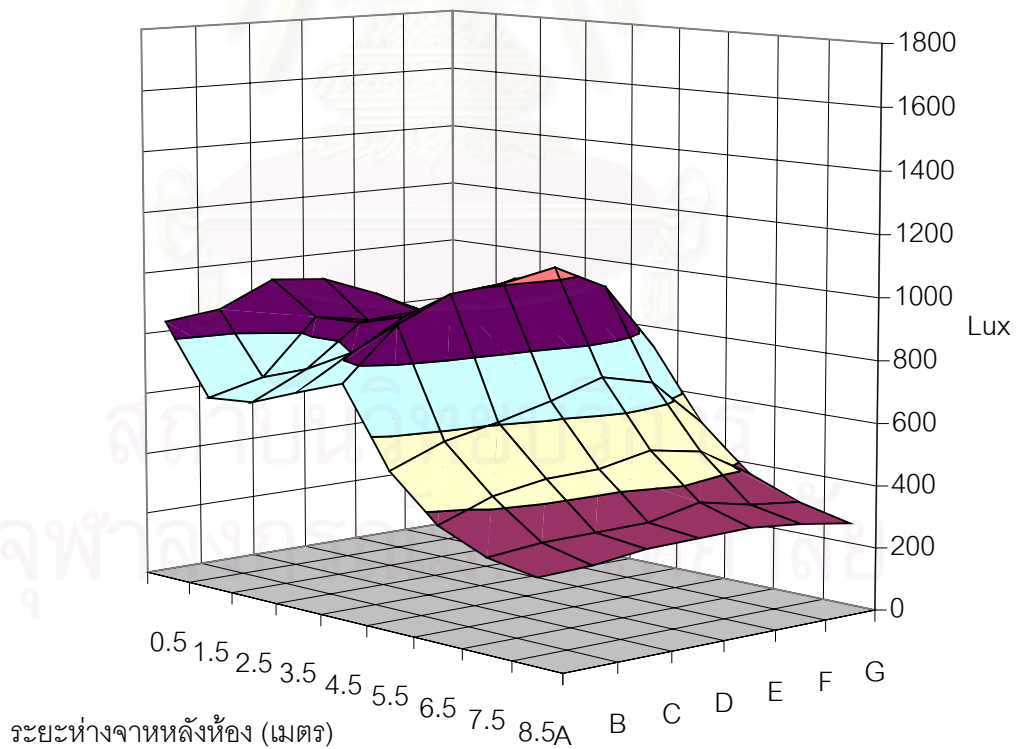
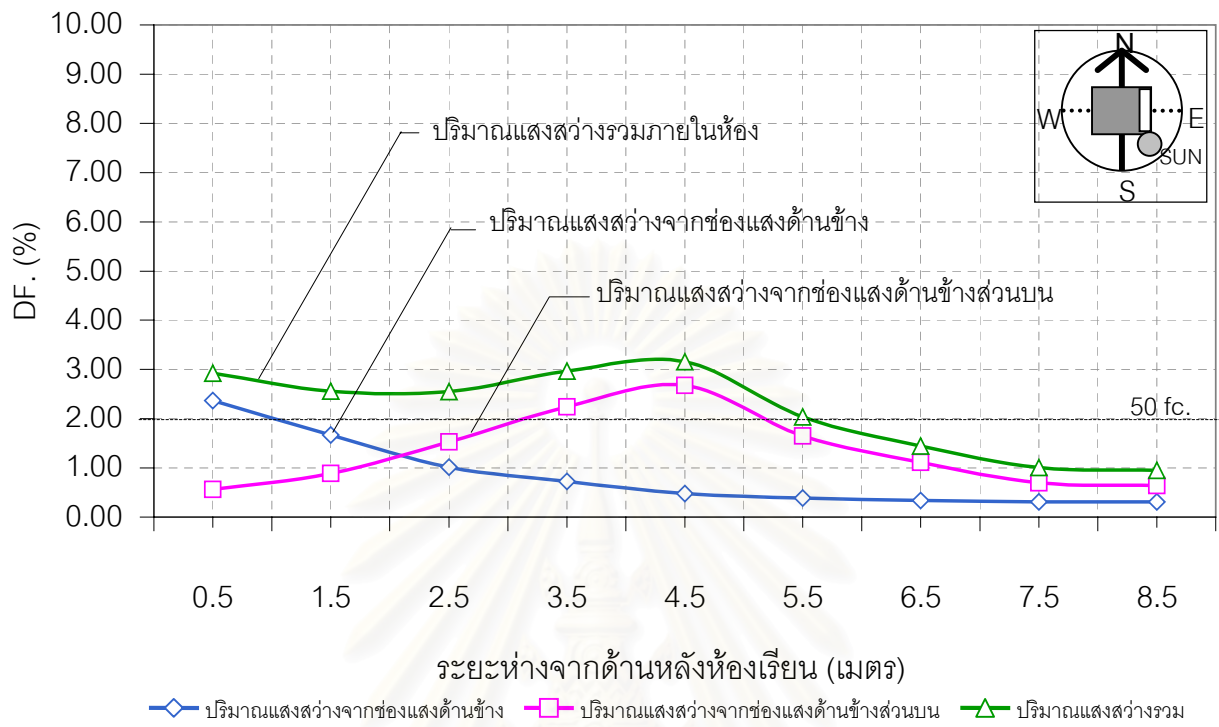


แผนภูมิที่ 4.43 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane)

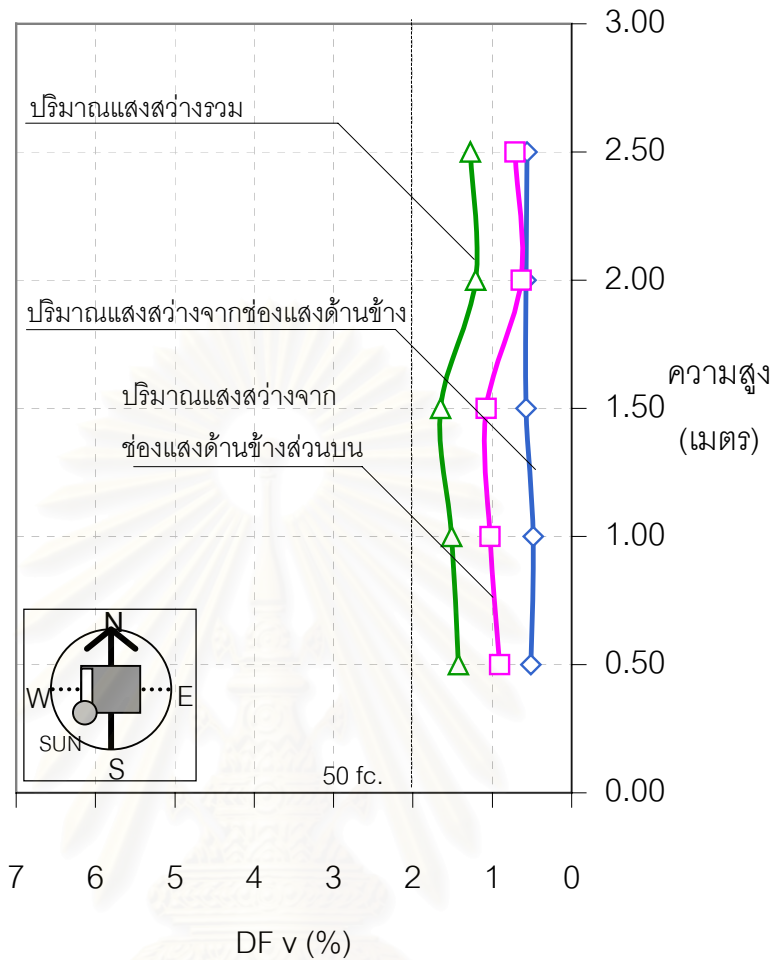
ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันออก เวลา 8.00น.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.17 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันออก เวลา 10.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)

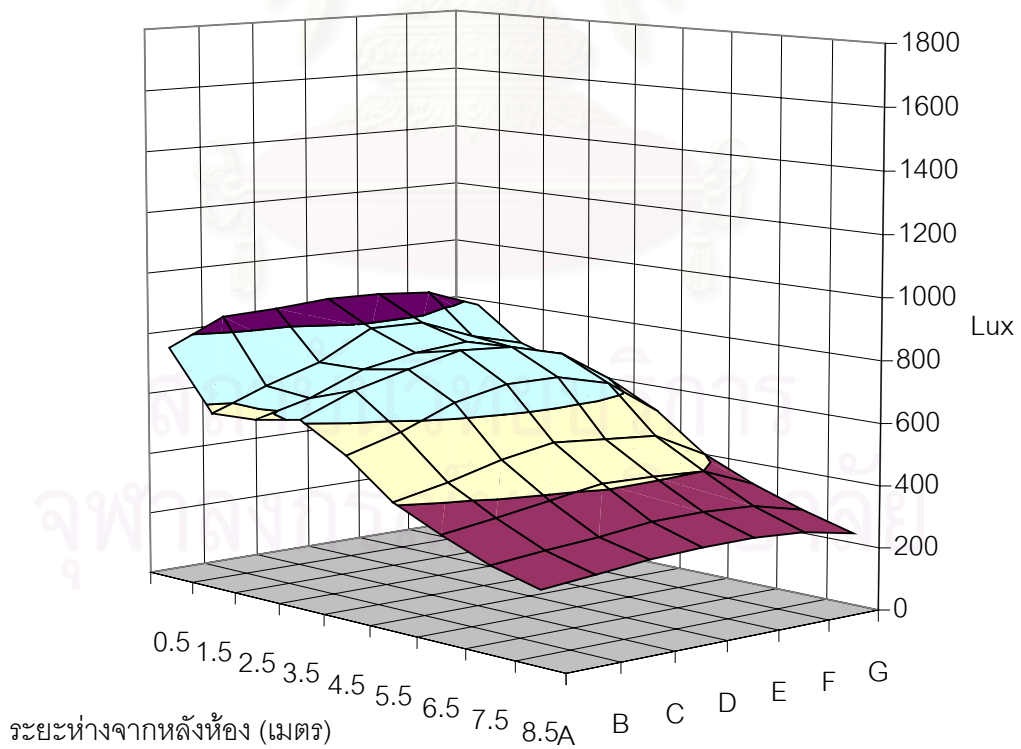
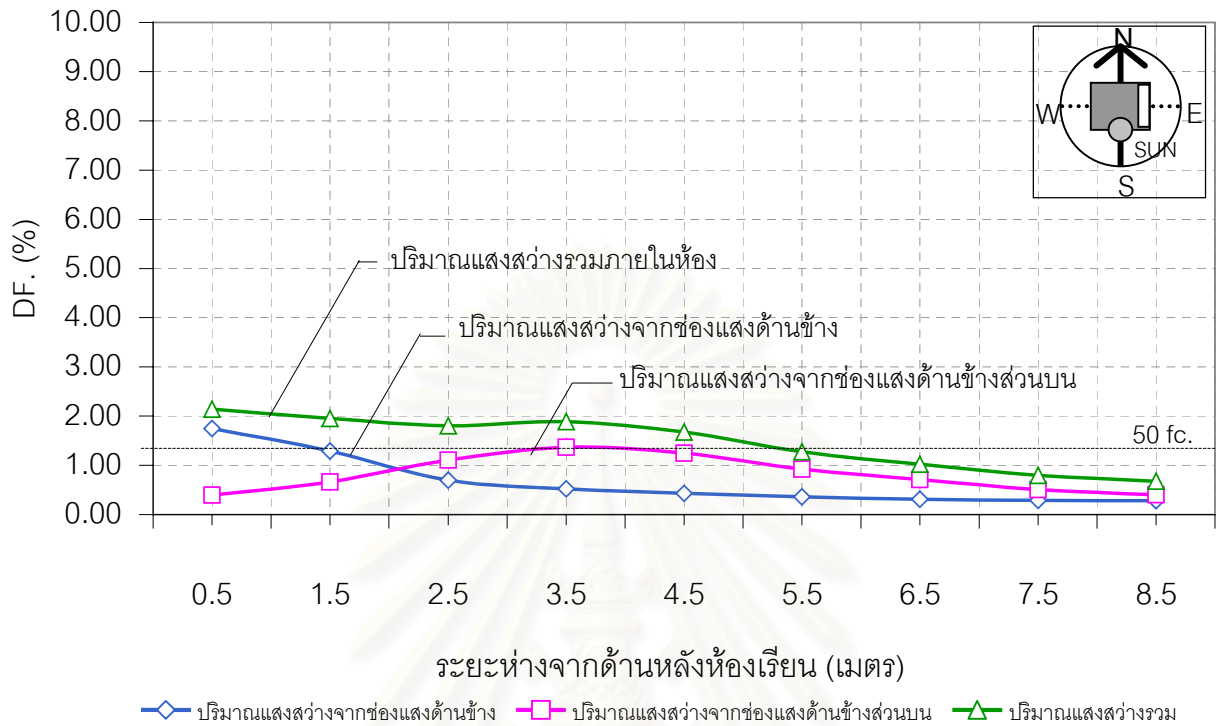


แผนภูมิที่ 4.44 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันออก เวลา 10.00น.

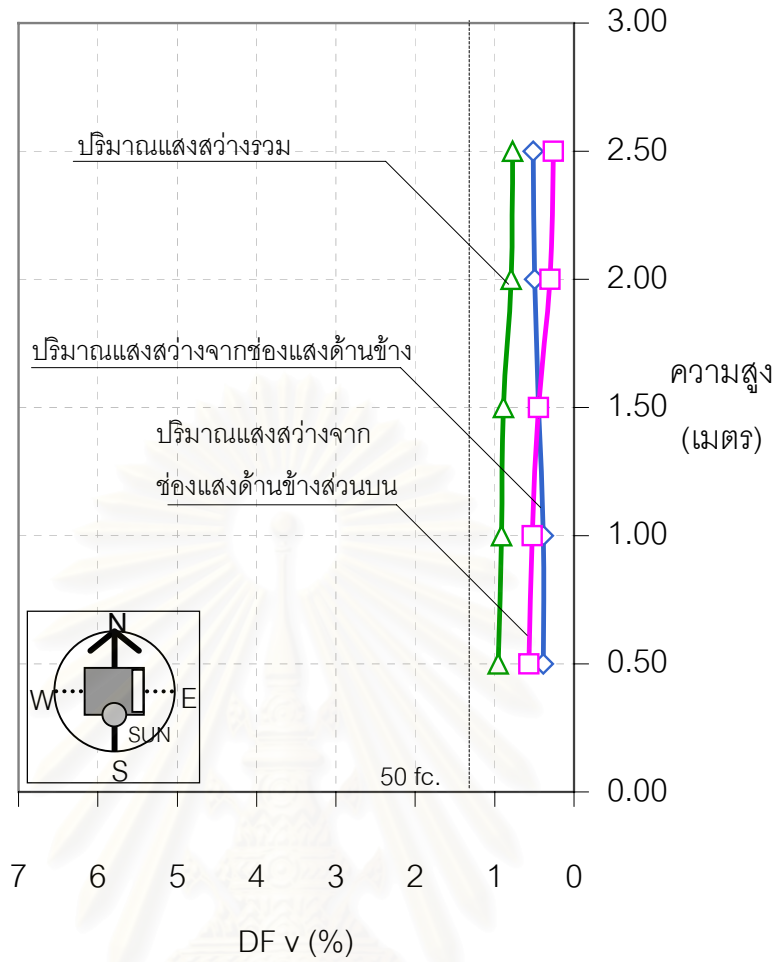


◆ ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้าง
 ◻ ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างส่วนบน
 ▲ ปริมาณแสงสว่างรวม
 แผนภูมิที่ 4.45 แสดงค่าเดโกลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันออก เวลา 10.00น.

4.2.18 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันออก เวลา 12.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 3500 fc.)



แผนภูมิที่ 4.46 แสดงค่าเดย์แฟกเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันออก เวลา 12.00น.

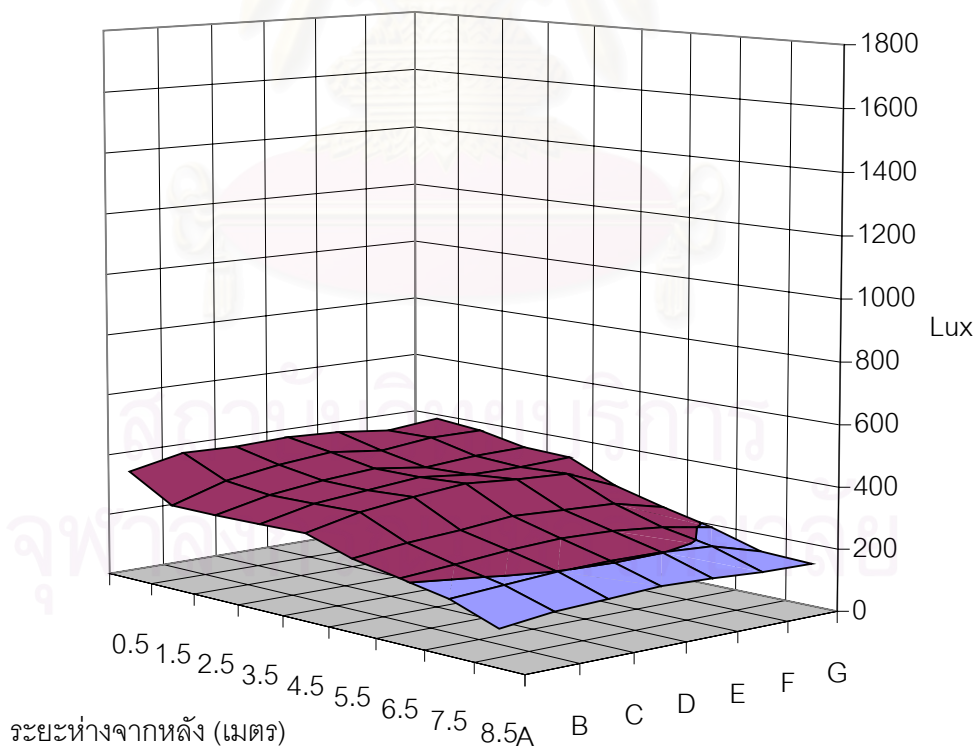
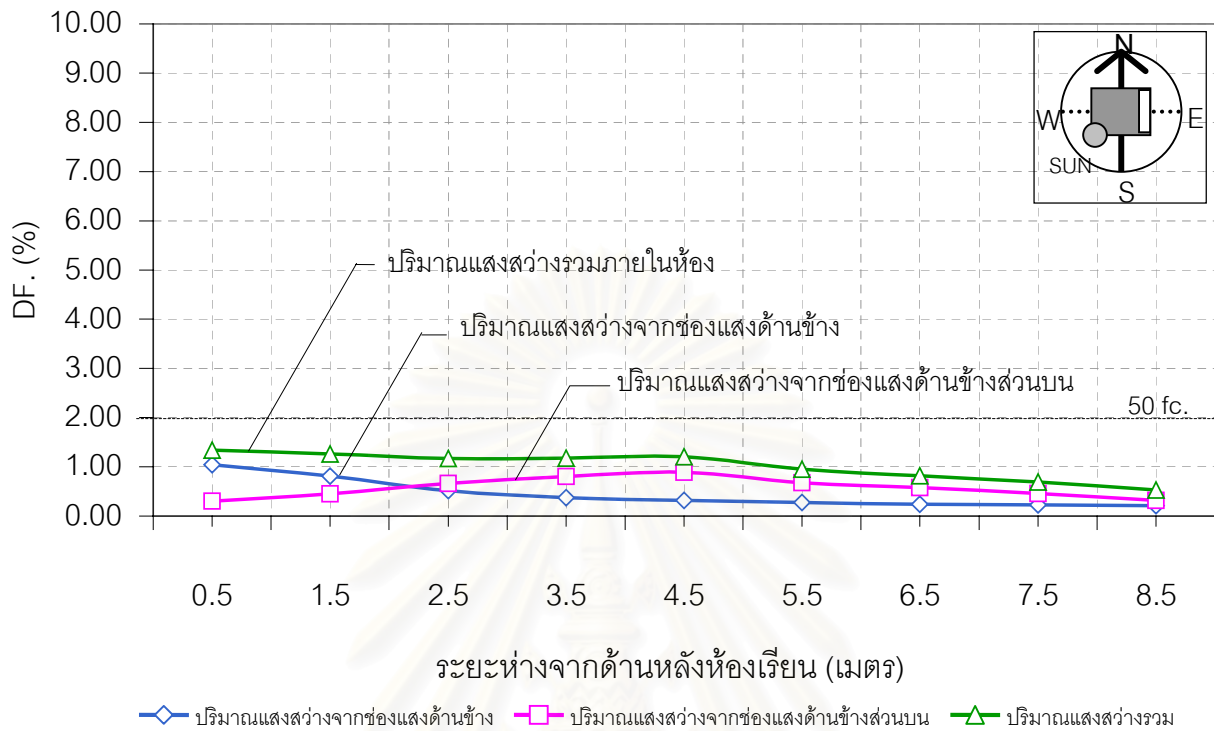


◆ ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้าง
 ◻ ปริมาณแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างส่วนบน
 ▲ ปริมาณแสงสว่างรวม

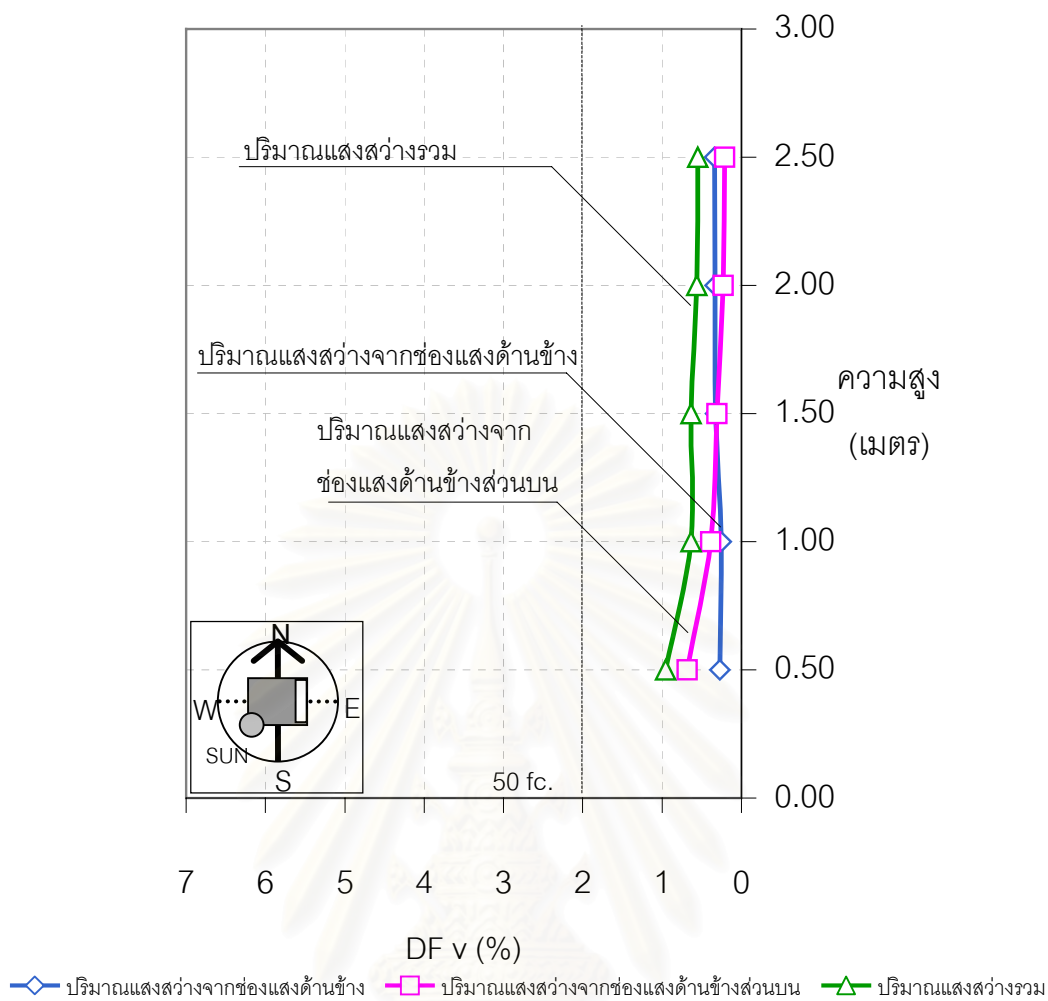
แผนภูมิที่ 4.47 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันออก เวลา 12.00น.

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.19 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันออก เวลา 14.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 2500 fc.)



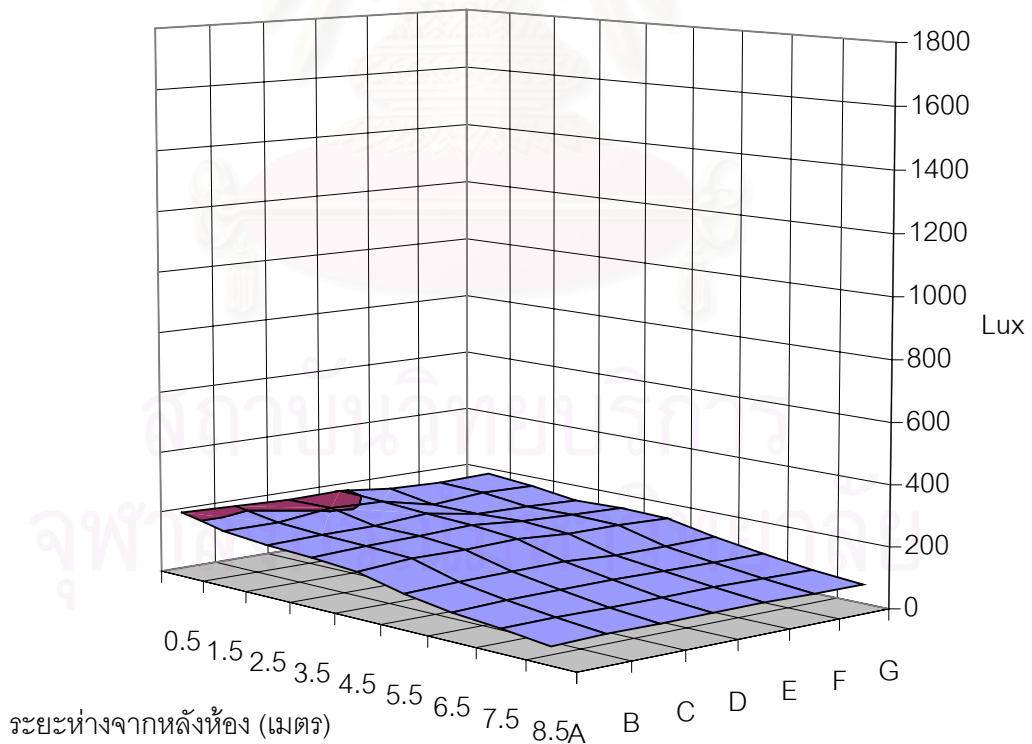
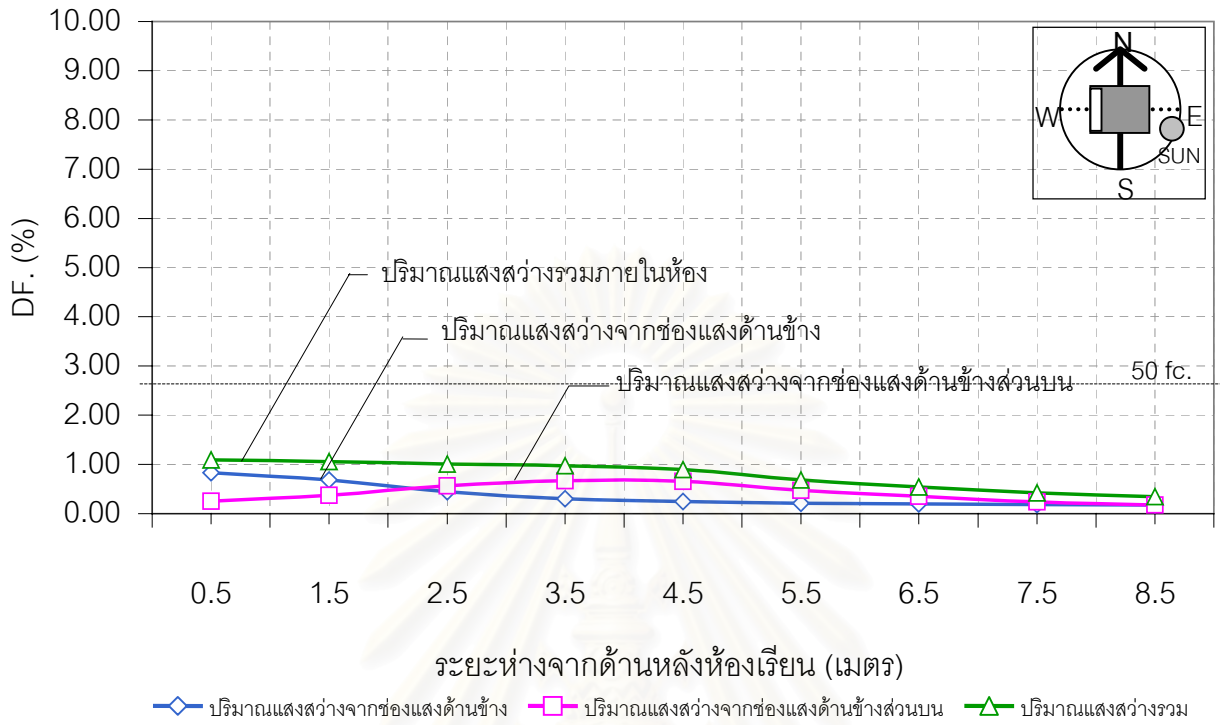
แผนภูมิที่ 4.48 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันออก เวลา 14.00น.



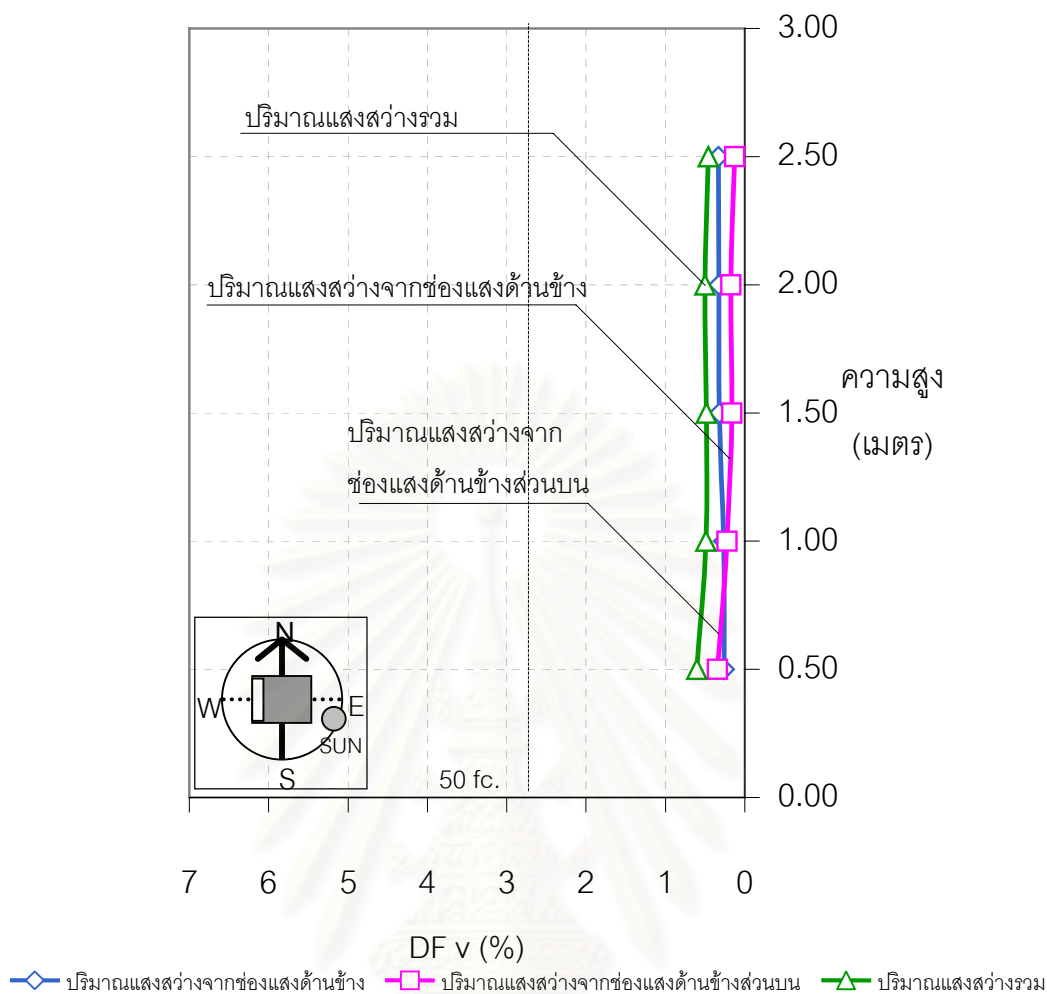
แผนภูมิที่ 4.49 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันออก เวลา 14.00น.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.20 ผลการทดลอง กรณีศึกษาที่ 8 ทางด้านทิศตะวันออก เวลา 16.00 น.
(Partly cloudy sky Ex.ill. 1800 fc.)



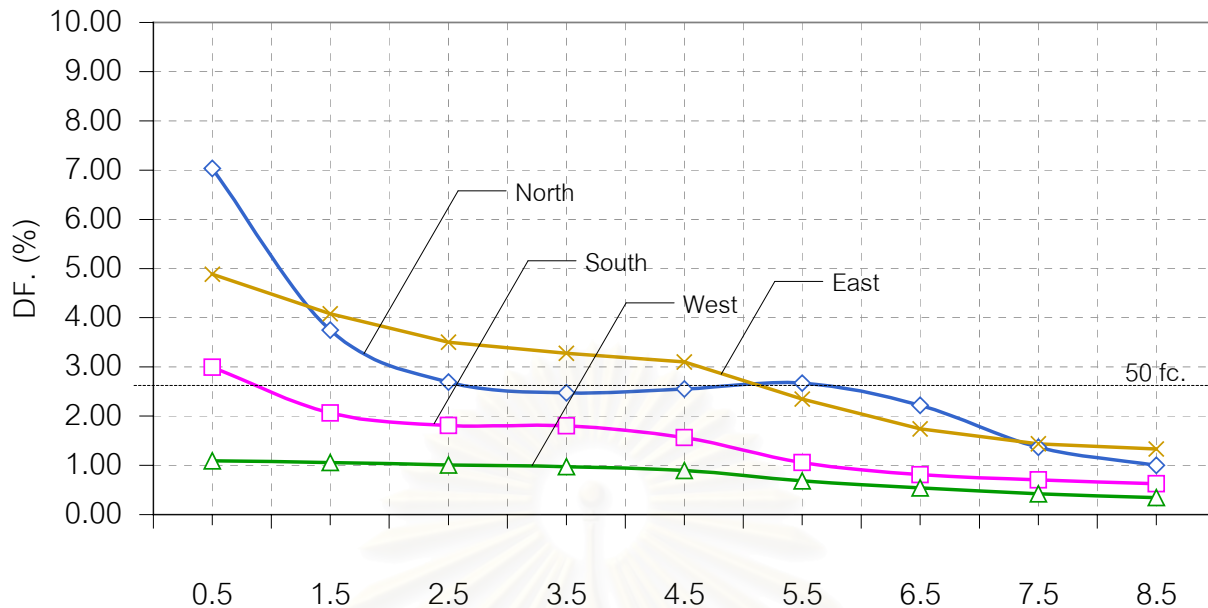
แผนภูมิที่ 4.50 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) และปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียน (Lux) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ด้านทิศตะวันออก เวลา 16.00น.



แผนภูมิที่ 4.51 แสดงค่าเดโไลท์แฟคเตอร์แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ของกรณีศึกษาที่ 8 ที่ความสูงต่างๆ ด้านทิศตะวันออก เวลา 16.00น.

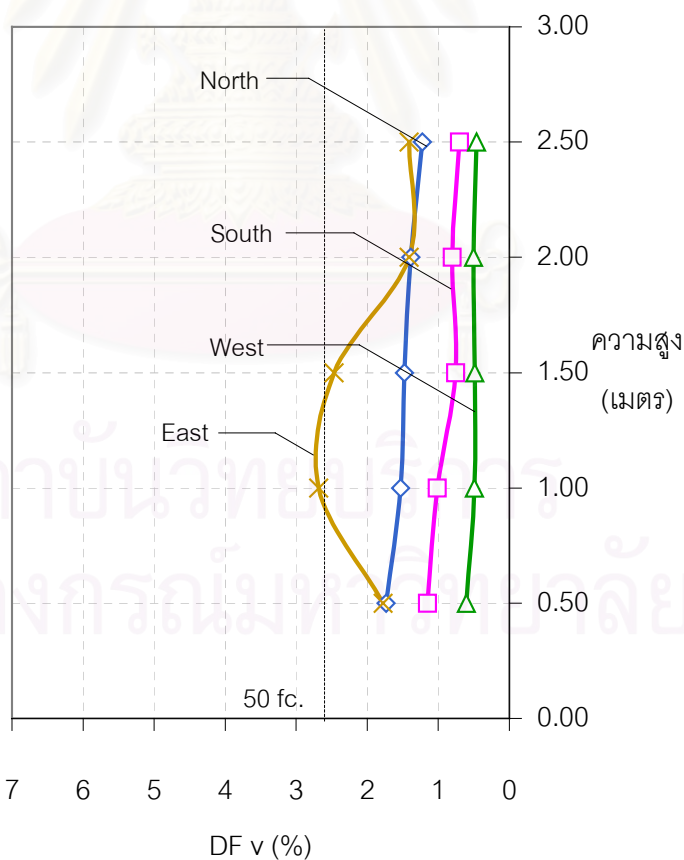
จากผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศตะวันออกพบว่าช่วงเวลา 14.00น. และ 16.00น. ปริมาณแสงสว่างในระนาบบนอนบริเวณโต๊ะเรียนมีความสว่างน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิลมาก ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้งานเนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ ประกอบกับแผงบังแดดที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมุมเงาแดดที่มีมากในทิศนี้ ส่วนเวลา 8.00น. 10.00น. และ 12.00น. มีปริมาณแสงสว่างมากกว่า 50 ฟุตแคนเดิลเนื่องจากอิทธิพลของมุมดวงอาทิตย์ที่ส่องเข้าหาช่องแสงโดยตรง โดยจะมีปริมาณแสงสว่างมากในส่วนที่ใกล้ช่องแสงด้านข้างและจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเข้ามาในห้องมากขึ้นบริเวณใกล้กระดาน ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อการใช้งาน ในส่วนของปริมาณแสงสว่างในแนวตั้งบริเวณกระดาน ในช่วงเวลา 14.00น. และ 16.00น. มีประมาณ 10-20 ฟุตแคนเดิล ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐาน เป็นผลมาจากช่องแสงด้านข้างส่วนบนไม่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่จะสะท้อนแสงบริเวณหลังคาเข้ามาสู่ช่องแสงด้านข้างส่วนบน แต่ได้รับเพียงความสว่างจากท้องฟ้าเท่านั้นจึงมีปริมาณแสงสว่างที่เข้ามาไม่มาก ส่วนเวลา 8.00-12.00น. แสงสว่างบริเวณกระดานมีน้อยกว่า 50 ฟุตแคนเดิลเพียงเล็กน้อยซึ่งสามารถยอมรับได้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนบริเวณหลังคาเข้ามาสู่ช่องแสงด้านข้างส่วนบนได้มากกว่าช่วงเวลาเช้า

4.2.21 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศทางทั้งสี่ ช่วงเวลา 8.00น.



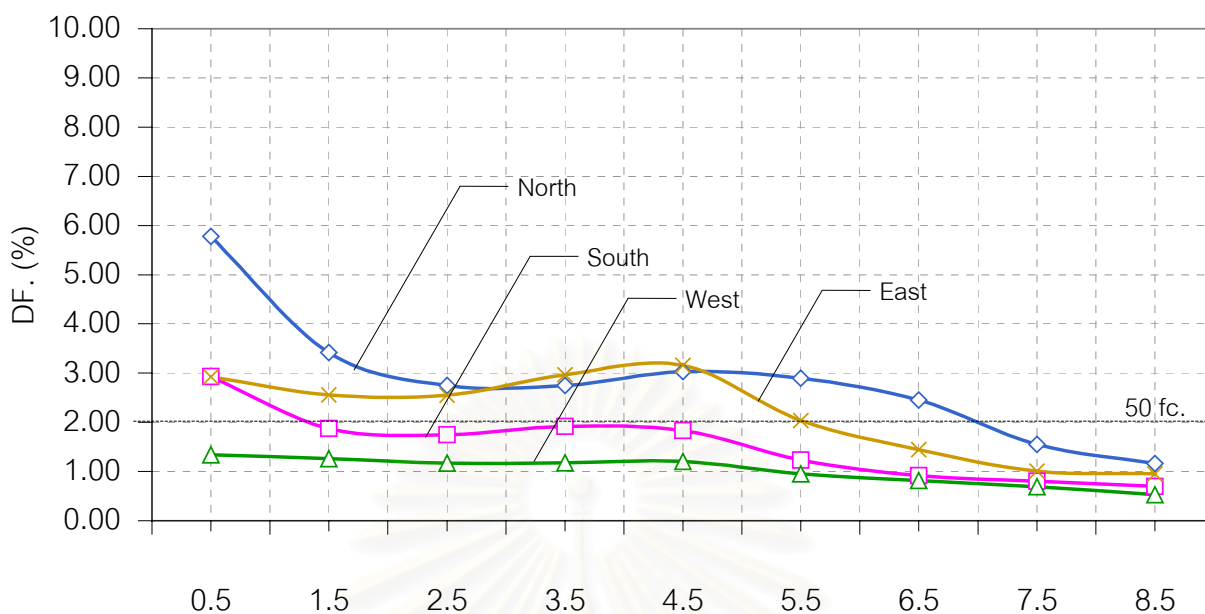
ระยะห่างจากด้านหลังห้องเรียน (เมตร)

แผนภูมิที่ 4.52 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 8.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทาง

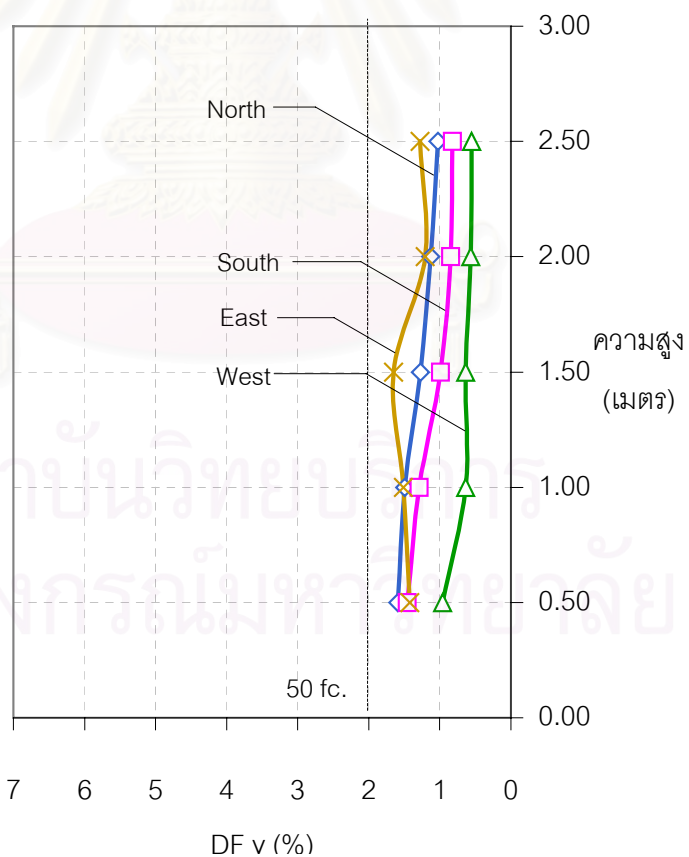


แผนภูมิที่ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(VERTICAL Plane) ช่วงเวลา 8.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทาง

4.2.22 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศทางสี่ด้าน ช่วงเวลา 10.00น.

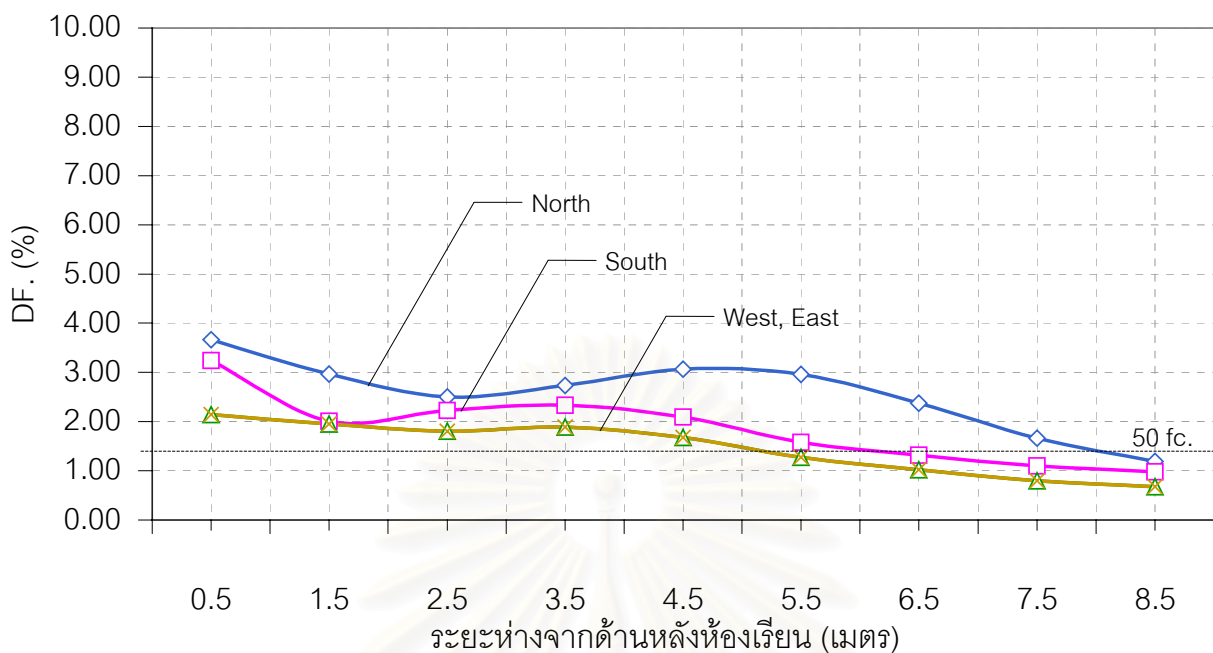


ระยะห่างจากด้านหลังห้องเรียน (เมตร)
 แผนภูมิที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 10.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทางหลัก

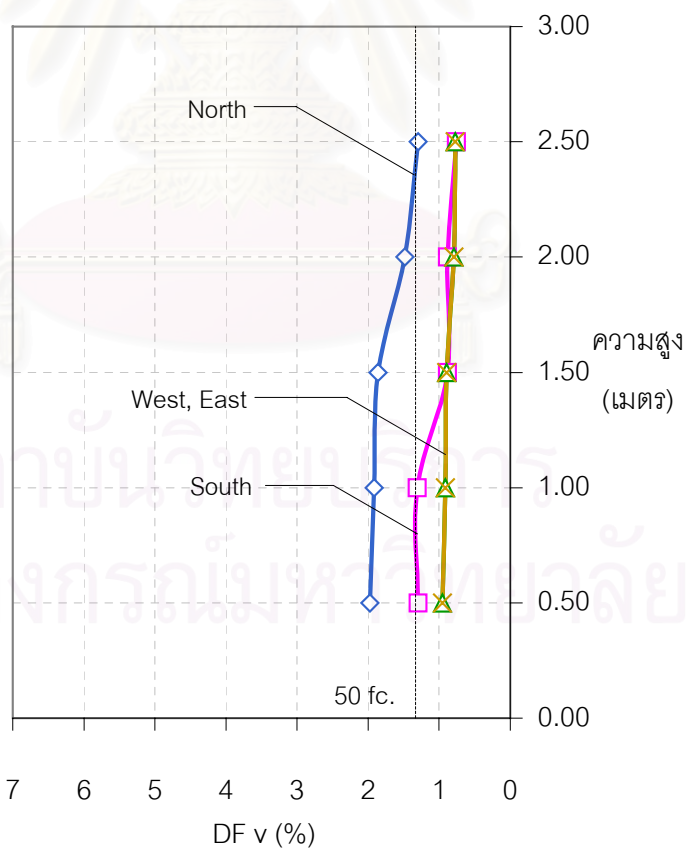


แผนภูมิที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง(DF_V) บริเวณกระดาน(VERTICAL Plane) ช่วงเวลา 10.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทางหลัก

4.2.23 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศทางทั้งสี่ ช่วงเวลา 12.00น.

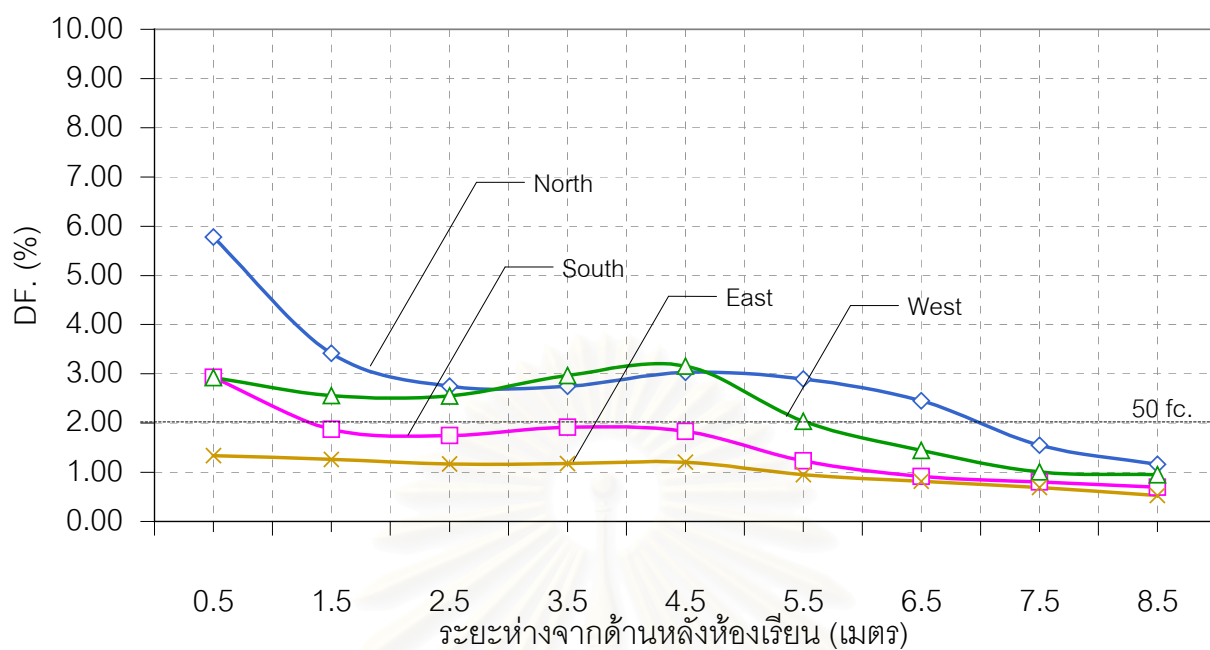


แผนภูมิที่ 4.56 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 12.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทางหลัก

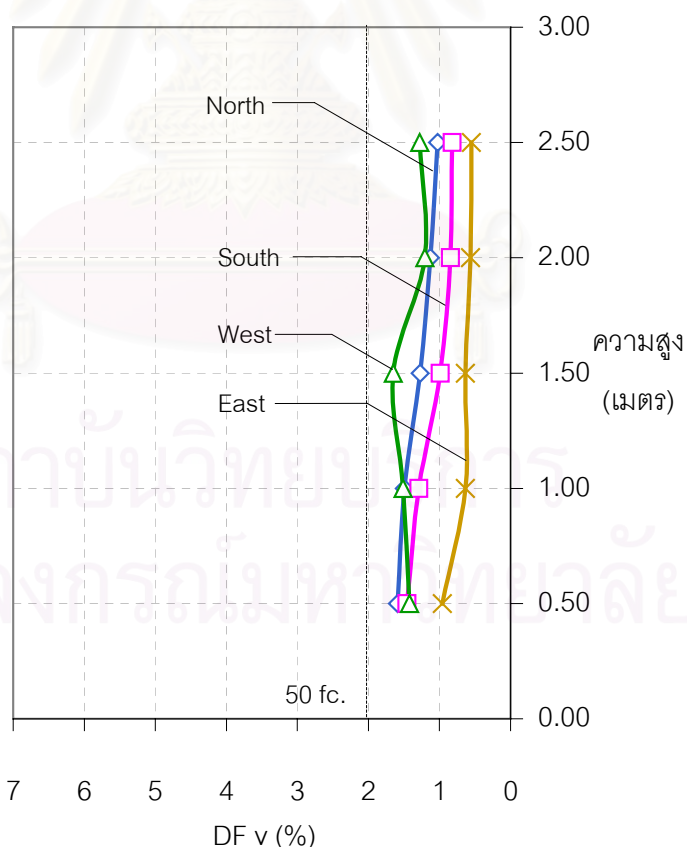


แผนภูมิที่ 4.57 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(VERTICAL Plane) ช่วงเวลา 12.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทางหลัก

4.2.24 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศทางสี่ด้านในช่วงเวลา 14.00น.

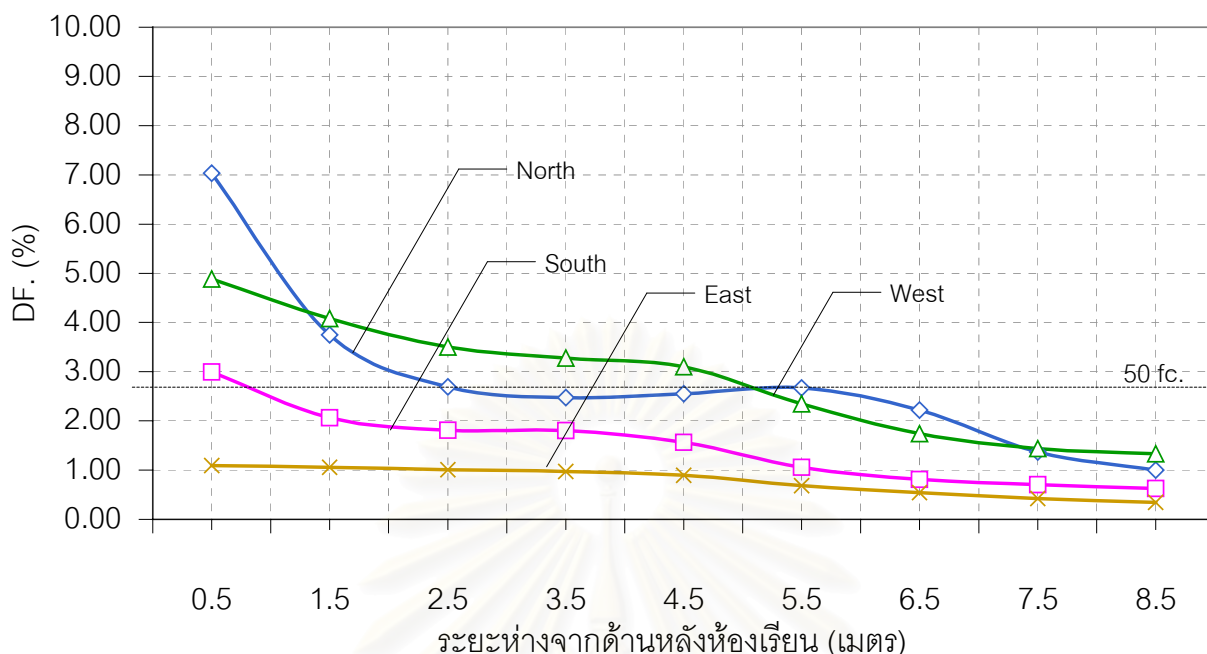


แผนภูมิที่ 4.58 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 14.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทาง

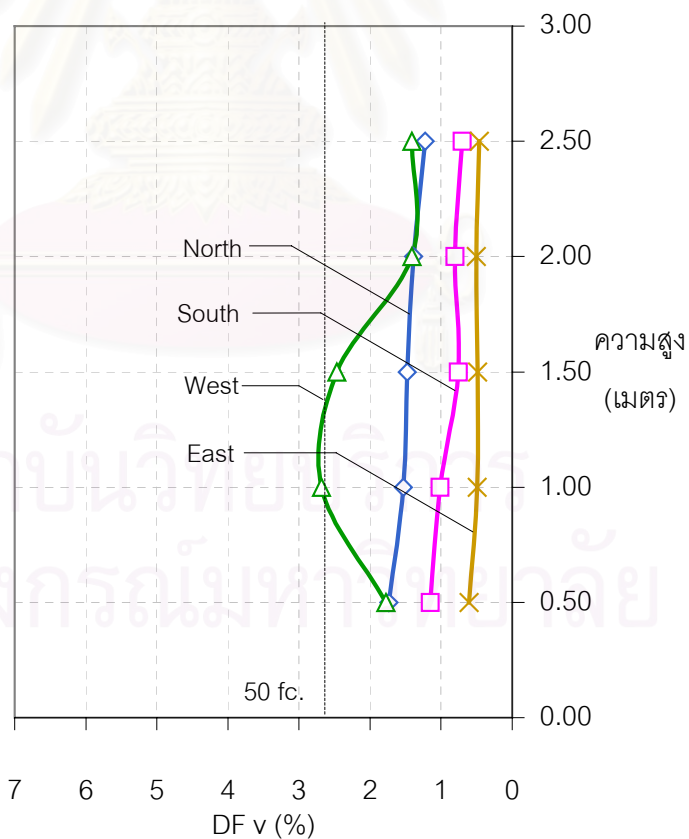


แผนภูมิที่ 4.59 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(Vertical Plane) ช่วงเวลา 14.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทาง

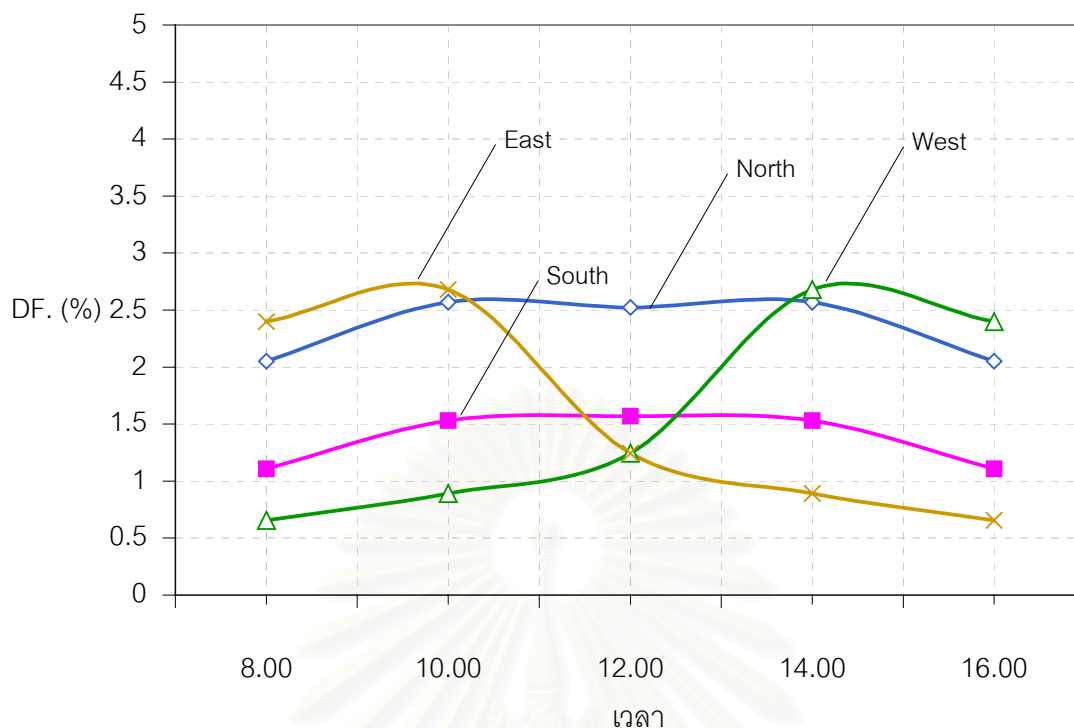
4.2.25 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศทางสี่ด้านในช่วงเวลา 16.00น.



แผนภูมิที่ 4.60 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 16.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทาง



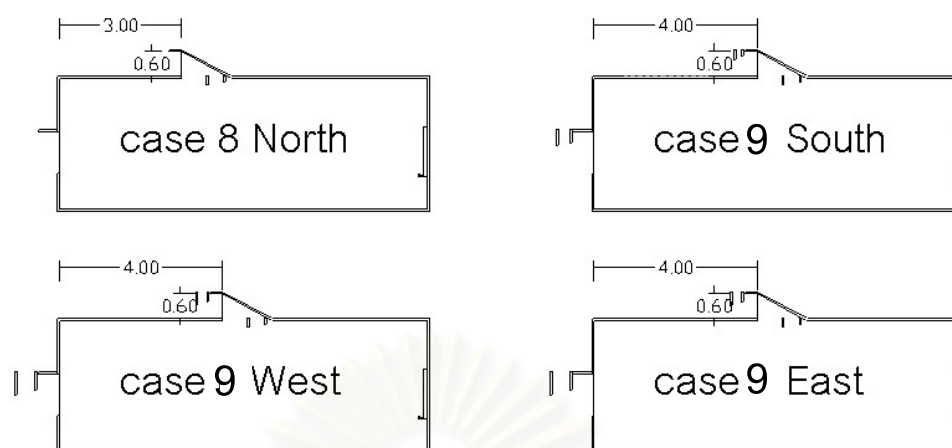
แผนภูมิที่ 4.61 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง(DF_v) บริเวณกระดาน(VERTICAL Plane) ช่วงเวลา 16.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในสี่ทิศทาง



แผนภูมิที่ 4.62 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกึ่งกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 8.00 - 16.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 ในทิศหลักทั้งสี่ทิศ

จากการพิจารณารูปเดไลท์แฟคเตอร์ตลอดทั้งวันพบว่า ทิศที่ได้รับอิทธิพลของดวงอาทิตย์ เช่น ทิศใต้ ทิศตะวันตกและทิศตะวันออก กราฟปริมาณแสงสว่างจะสูงบริเวณหลังห้องและลดลงเมื่อลี้กเข้ามาในห้องมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ และแสงอาทิตย์โดยตรงที่สะท้อนจากหลังคาและพื้นภายนอกเข้ามาในช่องแสงทั้งสอง ส่งผลให้ปริมาณแสงสว่างจะสูงบริเวณใกล้ช่องแสงแต่ลี้กเข้าไปปริมาณแสงสว่างจะน้อย ในการแก้ปัญหาดังกล่าวอาจเปลี่ยนตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนจากเดิมที่อยู่ในระยะ 3 เมตรจากหลังห้อง มาเป็น 4 เมตร เพื่อกระจายแสงสว่างให้ทั่วห้องมากขึ้น ดังนั้นจึงได้พัฒนาตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนและทำการทดลองในทิศใต้ ทิศตะวันตกและทิศตะวันออก เปรียบเทียบกับทิศเหนือ

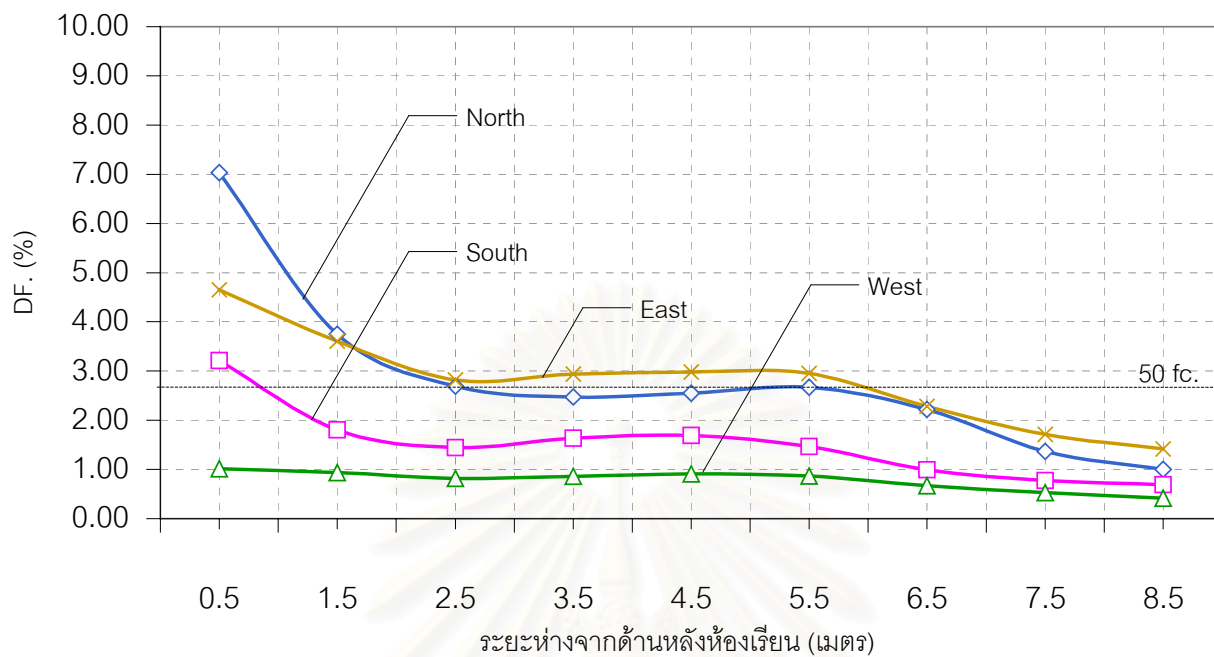
สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



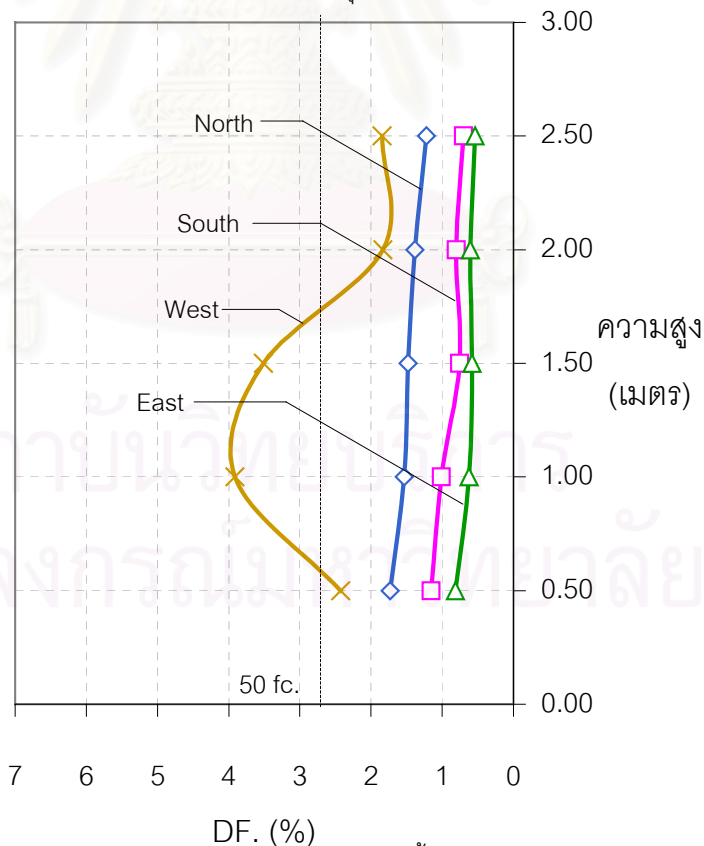
ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงกรณีศึกษาที่ได้ปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.26 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในทิศทางหลักทั้งสี่ ช่วงเวลา 8.00น.

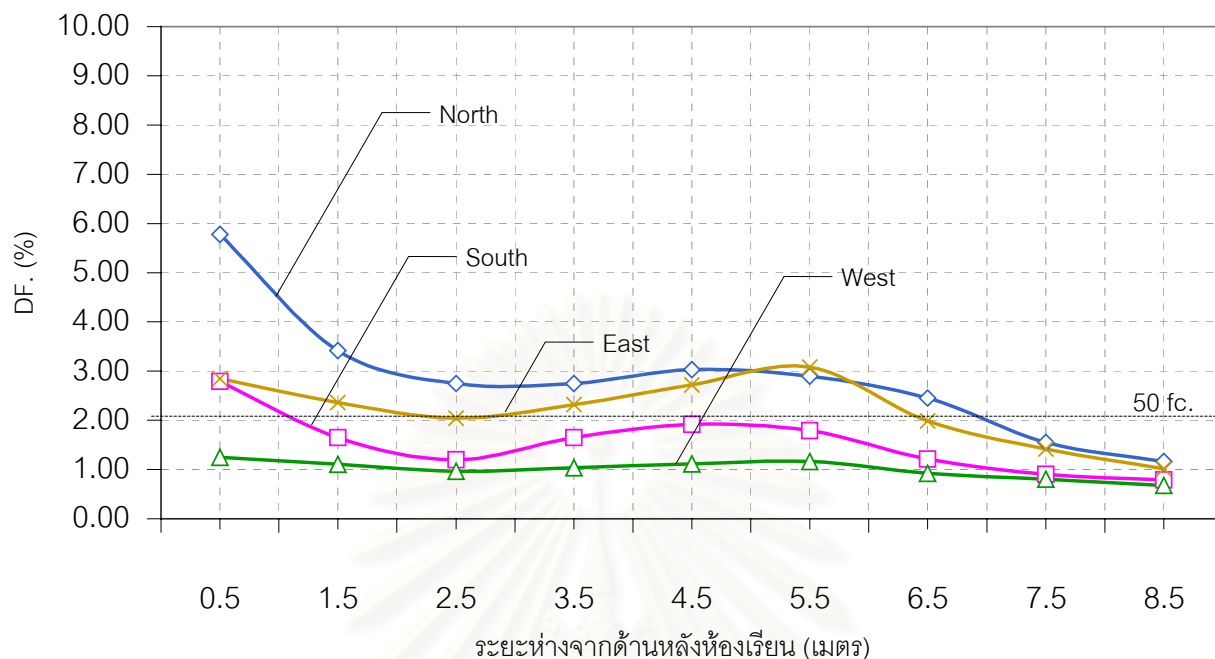


แผนภูมิที่ 4.63 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 8.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศทางหลัก

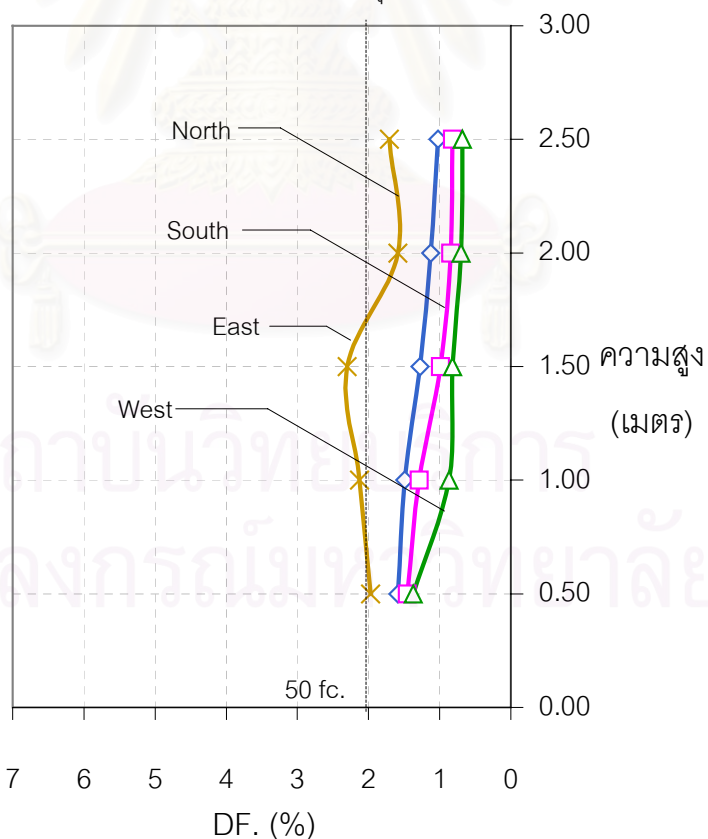


แผนภูมิที่ 4.64 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_V) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ช่วงเวลา 8.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศทางหลัก

4.2.27 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในทิศหลักทั้งสี่ ช่วงเวลา 10.00น.

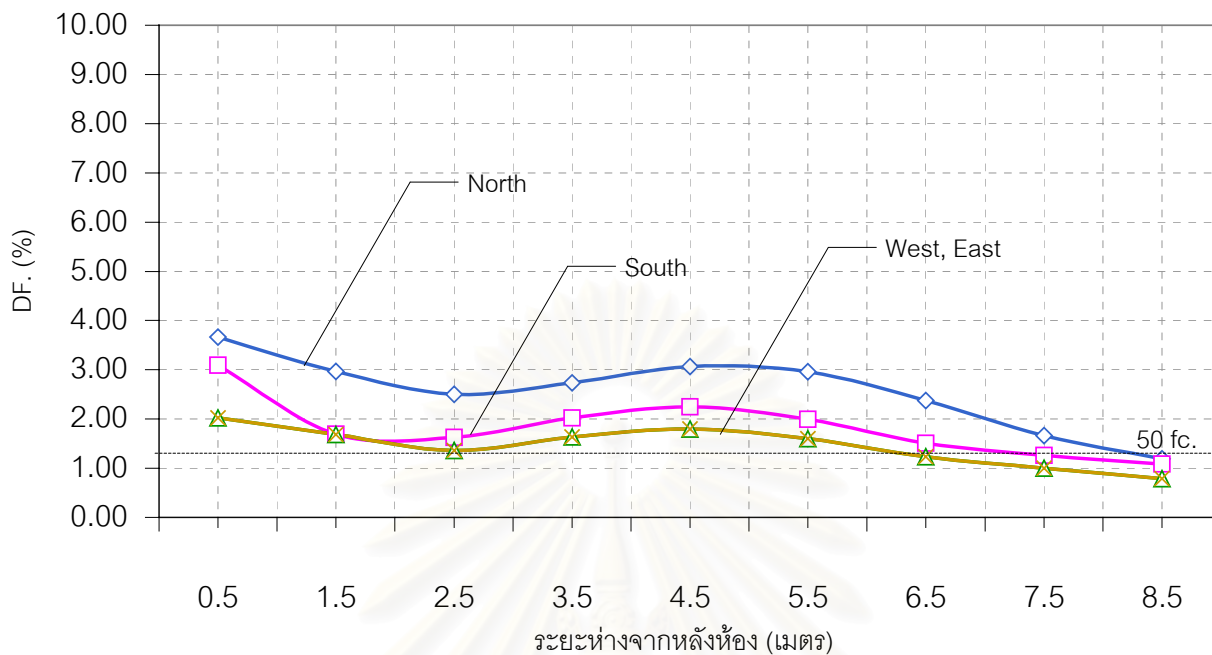


แผนภูมิที่ 4.65 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 10.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก

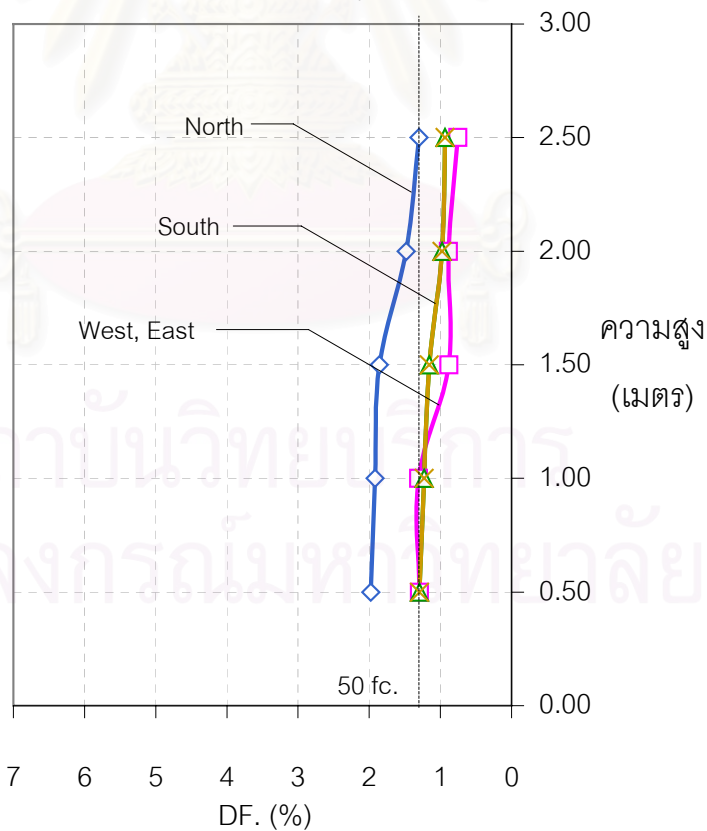


แผนภูมิที่ 4.66 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง(DF_V) บริเวณกระดาน(Vertical Plane) ช่วงเวลา 10.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก

4.2.28 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในทิศหลักทั้งสี่ ช่วงเวลา 12.00น.

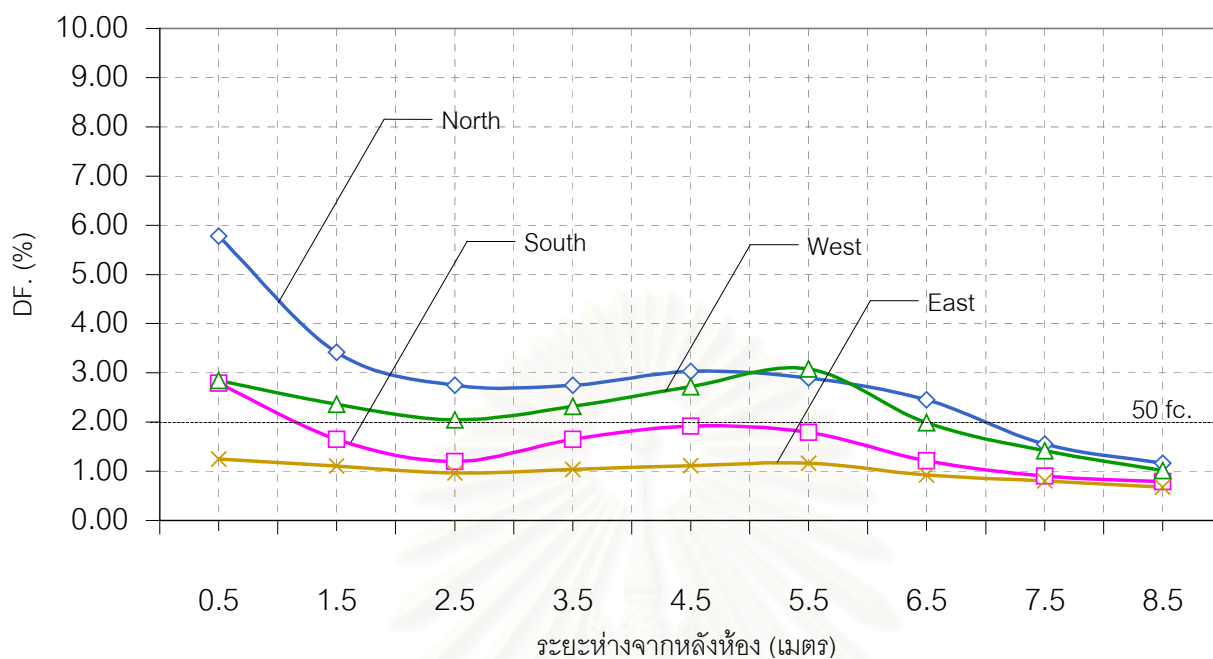


แผนภูมิที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 12.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก

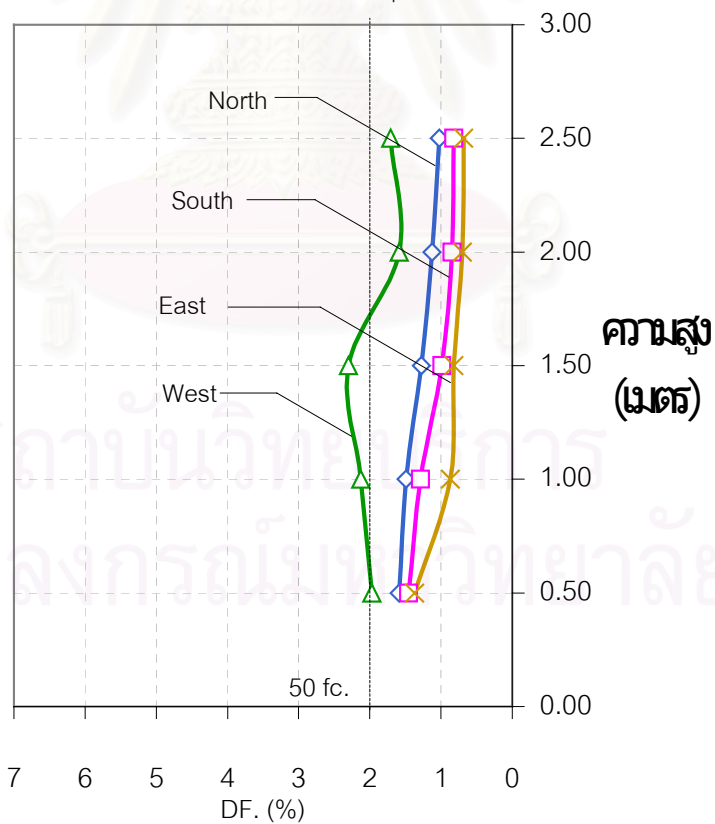


แผนภูมิที่ 4.68 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_V) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ช่วงเวลา 12.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก

4.2.29 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในทิศหลักทั้งสี่ ช่วงเวลา 14.00น.

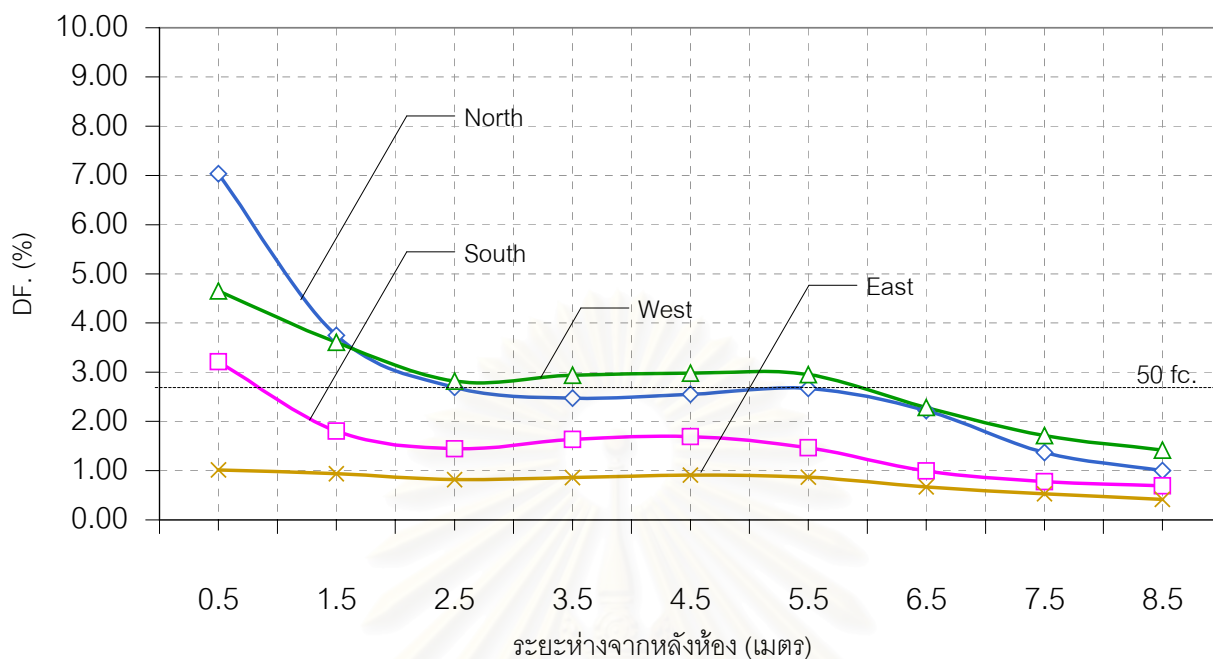


แผนภูมิที่ 4.69 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 14.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก

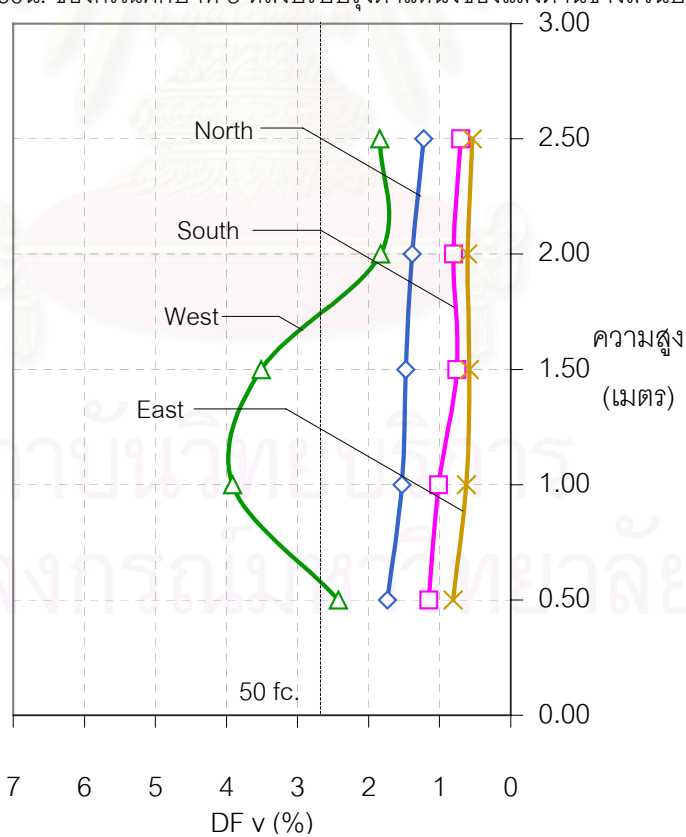


แผนภูมิที่ 4.70 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_V) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ช่วงเวลา 14.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก

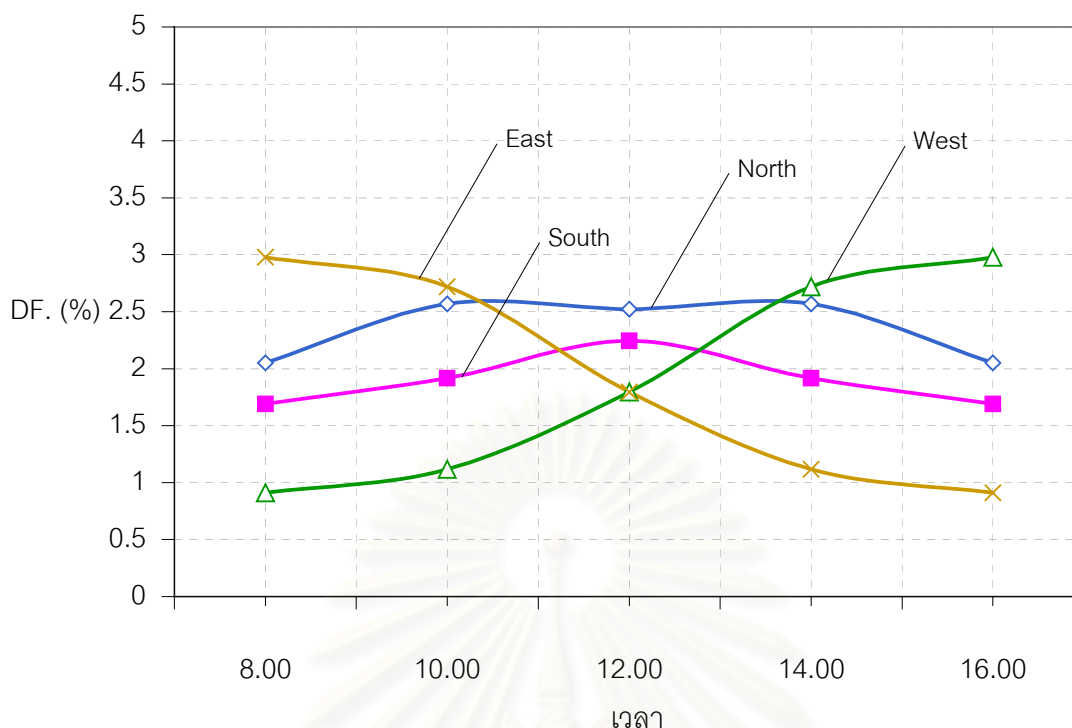
4.2.30 การเปรียบเทียบค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในทิศหลักทั้งสี่ ช่วงเวลา 16.00น.



แผนภูมิที่ 4.71 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 16.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก



แผนภูมิที่ 4.72 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวตั้ง (DF_v) บริเวณกระดาน (Vertical Plane) ช่วงเวลา 16.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในสี่ทิศหลัก



แผนภูมิที่ 4.73 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณกึ่งกลางห้องเรียน (Horizontal Plane) ช่วงเวลา 8.00 - 16.00น. ของกรณีศึกษาที่ 8 หลังปรับปรุงตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในทิศหลักทั้งสี่ทิศ

จากผลการทดลองปรับตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนในทิศใต้ ทิศตะวันตกและทิศตะวันออก พบว่าปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียนมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากขึ้นและมีแนวโน้มที่ปริมาณแสงสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งานในช่วงเวลาต่างๆของวันมีมากขึ้น ดังนั้นในขั้นนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า ช่องแสงด้านข้างขนาด 1.00ม. ที่เป็นช่องแสงลักษณะคล้ายกับห้องเรียนทั่วไป เมื่อใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่มีขนาดความสูงของช่องแสง 0.60ม. และมีระยะห่างจากหลังห้อง 3 เมตรในทิศเหนือ และ 4 เมตรในทิศใต้ ทิศตะวันตกและทิศตะวันออก จะทำให้ปริมาณแสงสว่างเพียงพอต่อการใช้งานได้ 1 วัน

ในการใช้งานใน 1 วันหากปริมาณแสงสว่างมีความแปรปรวนมาก ก็จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการใช้แสงประดิษฐ์เพื่อเข้ามาเสริมในส่วนที่ปริมาณแสงสว่างขาดหายไป ดังนั้นในการใช้งานควรเลือกทิศทางการเปิดช่องแสงให้อยู่ในทิศที่ได้รับอิทธิพลของแสงตรงจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุด เช่นทิศเหนือ เพราะนอกจากจะมีความแปรปรวนของปริมาณแสงสว่างน้อยแล้ว ยังมีมุมเงยแดดที่น้อยกว่าทิศอื่น จึงไม่ต้องการแผงบังแดดที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้ช่องแสงมีขนาดเล็กแต่ได้ปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียนมาก

ในการพิจารณาการใช้งานช่องแสงด้านทิศเหนือ สามารถคำนวณเพื่อหาโอกาสในการทำงานในหนึ่งปีได้จากข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ใน 1 ปี จากกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในตาราง

4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองกับจากข้อมูลปริมาณแสงสว่างตลอดปี

(ข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2542)

จากข้อมูลสถิติของค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Global radiation) ตลอดปี 2542 และคำนวณเพื่อหาปริมาณแสงสว่าง (Illuminance) โดยแบ่งออกเป็นช่วงเวลาตามที่ได้ทำการวัดค่าความสว่างในหุ่นจำลองได้ผลดังตารางที่ 4.2 (ปริมาณแสงสว่างภายในห้องเรียนที่สามารถใช้งานได้ต้องมีปริมาณแสงสว่างมากกว่า 30 fc. (IES, 1999)

ช่วงเวลา	จำนวนวันที่มีปริมาณแสงสว่างเพียงพอใน 1 ปี
8.00 น.	66 วัน (18 %)
10.00 น.	350 วัน (96 %)
12.00 น.	361 วัน (98.9 %)
14.00 น.	349 วัน (95.6 %)
16.00 น.	299 วัน (81.9 %)

ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนวันที่คาดว่าจะใช้งานได้ภายใน 1 ปี

จากการคำนวณแนวโน้มที่สามารถใช้งานได้ภายใน 1 ปี พบว่าการออกแบบช่องแสงตามกรณีศึกษาที่ 8 สามารถใช้งานได้ดี โดยมีเพียงช่วงเวลา 8.00 น. เท่านั้นที่มีโอกาสใช้งานได้น้อยที่สุดเพียง 18% อันเป็นผลมาจากปริมาณแสงสว่างจากภายนอกมีปริมาณน้อยมาก แต่เป็นช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 ตัวแปรที่มีผลต่อความสว่างภายในห้องเรียน

จากผลการวิจัยพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความสว่างภายในห้องเรียนมีดังนี้

- ตัวแปรที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอก

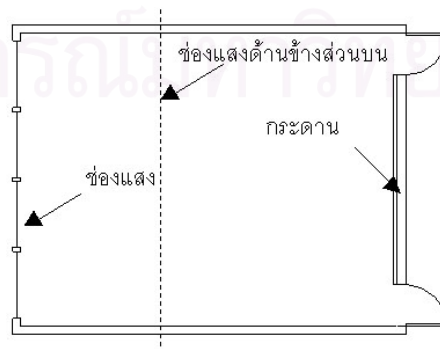
ได้แก่ ตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้า และสภาพแวดล้อมภายนอกห้องเรียน ซึ่งการโคจรของดวงอาทิตย์จะทำให้มุมตกกระทบของแสงที่สะท้อนเข้ามาในห้องเรียนผ่านทางช่องเปิดเปลี่ยนแปลงตลอดวัน ส่งผลต่อปริมาณแสงสว่างและค่าเคย์ไลท์แฟคเตอร์ภายในห้องเรียน

- ตัวแปรภายในห้องเรียน

ได้แก่ รูปแบบของช่องแสง ตำแหน่งของช่องแสง และขนาดของช่องแสง ทั้งนี้ในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียนตัวแปรที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงก็คือ มุมของแหล่งกำเนิดแสงที่กระทำกับระนาบใช้งาน เพราะถ้ามุมที่กระทำกับระนาบใช้งานมีน้อยก็จะทำให้ปริมาณแสงสว่างภายในห้อง ธรรมชาติใช้งานมีมาก ซึ่งเป็นการใช้แสงธรรมชาติที่คุ้มค่า

จากการวิจัยพบว่ารูปแบบของช่องแสงที่อยู่ด้านข้างเพียงอย่างเดียวมีแสงธรรมชาติภายในที่เพียงพอต่อการใช้งานอยู่ในระยะประมาณ 2-3 เมตรจากหน้าต่าง แต่ช่องแสงด้านข้างมีประโยชน์ที่สำคัญคือการสร้างทัศนวิสัยที่ดีและเพื่อการรับรู้การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายนอก แต่ในการใช้งานจริงมีความจำเป็นต้องใช้กระจกที่ตัดแสงได้มาก (มีค่าLight transmission ต่ำ) เพื่อให้เกิดความสบายตาในการมองไปสู่ภายนอก ดังนั้นแนวทางที่ใช้ในการวิจัยนี้คือการใช้ช่องแสงที่มาจากมุมสูงคือช่องแสงที่อยู่เหนือฝ้าเพดาน ซึ่งช่องแสงดังกล่าวสามารถให้แสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้ดีมากขึ้นและช่องแสงดังกล่าวยังสามารถใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านแสงสูงได้เพราะในมุมที่สูงสายตามนุษย์สามารถรับความจ้าได้มากกว่าในระดับสายตา

จากผลวิจัยได้สรุปรูปแบบการใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน ด้วยการใช้ช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านข้างส่วนบนร่วมกัน โดยที่ช่องแสงด้านข้างจะอยู่ด้านหลังห้อง และกระดานอยู่ตรงข้ามช่องแสงด้านข้าง ดังแสดงในภาพ ซึ่งส่งผลให้กระดานได้รับแสงสว่างมากขึ้นเนื่องจากมุมแสงที่ตกกระทบอยู่ในทิศที่ตั้งฉากกับระนาบ

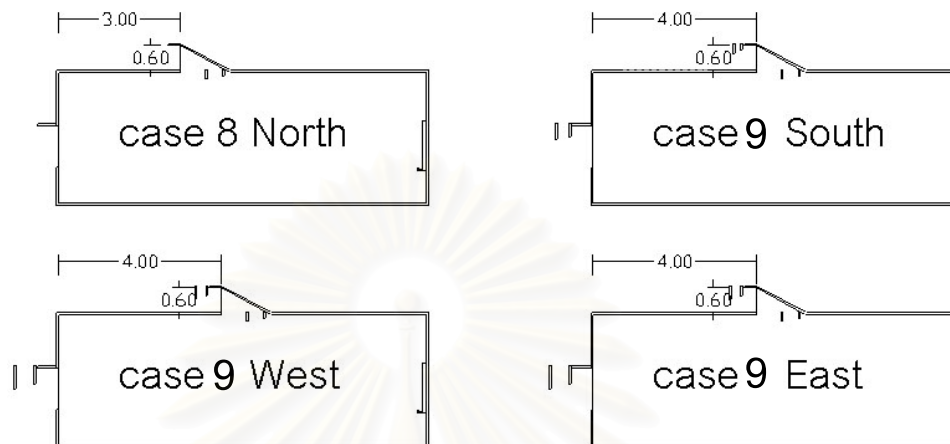


Plan

ภาพที่ 5.1 ภาพแสดงผังพื้น และตำแหน่งช่องแสง ตำแหน่งกระดาน ภายในห้องเรียนกรณีศึกษา

5.1.2 รูปแบบและสัดส่วนของช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่เหมาะสมกับการใช้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน

จากการทดลองสามารถสรุปรูปของช่องแสงด้านข้างส่วนบน ขนาดของช่องแสงด้านข้างส่วนบน และตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่เหมาะสมกับทิศต่างๆ ทั้ง 4 ทิศ ดังแสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 ภาพแสดงรูปตัด ตำแหน่งช่องแสงด้านข้างและตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบนภายในห้องเรียนกรณีศึกษาของแต่ละทิศ

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่ส่งผลให้เกิดระดับการส่องสว่างที่สม่ำเสมอและเหมาะสมกับการใช้งาน



ภาพที่ 5.3 ภาพแสดงรูปตัด และสัญลักษณ์บอกตำแหน่งของช่องแสงภายในห้องเรียน

	$H_s : H_c$	$W_s : W_c$
North	1 : 3	1 : 0.6
South	1 : 4	1 : 0.6
East	1 : 4	1 : 0.6
West	1 : 4	1 : 0.6

(กำหนดความสูงของช่องแสงด้านข้าง H_s เท่ากับ 1.00ม. และมีความสูง W_s เท่ากับ 2.00 ม.)

ตารางที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนของตำแหน่งและขนาด ของช่องแสงด้านข้างต่อช่องแสงด้านข้างส่วนบน

จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ลึกเข้ามาในห้องมากขึ้นเพื่อช่วยให้แสงสว่างภายในห้องมีความสม่ำเสมอมากขึ้น (Uniformity) โดยตำแหน่งของช่องแสงด้านข้างส่วนบนจะอยู่ที่ระยะ 3-4 เมตรจากด้านหลังห้อง ซึ่งจะทำให้ปริมาณแสงสว่างในระนาบตั้ง (Vertical Plane) บริเวณกระดานมีมากขึ้นด้วย และผลการทดลองในแต่ละทิศสามารถสรุปได้ดังนี้

ทิศเหนือ

ทิศเหนือเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์น้อย โดยมีมุมเงาแดด 63° ทำให้แผงบังแดดของช่องแสงมีขนาดเล็ก โดยทั้งสองตัวแปรดังกล่าวส่งผลให้แสงสว่างภายในห้องเรียนมีความแปรปรวนน้อย โดยที่ขนาดของช่องแสงด้านข้างมีขนาดสูง 1 เมตร และช่องแสงด้านข้างส่วนบนมีขนาดสูง 0.60 เมตรและมีระยะห่างจากหลังห้องเรียน 3 เมตร ซึ่งเพียงพอที่ทำให้ห้องเรียนมีปริมาณแสงสว่างภายในมากกว่า 50 ฟุตแคนเดิลตลอดวัน แต่ปริมาณแสงสว่างในระนาบตั้งบริเวณกระดานจะเพียงพอ ในช่วงเวลา 10.00น. – 12.00น. จึงต้องใช้แสงประดิษฐ์เข้ามาช่วยเสริม

ทิศใต้

ทิศใต้เป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์พอสมควร โดยมีมุมเงาแดด 35° ทำให้แผงบังแดดของช่องแสงมีใหญ่กว่าทิศเหนือ โดยทั้งสองตัวแปรดังกล่าวส่งผลให้แสงสว่างภายในห้องเรียนมีความแปรปรวนมากโดยที่ขนาดของช่องแสงด้านข้างมีขนาดสูง 1 เมตร และช่องแสงด้านข้างส่วนบนมีขนาดสูงไม่น้อยกว่า 0.80 เมตรมีระยะห่างจากหลังห้องเรียน 4 เมตร ซึ่งเพียงพอที่ทำให้ห้องเรียนมีปริมาณแสงสว่างภายในมากกว่า 50 ฟุตแคนเดิลในช่วงเวลาใช้งานตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00น. แต่ปริมาณแสงสว่างในระนาบตั้งบริเวณกระดานจะเพียงพอ ในช่วงเวลา 10.00น. – 12.00น. จึงต้องใช้แสงประดิษฐ์เข้ามาช่วยเสริม

ตะวันออก

ทิศตะวันออกเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์มากในช่วงเวลา 8.00 - 12.00น. โดยมีมุมเงาแดด 23° ทำให้แผงบังแดดของช่องแสงมีใหญ่กว่าทิศใต้ โดยทั้งสองตัวแปรดังกล่าวส่งผลให้แสงสว่างภายในห้องเรียนมีความแปรปรวนมากโดยที่ขนาดของช่องแสงด้านข้างมีขนาดสูง 1 เมตร และช่องแสงด้านข้างส่วนบนมีขนาดสูงไม่น้อยกว่า 0.80 เมตร มีระยะห่างจากหลังห้องเรียน 4 เมตร ซึ่งเพียงพอที่ทำให้ห้องเรียนมีปริมาณแสงสว่างภายในมากกว่า 50 ฟุตแคนเดิล ในช่วง 8.00 - 12.00น. ส่วนช่วงเวลาที่อื่นๆ ไม่สามารถให้แสงสว่างที่เพียงพอได้ และปริมาณแสงสว่างในระนาบตั้งบริเวณกระดานจะเพียงพอในช่วงเวลา 8.00 – 12.00น. จึงต้องใช้แสงประดิษฐ์เข้ามาช่วยเสริมในช่วงเวลาอื่น

ตะวันตก

ทิศตะวันตกเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากการโคจรของดวงอาทิตย์มากในช่วงเวลา 12.00 – 16.00น. โดยมีมุมเงาแดด 23° ทำให้แผงบังแดดของช่องแสงมีใหญ่กว่าทิศใต้ โดยทั้งสองตัวแปรดังกล่าวส่งผลให้แสงสว่างภายในห้องเรียนมีความแปรปรวนมากโดยที่ขนาดของช่องแสงด้านข้างมีขนาดสูง 1 เมตร และช่องแสงด้านข้างส่วนบนมีขนาดสูงไม่น้อยกว่า 0.80 เมตรมีระยะห่างจากหลังห้องเรียน 4 เมตร ซึ่งเพียงพอที่ทำให้ห้องเรียนมีปริมาณแสงสว่างภายในมากกว่า 50 ฟุตแคนเดิล ในช่วง 8.00 - 12.00น ส่วนช่วงเวลาที่อื่นๆ ไม่สามารถให้แสงสว่างที่เพียงพอได้ และปริมาณแสงสว่างในระนาบตั้งบริเวณกระดานจะเพียงพอในช่วงเวลา 12.00 – 16.00น. จึงต้องใช้แสงประดิษฐ์เข้ามาช่วยเสริมในช่วงเวลาอื่น

ดังนั้นในการออกแบบช่องแสงธรรมชาติเพื่อใช้ในห้องเรียน จึงควรให้ช่องแสงอยู่ในทิศที่มีความแปรปรวนของแสงสว่างภายนอกน้อยที่สุด เช่นทิศเหนือเพราะจะทำให้ขนาดของช่องแสงไม่ใหญ่มากแต่ให้แสงสว่างที่เพียงพอ หรือถ้าไม่สามารถหันช่องแสงทางด้านทิศเหนือได้ การหันช่องแสงทางด้านทิศใต้ถือเป็นทางเลือกที่สอง แต่ขนาดของช่องแสงด้านข้างส่วนบนในทิศใต้จะมีขนาดใหญ่กว่าช่องแสงด้านข้างส่วนบนในทิศเหนือ ส่วนทิศตะวันตก และทิศตะวันออกไม่มีความเหมาะสมในการใช้งานเพราะแสงสว่างภายนอกมีความแปรปรวนสูงมากใน 1 วัน

5.2 การประยุกต์ใช้งาน

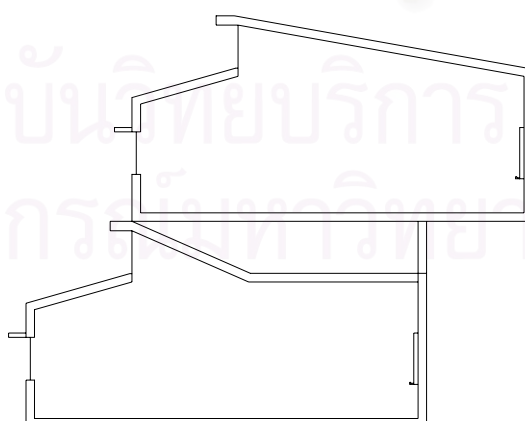
ผลการทดลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการออกแบบอาคารทุกประเภท ไม่เฉพาะเจาะจงเฉพาะห้องเรียนเท่านั้น เพราะในการวิจัยนี้ได้ยึดหลักพื้นฐานของการออกแบบแสงธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบการทดลองและประยุกต์รูปแบบของช่องแสง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการออกแบบได้หลากหลาย

- การใช้งานร่วมกับสื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพ

กิจกรรมการเรียนการสอนอาจต้องใช้สื่อการสอนประเภทเครื่องฉายภาพซึ่งไม่มีความต้องการแสงสว่างจากภายนอก ดังนั้นการออกแบบให้ช่องแสงด้านข้างส่วนบนสามารถเปิด และปิดได้จะสามารถช่วยลดแสงสว่างบริเวณกระดานที่เป็นจอภาพได้ แต่ในบางเวลาที่แสงสว่างจากภายนอกมีมาก อิทธิพลของแสงสว่างจากช่องแสงด้านข้างอาจเข้ามารบกวนได้จึงต้องใช้ม่านบังแดดเข้ามาช่วยอีกทางหนึ่ง ประกอบกับการลดค่าการสะท้อนแสงบริเวณพื้นหน้ากระดานเพื่อลดปริมาณแสงสว่างที่สะท้อนจากพื้นเข้าสู่กระดานอีกทางหนึ่ง

- อาคารสองชั้น

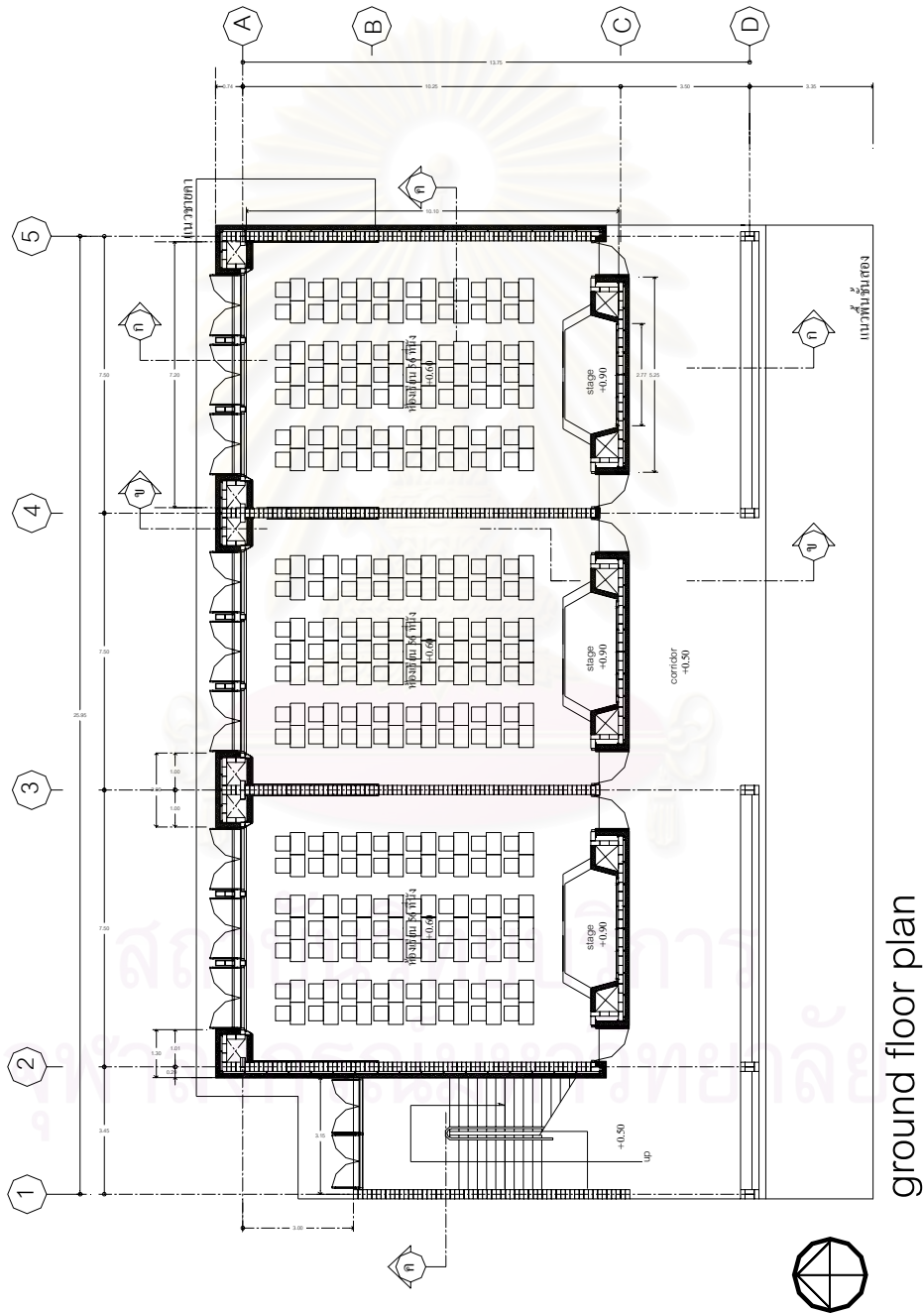
ในกรณีที่ต้องการอาคารเรียนที่มีสองชั้น การซ้อนชั้นจะต้องเหลื่อมอาคารเพื่อเปิดพื้นที่ให้ช่องแสงด้านข้างส่วนบนในอาคารชั้นล่างรับแสงสว่างจากท้องฟ้า ซึ่งส่งผลให้ห้องเรียนในชั้นล่างสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับอาคารชั้นเดียว



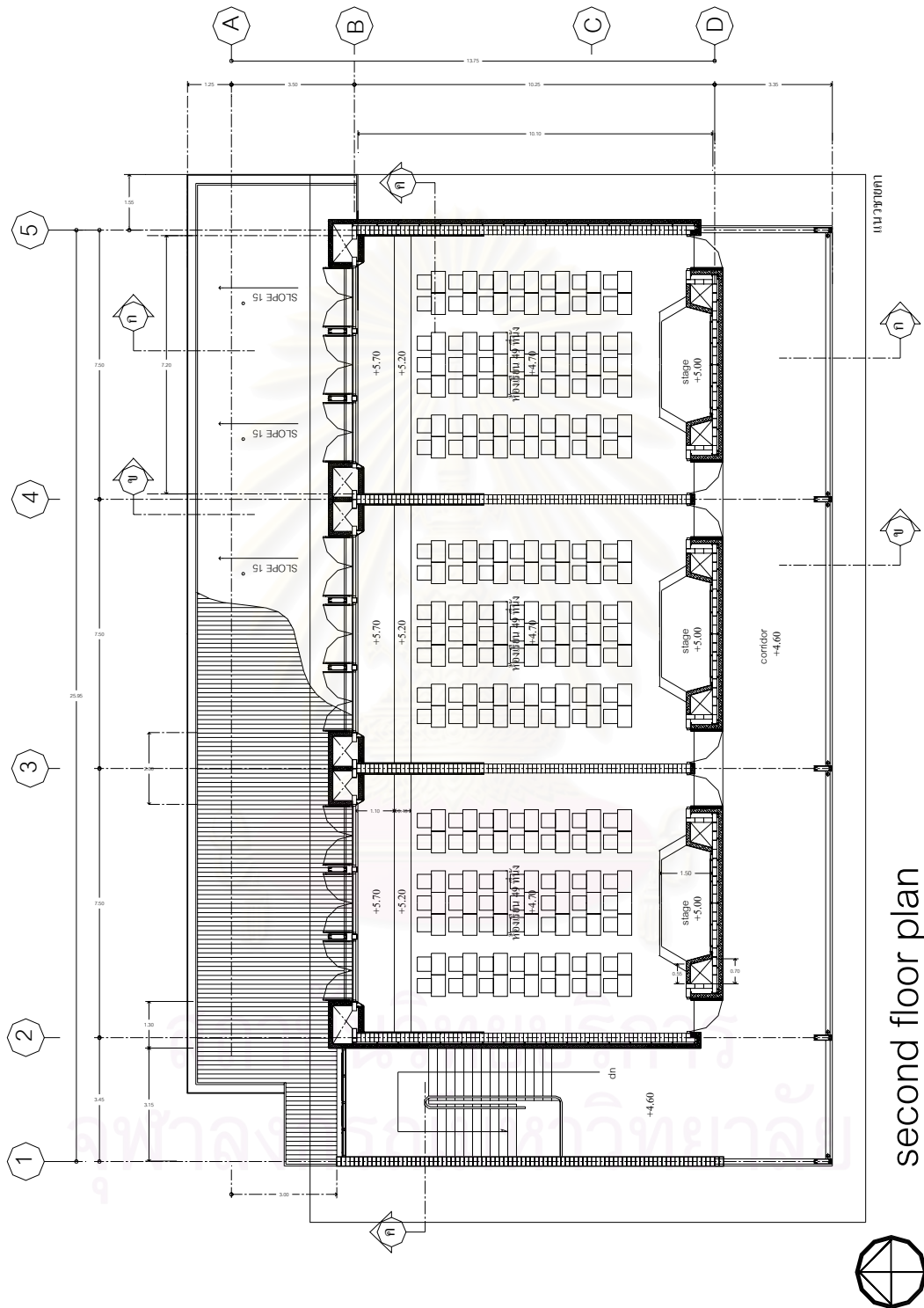
ภาพที่ 5.4 การซ้อนชั้นของห้องเรียนเพื่อให้ได้รับแสงธรรมชาติเท่ากันทุกชั้น

5.2 การใช้งานในโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

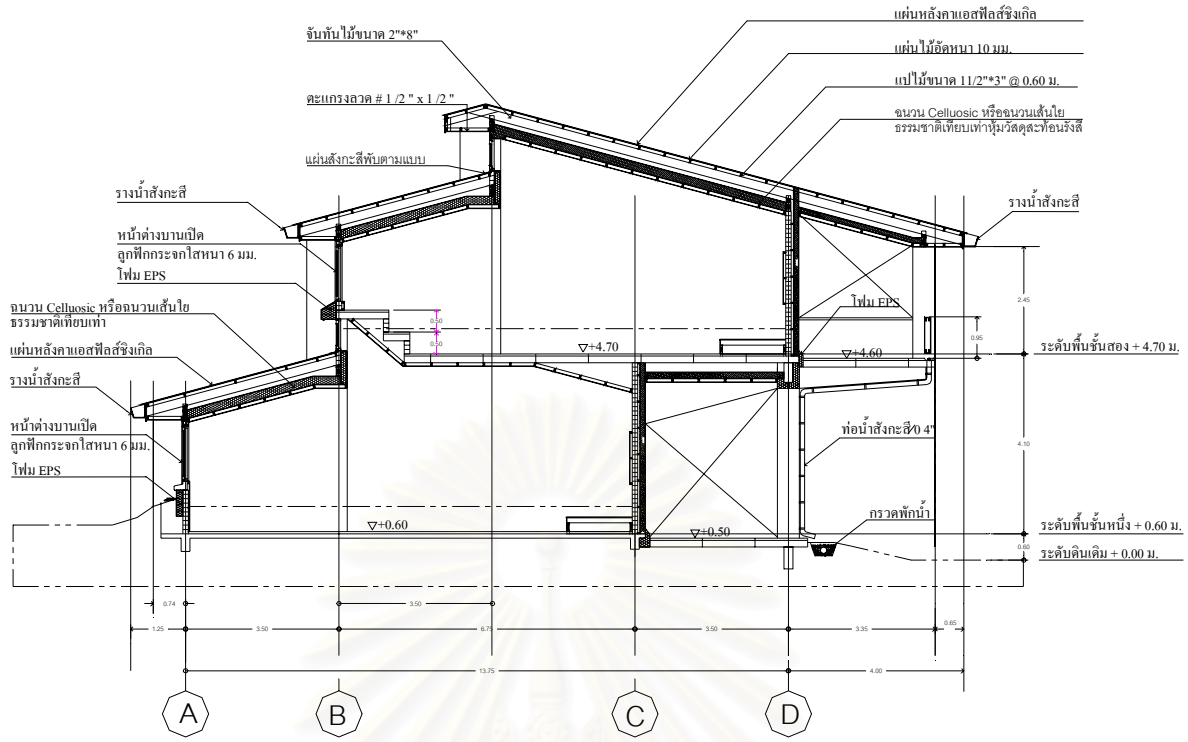
ในการออกแบบโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีแนวคิดให้สามารถใช้แสงธรรมชาติในกิจกรรมการเรียนการสอนได้ตลอดวัน จึงได้มีการนำช่องแสงที่ได้ทำการวิจัยไปประยุกต์ใช้งาน ในการออกแบบได้ออกแบบอาคารเรียนเป็นอาคารสองชั้นมีทางเดินด้านหน้าห้องเรียน โดยการใช้ช่องแสงด้านข้างขนาดความสูง 1.00 เมตร ร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบนขนาด 0.40 เมตร ทั้งสองชั้น ดังแบบแสดงผังพื้นและรูปตัดของอาคาร ในภาพที่ 5.5-5.7



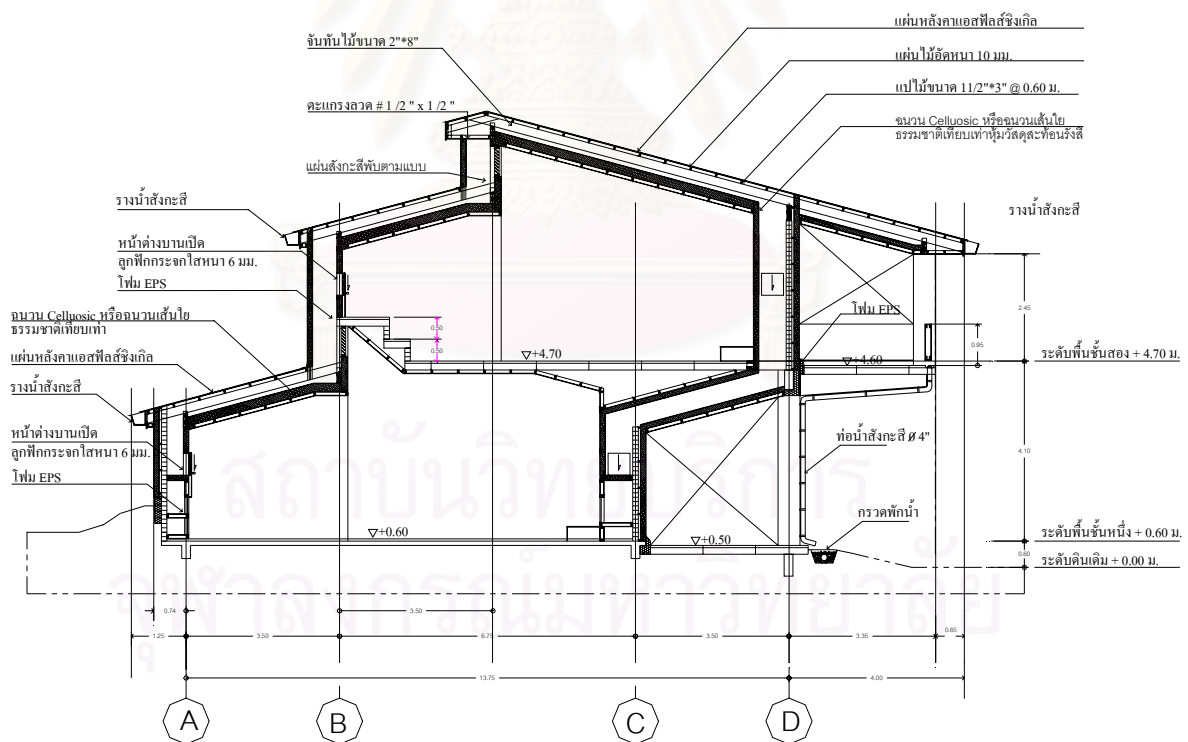
ภาพที่ 5.5 ผังพื้นอาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ชั้นที่ 1



ภาพที่ 5.6 ผังพื้นอาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ชั้นที่ 2



Section ก-ก



Section ข-ข

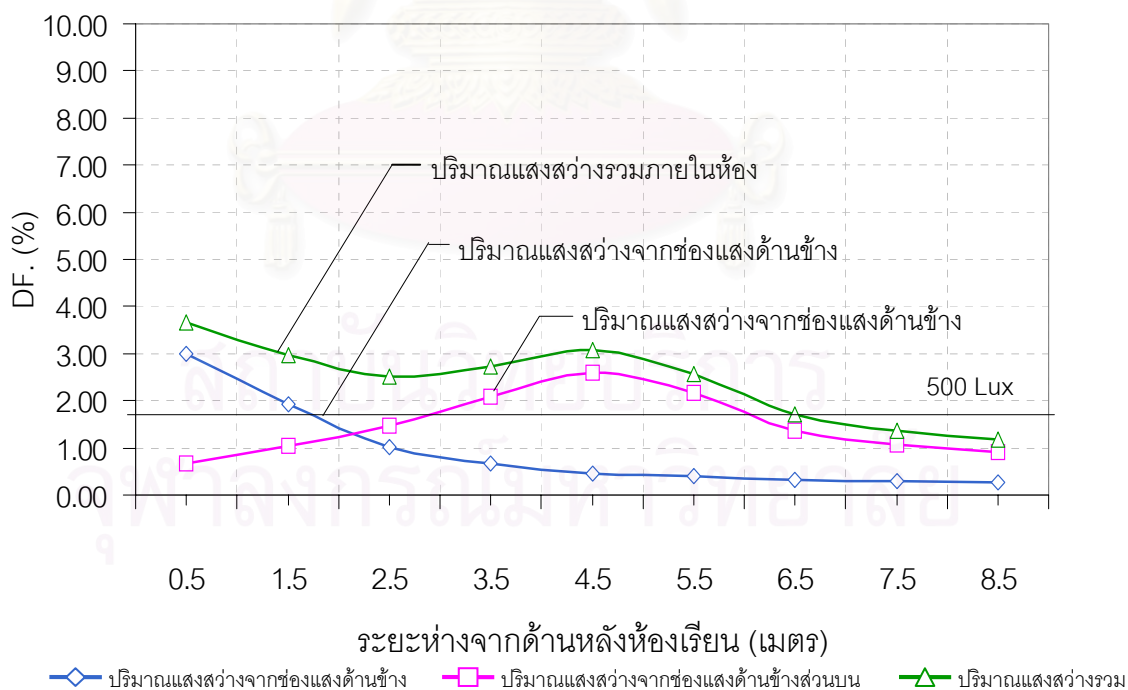
ภาพที่ 5.7 รูปตัดอาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

5.2.1 การทดสอบวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องจำลองโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

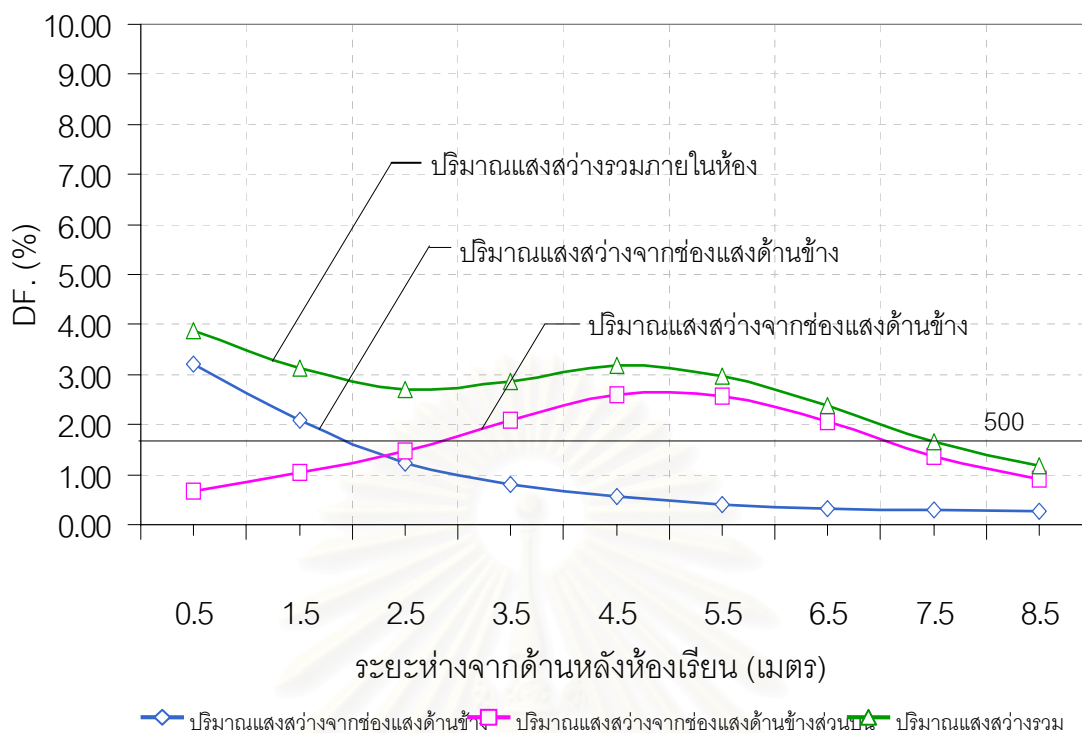
ในการทดสอบได้จัดทำห้องจำลองโรงเรียนภาคตะวันออกเฉียงเหนือในมาตราส่วน 1:20 โดยกำหนดค่าการสะท้อนแสงบริเวณพื้นภายในห้อง เท่ากับ 30% บริเวณผนังห้องเรียน 50% และบริเวณฝ้าเพดาน 70% และทำการวัดค่าความส่องสว่างภายในห้องจำลองในสภาพท้องฟ้าจริง โดยมีสภาพแวดล้อมเป็นสนามหญ้าโล่ง ทำการวัดค่าความส่องสว่างในเวลา 12.00น. ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน ได้ผลดังแสดงในแผนภูมิที่ 5.1 และแผนภูมิที่ 5.2



ภาพที่ 5.8 ห้องจำลองอาคารโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ใช้สำหรับวัดค่าความส่องสว่าง



แผนภูมิที่ 5.1 แสดงค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ แนวนระนาบ (DF_H) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ชั้นล่าง เวลา 12.00น.



แผนภูมิที่ 5.2 แสดงค่าเดโไลท์แฟคเตอร์ แนวระนาบ (DF_H) บริเวณห้องเรียน (Horizontal Plane) ชั้นบน เวลา 12.00น.

จากผลการทดลองพบว่า โรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถใช้แสงธรรมชาติในกิจกรรมการเรียนการสอนได้ โดยที่แสงสว่างที่มาจากช่องแสงด้านข้างสามารถเข้ามาได้ลึกในระยะ 2-3 เมตร เมื่อใช้งานร่วมกับช่องแสงด้านข้างส่วนบน ทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกในระยะ 7.5 เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานบนระนาบใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

กรณีศึกษาที่ได้ศึกษาใน 4 ทิศถือเป็นแนวทางในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติในอาคารได้ทั่วไป ไม่เจาะจงเฉพาะในอาคารเรียนเท่านั้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย และในการวิจัยนี้มีระยะเวลาในการศึกษาวิจัยที่จำกัดเมื่อเทียบกับขอบเขตของการศึกษา ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปดังนี้

ข้อจำกัดในการวิจัย

- ลักษณะของท้องฟ้าที่ทำการทดลองเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ในการทดลองกรณีศึกษาต่างๆ จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ครบในทุกสภาพท้องฟ้า ซึ่งอาจส่งผลให้ข้อมูลตลอดทั้งปีขาดหายไป
- สถานที่เก็บข้อมูลได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอก อันได้แก่อาคารที่สะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์ในบางช่วงเวลา ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนได้
- เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน และในขณะที่ทำการวัดต้องใช้ผู้เก็บข้อมูลหลายคนจึงอาจทำให้เกิดการเหลื่อมเวลาในการเก็บข้อมูลได้ ซึ่งในการแก้ปัญหาควรใช้เครื่องเก็บข้อมูลที่สามารถเก็บข้อมูลได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน
- ความคลาดเคลื่อนจากหุ่นจำลองและวัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง ในเรื่องของพื้นผิววัสดุที่มีความหยาบและความละเอียดไม่เท่ากับวัสดุที่ใช้ในอาคารจริง

แนวทางในการวิจัยในอนาคต

การวิจัยนี้เป็นพื้นฐานในการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารเรียนให้ลึกมากที่สุดโดยให้มีขนาดของช่องแสงเล็กที่สุด โดยเป็นอาคารที่ใช้ระบบธรรมชาติซึ่งข้อมูลและผลการวิจัยที่ได้ อาจต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้อาคารเรียนที่มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจึงน่าที่จะมีการวิจัยเพิ่มเติมเช่น

- การวิจัยที่ต้องคำนึงถึงข้อมูลที่เก็บ ควรต้องเป็นข้อมูลของทุกสภาพท้องฟ้าและในทุกมุมของดวงอาทิตย์ในรอบ 1 ปี เพื่อสามารถทำนายสภาพแสงสว่างภายในอาคารได้อย่างเที่ยงตรง
- การวิจัยเพื่อหาแนวทางในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในระนาบตั้งบริเวณกระดานโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาแสงแยงตากับผู้สอนและนักเรียน
- การวิจัยเพื่อหาแนวทางอื่นที่ให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาในอาคารโดยมีความร้อนเข้ามาน้อยที่สุด การวิจัยเพื่อนำเอาข้อมูลที่ได้ไปใช้ในอาคารประเภทอื่น หรืออาคารสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คณะทำงาน กองออกแบบและก่อสร้าง กรมสามัญศึกษา. โครงการพัฒนาอาคารต้นแบบ โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ, 2531.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. "Quest for Light : การนำแสงธรรมชาติสู่อาคาร". สารศาสตร์สถาปัตย์ : วารสารวิชาการภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์. ฉบับที่ 1 . (มกราคม, 2541) 39-44.

ชำนาญ ท่อเกียรติ . เทคนิคการส่องสว่าง . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

สุนทร บุญญาริการ . การศึกษาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน : การอนุรักษ์พลังงานจากบ้านสู่โรงเรียน . กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542. (เนื่องในโอกาสคล้ายวันสถาปนา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10 กรกฎาคม 2541)

สุนทร บุญญาริการ . เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน : เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาริการ . "การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในอาคาร", อาษา : วารสารสถาปัตยกรรม (กรกฎาคม 2541) 94-105.

ภาษาอังกฤษ

Aderson, B.N. . Solar energy : fundamentals in building design . New York : McGRAW-HILL, 1977.

Alfred Roth. New school building. London: Thomas & Hudson, 1966.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers . 1997 ASHRAE HANDBOOK . Atlanta : ASHRAE Journal, 1997.

Daniels, Klaus . The Technology of Ecological Building : Basic Principles and Measures, Examples and Ideas . Basel : Birkhauser Verlag, 1994.

Derek, Phillips . Lighting in Architectural Design . New York : McGRAW-HILL, 1964.

Donald Watson and Kenneth Labs. Climatic Design: Energy – efficient building principles and practices. New York : McGRAW-HILL, 1983.

Egan, M.D. . Concept in Architectural Lighting . December 15,1997 , ed.

Evans, B.H. . Daylight in Architecture . New York : McGRAW-HILL, 1981.

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

Hopkinson, R.G. ; Petherbridge, P. ; and Longmore, J. . Daylighting . London : HEINEMANN,1966.

Hopkinson, R.G. ;and Kay, J.D. The lighting of Buildings. 2nd ed..London : The Trinity Press,1972.

Horzog, Thomas , edited . Solar Energy in Architecture and Urban Planning . Munich : Prestel Verlag, 1996.

Henry Sanoff. School Design. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994.

- IES Committee on Calculation Procedures .IES Recommended Practice for the Lumen Method of Daylight Calculations . New York : Illuminating Engineering Society of North America,1989.
- Illuminating Engineering Society of North America . IES Lighting Ready Reference . New York : Illuminating Engineering Society of North America,1984.
- John, R.G. ; Lewis, J.O. ;and Theo, C.S. ,edited..Energy Conscious Design :A primer for architects. London : B.T. Batsford,1992.
- 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,1973.
- Lechner, Norbert . Heating, Cooling, Lighting : design methods for architects . New York : John Wiley & Sons,1991.
- Lewrence B. Perkins and Walter D. Cooking. School. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1949.
- LIBBEY-OWENS-FORD COMPANY . How to Predict Interior Daylight Illumination : Conserve Energy and Increase Visual Performance by Effective Daylight Design. Ohio : LIBBEY-OWENS-FORD COMPANY ,1976.
- Mazria ,Edward . The passive solar energy book. U.S.A. : Redale Press,1979.
- Moore, F. .Concept and practice of architectural daylighting. New York : Van Nostrand Reinhold,1991.
- Moore, F. .Environmental Control Systems : heating , cooling , lighting. New York :McGraw-hill,1993.
- Ogilyay, Alader ; and Ogilyay, Victor . Solar Control & Shading Devices . London : Oxford University Press, 1957.
- Phanchalath Suriyothin ;and Piras Laophaisal. "Basic Principles of Daylighting for Energy Conservation", Workshop for Architects : The use of computer softwares in the design of energy conscious building. July,1998.
- Robbins, C.L. . Daylighting : Design snd Analysis . New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.
- Stein, Benjamin ;and John, S.R. . Mechanical and Electrical Equipment for Building . 8th ed. . New York : John Wiley & Sons,1992.
- Thai Gypsum Product Public Company Limited. Energy Efficient Design of Buildings In Thailand. Bangkok : Thai Gypsum Products public Company Limited, 1995.
- William , C.D ;and Paul , N.C. ,edited. The Energy Design Handbook. Washington D.C. : The American Institute of Architects,1993
- William M. C. Lam. Sunlighting as formgiver for architecture. . New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก. ตารางแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมโพรไฟล์ (Profile Angle) มุม (Azimuth Angle)

วันที่ 21 ของทุกเดือน ณ เวลาต่างๆ สำหรับเส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ

Month	Solar	Profile (Shadow Line) Anale																Solar Position			Solar					
	Time	ALT	AZ	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	HOR		AZ	ALT	Time		
DEC	7	8	63			23	11	9	8	8	10	17	62								82	63	8	7		
	8	20	58			59	33	24	21	21	25	35	66								70	58	20	8		
	9	32	50			82	54	39	33	32	36	44	64								58	50	32	9		
	10	43	38				74	56	46	43	44	49	62	83							48	38	43	10		
	11	50	22					73	59	53	50	52	59	72							40	22	50	11		
	12	53	0						90	74	62	55	53	55	62						37	0	53	12		
	13	50	22										52	50	53	59	73				40	22	50	13		
	14	43	38										49	44	43	46	56	74			48	38	43	14		
	15	32	50										44	36	32	33	39	54	82		56	50	32	15		
	16	20	58										35	25	21	21	24	33	69		70	58	20	16		
	17	8	63										17	10	8	8	9	11	23		82	63	8	17		
	JAN + NOV	7	9	67			23	12	10	9	10	12	21									81	67	9	7	
		8	22	62			55	33	25	22	23	27	40	75								68	62	22	8	
		9	34	53			78	53	40	35	34	39	49	70								56	53	34	9	
		10	45	42				72	57	48	45	47	53	66								46	42	45	10	
		11	53	24				89	73	61	55	53	55	62	75							37	24	53	11	
		12	56	0						90	75	65	58	58	58	65	75					34	0	56	12	
13		53	24										55	53	55	61	73	89			37	24	53	13		
14		45	42										53	47	45	48	57	72			46	42	45	14		
15		34	53										49	39	34	35	40	53	78		56	53	34	15		
16		22	62										40	27	23	22	25	33	65		66	62	22	16		
17		9	67										21	12	10	9	10	12	23		81	67	9	17		
FEB + OCT		7	12	76			56	22	15	12	12	14	19	40								79	76	12	7	
		8	26	71			84	48	33	27	26	28	35	55								65	71	26	8	
		9	39	64				69	51	43	39	40	47	61								51	64	39	9	
		10	51	52				85	69	58	52	51	55	64	76							39	52	51	10	
		11	61	32					85	74	66	62	65	72	83							29	32	61	11	
		12	65	0						90	80	72	67	65	67	72	80					25	0	65	12	
	13	61	32										65	62	62	66	74	85			29	32	61	13		
	14	51	52										64	55	51	52	58	69	85		39	52	51	14		
	15	39	64										61	47	40	39	43	51	69		51	64	39	15		
	16	26	71										55	35	28	26	27	33	48	84	65	71	26	16		
	17	12	76										40	19	14	12	12	15	22	56	79	76	12	17		
	MAR + SEP	7	14	87			39	21	16	14	15	19	31	76								76	87	14	7	
		8	29	82			66	43	33	29	30	35	47	76								61	82	29	8	
		9	43	77			81	61	50	44	44	48	58	76								47	77	43	9	
		10	57	67				76	65	59	57	59	66	76								33	67	57	10	
		11	69	49					81	74	71	70	72	76	83							21	49	69	11	
		12	76	0						90	85	80	77	76	77	80	85					14	0	76	12	
13		69	49										76	72	70	71	74	81			21	49	69	13		
14		57	67										76	66	59	57	58	66	76		33	67	57	14		
15		43	77										76	58	48	44	43	50	61	81	47	77	43	15		
16		29	82										76	47	35	30	29	33	43	65	61	82	29	16		
17		14	87										76	31	19	15	14	16	21	39	76	87	14	17		
APR + AUG		6	3	101			14	5	4	3	3	4	5	14								87	101	3	6	
		7	17	98			66	31	22	18	18	20	27	51								73	98	17	7	
		8	32	95			82	53	39	33	32	35	44	64								58	95	32	8	
		9	46	92			88	68	55	48	46	49	57	72								44	92	46	9	
		10	61	89				78	69	63	61	63	68	78								29	89	61	10	
		11	75	83				86	81	77	75	76	78	83								15	83	75	11	
	12	86	0							90	86	85	85	85	85	90					4	0	86	12		
	13	75	83										83	78	75	75	77	81	86		15	83	75	13		
	14	61	89										76	66	63	61	63	69	78		29	89	61	14		
	15	46	92				88						72	57	49	46	49	55	69		44	92	46	15		
	16	32	95										64	44	35	32	33	39	53		58	95	32	16		
	17	17	98				66						51	27	20	18	18	22	31		73	98	17	17		
	18	3	101	14									14	5	4	3	3	4	5		87	101	3	18		
	APR + AUG	6	5	109	14		7	5	5	5	6	11	56									86	109	5	6	
		7	19	197	49		28	21	19	20	24	36	73									72	197	19	7	
		8	33	105	68		47	36	33	34	39	52	79									58	105	33	8	
		9	47	104	77		61	51	47	48	53	64	83									44	104	47	9	
10		61	106	81		71	64	61	62	67	75										30	106	61	10		
11		74	114	83		78	76	74	76	80	85										16	114	74	11		
12		84	180	84	84	86	87	89								89	87	86	84		8	180	84	12		
13		74	114	83												85	80	79	74	75	79	16	114	74	13	
14		61	106	81												75	67	62	61	64	71	30	106	61	14	
15		47	104	77												83	64	53	48	47	51	61	44	104	47	15
16		33	105	68												79	52	39	34	33	36	47	58	105	33	16
17		19	107	49												73	36	24	20	19	21	28	72	107	19	17
18		5	109	14												56	11	6	5	5	7	86	109	5	18	
JUN		6	5	113	14		8	6	5	6	8	14										85	113	5	6	
		7	19	111	45		27	21	19	20	25	40	84									71	111	19	7	
		8	33	109	63		45	36	33	35	41	56										58	109	33	8	
		9	46	109	72		58	50	46	49	55	68										44	109	46	9	
	10	60	113	77		68	62	60	62	68	78										30	113	60	10		
	11	73	125	80		75	74	73	76	81											17	125	73	11		
	12	81	180	81	81	84	86	90								90	86	84	81		9	180	81	12		
	13	73	125	80																		17	125	73	13	
	14	60	113	77												78	68	62	60	62	68	30	113	60	14	
	15	46	109	72												68	55	49	46	50	58	44	109	46	15	
	16	33	109	63												56	41	35	33	36	45	58	109	33	16	
	17	19	111	45												84	40	25	20	19	21	27	71	111	19	17
	18	5</																								

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลคุณสมบัติของกระจก ของบริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด (มหาชน)

(ข้อมูลเปรียบเทียบ กระจกความหนา 6 มม.)

Glass Type	Visible Rays		Solar Energy			Relative Heat Gain		U-Value (Summer Daytime)		Shading Coefficient
	R	T	R	T	A	W/m ²	Btu/ft ² hr	W/m ² °C	Btu/ft ² hr °F	
กระจกโฟรทใส (Clear float glass)	7	88	7	88	13	650	206	5.83	1.03	0.96
กระจกโฟรทสีตัดแสง (Heat Absorbing Float Glass)										
กระจกโฟรทสีชาอ่อน	5	38	6	43	51	451	143	6.27	1.10	0.54
กระจกโฟรทสีชาดำ	6	15	6	24	70	359	115	5.71	1.01	0.50
กระจกโฟรทสีฟ้าเข้ม	6	58	6	45	49	478	152	6.21	1.09	0.68
กระจกโฟรทสีเขียวเข้ม	7	72	7	42	42	460	146	6.23	1.10	0.65

หมายเหตุ: R = Reflectance

T = Transmittance

A = Absorption

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค. ค่าการสะท้อนแสงวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ตารางแสดงค่าการสะท้อนแสงหญ้า

ครั้งที่	แสงสะท้อน (Lux)	แสงตกกระทบ (Lux)	ค่าการสะท้อนแสง (%)
1	336	3700	9.08
2	420	4420	9.50
3	429	3770	11.38
4	405	3960	10.23
5	428	4490	9.53
6	461	5860	7.87
7	436	3900	11.18
8	423	3850	10.99
9	404	3830	10.55
10	409	4190	9.76
11	363	4100	8.85
12	336	3650	9.21
13	371	4460	8.32
14	266	3600	7.39
15	303	4090	7.41
16	322	4030	7.99
17	319	4070	7.84
18	303	3860	7.85
19	330	4560	7.24
20	374	4430	8.44
21	405	5350	7.57
22	537	5620	9.56
23	441	5160	8.55
24	457	4460	10.25
25	445	5030	8.85
26	458	4990	9.18
27	489	6200	7.89
28	476	5790	8.22
29	496	6290	7.89
30	409	4210	9.71

8.94

ตารางแสดงค่าการสะท้อนแสงวัสดุพื้น

ครั้งที่	แสงสะท้อน (Lux)	แสงตกกระทบ (Lux)	ค่าการสะท้อนแสง (%)
1	1149	3520	32.64
2	1159	3540	32.74
3	1120	3560	31.46
4	1145	3560	32.16
5	1144	3540	32.32
6	1153	3550	32.48
7	1099	3540	31.05
8	1148	3570	32.16
9	1159	3560	32.56
10	1146	3570	32.10
11	1070	3570	29.97
12	1096	3570	30.70
13	1173	3570	32.86
14	1137	3590	31.67
15	1164	3580	32.51
16	1140	3580	31.84
17	1153	3600	32.03
18	1167	3600	32.42
19	1150	3620	31.77
20	1151	3580	32.15
21	1151	3610	31.88
22	1144	3530	32.41
23	1147	3520	32.59
24	1147	3520	32.59
25	1148	3540	32.43
26	1131	3510	32.22
27	1120	3500	32.00
28	1133	3520	32.19
29	1144	3550	32.23
30	1146	3550	32.28

ทดลองห้อง sky dome

32.08

ตารางแสดงค่าการสะท้อนแสงวัสดุผนัง

ครั้งที่	แสงสะท้อน (Lux)	แสงตกกระทบ (Lux)	ค่าการสะท้อนแสง (%)
1	2080	3510	59.26
2	1918	3490	54.96
3	1987	3500	56.77
4	1940	3480	55.75
5	2000	3500	57.14
6	1900	3500	54.29
7	1960	3500	56.00
8	2000	3460	57.80
9	1940	3440	56.40
10	2000	3470	57.64
11	1960	3440	56.98
12	2020	3450	58.55
13	1980	3440	57.56
14	1760	3460	50.87
15	1940	3450	56.23
16	2020	3460	58.38
17	2000	3440	58.14
18	1920	3460	55.49
19	1960	3440	56.98
20	2020	3470	58.21
21	1920	3460	55.49
22	2030	3450	58.84
23	2050	3480	58.91
24	2040	3470	58.79
25	2020	3460	58.38
26	2040	3490	58.45
27	1890	3480	54.31
28	2040	3500	58.29
29	2050	3500	58.57
30	2050	3510	58.40

1711.82

** ทดลองห้อง sky dome

57.06

ตารางแสดงค่าการสะท้อนแสงวัสดุฝ้าเพดาน(กระดาดขาว)

ครั้งที่	แสงสะท้อน (Lux)	แสงตกกระทบ (Lux)	ค่าการสะท้อนแสง (%)
1	2410	3300	73.03
2	2400	3330	72.07
3	2400	3350	71.64
4	2390	3350	71.34
5	2300	3350	68.66
6	2380	3360	70.83
7	2430	3380	71.89
8	2460	3360	73.21
9	2340	3390	69.03
10	2300	3410	67.45
11	2400	3420	70.18
12	2430	3410	71.26
13	2420	3420	70.76
14	2470	3430	72.01
15	2420	3420	70.76
16	2470	3460	71.39
17	2480	3430	72.30
18	2390	3440	69.48
19	2270	3440	65.99
20	2340	3440	68.02
21	2500	3450	72.46
22	2510	3450	72.75
23	2440	3440	70.93
24	2330	3470	67.15
25	2450	3460	70.81
26	2450	3470	70.61
27	2510	3490	71.92
28	2490	3460	71.97
29	2510	3480	72.13
30	2360	3480	67.82

 70.66

ภาคผนวก ง. ค่า DF. (%) ของกรณีศึกษาที่ 8 ในช่วงเวลาต่างๆ ของทิศหลักทั้ง 4 ทิศ

D.F. ช่องแสงด้านทิศเหนือ 8.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	7.17	7.38	7.80	7.04	5.48	5.30	4.35
1.5	3.92	4.26	4.84	3.75	2.94	2.84	2.55
2.5	2.65	3.08	3.35	2.69	2.51	2.28	2.17
3.5	2.33	2.59	2.84	2.48	2.40	2.27	2.16
4.5	2.36	2.54	2.75	2.55	2.54	2.47	2.26
5.5	2.40	2.48	2.81	2.67	2.66	2.60	2.37
6.5	2.06	2.03	2.34	2.22	2.15	2.24	2.11
7.5	1.30	1.28	1.37	1.36	1.43	1.39	1.41
8.5	0.95	0.96	1.01	1.00	1.03	1.01	1.00
2.5	1.15	1.21	1.25	1.22	1.22	1.20	1.02
2	1.36	1.40	1.43	1.39	1.36	1.33	1.14
1.5	1.50	1.47	1.55	1.48	1.47	1.40	1.22
1	1.57	1.56	1.58	1.53	1.49	1.41	1.25
0.5	1.87	1.81	1.77	1.73	1.69	1.52	1.47

D.F. ช่องแสงด้านทิศเหนือ 10.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	4.3	4.76	5.68	5.78	5.84	5.57	4.82
1.5	2.48	2.34	3.28	3.42	3.43	3.25	2.78
2.5	2.33	2.48	2.92	2.75	2.82	2.56	2.17
3.5	2.38	2.65	2.88	2.75	2.57	2.48	2.12
4.5	2.59	2.88	3	3.03	2.72	2.55	2.25
5.5	2.58	2.78	2.87	2.9	2.69	2.61	2.31
6.5	2.06	2.17	2.4	2.45	2.16	2.19	2.03
7.5	1.4	1.46	1.52	1.55	1.49	1.49	1.39
8.5	1.11	1.16	1.17	1.16	1.16	1.12	1
2.5	0.98	1.03	1.07	1.03	1.07	1.01	0.95
2	1.08	1.14	1.12	1.13	1.1	1.03	0.99
1.5	1.15	1.29	1.29	1.27	1.24	1.15	1.11
1	1.39	1.51	1.5	1.49	1.48	1.39	1.25
0.5	1.5	1.66	1.64	1.59	1.57	1.47	1.35

D.F. ช่องแสงด้านทิศเหนือ 12.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.98	3.16	3.42	3.66	3.32	3.16	2.98
1.5	2.23	2.58	2.8	2.97	2.7	2.58	2.23
2.5	2.05	2.26	2.39	2.5	2.39	2.21	2.08
3.5	2.17	2.36	2.49	2.74	2.49	2.36	2.17
4.5	2.49	2.68	2.98	3.06	2.98	2.68	2.56
5.5	2.36	2.49	2.8	2.96	2.8	2.49	2.36
6.5	1.82	1.89	2.18	2.38	2.18	1.89	1.82
7.5	1.22	1.27	1.4	1.67	1.4	1.28	1.22
8.5	0.98	1.01	1.08	1.19	1.08	1.01	0.98
2.5	1.19	1.37	1.26	1.3	1.26	1.37	1.19
2	1.52	1.34	1.39	1.48	1.39	1.34	1.52
1.5	1.78	1.71	1.75	1.86	1.75	1.71	1.78
1	1.74	1.8	1.81	1.92	1.81	1.8	1.74
0.5	1.83	1.85	1.87	1.98	1.87	1.85	1.83

D.F. ช่องแสงด้านทิศเหนือ 14.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	4.82	5.57	5.84	5.78	5.68	4.76	4.3
1.5	2.78	3.25	3.43	3.42	3.28	2.34	2.48
2.5	2.17	2.56	2.82	2.75	2.92	2.48	2.33
3.5	2.12	2.48	2.57	2.75	2.88	2.65	2.38
4.5	2.25	2.55	2.72	3.03	3	2.88	2.59
5.5	2.31	2.61	2.69	2.9	2.87	2.78	2.58
6.5	2.03	2.19	2.16	2.45	2.4	2.17	2.06
7.5	1.39	1.49	1.49	1.55	1.52	1.46	1.4
8.5	1	1.12	1.16	1.16	1.17	1.16	1.11
2.5	0.95	1.01	1.07	1.03	1.07	1.03	0.98
2	0.99	1.03	1.1	1.13	1.12	1.14	1.08
1.5	1.11	1.15	1.24	1.27	1.29	1.29	1.15
1	1.25	1.39	1.48	1.49	1.5	1.51	1.39
0.5	1.35	1.47	1.57	1.59	1.64	1.66	1.5

D.F. ช่องแสงด้านทิศเหนือ 16.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	7.17	7.38	7.80	7.04	5.48	5.30	4.35
1.5	3.92	4.26	4.84	3.75	2.94	2.84	2.55
2.5	2.65	3.08	3.35	2.69	2.51	2.28	2.17
3.5	2.33	2.59	2.84	2.48	2.40	2.27	2.16
4.5	2.36	2.54	2.75	2.55	2.54	2.47	2.26
5.5	2.40	2.48	2.81	2.67	2.66	2.60	2.37
6.5	2.06	2.03	2.34	2.22	2.15	2.24	2.11
7.5	1.30	1.28	1.37	1.36	1.43	1.39	1.41
8.5	0.95	0.96	1.01	1.00	1.03	1.01	1.00
2.5	1.15	1.21	1.25	1.22	1.22	1.20	1.02
2	1.36	1.40	1.43	1.39	1.36	1.33	1.14
1.5	1.50	1.47	1.55	1.48	1.47	1.40	1.22
1	1.57	1.56	1.58	1.53	1.49	1.41	1.25
0.5	1.87	1.81	1.77	1.73	1.69	1.52	1.47

D.F. ช่องแสงด้านทิศใต้ 8.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.54	2.8	3.03	2.99	2.72	2.32	2.15
1.5	1.47	1.62	1.81	2.06	2.04	1.87	1.7
2.5	1.4	1.38	1.49	1.81	1.67	1.56	1.49
3.5	1.46	1.49	1.6	1.81	1.65	1.58	1.49
4.5	1.27	1.28	1.43	1.56	1.39	1.35	1.24
5.5	0.88	0.86	0.98	1.05	0.96	0.91	0.85
6.5	0.69	0.69	0.76	0.81	0.76	0.73	0.67
7.5	0.61	0.65	0.69	0.71	0.65	0.64	0.58
8.5	0.53	0.56	0.59	0.63	0.55	0.54	0.5
2.5	0.66	0.73	0.75	0.7	0.72	0.74	0.61
2	0.74	0.82	0.84	0.8	0.89	0.84	0.7
1.5	0.65	0.75	0.74	0.76	0.64	0.84	0.74
1	0.81	0.92	0.93	1.01	1.07	1.08	1.03
0.5	0.87	1.03	1.03	1.15	1.22	1.2	1.14

D.F. ช่องแสงด้านทิศใต้ 10.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.12	2.53	2.83	2.93	2.72	2.76	2.42
1.5	1.52	1.76	1.69	1.87	1.93	1.86	1.76
2.5	1.62	1.8	1.77	1.75	1.9	1.92	1.73
3.5	1.58	1.91	1.97	1.91	1.95	1.87	1.66
4.5	1.44	1.78	1.9	1.83	1.86	1.7	1.58
5.5	1.05	1.17	1.25	1.24	1.22	1.11	1.04
6.5	0.79	0.89	0.96	0.92	0.93	0.88	0.86
7.5	0.71	0.77	0.83	0.8	0.78	0.78	0.72
8.5	0.62	0.66	0.74	0.7	0.68	0.6	0.55
2.5	0.73	0.71	0.79	0.82	0.81	0.78	0.69
2	0.78	0.85	0.83	0.84	0.86	0.84	0.74
1.5	0.84	0.93	0.95	0.99	1.04	1.06	0.93
1	1.09	1.15	1.25	1.29	1.35	1.11	1.18
0.5	1.14	1.25	1.41	1.46	1.51	1.12	1.31

D.F. ช่องแสงด้านทิศใต้ 12.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.68	2.92	3.05	3.24	3.05	2.92	2.68
1.5	1.64	1.76	1.86	2	1.83	1.76	1.64
2.5	1.77	1.91	2.08	2.23	2.08	1.91	1.77
3.5	1.84	2.04	2.22	2.34	2.22	2.04	1.89
4.5	1.82	1.96	2.02	2.1	2.02	1.92	1.82
5.5	1.33	1.42	1.48	1.58	1.48	1.42	1.36
6.5	1.16	1.19	1.23	1.32	1.23	1.19	1.16
7.5	1.02	1.05	1.07	1.1	1.07	1.05	1.02
8.5	0.82	0.88	0.92	0.98	0.92	0.88	0.86
2.5	0.62	0.73	0.71	0.76	0.71	0.73	0.62
2	0.72	0.79	0.83	0.88	0.83	0.79	0.72
1.5	0.74	0.79	0.87	0.88	0.87	0.79	0.74
1	1.14	1.21	1.27	1.31	1.27	1.21	1.14
0.5	1.2	1.3	1.29	1.3	1.29	1.3	1.2

D.F. ช่องแสงด้านทิศใต้ 14.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.12	2.53	2.83	2.93	2.72	2.76	2.42
1.5	1.52	1.76	1.69	1.87	1.93	1.86	1.76
2.5	1.62	1.80	1.77	1.75	1.90	1.92	1.73
3.5	1.58	1.91	1.97	1.91	1.95	1.87	1.66
4.5	1.44	1.78	1.90	1.83	1.86	1.70	1.58
5.5	1.05	1.17	1.25	1.24	1.22	1.11	1.04
6.5	0.79	0.89	0.96	0.92	0.93	0.88	0.86
7.5	0.71	0.77	0.83	0.80	0.78	0.78	0.72
8.5	0.62	0.66	0.74	0.70	0.68	0.60	0.55
2.5	0.73	0.71	0.79	0.82	0.81	0.78	0.69
2	0.78	0.85	0.83	0.84	0.86	0.84	0.74
1.5	0.84	0.93	0.95	0.99	1.04	1.06	0.93
1	1.09	1.15	1.25	1.29	1.35	1.11	1.18
0.5	1.14	1.25	1.41	1.46	1.51	1.12	1.31

D.F. ช่องแสงด้านทิศใต้ 16.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.54	2.8	3.03	2.99	2.72	2.32	2.15
1.5	1.47	1.62	1.81	2.06	2.04	1.87	1.7
2.5	1.4	1.38	1.49	1.81	1.67	1.56	1.49
3.5	1.46	1.49	1.6	1.81	1.65	1.58	1.49
4.5	1.27	1.28	1.43	1.56	1.39	1.35	1.24
5.5	0.88	0.86	0.98	1.05	0.96	0.91	0.85
6.5	0.69	0.69	0.76	0.81	0.76	0.73	0.67
7.5	0.61	0.65	0.69	0.71	0.65	0.64	0.58
8.5	0.53	0.56	0.59	0.63	0.55	0.54	0.5
2.5	0.66	0.73	0.75	0.7	0.72	0.74	0.61
2	0.74	0.82	0.84	0.8	0.89	0.84	0.7
1.5	0.65	0.75	0.74	0.76	0.64	0.84	0.74
1	0.81	0.92	0.93	1.01	1.07	1.08	1.03
0.5	0.87	1.03	1.03	1.15	1.22	1.2	1.14

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันตก 8.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	0.97	0.95	0.99	1.09	1.08	1.11	1.15
1.5	0.9	0.92	0.85	1.06	1.09	0.98	0.98
2.5	0.79	0.83	0.85	1.01	0.94	0.94	0.91
3.5	0.83	0.85	0.89	0.97	0.94	0.91	0.87
4.5	0.8	0.83	0.83	0.9	0.86	0.87	0.81
5.5	0.64	0.62	0.63	0.68	0.67	0.65	0.62
6.5	0.52	0.52	0.53	0.55	0.54	0.53	0.49
7.5	0.41	0.41	0.44	0.42	0.42	0.43	0.41
8.5	0.33	0.34	0.36	0.35	0.34	0.35	0.32
2.5	0.43	0.47	0.48	0.46	0.47	0.47	0.43
2	0.44	0.47	0.47	0.5	0.47	0.46	0.42
1.5	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.43
1	0.44	0.51	0.49	0.49	0.49	0.47	0.46
0.5	0.52	0.59	0.61	0.61	0.59	0.56	0.53

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันตก 10.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	1.3	1.25	1.31	1.34	1.32	1.33	1.21
1.5	1.25	1.26	1.19	1.26	1.21	1.12	0.93
2.5	1.15	1.14	1.1	1.17	1.13	1.06	0.93
3.5	1.14	1.11	1.12	1.18	1.12	1.07	0.94
4.5	0.9	1.14	1.16	1.21	1.15	1.08	0.95
5.5	0.77	0.9	0.93	0.95	0.9	0.86	0.79
6.5	0.65	0.74	0.8	0.82	0.79	0.74	0.7
7.5	0.49	0.64	0.68	0.69	0.67	0.63	0.6
8.5	0.46	0.48	0.51	0.53	0.5	0.48	0.41
2.5	0.59	0.63	0.64	0.55	0.55	0.55	0.52
2	0.6	0.63	0.65	0.56	0.56	0.56	0.52
1.5	0.64	0.69	0.7	0.64	0.62	0.62	0.6
1	0.65	0.69	0.68	0.64	0.63	0.63	0.6
0.5	1.03	0.99	0.99	0.96	0.93	0.91	0.86

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันตก 12.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	1.94	2.09	2.13	2.14	2.11	2.09	1.89
1.5	1.67	1.78	1.94	1.95	1.72	1.59	1.42
2.5	1.55	1.73	1.84	1.81	1.73	1.55	1.44
3.5	1.48	1.75	1.86	1.89	1.79	1.68	1.51
4.5	1.28	1.57	1.68	1.68	1.59	1.42	1.29
5.5	0.99	1.21	1.24	1.28	1.21	1.09	1.01
6.5	0.82	0.99	1.01	1.02	0.96	0.89	0.83
7.5	0.68	0.78	0.81	0.80	0.75	0.72	0.68
8.5	0.57	0.65	0.68	0.68	0.66	0.62	0.58
2.5	0.68	0.78	0.78	0.77	0.76	0.76	0.66
2	0.70	0.79	0.81	0.80	0.79	0.76	0.67
1.5	0.77	0.93	0.93	0.89	0.85	0.84	0.75
1	0.77	0.92	0.94	0.91	0.89	0.86	0.76
0.5	0.84	0.95	0.98	0.95	0.94	0.91	0.76

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันตก 14.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.24	2.44	2.71	2.93	2.98	2.73	2.67
1.5	1.9	2.29	2.59	2.56	2.66	2.1	1.96
2.5	1.8	2.14	2.58	2.55	2.68	2.27	2
3.5	1.93	2.43	2.82	2.97	2.81	2.51	2.19
4.5	2.29	3	3.26	3.16	3.12	2.87	2.36
5.5	1.59	2.08	2.21	2.04	1.9	1.79	1.58
6.5	1.15	1.46	1.55	1.45	1.43	1.34	1.15
7.5	0.95	1.01	1.12	1.01	1	0.99	0.94
8.5	0.83	0.91	0.97	0.95	0.94	0.88	0.86
2.5	1.04	1.24	1.29	1.28	1.23	1.17	0.99
2	1.01	1.26	1.26	1.21	1.15	1.08	0.99
1.5	1.27	1.21	1.74	1.65	1.5	1.41	0.98
1	1.26	1.48	1.55	1.51	1.45	1.32	0.92
0.5	1.13	1.48	1.5	1.43	1.36	1.17	1

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันตก 16.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	4.02	4.2	4.39	4.89	4.7	3.81	3.4
1.5	3.54	3.64	3.8	4.08	3.91	3.63	2.87
2.5	3	3.42	3.66	3.5	3.35	3.21	2.5
3.5	2.8	3.13	3.3	3.28	3.12	2.88	2.28
4.5	2.69	2.95	3.08	3.1	2.95	2.67	1.96
5.5	1.95	2.12	2.16	2.35	2.13	1.94	1.37
6.5	1.45	1.54	1.62	1.74	1.57	1.37	1.14
7.5	1.17	1.23	1.31	1.44	1.32	1.14	0.97
8.5	1.04	1.05	1.24	1.33	1.25	1.07	0.89
2.5	1.36	1.48	1.64	1.41	1.67	1.54	1.35
2	1.26	1.34	1.39	1.41	1.42	1.34	1.27
1.5	2.13	2.37	2.38	2.47	2.34	2.08	1.8
1	2.1	2.27	2.38	2.69	2.24	1.98	1.73
0.5	1.55	1.68	1.76	1.78	1.73	1.66	1.54

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันออก 8.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	4.02	4.2	4.39	4.89	4.7	3.81	3.4
1.5	3.54	3.64	3.8	4.08	3.91	3.63	2.87
2.5	3	3.42	3.66	3.5	3.35	3.21	2.5
3.5	2.8	3.13	3.3	3.28	3.12	2.88	2.28
4.5	2.69	2.95	3.08	3.1	2.95	2.67	1.96
5.5	1.95	2.12	2.16	2.35	2.13	1.94	1.37
6.5	1.45	1.54	1.62	1.74	1.57	1.37	1.14
7.5	1.17	1.23	1.31	1.44	1.32	1.14	0.97
8.5	1.04	1.05	1.24	1.33	1.25	1.07	0.89
2.5	1.36	1.48	1.64	1.41	1.67	1.54	1.35
2	1.26	1.34	1.39	1.41	1.42	1.34	1.27
1.5	2.13	2.37	2.38	2.47	2.34	2.08	1.8
1	2.1	2.27	2.38	2.69	2.24	1.98	1.73
0.5	1.55	1.68	1.76	1.78	1.73	1.66	1.54

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันออก 10.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	2.24	2.44	2.71	2.93	2.98	2.73	2.67
1.5	1.9	2.29	2.59	2.56	2.66	2.1	1.96
2.5	1.8	2.14	2.58	2.55	2.68	2.27	2
3.5	1.93	2.43	2.82	2.97	2.81	2.51	2.19
4.5	2.29	3	3.26	3.16	3.12	2.87	2.36
5.5	1.59	2.08	2.21	2.04	1.9	1.79	1.58
6.5	1.15	1.46	1.55	1.45	1.43	1.34	1.15
7.5	0.95	1.01	1.12	1.01	1	0.99	0.94
8.5	0.83	0.91	0.97	0.95	0.94	0.88	0.86
2.5	1.04	1.24	1.29	1.28	1.23	1.17	0.99
2	1.01	1.26	1.26	1.21	1.15	1.08	0.99
1.5	1.27	1.21	1.74	1.65	1.5	1.41	0.98
1	1.26	1.48	1.55	1.51	1.45	1.32	0.92
0.5	1.13	1.48	1.5	1.43	1.36	1.17	1

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันออก 12.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	1.94	2.09	2.13	2.14	2.11	2.09	1.89
1.5	1.67	1.78	1.94	1.95	1.72	1.59	1.42
2.5	1.55	1.73	1.84	1.81	1.73	1.55	1.44
3.5	1.48	1.75	1.86	1.89	1.79	1.68	1.51
4.5	1.28	1.57	1.68	1.68	1.59	1.42	1.29
5.5	0.99	1.21	1.24	1.28	1.21	1.09	1.01
6.5	0.82	0.99	1.01	1.02	0.96	0.89	0.83
7.5	0.68	0.78	0.81	0.80	0.75	0.72	0.68
8.5	0.57	0.65	0.68	0.68	0.66	0.62	0.58
2.5	0.68	0.78	0.78	0.77	0.76	0.76	0.66
2	0.70	0.79	0.81	0.80	0.79	0.76	0.67
1.5	0.77	0.93	0.93	0.89	0.85	0.84	0.75
1	0.77	0.92	0.94	0.91	0.89	0.86	0.76
0.5	0.84	0.95	0.98	0.95	0.94	0.91	0.76

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันออก 14.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	1.3	1.25	1.31	1.34	1.32	1.33	1.21
1.5	1.25	1.26	1.19	1.26	1.21	1.12	0.93
2.5	1.15	1.14	1.1	1.17	1.13	1.06	0.93
3.5	1.14	1.11	1.12	1.18	1.12	1.07	0.94
4.5	0.9	1.14	1.16	1.21	1.15	1.08	0.95
5.5	0.77	0.9	0.93	0.95	0.9	0.86	0.79
6.5	0.65	0.74	0.8	0.82	0.79	0.74	0.7
7.5	0.49	0.64	0.68	0.69	0.67	0.63	0.6
8.5	0.46	0.48	0.51	0.53	0.5	0.48	0.41
2.5	0.59	0.63	0.64	0.55	0.55	0.55	0.52
2	0.6	0.63	0.65	0.56	0.56	0.56	0.52
1.5	0.64	0.69	0.7	0.64	0.62	0.62	0.6
1	0.65	0.69	0.68	0.64	0.63	0.63	0.6
0.5	1.03	0.99	0.99	0.96	0.93	0.91	0.86

D.F. ช่องแสงด้านทิศตะวันออก 16.00 น.

	A	B	C	D	E	F	G
0.5	0.97	0.95	0.99	1.09	1.08	1.11	1.15
1.5	0.9	0.92	0.85	1.06	1.09	0.98	0.98
2.5	0.79	0.83	0.85	1.01	0.94	0.94	0.91
3.5	0.83	0.85	0.89	0.97	0.94	0.91	0.87
4.5	0.8	0.83	0.83	0.9	0.86	0.87	0.81
5.5	0.64	0.62	0.63	0.68	0.67	0.65	0.62
6.5	0.52	0.52	0.53	0.55	0.54	0.53	0.49
7.5	0.41	0.41	0.44	0.42	0.42	0.43	0.41
8.5	0.33	0.34	0.36	0.35	0.34	0.35	0.32
2.5	0.43	0.47	0.48	0.46	0.47	0.47	0.43
2	0.44	0.47	0.47	0.5	0.47	0.46	0.42
1.5	0.45	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.43
1	0.44	0.51	0.49	0.49	0.49	0.47	0.46
0.5	0.52	0.59	0.61	0.61	0.59	0.56	0.53

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอิวิรุทธ์ อรุพงษ์ เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2519 กรุงเทพมหานคร เข้ารับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสาธิต มศว. ปทุมวัน สำเร็จการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปี 2540 และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย