แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาและเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท

นางสาว ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0686-3

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN APPROACH TO IMPROVE VISUAL COMFORT IN CLASSROOM FOR RURAL AREAS

Miss Tippawan Tangpoonsupsiri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 947-17-0686-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตา และเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท
โดย	นางสาวทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ
ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต

……

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

……อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์พิรัส พัชรเศวต)

……อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญธิการ)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญน์)

……กรรมการ
(อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ : แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาและเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท (An Approach to Improve Visual Comfort in Classroom for Rural Areas) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ พิรัส พัชรเศวต อ. ที่ปรึกษาร่วม : ศาสตราจารย์. ดร. สุนทร บุญญาธิการ , 239 หน้า ISBN 974-17-0686-3

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยร่วมของโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือประเทศไทย

การออกแบบห้องเรียนทั่วไปมีการจัดวางหน้าต่างตามแนวยาวของห้อง ทำให้มีปัญหาแสงจ้าจากแสงแดดตรงบริเวณใกล้หน้าต่างและทิศทางการมองผ่านหน้าต่างของครูและนักเรียน สถาปนิกจึงนิยมออกแบบยื่นชายคายาวเพื่อป้องกันแสงแดดตรงส่องผ่านหน้าต่างและช่วยลดแสงจ้าจากท้องฟ้า แต่วิธีนี้ทำให้ระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนลดลง และมีการแผ่รังสีความร้อนจากกันสาดเข้ามาห้อง

วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อขจัดปัญหาแสงจ้าจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติและดวงโคมแสงไฟฟ้าภายในอาคาร เพื่อให้การมองเห็นภายในห้องเรียนมีความสบายตา

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการเปรียบเทียบรูปแบบช่องเปิดต่างๆ เพื่อลดปัญหาแสงจ้าโดยอาศัยหุ่นจำลองห้องเรียนที่มีรูปแบบหน้าต่าง 5 แบบแบ่งออกเป็น12 กรณีศึกษา ทำการทดลองกับ (1)สภาพท้องฟ้าจริง และเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น. ทุกๆ 2 ชั่วโมง (2) ทดลองวิธีติดตั้งกระดานไวท์บอร์ดในห้องเรียนไม่ให้มีแสงจ้าสะท้อนเข้าตานักเรียน โดยติดตั้งกระดานเอียงเป็นมุมต่างภายในหุ่นจำลอง (3) ทดสอบตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าที่ทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าสะท้อนเข้าตานักเรียนขณะเขียนหรืออ่านหนังสือที่โต๊ะเรียนโดยใช้หลักการมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

ผลการวิจัยพบว่า หน้าต่างของกรณีศึกษาที่ 8 ให้ความสบายตาในการมองเห็นมากที่สุด เนื่องจากมีการเอียงกระจกหน้าต่างทำมุมกับระนาบตั้ง 15 องศา ทำให้มีมุมมองเห็นท้องฟ้าลดลงจึงมีความสว่างที่หน้าต่างอยู่ในระดับที่ตายอมรับได้ ส่งผลให้มีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างน้อยกว่ากรณีอื่นๆ เพราะมีการเอียงฝ้าเพดานบริเวณใกล้หน้าต่างให้จรดวงกบหน้าต่างทำให้มีการไล่ลำดับความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่าง และการวิจัยการติดตั้งกระดานไวท์บอร์ดที่ปรับเอียงมุม 5 องศาให้สอบเข้าด้านบน เพื่อหลบแสงจ้าสะท้อนที่อยู่ในมุมวิกฤติ (25 องศา)ที่กระดานไม่ให้เข้าตานักเรียนได้เช่นเดียวกับการปรับหน้าโต๊ะเรียนเอียง 5 องศา และการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าที่กระดานต้องใช้เกล็ดบังแสงไม่ให้มีแสงตกกระทบที่กระดานโดยตรง เช่นเดียวกับการติดตั้งดวงโคมให้แสงภายในห้องเรียนต้องไม่อยู่ในระยะที่ทำให้เกิดแสงสะท้อนที่โต๊ะเรียนเข้าตานักเรียน และการนำห้องเรียนแบบใหม่ที่มีหน้าต่างแบบกรณีศึกษาที่ 8 ไปประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบนแล้ว ทำให้ความสว่างภายในห้องเรียนเพิ่มขึ้นช่วยลดความเปรียบต่างความสว่างจ้าระหว่างภายในห้องเรียนกับภายนอกได้ ดังนั้นการมองออกไปภายนอกห้องผ่านหน้าต่างนี้จึงมีความสบายตามากขึ้น

สรุปว่าการวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมาก เพื่อให้ผู้ออกแบบนำแนวคิดการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาในการออกแบบห้องเรียน เพื่อให้ได้สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนไม่มีแสงจ้าทั้งที่เกิดจากแสงธรรมชาติและแสงไฟฟ้า ซึ่งแนวคิดนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากหากเข้าใจถึงต้นเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไขอย่างถูกต้อง

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ **ลายมือชื่อนิสิต** .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....

ปีการศึกษา 2544 **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** .....

4374136325 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD; GLARE / CONTRAST BRIGHTNESS RATIO / VISUAL COMFORT FOR CLASSROOM

TIPPAWAN TANGPOONSUPSIRI ; AN APPROACH TO IMPROVE VISUAL COMFORT IN CLASSROOM.IN RURAL AREAS THESIS ADVISOR ; PIRUS PATCHARASAWATE , THESIS CO-ADVISOR ; PROFESSOR Dr. SOONTORN BOONYATIKARN , 200 pp. ISBN 974-17-0686-3

This thesis is a part of a group research of non- air conditioned elementary school design in northeastern Thailand as a main theme

In designing a classroom, a problem that arises is direct sunlight interfering with teaching in areas near windows. The problem is the result of positioning windows alongside the long side of the room. To solve this problem, architects have designed a sunshade to prevent direct sunlight entering through windows. However, this solution also results in a decrease in illumination within the classroom. This study is therefore aimed at seeking an approach to improve visual comfort and, at the same time, provide sufficient illumination in classrooms.

The research started by studying classrooms problem caused by either direct sun or artificial light sources. Then a solution was found by changing the position of the windows from the long side of the room to the narrow side. Five different types of windows were designed and installed for 12 case studies to find the most suitable window type to alleviate the glare , yet not decrease illumination in the classroom. The study employed model classrooms with different window types to test the contrast brightness ratio at the window and wall surrounding the window. A whiteboard in the classroom was also tested to find ways to solve the problem of reflected glare on the board from natural light. The tests were conducted during teaching hours from 8.00 a.m. - 4.00 p.m. A study was also conducted on the positioning of lamps to control reflected glare.

From the 12 case studies, it was found that the window type in case study number 8 was most suitable as it can reduce the ratio of contrast brightness at the window and the surrounding wall. When used in conjunction with clerestory, the illumination level in the room is sufficient almost throughout the day without the need to use artificial lights, especially when the windows are positioned on the north side of the room. In addition, the installation of the whiteboard should be tilted at the top so as to reduce the reflected glare.

This study concludes that the positioning of windows on the narrow side of the classroom will prevent glare which may distract student attention from the lesson to the outside. The tilting of the window in case study number 8 helps reduce the differences between the outside and inside glare, so looking out through the window is more comfortable to the eyes. When clerestory is employed, the illumination level in the room increases The whiteboard must be tilted 5 degrees at the top help reduce the reflected glare. However, the application of clerestory must be used with a sunblind to obstruct sun light from above so it will not fall on the whiteboard causing a reflected glare. Also, the installation of artificial lamps must not be where light reflecting on the desks can reflect to the eyes at a critical angle of 25 degrees.

Department / Program Architecture Student's signature .....

Field of study Architecture Advisor's signature .....

Academic year 2001 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์พิรัส พัชรเศวต อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดอกเตอร์ วรสัณฑ์ บูรณาการ ซึ่งท่านให้คำแนะนำและข้อคิดในการวิจัยที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณคมกริช ชูเกียรติมั่น และ คุณทศพร นามเทพ ซึ่งเป็นผู้ที่มีส่วนในการให้คำแนะนำการวิจัยโดยละเอียด

ขอขอบคุณน้องเป็บเปอร์มิ้นท์ น้องเรนเดีย น้องอบเชย น้องยศที่ช่วยวัดแสงและให้ความร่วมมืออย่างดีในการวิจัย

ขอขอบคุณจักรพันธ์ วิลาสินีกุล ที่ช่วยวัดแสงและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดา และพี่น้อง ที่ให้กำลังใจและความห่วงใยตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง จ

สารบัญรูปภาพ ฉ

สารบัญแผนภูมิ ช

การวิจัยร่วมโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 4

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

1.7 วิธีการดำเนินวิจัย 7

2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 คลื่นแสงและการมองเห็น 12

2.2 ความสัมพันธ์ของแสงกับการมองเห็น 15

2.3 แหล่งกำเนิดแสง 23

2.4 สีและแสง 40

2.5 หน่วยที่ใช้ในการวัดความสว่าง 40

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง 42

2.7 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงธรรมชาติ 49

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 52

3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 58

3.2 การวัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวต่างๆภายในห้องเรียน 60

3.3 หุ่นจำลองและวิธีการวัดแสง 60

3.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดแสงภายในหุ่นจำลอง 64

สารบัญ(ต่อ)

3.5 การถ่ายภาพภายในหุ่นจำลอง 64

4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างและออกแบบห้องเรียนตัวอย่างจำลอง 65

4.2 ขั้นตอนการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ 76

4.3 ผลการทดลองห้องเรียนแบบใหม่และวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง 87

5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปของการวิจัย 169

5.2 การนำไปประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบน 177

5.3 ข้อเสนอแนะ 180

รายการอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. 184

ภาคผนวก ข. 223

ภาคผนวก ค. 233

ประวัติผู้เขียน 239

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงความยาวคลื่นของสเปคตรัมของแสงที่มองเห็นได้ 13

2.2 แสดงอัตราส่วนความจ้าระหว่างชิ้นงานกับพื้นที่ที่อยู่ใกล้เคียง 19

2.3 แสดงเวลามาตรฐานตามเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน 32

2.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการส่องสว่างจากแสงธรรมชาติ 39

2.5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการส่องสว่างจากแสงไฟฟ้าภายในห้องเรียน 39

2.6 แสดงค่าประมาณเดย์ไลท์แฟคเตอร์สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ 49

4.1 แสดงผลการทดลองห้องเรียนตัวอย่างทิศเหนือ 74

4.2 แสดงผลการทดลองรูปแบบหน้าต่าง 5 รูปแบบ เวลา 12.00 น ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง 121

4.3 แสดงผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 ทั้ง 4 ทิศ 147

4.4 แสดงผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน ท้องฟ้าโปร่ง ทั้ง 4 ทิศ 196

5.1 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบห้องเรียนตัวอย่างกับกรณีศึกษาที่ 8 172

5.2 ตารางสรุปผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 ทั้ง 4 ทิศ 173

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่		
2.1	แสดงสเปคตรัมของแสง	12
2.2	แสดงหน้าตัดของลูกนัยน์ตา	14
2.3	แสดงขอบเขตการมองของตาทั้ง 2 ข้างในระนาบตั้งและระนาบนอน	15
2.4	แสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นงานและเวลาในการมองเห็นเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความส่องสว่าง	20
2.5	แสดงระดับความจ้าที่ตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน	20
2.6	แสดงมุมมองขณะนั่งเรียนหนังสือ	21
2.7	แสดงการกระทำของแสงกับพื้นผิววัสดุ	23
2.8	แสดงมุมมตกกระทบของแสงเท่ากับมุมสะท้อน	24
2.9	แสดงการดูดกลืนแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง	24
2.10	แสดงการทะลุผ่านตัวกลางของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลางในแนวระดับ	25
2.11	แสดงการหักเหของแสงเมื่อวิ่งผ่านตัวกลาง	26
2.12	แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky	26
2.13	แสดง Bearing Angle	28
2.14	แสดงท้องฟ้าแบบ Overcast	30
2.15	แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมอัลติจุดและมุมอธซิมูล	31
2.16	แสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ที่วันเวลาต่างๆ	31
2.17	แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์และมุมดีคลีเนชั่น	36
2.18	แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยวัดแสงสว่างในรูปของฟุตอคนเดิลและลักซ์	41
2.19	แสดงปริมาณการส่องสว่างที่จะลดลงเมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงผกผันเป็นระยะทางกำลังสอง	42
2.20	แสดงกำละงส่องสว่างเป็นปฏิภาคโดยตรงกับโคซานย์	43
2.21	แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธีลูเมน	47
2.22	แสดงลักษณะผลรวมของเดยไลท์แฟคเตอร์	48
2.23	แสดงการสะท้อนแสงของสีต่างๆในห้องเรียน	54
2.24	แสดงการไล่ระดับความเปรียบต่างที่หน้าต่างด้วยการลบมุมที่ขอบรอบหน้าต่าง	56
2.25	แสดงการเอียงกระจกหน้าต่างและฝ้าเพดานเพื่อลดความเปรียบต่างความสว่าง	56
3.1	แสดงเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	58
3.2	แสดงวิธีจัดตั้งลักซ์มิเตอร์ที่ใช้วัดแสงภายนอกดดยไม่รวมรังสีตรงจากดวงอาทิตยี	59
3.3	แสดงการวัดค้าการสะท้อนแสงของวัสดุ	60
3.4	แสดงผังพื้นแสดงจุดที่ทำการวัดปริมาณแสงในระนาบนอน	62
3.5	แสดงระดับความสูงที่ใช้งาน	62

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

3.6 แสดงจุดที่ทำการวัดแสงในแนวตั้ง(บริเวณหน้าต่าง) 62

3.7 แสดงการหัน Probe ออกไปภายนอกห้องเรียนเพื่อวัดแสงในแนวตั้งที่หน้าต่าง 63

3.8 แสดงจุดที่ทำการวัดแสงในแนวตั้ง(บริเวณกระดาน) 63

3.9 แสดงจุดที่ทำการวัดแสงในแนวตั้งระดับตานักเรียนที่กระดาน 63

3.10 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงภายในหุ่นจำลองทั้งระนาบนอนและระนาบตั้ง 64

3.11 แสดงการใช้ผ้าดำทึบแสงคลุมหุ่นจำลองขระทำการถ่ายภาพ 64

4.1 ภาพถ่ายห้องเรียนตัวอย่างที่ทำการสำรวจ 69

4.2 ขนาดและรูปแบบหน้าต่างห้องเรียนตัวอย่างจำลอง 71

4.3 ภาพถ่ายภายในห้องเรียนจำลอง 71

4.4 แสดงความสว่างจ้าที่หน้าต่าง(fL) และแสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 นงท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 72

4.5 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับบริเวณที่ห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 73

4.6 ภาพถ่ายภายในห้องเรียนตัวอย่างที่หน้ากระดาน 74

4.7 แสดงแปลนและรูปตัดห้องเรียนแบบใหม่ 78

4.8 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1 และ2 80

4.9 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3และ4 81

4.10 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 3กรณีศึกษาที่ 5 และ6 82

4.11 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 4 กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ9 83

4.12 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 5 กรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12 85

4.13 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 1 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 88

4.14 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 1 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 88

4.15 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 2กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 89

4.16 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 2 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 90

4.17 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 94

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

4.18 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 95

4.19 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 4กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 95

4.20 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 4 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 96

4.21 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 5กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 100

4.22 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 5 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 101

4.23 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 6กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 101

4.24 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 6 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 102

4.25 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 7กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 106

4.26 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 7 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 107

4.27 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 108

4.28 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 108

4.29 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 9กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 109

4.30 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 9 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 108

4.31 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 10 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 113

4.32 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 10 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 114

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

4.33 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 114

4.34 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 115

4.35 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 12 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 115

4.36 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 12 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 116

4.37 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 123

4.38 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 123

4.39 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 124

4.40 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้ากรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 124

4.41 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 125

4.42 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศเหนือ 125

4.43 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ทิศใต้ 129

4.44 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศใต้ 129

4.45 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ทิศใต้ 130

4.46 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้ากรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศใต้ 130

4.47 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ทิศใต้ 131

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

4.48 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศใต้ 131

4.49 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ทิศตะวันออก 135

4.50 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศตะวันออก 135

4.51 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ทิตะวันออก 136

4.52 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้ากรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ตะวันออก 136

4.53 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ทิศตะวันออก 137

4.54 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศตะวันออก 137

4.55 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ทิศตะวันตก 141

4.56 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศตะวันตก 141

4.57 แสดงอัตราส่วนความเปรียบ ต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ทิศตะวันตก 142

4.58 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้ากรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศตะวันตก 142

4.59 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ทิศตะวันตก 143

4.60 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น ทิศตะวันตก 143

4.61 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีไม่ปรับเอียงกระดาน 158

4.62 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาสอบบน 158

4.63 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องสาสอบล่าง 159

4.64 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบบน 159

4.65 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบ 159

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

4.66 แสดงภาพถ่ายกรณีช่องแสงด้านข้างกับการเกิดแสงจ้าสะท้อน 160
4.67 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีไม่ปรับเอียงกระดาน 161
4.68 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาสอบบน 161
4.69 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องสาสอบล่าง 162
4.70 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบบน 162
4.71 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบ 163
4.72 แสดงภาพถ่ายกรณีช่องแสงด้านบนกับการเกิดแสงจ้าสะท้อน 163
4.73 แสดงช่องแสงด้านข้างและด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาสอบบน 164
4.74 แสดงการติดตั้งดวงโคมให้แสงที่กระดานแบบห้อยฝ้า 165
4.75 แสดงการติดตั้งดวงโคมให้แสงเหนือกระดานโดยใช้เกล็ดบังแสง 165
4.76 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเรียบ 166
4.77 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเอียง 167
5.1 แสดงผังห้องเรียนแบบใหม่และหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 170
5.2 แสดงการมองเห็นของครูไปยังกระดานหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 171
5.3 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของแสงธรรมชาติผ่านหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 174
5.4 แสดงการเอียงกระดาน 5 องสาที่ลดปัPหาแสงจ้าสะท้อนได้ 175
5.5 แสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมที่กระดานเพื่อหลีกเลี่ยงแสงที่ตกกระที่กระดาน 175
5.6 แสดงการติดตั้งดวงโคมกับโต๊ะเรียนผิวหน้าเรียบที่ทำให้เกิดเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุ 175
5.7 แสดงการติดตั้งดวงโคมกับโต๊ะเอียง 5 องศาผิวหน้าเรียบที่ทำให้เกิดเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุ 176
5.8 แสดงการใช้อุปกรณ์บังแสงจากช่องแสงด้านบน เพื่อป้องกันการเกิดแสงจ้าสะท้อน 179

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่

4.1 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ เวลา 8.00, 12.00 และ16.00 น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 72

4.2 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบตั้งเวลา 8.00, 12.00 และ16.00 น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 73

4.3 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 1 และ 2เวลา 8.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 90

4.4 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 1 และ 2เวลา 12.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 91

4.5 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 1 และ 2เวลา 16.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 91

4.6 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3 และ 4เวลา 8.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 96

4.7 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3 และ 4เวลา 12.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 97

4.8 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3 และ 4เวลา 16.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 97

4.9 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 5 และ 6เวลา 8.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 102

4.10 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 5 และ 6เวลา 12.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 103

4.11 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 5 และ 6เวลา 16.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 103

4.12 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9เวลา 8.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 109

4.13 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9เวลา 12.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 110

4.14 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9เวลา 16.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 110

4.15 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12เวลา 8.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 116

4.16 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12เวลา 12.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 117

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

4.17 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12เวลา 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 126

4.18 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 126

4.19 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 127

4.20 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 132

4.21 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้ 132

4.22 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้ 133

4.23 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้ 138

4.24 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก 138

4.25 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก 139

4.26 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก 144

4.27 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก 144

4.28 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก 145

4.29 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 และ 4เวลา 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก 145

4.30 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 151

4.31 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 151

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

4.32 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ 152

4.33 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้ 152

4.34 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้ 153

4.35 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้ 153

4.36 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก 154

4.37 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก 154

4.38 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก 155

4.39 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 8.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก 155

4.40 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก 156

4.41 แสดงการเปรียบเทียบเดย์ไลท์แฟคเตอร์ ระนาบนอนกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้าบบน 16.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก 156

4.42 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเรียบ 166

4.43 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเอียง 167

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยร่วมโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยร่วมเพื่อสร้างเป็นโรงเรียนต้นแบบไม่ปรับอากาศสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบด้วย

เทคนิคการออกแบบส่วนของอาคารและการเลือกใช้วัสดุ โดยมีแนวคิดในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุต่างๆของอาคารเพื่อการนำประโยน์จากธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างสูงสุด ซึ่งแบ่งเป็น

- การพัฒนารูปแบบและระบบการไหลเวียนอากาศของหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร (อภิธัช พรหมสิริแสง, 2544)
- การพัฒนาผนังวัสดุธรรมชาติพื้นถิ่นเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายในอาคาร กรณีศึกษา อาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประเทศไทย (ชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2544)
- การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน (ไพบูลย์ วังรุ่งเรืองกิจ, 2544)

เทคนิคการออกแบบด้านแสงสว่างและการมองเห็น โดยมีแนวคิดในการออกแบบโดยแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงความสบายทางการมองเห็นเพื่อให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งเป็น

- การใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงด้านข้างส่วนบนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในห้องเรียนในชนบท (อวิรุทธ์ อุรุพงศา, 2544)
- การจัดวางแสงประดิษฐ์ให้สัมพันธ์กับผังห้องเรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (อานิก สกุลญานนท์วิทยา, 2544)
- แนวทางการปรับปรุงคุณภาพของแสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาและเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนในชนบท (ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ, 2544)

เทคนิคการออกแบบเพื่อการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยนำปัจจัยธรรมชาติมาใช้ในการปรับสภาพแวดล้อมเพื่อเพิ่มช่วงเวลาที่อยู่ในสภาวะสบายของที่ตั้งอาคารให้มากขึ้น ประกอบด้วย

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

เทคนิคการประเมินอาคาร ประกอบด้วย

- การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานขงกรอบอาคาร (สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ, 2544)
- การเปรียบเทียบทางเลือกการสร้างสภาวะน่าสบายทางด้านความร้อนในห้องเรียนไม่ปรับอากาศ (รุจิยา มุสิกะลักษณ์,2544)
- ดัชนีพลังงานสะสมรวมของอาคารและวัสดุก่อสร้างในช่วงการก่อสร้างและรื้อถอน (พิมลมาศ วรรณคนาพล, 2544)
- แนวทางในการประเมินค่าเสียงในอาคารเรียนระดับประถมศึกษา (จันสอน สุลิวง, 2544)

การออกแบบโรงเรียนท้องถิ่นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยวิธีการธรรมชาติ (นรากร พุทธโฆษ์, 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, consists of:

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

- THE DELELOPEMENT 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 EVAPOLATION 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

ความส่องสว่างของแสง (Illumination) มีบทบาทสำคัญต่อการมองเห็นของมนุษย์ และเนื่องมาจากพัฒนาการส่วนใหญ่ของมนุษย์ขึ้นอยู่กับแสงธรรมชาติและแสงแดดทำให้ตาของมนุษย์มีความสามารถในการรับรังสีของแสงที่อยู่ในช่วงของการมองเห็นได้ จึงไม่น่าแปลกใจเลยที่ขอบเขตการมองเห็นของตามีความใกล้เคียงกับขอบเขตของสเปคตรัมของแสงอาทิตย์ เมื่อดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่ให้ความส่องสว่างกับสิ่งต่างๆ บนโลกและตาของมนุษย์มีเซลล์ในการรับแสง ดังนั้นความส่องสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบวัตถุและมีการสะท้อน (Reflection)หรือการส่งผ่าน (Transmission) ของแสงบนพื้นผิวของวัตถุเข้าสู่ตาหรือที่เรียกว่า “ความสว่างจ้า (Brightness)”นี้ ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นวัตถุนั้นได้ ดังนั้นความสว่างจ้าของแสงบนพื้นผิวของวัตถุต่างๆ จึงมีความสำคัญต่อการมองเห็นของมนุษย์ จากผลการศึกษาวิจัย Sight, Light, and Efficiency ของWeston, 1949 พบว่า ระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) มีผลต่อความชัดเจนในการมองเห็น (Visual acuity) และมีผลต่อสมรรถนะในการมองเห็น(Visual Performance) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ระดับความส่องสว่างยังมีผลโดยตรงกับความสว่างจ้าของแสงทำให้การมองเห็นของตาต้องมีการปรับตา (Eye Adaptation) กับความสว่างจ้า (Brightness) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะกับของการมองเห็น(Visual Range) ซึ่งเป็นการช่วยบรรเทาปัญหาของแสงจ้า(Glare)ที่เกิดจากความสว่างจ้ามากเกินไปในสนามแห่งการมอง(Visual Field) ดังนั้นในการออกแบบให้มีระดับความส่องสว่างและมีความสว่างจ้าที่เหมาะสมในการมองเห็น จึงนำไปสู่ความสบายตาหรือวิสัยทัศน์ที่ดีในการมองเห็น (Visual Comfort)

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปี พ.ศ. 2539 องค์การยูเนสโก้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยกับคณะกรรมการกองออกแบบและก่อสร้าง กรมสามัญศึกษา เพื่อทำการประเมินผลอาคารเรียนต้นแบบที่มีการก่อสร้างในปี 2532 และมีการใช้งานในช่วงเวลาหนึ่ง ผลการประเมินสรุปว่า การใช้ห้องเรียนตามแบบของกรมสามัญศึกษาที่ใช้อยู่ทั่วไปทั้งในเมืองและชนบทยังขาดการพัฒนาให้เหมาะสมกับวิธีการเรียนการสอนในปัจจุบันที่มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีและการสื่อสาร นอกจากนี้โรงเรียนในชนบทบางแห่งอยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ จึงขอให้ปรับปรุงการออกแบบการให้แสงภายในห้องเรียน โดยให้ใช้แสงธรรมชาติในการให้ความสว่างภายในห้องเรียนแทนการใช้แสงไฟฟ้า และการใช้แสงธรรมชาตินอกจากจะประหยัดแล้วยังช่วยสร้างบรรยากาศของการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอีกด้วย ทั้งยังช่วยเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติและเสริมสร้างบรรยากาศสดชื่นภายในห้องเรียนได้

สาเหตุที่ทำให้การให้แสงภายในห้องเรียนของอาคารเรียนต้นแบบส่วนใหญ่ยังขาดประสิทธิภาพ เนื่องมาจากการออกแบบอาคารเรียนต้นแบบต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในการให้ความส่องสว่างภายในห้องเรียน แต่ได้ออกแบบให้มีชายคายื่นยาวและใช้แผงกันแดดในการป้องกันแสงแดดส่องเข้าอาคารโดยตรง เพื่อลดปัญหาแสงจ้า

(Glare Problem) ที่เกิดจากแสงแดดส่องตรงเข้ามาภายในห้องเรียน เป็นเหตุให้มีความสว่างภายในห้องเรียนน้อยลงมากและไม่เพียงพอในบางเวลาต้องใช้แสงไฟฟ้าแทน

นอกจากนี้ประเทศไทยมีสภาพท้องฟ้าที่มีแสงแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี ดังนั้นการใช้แสงธรรมชาติเพื่อให้ความส่องสว่างภายในห้องเรียนจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าประดิษฐ์ แต่การออกแบบห้องเรียนทั่วไปมักออกแบบให้แสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้าง (Side Lighting) ไปตามความยาวของห้องเรียนเพราะต้องการให้แสงธรรมชาติกระจายเข้าไปภายในห้องมากที่สุด ซึ่งการออกแบบช่องแสงด้านข้างลักษณะนี้ทำให้มีความสว่างที่ช่องแสงด้านข้างจะดึงดูดความสนใจของนักเรียนให้มองออกไปนอกห้องเรียน จึงทำให้นักเรียนขาดสมาธิในการเรียนและเป็นการรบกวนการเรียนการสอนได้ และช่องแสงด้านข้างนี้ยังทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าบริเวณที่นั่งใกล้หน้าต่างเนื่องจากได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sunlight) และบริเวณใกล้หน้าต่างยังเป็นบริเวณที่ให้มุมมองที่มองเห็นท้องฟ้า (Skyline) มาก ดังนั้นสถาปนิกจึงออกแบบห้องเรียนเพื่อควบคุมปัญหาแสงจ้าไม่ให้เกิดขึ้นโดยออกแบบให้ช่องแสงด้านข้างมีชายคายื่นยาว เพื่อป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และทำให้มุมมองท้องฟ้าลดลง ดังนั้นการมองผ่านช่องแสงด้านข้างออกไปภายนอกห้องเรียนจึงมีความสบายตามากขึ้น แต่วิธีนี้ไม่ใช่วิธีการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องนักเพราะการยื่นชายคายาวนอกจากจะทำให้ระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนลดลงแล้ว พื้นผิววัสดุของชายคาที่ยื่นยาวยังเป็นส่วนที่กันลมทำให้ปริมาณลมที่พัดผ่านเข้าในห้องเรียนได้น้อยลง และวัสดุที่ทำชายคาบางชนิด เช่น คอนกรีตเป็นวัสดุที่สะสมความร้อนและแผ่รังสีความร้อนนั้นเข้ามาภายในห้องอีกด้วย ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเปิดพัดลมระบายความร้อนดังนั้นจึงไม่ช่วยให้ประหยัดการใช้พลังงาน

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นพบว่ายังไม่มีการวิจัยการออกแบบการให้แสงภายในห้องเรียนที่มีการปรับปรุงให้มีระดับความสว่างของแสงภายในห้องเรียนอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีแสงจ้าจากแหล่งกำเนิดแสงเช่นหน้าต่างหรือดวงโคมรบกวนการมองเห็น เพื่อช่วยสร้างความสบายตาในการมองเห็นหรือสร้างวิสัยทัศน์ที่ดีในการมองเห็น และช่วยลดปัญหาความเมื่อยล้าตา อันเนื่องมาจากการปรับตากับความสว่างของแสงที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งก่อให้เกิดความเครียดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ ทั้งภายในและภายนอกอาคารเรียนโดย
   - ศึกษาความสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคารที่ตกกระทบช่องแสงด้านข้างรูปแบบต่างๆตามทิศต่างๆที่จัดวาง
   - ศึกษาประสิทธิภาพการกระจายแสง (Effective Daylight) ภายในห้องเรียนที่มีรูปแบบหน้าต่างแบบต่างที่ศึกษาวิจัย
2. เพื่อศึกษารูปแบบ (Shape) ช่องแสงด้านข้างที่ยอมให้แสงธรรมชาติเข้ามาภายในห้องเรียนมากที่สุดแต่ไม่มีแสงจ้ารบกวนการมองเห็น
3. เพื่อศึกษาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างจ้า (Contrast Brightness Ratio) ระหว่างช่องแสงกับผนังรอบช่องแสงไม่ให้มีความเปรียบต่าง (Contrast) มากเกินที่มาตรฐาน IES, CIE กำหนด เพราะทำให้ตาพร่าและรบกวนการมองเห็น

4. เพื่อศึกษาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่างบริเวณที่ไกลหน้าต่าง
5. เพื่อศึกษาวิธีการติดตั้งกระดานไวท์บอร์ดที่ไม่เกิดปัญหาแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ทั้งจากแสงธรรมชาติและแสงไฟฟ้า
6. เพื่อศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบน (Clerestory) เพิ่มปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติให้เพียงพอต่อการใช้งานตามตำแหน่งต่างๆภายในห้องเรียนและให้มีความส่องสว่างอย่างสม่ำเสมอภายในห้องเรียน เพื่อความสบายตาในการมองเห็น และตาไม่เมื่อยล้ากับการปรับตาต่อแสง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เนื่องจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาวิธีการลดแสงจ้าที่ผ่านเข้ามาทางช่องแสงแต่ไม่ลดปริมาณความส่องสว่างของแสงภายในห้องเรียน มีตัวแปรมากมายที่เกี่ยวข้องกับความส่องสว่างภายในห้องเรียนในการให้ความสว่างจ้าที่เหมาะสมและสร้างความสบายตาในการมองเห็น (Visual Comfort) จึงได้กำหนดขอบเขตในการศึกษาดังนี้

- ศึกษาเฉพาะห้องเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาต้น – ปลาย ที่มีช่วงเวลาการเรียนการสอนปกติ ตั้งแต่เวลา 8:00 – 17:00น.
- ศึกษาโดยเก็บข้อมูลแสงธรรมชาติและการส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนในลักษณะที่เป็นแสงกระจาย(Diffuse)เท่านั้น เนื่องจากแสงที่ได้รับจากการแผ่รังสีโดยตรงของดวงอาทิตย์โดยทั่วไปแล้วมีความแปรปรวนสูง ทำให้ควบคุมระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนได้ยาก นอกจากนี้ความสว่างของแสงที่มีปริมาณมาก ยังเป็นแหล่งกำเนิดของแสงจ้าและมีการแผ่รังสีความร้อนให้กับห้องเรียน แต่แสงธรรมชาติที่เป็นแสงกระจายจะให้ความสว่างอย่างสม่ำเสมอและแผ่รังสีความร้อนน้อยกว่า จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการให้ความส่องสว่างภายในห้องเรียนมากกว่า
- นำเสนอรูปแบบช่องแสงของห้องเรียนเรียนแบบใหม่ที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยกำหนดให้เป็นช่องแสงด้านข้างด้านเดียว และทำการทดลองรูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการมองเห็นที่สร้างความสบายตาโดยทำการศึกษาทดลองช่องแสงด้านข้างกับทิศต่างๆ 4 ทิศ
- การมองเห็นของตาภายในห้องเรียนโดยทั่วไปเป็นการมองเห็นที่มีจุดที่มองค่อนข้างตายตัว(Fix) เช่น การมองไปยังกระดานของนักเรียน การศึกษาครั้งนี้จึงได้กำหนดให้ระดับสายตาและมุมมอง ของครูและนักเรียนดังนี้
  - ระดับตาของนักเรียน(ขณะนั่ง) ที่1.10 เมตร
  - ระดับตาครู(ขณะยืน) ที่1.60 เมตร
  - ขอบเขตในการมองเห็นในแนวระนาบ(Horizontal) 30 องศา
  - ขอบเขตในการมองเห็นในแนวดิ่ง(Vertical) 60 องศา

- ช่วงเวลาที่ทำการทดสอบวัดแสงธรรมชาติภายในอาคารของช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 2 ชั่วโมง คือ 8.00 10.00 12.00 14.00 และ 16.00 น. และเลือกวันทำการทดลองที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าน้อยที่สุด คือ มีอัตราส่วนของเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า (Sky Ratio) ไม่เกิน 0.3
- ในการวิจัยนี้ได้กำหนดที่ตั้งหุ่นจำลองห้องเรียนรูปแบบใหม่ โดยให้ตั้งอยู่ในเขตละติจูดที่ 14^0 N เพื่อใช้ในทดลองและเก็บข้อมูล
- ศึกษาปัญหาแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) และเงาสะท้อนเหนือภาพ (Veiling Reflected Glare) จากดวงโคมแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ โดยศึกษามุมกระทำของแสงที่ตกกระทบพื้นผิวกระดานและพื้นผิวโต๊ะที่มีมุมสะท้อนเข้าสู่ตาในมุมวิกฤติ (มุม 25 องศา) เพื่อหาตำแหน่งที่ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งดวงโคมที่ทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าสะท้อนและเงาสะท้อนเหนือภาพ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการศึกษาวิจัยจากการสำรวจห้องเรียนตัวอย่าง เพื่อหาปัจจัยตัวแปรมากมาย ที่มีผลต่อความสบายตาในการมองเห็นภายในห้องเรียน และออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ จัดทำเป็นหุ่นจำลองเพื่อใช้ในการทดลองและวิจัยสภาพของแสงภายในและนอกห้องเรียน มีตัวแปรที่สำคัญในการศึกษา ดังนี้

<u>ตัวแปรที่ศึกษา</u>

- อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่าง (Contrast Brightness Ratio) ระหว่างช่องแสงกับผนังโดยรอบช่องแสงรูปแบบ(Shape)ต่างๆของช่องแสงด้านข้างที่ทำให้อยู่ในเกณฑ์ความสบายตาที่กำหนดโดย IES , CIE ไม่เกิน 20:1 (เฉพาะทิศเหนือไม่เกิน 25:1)
- อัตราส่วนความเปรียบต่าง (Contrast) ของความสว่างจ้า (Brightness) ที่ช่องแสงหรือหน้าต่างกับความสว่างจ้าบริเวณใกล้หน้าต่างไม่เกิน 10:1
- ความสว่างจ้าของสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ที่กระทำกับช่องแสงด้านข้างรูปแบบต่างๆ ที่ออกแบบตามทิศต่างๆที่ทำการศึกษามีความสว่างจ้าที่อยู่ในมุมมอง 0-5 องศาไม่เกิน 495 ฟุตแลมเบริต
- ระดับความส่องสว่างของแสง ณ ตำแหน่งต่างๆภายในห้องเรียนในรูปของค่าเดไลท์ แฟคเตอร์ไม่ต่ำกว่า 2%
- ปัญหาแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ที่กระดาน
- ปัญหาเงาสะท้อนเหนือภาพ (Veiling Reflected Glare) ที่โต๊ะเรียน

<u>ตัวแปรคงที่</u>

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 7เมตร ยาว 9 เมตร ความสูงพื้นถึงฝ้าเพดาน 3.2 เมตร
- ห้องเรียนมีช่องเปิดด้านข้างด้านเดียว ระดับความสูงของวงกบล่างของช่องเปิดจากพื้น 0.90 ม.

- ตำแหน่งความสูงของพื้นที่ใช้งาน 0.60ม.
- วัสดุช่องแสง : กระจกใส sc=1 และมีค่าการส่งผ่านของแสง (Transparent)88%
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในห้องเรียน พื้น 30% ผนัง 50% ฝ้าเพดาน 70%

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

แสงธรรมชาติ (Daylight) หมายถึง พลังงานส่วนหนึ่งของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนออกจากชั้นบรรยากาศ ท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม (Diffuse Sun) มีช่วงของความยาวคลื่นที่ตาสามารถมองเห็นได้ (Visible Wavelength)

แสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Beam Sunlight) หมายถึง แสงธรรมชาติที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง นำมาใช้ในการให้ความสว่างกับอาคาร

แสงกระจาย (Diffuse Light) หมายถึง แสงธรรมชาติที่ได้จากแสงที่กระจายจากท้องฟ้า นำมาใช้ในการให้ความสว่างกับอาคาร

แสงกระจายทางอ้อม (Indirect Diffuse Light) หมายถึง แสงธรรมชาติที่มีการทะลุผ่าน การสะท้อน หรือการหักเห ก่อนที่จะกระจายเข้าสู่ภายในอาคาร

ค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor, DF) หมายถึง ค่าสัดส่วนปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งานภายในอาคารแต่ละจุดต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนแนวระนาบภายนอกอาคาร (ไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์) แบ่งออกเป็น

- ค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ในแนวระนาบ(Horizontal Daylight Factor, DF_H) หมายถึง ค่าสัดส่วนปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งานภายในอาคารในแนวระนาบต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนแนวระนาบภายนอกอาคาร (ไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์)
- ค่าเดย์ไลท์แฟคเตอร์ในแนวระตั้ง(Vertical Daylight Factor, DF_V) หมายถึง ค่าสัดส่วนปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งานภายในอาคารในระนาบตั้งต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนแนวระนาบภายนอกอาคาร (ไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์)

พื้นที่ใช้งาน (Working Area) หมายถึงบริเวณที่ใช้ประกอบกิจกรรมต่างๆ และระดับความสูงของพื้นที่ใช้งานจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมนั้นๆ

องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก (External Reflected Component, ERC) หมายถึง แสงที่ได้รับหลังจากการสะท้อนของพื้นอาคารหรือพื้นผิวอื่นๆ ภายนอกอาคาร

องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายใน (Internal Reflected Component, IRC) หมายถึง แสงที่ได้รับหลังจากการสะท้อนของพื้นผิวภายในห้อง ณ จุดอ้างอิง

องค์ประกอบโดยการสะท้อน (Indirect Component) หมายถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อลักษณะและปริมาณของแสงที่ได้จากท้องฟ้าโดยตรง (Direct Light)

ช่องแสงด้านข้าง (Side lighting) หมายถึง ช่องแสงหรือช่องเปิดของหน้าต่างที่ผนังของอาคาร

ช่องแสงด้านบน (Clerestory) หมายถึง ช่องแสงหรือช่องเปิดของหน้าต่างที่บริเวณส่วนบนสุดของผนังอาคารติดกับหลังคา

ปริมาณความส่องสว่าง (Luminance Flux) หมายถึง พลังงานแสงที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสงในช่วงเวลาหนึ่งๆ

ความส่องสว่าง (Illumination; E) หมายถึง ปริมาณแสงสว่างโดยรวม ต่อพื้นที่ที่ส่องสว่างนั้นๆ

ความเข้มแสง (Intensity) หมายถึง ความเข้มของแสง ณ ทิศทางนั้น (Direction) หรือกำลังการส่องสว่างมีหน่วยเป็น แคนเดลา

ความเปรียบต่าง (Contrast) หมายถึง ค่าความสว่าง(Luminance)ของวัตถุ หรือเหตุการณ์ที่มีการมองเห็นเนื่องมาจากมีการเปรียบเทียบความสว่างของสภาพรอบข้างกับวัตถุที่มอง โดยที่ความเปรียบต่างของความสว่างระหว่างสภาพแวดล้อมกับวัตถุมากก็สามารถมองเห็นวัตถุนั้นได้ง่าย

ความสว่างจ้า (Brightness) หมายถึง ปริมาณความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิววัตถุต่อหน่วยพื้นที่

ความสว่างหรือลูมิแนนต์ (Luminance) หมายถึง ค่าความสว่างของแสงที่วัดได้สะท้อนจากวัตถุเข้าสู่ตาทั้งหมดทำให้มองเห็นวัตถุนั้นๆได้

แสงจ้า (Glare) หมายถึง แสงที่อยู่ในมุมมองของตาที่ทำให้เกิดการระคายเคืองตาและมองเห็นวัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็น

อัตราส่วนความจ้าของแสง (Brightness Ratio) หมายถึง อัตราส่วนความจ้าของแสงระหว่างชิ้นงานกับพื้นที่ข้างเคียง

มุมแห่งการมอง (Viewing angle) หมายถึง มุมที่กระทำระหว่างเส้นตั้งฉากพื้นผิววัสดุที่มองกับเส้นทิศทางการมองของผู้สังเกต

ความสบายในการมอง (Visual comfort) หมายถึง การให้ปริมาณความสว่างที่สัมพันธ์กับความเปรียบต่างระหว่างชิ้นงานกับพื้นที่รอบข้างเพื่อความสบายในการมองการ

ความชัดเจนในการมอง (Visual acuity) หมายถึง การให้ปริมาณความส่องสว่างเพียงพอกับความสามารถในการมองเห็นรายละเอียดของชิ้นงานได้ชัดเจน

สนามแห่งการมองเห็น (Visual Field) หมายถึง ขอบเขตของภาพที่ผู้สังเกตมองเห็นในขณะที่ศีรษะและตาของผู้สังเกตอยู่นิ่ง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบช่องแสงด้านข้างของห้องเรียนรูปแบบใหม่ที่ทำให้การมองเห็นมีความสบายตา สามารถลดปัญหาแสงจ้าในสนามแห่งการมองเห็น (Visual Field) ได้ ทั้งจากแสงธรรมชาติและแสงไฟฟ้าประดิษฐ์
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ให้มีการกระจายแสงภายในห้องเรียนอย่างเพียงพอต่อการมองเห็น

3. เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบรูปแบบช่องแสงด้านข้างที่ลดอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างจ้า (Contrast Brightness Ratio) ระหว่างช่องเปิดกับผนังโดยรอบช่องแสงได้
4. เพื่อหลีกเลี่ยงแสงจ้าสะท้อนที่กระดานไวท์บอร์ดจากการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติและแสงไฟฟ้า
5. เพื่อหลีกเลี่ยงเงาสะท้อนเหนือภาพที่โต๊ะเรียนจากการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงไฟฟ้าหรือดวงโคม

1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในเชิงพิจารณาและทดลองเพื่อหาแนวทางปรับปรุงการออกแบบวิธีการให้แสงสว่างภายในห้องเรียนเพื่อความสบายในการมองเห็น ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษาวิจัยทดลองและเก็บข้อมูลการทดลองจากหุ่นจำลองห้องเรียน โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. การศึกษาค้นคว้าและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับห้องเรียน

1. ศึกษาวิธีการต่างเกี่ยวกับให้แสงสว่างภายในห้องเรียน
2. ศึกษาระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนจากการกำหนดโดย IES , CIE
3. ศึกษาแหล่งกำเนิดแสงจ้าจากแสงธรรมชาติและแสงไฟฟ้าประดิษฐ์
4. ศึกษาเทคนิคการแก้ไขปัญหาแสงจ้า

ขั้นตอนที่ 2. การสำรวจและจัดทำหุ่นจำลองห้องเรียนตัวอย่าง

1. การพิจารณาเลือกห้องเรียนตัวอย่างจำนวน 10 ห้องโดยกำหนดเกณฑ์ในการเลือกห้องเรียนเพื่อทำการสำรวจและทดสอบดังนี้
    - ที่ตั้งของโรงเรียน
    - การจัดการการเรียนการสอนรูปแบบใหม่
    - คุณภาพของโรงเรียน
2. การสำรวจห้องเรียนตัวอย่างโดยการเก็บข้อมูลทางกายภาพต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความส่องสว่างและการกระจายแสงภายในห้องเรียน รวมทั้งแหล่งกำเนิดแสงจ้าภายในห้องเรียนตัวอย่างจากการใช้ประโยชน์ของแสงธรรมชาติและการติดตั้งดวงโคมแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ และทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิต่อการมองเห็นภายในห้องเรียนแยกตามองค์ประกอบต่างๆของอาคาร ดังนี้

2.1 องค์ประกอบภายนอกห้องเรียน เช่น สภาพท้องฟ้า ทางเดิน ชายคา และกันสาด การจัดแต่งภูมิทัศน์เพื่อบังแดด เพื่อพิจารณาความสว่างจ้าของแสงแดดที่มีผลกระทบต่อการมองเห็นและสร้างความระคายเคืองตา และพิจารณาปริมาณการกระจายแสงภายในอาคาร โดยมีการสำรวจและเก็บข้อมูลห้องเรียนตัวอย่าง ดังนี้

- สำรวจวิธีการออกแบบช่องเปิดของห้องเรียนตัวอย่าง รวมทั้งสำรวจตำแหน่งและทิศทางของช่องเปิดที่ให้แสงธรรมชาติส่องผ่านเข้ามาภายในอาคาร และศึกษามุมโปรไฟล์ (Profile angle) มุมอะซิมุส (Azimuth angle) ของตำแหน่งดวงอาทิตย์สำหรับเส้นรุ้งที่อยู่ในช่วง 14^0 N แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิดของห้องเรียนตัวอย่าง(Sun Chart Diagram) ในช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน คือ 8:00 – 17:00 น.

- สำรวจคุณสมบัติของวัสดุและวัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายนอกห้องเรียน รวมทั้งสภาพแวดล้อมข้างเคียง ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ โดยการวัดปริมาณแสงที่ตกกระทบและสะท้อนบนแนวระนาบของวัสดุและสรุปผลเป็นค่าเปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของวัสดุ

2.2.องค์ประกอบภายในห้องเรียน โดยพิจารณาองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ภายในอาคารที่มีผลต่อการกระจายแสงมากขึ้นหรือลดลงและมีผลกระทบต่อความสบายตาในการมองเห็น เพื่อหาอิทธิพลขององค์ประกอบภายในอาคาร เช่น ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ขนาดของช่องแสง เป็นต้น โดยมีการสำรวจและเก็บข้อมูล ดังนี้

- สำรวจขนาดพื้นที่ใช้สอยและการจัดวางตามตำแหน่งต่างๆของช่องแสง เพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร
- เก็บข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ภายในอาคาร เช่น วัสดุ พื้น ผนัง และฝ้าเพดาน รวมทั้งวัสดุอื่นเช่น กระดานและ โต๊ะเรียน โดยศึกษาคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflection) โดยใช้เครื่องมือวัดแสง (Lux meter) วัดปริมาณแสงที่ตกกระทบบนแนวระนาบวัสดุและสรุปผลเป็นค่าเปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของวัสดุ
- การเก็บข้อมูลความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ภายในห้องเรียน ดังนี้
  - ชนิดและลักษณะของดวงโคม
  - หลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้กับห้องเรียนตัวอย่าง
  - พิจารณาตำแหน่งของดวงโคมภายในห้องเรียนในด้านความเหมาะสมกับพื้นที่การใช้งาน

3. วิเคราะห์ปัญหาและสรุปรูปแบบห้องเรียนตัวอย่างที่ทำการสำรวจ และจัดทำหุ่นจำลองห้องเรียนตัวอย่างเป็นตัวแทนในการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลองหุ่นจำลองห้องเรียนตัวอย่างดังนี้

การเก็บข้อมูลการกระจายแสงธรรมชาติภายในห้องเรียน (Daylight Distribution) ที่เกิดจากองค์ประกอบภายในและภายนอกอาคาร และลักษณะการกระจายแสงธรรมชาติที่เกิดจากองค์ประกอบทั้ง 2 การเก็บค่าปริมาณการกระจายแสงธรรมชาติหรือค่าความส่องสว่างทั้งภายในและภายนอกที่ระนาบทำงานเป็นอัตราส่วนค่าประสิทธิภาพแสงสว่างธรรมชาติหรือค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor หรือ DF. มีหน่วยเป็น %) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการหาระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยใช้เครื่องมือวัดแสง(Lux Meter) วัดแสงดังนี้

- การเก็บข้อมูลโดยการวัดแสงเพื่อหาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ในระนาบนอน (DF_H)
  1. การวัดค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคารไม่รวมแสงแดด(อยู่ในที่ร่ม) ที่ตำแหน่งภายนอกอาคาร
  2. การวัดความส่องสว่างภายในอาคารที่เกิดจากแสงธรรมชาติ โดยการกำหนดจุดต่างๆ ที่กึ่งกลางห้องในระนาบนอนที่มีแนวตั้งฉากกับหน้าต่างให้มีระยะห่างในการวัดแสงเท่าๆกัน (ทุกๆระยะ A เมตร) และกำหนดให้จุดวัดที่ห่างจากผนังห้องมีระยะเป็น A / 2 เมตร โดยในการวัดค่าความสว่างภายในแต่ละจุดจะมีค่าความสว่างภายนอกตามข้อ1. ทุกครั้ง
  3. ระดับความสูงของตำแหน่งที่วัดในระนาบทำงาน (Working Plane) ซึ่งมีความสูงโดยประมาณ 0.60 เมตร ของพื้นที่ที่ต้องการวัด

- การเก็บข้อมูลโดยการวัดแสงเพื่อหาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ในระนาบตั้ง (DF_V) ที่หน้าต่างและที่หน้ากระดานดังนี้
    1. การวัดค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคารไม่รวมแสงแดด(อยู่ในที่ร่ม) ตำแหน่งภายนอกอาคาร
    2. การวัดความส่องสว่างภายในอาคารที่เกิดจากแสงธรรมชาติ โดยการกำหนดให้จุดวัดที่อยู่กึ่งกลางของช่องเปิดหน้าต่างในระนาบตั้ง โดยในการวัดค่าความสว่างภายในแต่ละจุดจะมีค่าความสว่างภายนอกตามข้อ1. ทุกครั้ง
    3. การวัดระดับความส่องสว่างในระนาบตั้งที่หน้ากระดาน โดยกำหนดจุดวัดอยู่ที่กึ่งกลางกระดานให้มีระยะสูงจากพื้นห้อง 0.50 เมตร และระยะห่างของจุดวัดแสงทุกๆ 0.50 ม. ส่วนการวัดระดับความส่องสว่างระนาบตั้งที่ระดับตาของนักเรียน กำหนดให้สูงจากพื้นห้องเรียน 1.10 ม. และมีระยะห่างจากริมผนังเป็นระยะ A/2 ม. และระยะห่างของจุดวัดแสงภายในทุกๆ A ม.

4. การถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพระบบ Digital เลือกวิธีการถ่ายแบบManual และให้แสดงผลเป็นสีขาว – ดำ
    - เพื่อศึกษาความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังโดยรอบ
    - เพื่อตรวจสอบแสงจ้าสะท้อนที่หน้ากระดาน

<u>ขั้นตอนที่ 3. การคำนวณความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง</u>

เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในการให้ความส่องสว่างภายในห้องเรียน จึงจำเป็นต้องทราบระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้ามาในห้องเรียน โดยใช้ข้อมูลความส่องสว่างของแสงธรรมชาติของท้องฟ้าทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ที่เกิดจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศสู่พื้นโลกในช่วงคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) ระดับความส่องสว่างขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศ เช่น ปริมาณเมฆที่จะเพิ่มลดรังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะมีผลในการเพิ่มความส่องสว่างภายนอก โดยใช้ข้อมูลความสว่างท้องฟ้าของกรุงเทพมหานครปีล่าสุด (ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2544) มาเป็นข้อมูลในการเทียบเคียงค่าเดไลท์ แฟคเตอร์ ที่ได้จากการวัดแสง ณ สถานที่จริง เพื่อให้ได้ข้อมูลความส่องสว่างของท้องฟ้าตลอดทั้งปี และทำการคำนวณความสว่างท้องฟ้า เพื่อหาความสว่างท้องฟ้ามาตรฐาน(Typical Sky) และนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การหาความส่องสว่างของท้องฟ้า แต่ละชั่วโมง ในแต่ละวันตลอดทั้งปี โดยใช้สมการการคำนวณความส่องสว่างของท้องฟ้าตลอดทั้งปีของทศพร นามเทพ วิทยานิพนธ์ปี2542 โดยเริ่มจาก

1. การจำแนกท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของท้องฟ้า(The Sky Ratio Method) ที่มีเกณฑ์ในการแยกสภาพท้องฟ้าตามระดับค่าดังนี้

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)	:	Sky Ratio <= 0.3
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)	:	0.3 <Sky Ratio > 0.8
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky)	:	Sky Ratio > 0.8

ค่า Sky Ratio คำนวณได้จาก ค่ารังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ / ค่ารังสีตกตระทบในแนวระนาบทั้งหมด การจำแนกท้องฟ้าในการวิจัยนี้มีวิธีการจำแนกโดยนำค่า Sky Ratio ที่ได้จากการคำนวณมา Filter ในโปรแกรมการคำนวณ Excel เพื่อทำการแยกประเภทสภาพท้องฟ้าในแต่ละวันตลอดทั้งปี ออกเป็นระดับค่าต่างๆตามเกณฑ์ข้างต้น

2. นำค่า Sky Ratio ที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) มากที่สุดที่ได้จากการ Filter เพื่อหาสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) มากที่สุดในแต่ละชั่วโมงของแต่ละวันตลอดทั้งปี โดยพิจารณาค่า Sky Ratio ของสภาพท้องฟ้าโปร่งมากที่สุดและมีความถี่ของสภาพท้องฟ้านี้เกิดขึ้นมากที่สุด นำค่าที่ได้นั้นใช้แทนค่าของสภาพท้องฟ้าโปร่งมากที่สุดตลอดทั้งปี (Typical Clear Sky) ลงในสมการหาค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าของทศพร นามเทพ วิทยานิพนธ์ปี2542 และนำค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าโปร่งที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาค่าความสว่างที่ตกกระทบหน้าต่าง ตามสูตรความสว่างที่หน้าต่างใน บทที่ 2

<u>ขั้นตอนที่ 4 การประเมินระดับความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมกับความสบายตาภายในห้องเรียนตัวอย่าง</u>

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินปริมาณและคุณภาพความส่องสว่างที่เหมาะสมกับความสบายในการมองของผู้ใช้ห้องเรียน โดยนำค่าที่ได้จากการทดสอบวัดมาทำการคำนวณหา อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างของแสงตามสมการที่ใช้ในการคำนวณในบทที่ 2 ดังนี้

1.คำนวณความสว่างจ้า (Brightness)ที่ส่งผ่านหน้าต่าง โดยกำหนดให้ห้องเรียนตัวอย่างไม่มีกระจก ดังนั้นห้องเรียนตัวอย่างจึงมีค่าส่งผ่านที่หน้าต่าง (Transmission) 100 %

2.หาค่าความสว่างจ้าที่ผนังรอบหน้าต่าง โดยนำข้อมูลการทดลองวัดแสงในรูปของค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ในแนวตั้ง (DFv) มาคำนวณหาค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบผนังแล้วนำมาคูณกับค่าการสะท้อนแสงของผนัง จากนั้นนำค่าความสว่างจ้าที่ผนังมาเปรียบเทียบกับค่าความสว่างจ้าที่ส่งผ่านหน้าต่างในรูปของอัตราส่วนความสว่างจ้า

3.คำนวณค่าความสว่างภายในห้องในตำแหน่งที่กำหนดจุดวัดแสง ที่ได้จากค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ในระนาบตั้งที่ระดับตาครู (DF_V) คูณกับค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในห้อง (Avg RF) เพื่อเปรียบเทียบความสว่างจ้าที่ตำแหน่งระดับตาครูที่ยืนอยู่ห่างจากหน้าต่างไกลที่สุดกับความสว่างจ้าที่หน้าต่างในรูปของอัตราส่วนความสว่างจ้า

4.คำนวณหาค่าความสว่างจ้าที่กระดานโดยนำค่าความส่องสว่าง(Illumination)ตามจุดที่วัดแสงในระนาบตั้งที่อยู่ในรูปของค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ที่กระดานในระนาบตั้ง (DF_V) คูณกับค่าการสะท้อนแสงของกระดาน

5.การทดสอบการติดตั้งกระดานไวท์บอร์ด โดยนำผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่เกิดแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ที่เกิดจากแสงที่ตกกระทบกับกระดานที่ทำให้เกิดแสงสะท้อนเข้าตาในมุมวิกฤติ และตรวจสอบแสงจ้าสะท้อนนี้กับภาพถ่ายที่หน้ากระดาน

6.การทดสอบการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้า เพื่อหลีกเลี่ยงเงาสะท้อนเหนือภาพ (Veiling Reflected Glare) ที่โต๊ะเรียน โดยพิจารณาแสงที่ตกกระทบกับโต๊ะที่ทำให้เกิดแสงสะท้อนเข้าตานักเรียนในมุมวิกฤติ

<u>ขั้นตอนที่ 5. การออกแบบและทดสอบหุ่นจำลองห้องเรียนรูปแบบใหม่</u>

นำผลการประเมินวิเคราะห์สรุปปัญหาเกี่ยวกับความสบายตาในการมองเห็นของห้องเรียนตัวอย่าง มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ และสร้างเป็นหุ่นจำลองห้องเรียนตามสัดส่วน 1:20 ตามขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการสร้างหุ่นจำลอง โดยกำหนดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลอง ดังนี้ พื้น 30% ผนัง 50%ฝ้าเพดาน 70% ตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดแสง วัดปริมาณแสงที่ตกกระทบบนระนาบวัสดุ เทียบกับปริมาณแสงที่สะท้อนจากวัสดุนั้นๆ ในตำแหน่งระนาบและระดับเดียวกัน และสรุปผลเป็นเปอร์เซ็นต์การสะท้อนแสงของวัสดุ

2. ขั้นตอนการทดสอบวัดแสงภายในหุ่นจำลองที่มีรูปแบบหน้าต่าง 5 แบบ แบ่งออกเป็น 12 กรณีศึกษา และวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนแบบเดียวกับห้องเรียนตัวอย่าง โดยมีการคัดเลือกห้องเรียนแบบใหม่ที่เหมาะสมที่ให้ระดับความส่องสว่างเพียงพอและมีความสบายตาในการมองเห็น เป็นขั้นตอนดังนี้

2.1 ทำการทดสอบวัดแสงหุ่นจำลองห้องเรียนแบบใหม่กับสภาพท้องฟ้าจริง ทั้ง 12 กรณีศึกษา โดยทดลองเฉพาะทิศเหนือ

2.2 ทำการทดสอบวัดแสงเฉพาะ 3 กรณีศึกษาที่เลือกจากการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบที่มีเหมาะสมที่ให้ความสบายตาในการมองเห็นมากที่สุดจากห้องเรียนแบบใหม่ 12 กรณีศึกษา ตามทิศทางการจัดวางช่องแสงด้านข้างหรือหน้าต่างของห้องเรียนทั้ง 4 ทิศ

2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองของห้องเรียนแบบใหม่ทั้ง 4 ทิศ ของ 3 กรณีศึกษา เพื่อหารูปแบบหน้าต่างที่มีความเหมาะสมที่ให้ความสบายตาในการมองเห็นมากที่สุด ให้เหลือเพียงกรณีเดียว

2.4 นำกรณีศึกษาที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกเพียงกรณีเดียวมาทำการทดลอง โดยเป็นการทดลองห้องเรียนแบบใหม่กับการประยุกต์ใช้ช่องแสงด้านบน ทั้ง 4 ทิศ

<u>ขั้นตอนที่ 6. การสรุปและอภิปรายผลงานวิจัยเพื่อเสนอเป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนเพื่อความสบายตา</u>

1. การเสนอผลงานวิจัยโดยการใช้แผนภูมิแสดงค่าความส่องสว่างของห้องเรียนแบบใหม่ และเสนอภาพแสดงค่าอัตราส่วนความเปรียบต่างของความสว่าง
2. การเสนอแนวทางการออกแบบรูปแบบของช่องแสงของห้องเรียน เพื่อให้ความสบายตาในการมองเห็น
3. การเสนอแนวทางที่ควรหลีกเลี่ยงการเกิดแสงจ้าสะท้อนที่กระดานและเงาสะท้อนเหนือภาพที่โต๊ะเรียนจากตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าภายในห้องเรียน และเสนอแผนภูมิที่ใช้ในการศึกษาตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยง
4. เสนอแนวทางการใช้อุปกรณ์บังแสงเพื่อป้องกันการเกิดแสงจ้าสะท้อน
5. สรุปผลโดยรวมพร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อสามารถปรับใช้ได้ในทุกๆท้องที่ที่มีการก่อสร้างห้องเรียน

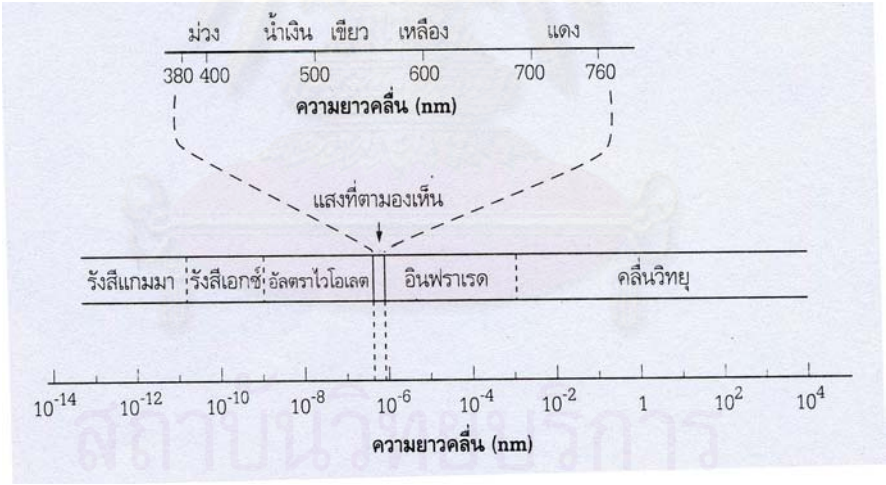
บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 คลื่นแสงและการมองเห็น

2.1.1. คลื่นแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงอยู่ในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานที่เคลื่อนที่ได้เหล่านี้ถูกกำหนดโดยความถี่(Frequency : Hz) และความยาวคลื่น (Wavelength : Nanometer) ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ทำให้มีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือความถี่หรือความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม, 2521) เมื่อนำเอาพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดมาเรียงกันจากพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดจนถึงพลังงานที่มีความยาวคลื่นสูงสุด ดังรูปที่2.1จะเห็นได้ว่าแสงเป็นเพียงแถบพลังงานเล็กๆแถบหนึ่งที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 – 0.78 ไมครอน (Micron) หรือ 380 – 780นาโนเมตร ประกอบด้วยสเปคตรัม(Spectrum) ของแสงหลายๆสีอันเกิดจากความถี่และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 แสดงสเปคตรัมของแสง

ที่มา : Ma Cayless and Am Marsden. 1983 : 3 อ้างโดย ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2543: 1

คุณสมบัติของคลื่นแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) มีคุณสมบัติของความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัวเอง โดยที่คลื่นแสงในความยาวคลื่นดังกล่าวเมื่อกระทบเรตินาในดวงตาจะมีการกระตุ้นของพลังงาน

กับประสาทตาปกติทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา ส่วนสเปคตรัมของแสงที่ตามองเห็นยังให้สีต่างกันตามความยาวคลื่นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความยาวคลื่นของสเปคตรัมของแสงที่มองเห็นได้

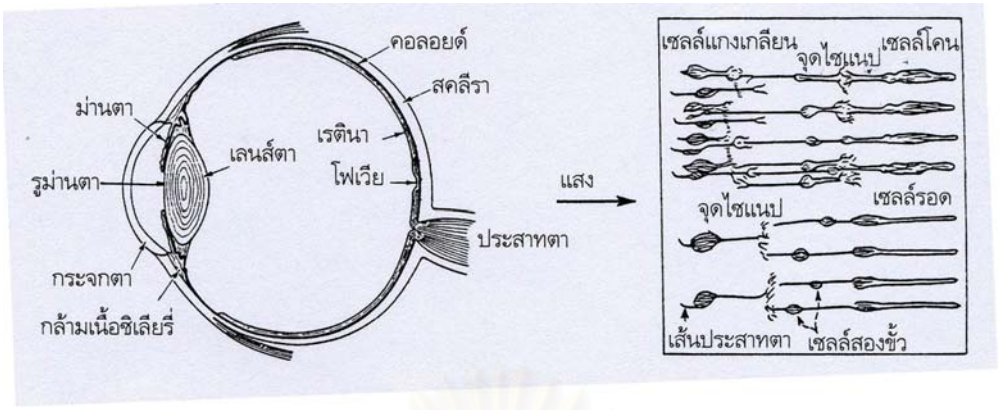
สี	ความยาวคลื่น(nm)
ม่วง (Violet)	380 – 430
น้ำเงิน (Blue)	430 – 490
เขียว (Green)	490 – 560
เหลือง (Yellow)	560 – 590
แดง (Red)	630 – 770

ที่มา : Kaufman, 1966 : 2-4 อ้างโดย มงคล ทองสงคราม, 2536: 5

2.1.2. ธรรมชาติของการมองเห็น

เมื่อมีแสงเข้านัยน์ตาผ่านรูม่านตา (Pupil)จะมีการปรับขยายรูม่านตาโดยการปิด-เปิดของม่านตา(Iris) เพื่อควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามายังนัยน์ตา ตามีกระจกตาหรือแก้วตา(Cornea) และเลนส์(Lens) เป็นตัวรวมแสง (Focus) โดยให้การหักเหของแสงไปตกที่จอตาหรือเรตินา (Retina) ซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นผิวที่ไวต่อแสงและเป็นส่วนที่อยู่ท้ายสุดของลูกตา เรตินาประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด ได้แก่ เซลล์รอด (Rod cells) และเซลล์โคน (Cone cells) ดูรูปประกอบ 2.2 มี โฟเวีย(Fovea) เป็นส่วนเล็กๆของเรตินาซึ่งอยู่ตรงข้ามกับม่านตาและเป็นจุดศูนย์รวมของการมองเห็นภาพเพราะพื้นที่ของโฟเวียเต็มไปด้วยเซลล์โคนซึ่งเป็นเซลล์มีความไวในการตอบสนองต่อรายละเอียดและสีต่างๆของภาพที่มองเห็นโดยเฉพาะสีเหลืองเขียว และมีความไวต่อความยาวคลื่น 550 นาโนเมตรแต่ไม่ไวต่อแสงและภาพที่เคลื่อนไหว เซลล์โคนนี้จะช่วยให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนในตอนกลางวัน (Photovision) การปรับตัวต่อแสงของเซลล์โคนจากที่สว่างมาที่มืดใช้เวลา 2 นาทีดังนั้นจึงเปรียบโฟเวียนี้ได้กับฟิล์มในกล้องถ่ายภาพที่มีความละเอียด (Grain) ของภาพมากจึงสามารถใช้ความเร็วต่ำในการถ่ายภาพได้ และพื้นที่ส่วนที่เหลือรอบๆ โฟเวีย เรียกว่า พาราโฟเวีย (Parafovea) เป็นส่วนที่ทำให้มองเห็นภาพที่อยู่รอบนอกจุดศูนย์กลางภาพได้ พาราโฟเวียจะประกอบไปด้วยเซลล์รอดเป็นส่วนใหญ่และเซลล์รอดมีความไวต่อแสงรวมทั้งสามารถตอบสนองต่อภาพที่เคลื่อนไหวแต่ไม่ตอบสนองต่อรายละเอียดและสีต่างๆของภาพที่มองเห็น เซลล์รอดมองเห็นสีน้ำเงินและสีม่วงได้ดีที่สุดและมีความไวต่อความยาวคลื่นแสง 507นาโนเมตร นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการตอบสนองต่อแสงที่มีความสว่าง 1/100,000 เท่าของความสามารถในการตอบสนองต่อแสงของเซลล์โคน และเซลล์รอดยังช่วยให้มองเห็นภาพในตอนกลางคืนชัดเจน (Scotopicvision)ได้ ส่วนการปรับตัวต่อแสงของเซลล์รอดจากที่สว่างมาที่มืดใช้เวลาประมาณ 40นาที (Stein and Reynolds, 2000: 1065)

เมื่อระดับความสว่างของภาพที่มองเห็นน้อยลงการตอบสนองต่อสีของเซลล์รอดจะน้อยลงอย่างมากมาก ดังนั้นจึงมีการเปรียบเซลล์รอดกับฟิล์มสีขาว-ดำ ซึ่งมีความละเอียดของภาพต่ำและต้องใช้ความเร็วสูงในการถ่ายภาพ (Moore, 1991: 24-25)



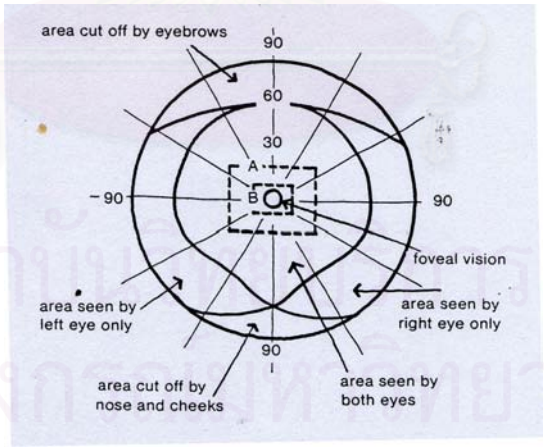
รูปที่ 2.2 แสดงหน้าตัดของลูกนัยน์ตา

ที่มา : Kaufman, 1966 : 2-2

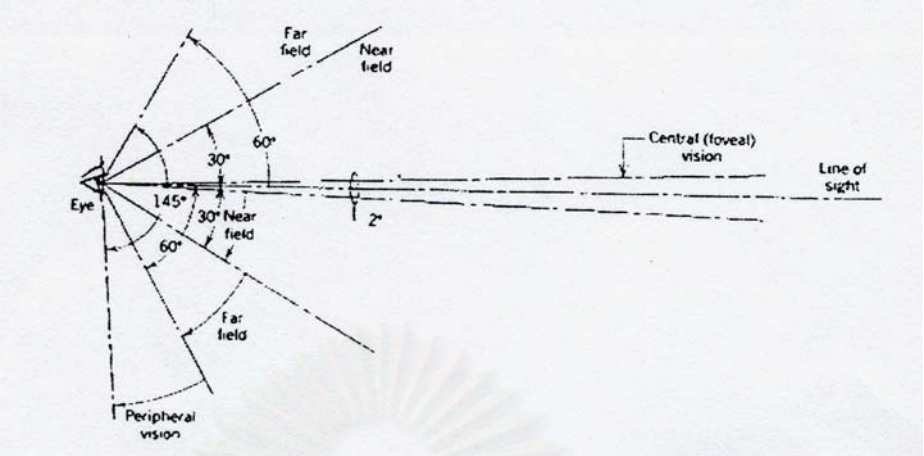
2.1.3. ขอบเขตของการมองเห็นของตาทั้ง 2 ข้าง (Binocular visual Field Profile)

ตาของมนุษย์มีการมองเห็นเช่นเดียวกับกล้องBinocular ซึ่งการมองเห็นภาพของตาทั้ง 2 ข้าง จะมีจุดโฟกัสของภาพอยู่ที่จุดศูนย์กลางเดียวกัน ความแตกต่างของภาพ(image)ที่มองเห็นจากตาทั้ง 2 ข้างทำให้มีความลึกของภาพที่เป็น 3 มิติ การมองเห็นภาพของตาทั้ง 2 ข้างมีขอบเขตกว้างประมาณ 180 องศาในแนวระนาบ แต่เนื่องจากมีองค์ประกอบต่างๆของใบหน้า ซึ่งได้แก่ แก้มและจมูก เป็นส่วนทำให้ลดขอบเขตในการมองเห็นของตาแต่ละข้าง (Moore, 1991: 25)

ขอบเขตของการมองเห็นของตาขณะที่มีการโฟกัสไปยังภาพที่มอง มีขอบเขตเป็นมุมมองตามระนาบตั้ง(Vertical)กว้าง 130 องศา และตามระนาบนอน(Horizontal)กว้างมากถึง 120 องศา



ขอบเขตในการมองของตาในแนวระนาบนอน



ขอบเขตในการมองของตาในแนวระนาบตั้ง

รูปที่ 2.3 แสดงขอบเขตในการมองของตาทั้ง 2 ข้างในระนาบตั้งและระนาบนอน

ที่มา : Stein and Reynolds, 2000 : 1066

2.2 ความสัมพันธ์ของแสงกับการมองเห็น

นอกจากความสว่างจ้า(Brightness) สี(Colour) ระยะในการมองภาพ(Distance) และมุมมอง (Perspective) แล้วยังมีสภาพที่พบโดยทั่วไปอีก 2 อย่างที่มีผลต่อการมองเห็นและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ(Daylight Illumination) ได้แก่ การปรับตัวของตาตามปกติ (General adaptation) และความเปรียบต่างความสว่างจ้าในตำแหน่งที่มองเห็นภาพ (Local brightness contrast) (Moore, 1991)

2.2.1. การปรับตัวของตากับความสว่าง

ตามปกติการปรับตัวจากที่สว่างไปสู่ที่มืดจะใช้เวลานานกว่าการปรับตัวจากที่มืดไปสู่บริเวณที่สว่าง เนื่องจากเซลล์รอดซึ่งทำหน้าปรับตัวกับการมองเห็นในเวลากลางคืนจะทำงานช้ากว่าเซลล์โคนมาก เช่น เซลล์รอด อาจใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อให้ได้ความไวต่อแสงสูงสุด คือ 30 วินาที ในขณะที่เซลล์โคนใช้เวลาเพียง 2 – 3 วินาทีเท่านั้น ความสามารถในการปรับตัวของตาในการมองเห็นขึ้นอยู่กับความส่องสว่างและเวลาที่ใช้ในการมองเห็น ดังนั้นการให้แสงในทางปฏิบัติจึงพยายามจัดการให้แสงในบริเวณต่างๆภายในพื้นที่เดียวกันไม่ให้มีความส่องสว่างต่างกันมาก เพื่อตาจะได้ไม่ต้องปรับตัวและเพื่อทำให้มองเห็นง่ายและสบายตา(ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2540: 3)

การปรับตัวของตาในบริเวณที่สว่างและที่มืด (Light and Dark Adaptation of the Eye) โดยปกติคนส่วนใหญ่เคยมีประสบการณ์ที่เรียกว่า"ตาบอดชั่วคราว" ซึ่งมักเกิดขึ้นในขณะเดินออกจากโรงภาพยนต์ที่มีความสว่างน้อยกว่าบริเวณพื้นทางเดินคอนกรีตภายนอกที่ได้รับความสว่างจากแสงแดดและความสว่างจากการสะท้อนของแสงจากอาคารใกล้เคียง สาเหตุดังกล่าวเกิดจากตาได้ปรับตัวให้คุ้นเคยกับความมืดภายในโรงภาพ

ยนต์ ดังนั้นขณะที่เดินออกจากโรงภาพยนต์ตาจึงต้องการเวลาในการปรับตัวกับระดับความสว่างภายนอกเรียกว่าการปรับตาต่อแสง(Light adaptation) เมื่อตาละจากความมืดและเข้าสู่สภาพรอบๆที่มีความสว่างกว่า ม่านตาจะปรับตัวเล็กลงทำให้แสงผ่านเข้ามายังเรตินาได้น้อยลง จึงทำให้ตามองสิ่งต่างๆไม่เห็นเลยเป็นช่วงเวลาหนึ่งและต้องใช้เวลา 2-3 นาทีในการปรับกับแสงสว่างภายนอก (Michel, 1996:17-19)

ในขณะที่ต้องเดินผ่านบริเวณที่มีความสว่างก่อนที่จะเข้าไปยังห้องที่มีความสว่างน้อยกว่า ตาต้องปรับตัวให้เข้ากับความมืด(Dark Adaptation)ภายในห้อง ซึ่งบางครั้งต้องใช้เวลาในการปรับตัวนานถึง 10 นาที และอาจใช้เวลานานถึง 30 นาทีหรือมากกว่านั้นจึงจะเข้าสู่สภาพที่เห็นได้ตามปกติ เมื่อใดก็ตามที่ตาต้องปรับตัวกับความมืดโฟเวียซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์รวมของการมองเห็นภาพจะทำงานได้น้อยลงอย่างมาก จึงทำให้ความคมชัดของภาพที่มองเห็นลดลงและเป็นเหตุให้การมองเห็นรายละเอียดต่างๆของภาพได้ยาก ดังนั้นการปรับตากับความมืดที่ใช้เวลานานๆจึงเป็นอุปสรรคต่อการมองเห็น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงความสว่างของวัตถุและพื้นผิวต่างๆในภาพที่มองเห็นมีสาเหตุมาจากการปรับตัวของตาด้วย

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการปรับตาต่อความสว่างและความมืดในการออกแบบให้แสงสว่างกับที่ว่างทางสถาปัตยกรรม ต้องคำนึงถึงความง่ายและยากในการปรับตาต่อแสงและความไม่สบายตาเมื่อมีการย้ายจากที่ว่าง (Space) หนึ่งไปยังอีกที่อื่นๆ ดังนั้นสถาปนิกและนักออกแบบแสงสว่างควรหลีกเลี่ยงการปรับตาอย่างทันทีทันใดจากกรณีของการเปลี่ยนแปลงความสว่างและความมืดที่ต่างกันมากเกินไป (Michel, 1996: 97)

2.2.2. การปรับตัวของตากับสี (Color Adaptation)

เรตินาจะทำหน้าที่ในการปรับตาให้เข้ากับสีต่างๆทั้งหมดที่อยู่ในมุมมองของตาเพื่อให้เห็นขอบเขตของที่ว่างที่ถูกล้อมรอบนั้น ดังนั้นการให้แสงสว่างจึงมีความสำคัญต่อสีที่เลือกใช้กับการปรับตัวของตากับสีและแสงที่อยู่ในที่ว่างนั้นๆ และควรนำทฤษฎีของแสงมาใช้ในงานออกแบบสถาปัตยกรรม เมื่อตาสามารถมองเห็นรูปร่างของที่ว่างและเห็นความจัดของสี(Saturation)ในที่ว่างนั้นๆมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันแล้วแสดงว่ามีการปรับตัวของเรตินา ส่วนเทคนิคในการให้แสงแบบ Wall-wash จะทำให้ผนังในส่วนที่อยู่ต่ำลงมาจากแหล่งกำเนิดแสงมีความเข้มของเนื้อสี(Hue)เด่นชัด และความจัดของสี(Colour Saturation)เพิ่มมากขึ้น

2.2.3. การปรับตัวของตากับระยะการมองภาพ

การปรับตัวของตากับระยะการมองภาพเป็นความสามารถของเลนส์ตาในการโฟกัส(Focus)ภาพ ทำให้เห็นภาพหรือวัตถุที่ระยะใกล้หรือไกลได้ชัดเจนขึ้น และบริเวณผิวหน้าของเลนส์ตาที่ใช้รับแสงสามารถควบคุมให้แบนเรียบหรือโค้งนูนออกได้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการหักเหของแสง และยังมีผลทำให้รูม่านตาสามารถปรับให้กว้างขึ้นหรือแคบลงได้ตามระยะของวัตถุที่มองเห็น ถ้ามีการปรับตัวของกล้ามเนื้อตานานๆ จะทำให้เกิดการเมื่อยล้าหรือปวดตาได้ เช่นการปรับตัวของตาในการมองเห็นภาพที่มีระยะใกล้มาก การปรับตัวของตาให้เข้ากับความมืดและความสว่างมีผลต่อการลดหรือขยายรูม่านตาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณแสง โดยปกติการปรับตัวของตามักเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสว่างอย่างทันทีทันใดจากที่มืดไปสู่ที่สว่างหรือจากที่สว่างไปสู่ที่มืด และขณะที่มีการปรับตัวของตาย่อมจะทำให้เกิดความล่าช้าในการมองเห็นชั่วขณะ ทั้งนี้ก็เพราะตาต้องใช้เวลาในการปรับตัว

2.2.4. การปรับตัวของตากับแสงธรรมชาติ

การปรับตามีการเชื่อมโยงกับความเร็วในการเปลี่ยนแปลงขนาดของรูม่านตาที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามายังนัยตา และการปรับตัวของเรตินาในการรับภาพเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งโดยปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงความสว่างของท้องฟ้ามักเกิดขึ้นอย่างช้าๆเช่นกัน ดังนั้นการปรับตัวของตากับความสว่างของท้องฟ้าที่มีความแปรปรวนจึงไม่มีปัญหาในเรื่องของความไม่สบายตา เนื่องจากความไม่สบายตาในการมองเห็นเกิดจากการเปลี่ยนความสว่างอย่างฉับพลัน

การเปลี่ยนแปลงความสว่างของแสงธรรมชาติที่เกิดจากความแปรปรวนของท้องฟ้าไม่มีผลต่อการปรับตามากนัก เพราะช่วง(Range)ในการปรับตากับความสว่างในการมองเห็นมีช่วงกว้างมาก และการเปลี่ยนแปลงความสว่างของแสงธรรมชาติมักเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆจึงทำให้ไม่ต้องการปรับตาแบบทันทีทันใด

ความเข้มส่องสว่างของแสงธรรมชาติโดยปกติจะแสดงในรูปของค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor ;DF) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารต่อปริมาณความส่องสว่างภายนอกอาคาร ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ นี้เหมาะสำหรับใช้กำหนดระดับความส่องสว่างในการมองเห็นมากกว่าใช้ในการกำหนดปริมาณความส่องสว่างเพื่อการปรับตา ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากความสว่างของท้องฟ้าโดยการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารสามารถคาดคะเนได้จากอัตราส่วนของความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในและภายนอกอาคาร

การนำแสงธรรมชาติจากความสว่างจ้าของสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆดำปกคลุมหนาทึบ (Overcast Sky) มาใช้ให้ความส่องสว่างภายในอาคารได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นและไม่มีผลต่อการปรับตาเพื่อความสบายตาเนื่องจากมีความสว่างจ้าของทท้องฟ้าน้อย ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงทำการทดลองและพิจารณาเฉพาะสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) เท่านั้น โดยเฉพาะสภาพท้องฟ้าโปร่งในช่วงเที่ยงวันที่มีแดดจัดและมีความสว่างจ้าของท้องฟ้ามากที่สุดและมีผลต่อการปรับตาเพื่อสร้างความสบายในการมองเห็น

2.2.5. ความเปรียบต่างของความสว่างจ้าของตำแหน่งที่มองเห็น (Local brightness contrast)

โดยทั่วไปตาจะปรับตัวกับความสว่างจ้าต่างๆที่เป็นความสว่างจ้าโดยเฉลี่ย(The average of the various brightness) ในสนามแห่งการมอง(Visual Field) ซึ่งเป็นผลของความสว่างจ้าที่มีค่าใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของภาพที่มองเห็น ถ้าพื้นที่ของความสว่างจ้ามีความจ้ามากๆ ตาจะมีแนวโน้มต่อการปรับตัวกับความสว่างจ้าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้การรับรู้และมองเห็นรายละเอียดต่างๆในพื้นที่ทั้งสองที่มีความแตกต่างของความสว่างจ้ามากได้ยากมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งรายละเอียดในพื้นที่ที่มีความสว่างน้อยกว่า และในขณะที่ตาพยายามปรับตัวให้เข้ากับความสว่างจ้าของพื้นผิวใดพื้นผิวหนึ่งที่มีความสว่างจ้าของทั้ง 2 พื้นผิวที่อยู่ติดกันที่มีความสว่างจ้าแตกต่างกันมากๆ จึงทำให้เกิดความไม่สบายตาในการมองเห็นและความชัดเจนในการมองเห็นลดลง ดังนั้นหลักการง่ายๆ ในการลดความเปรียบต่างของความสว่างจ้าที่แตกต่างกันของกรณีนี้ คือ การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างจ้าใกล้เคียงกัน เช่น การเลือกใช้วัสดุกรอบหน้าต่างที่มีค่าการสะท้อนแสงมากเพื่อทำให้ความสว่างจ้าของกรอบหน้าต่างสัมพันธ์กันกับความสว่างจ้าของช่องแสง

2.2.6. ปัจจัยที่ช่วยให้มองเห็นได้ชัดเจน(Factor in Visual Acuity)

ปัจจัยพื้นฐานของการมองเห็นเห็นชิ้นงานหรือวัตถุได้ชัดเจนมี 4 ปัจจัยได้แก่ ขนาด (Size) ความสว่างจ้า (Brightness) ความเปรียบต่าง (Contrast) และ เวลาที่ใช้ในการมอง (Time Exposure) นอกจากปัจจัยพื้นฐานทั้ง 4 ปัจจัยนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆรองลงมาได้แก่ รูปแบบของฉากหลัง (Pattern of background) ขอบเขตของแสงจ้า (Peripheral Glare) การปรับม่านตา (Pupil accommodation) และความจัดของสี(Chromaticity) ซึ่งทั้งหมดจะเป็นปัจจัยที่พิจารณารองลงมาจากปัจจัยพื้นฐานทั้ง 4 ปัจจัยข้างต้น

- ขนาดของวัตถุที่มองเห็น (Size of Visual Object)

โดยทั่วไปแล้วความชัดเจนในการมองเห็นเป็นสัดส่วนของขนาดทางกายภาพของวัตถุ และขึ้นอยู่กับการให้ความสว่างที่วัตถุ (fixed brightness) ความเปรียบต่างและเวลาที่ใช้ในการมอง แม้ว่าในทางกายภาพไม่มีขอบเขตในการมองภาพที่แท้จริงก็ตามแต่มุมแห่งการมอง(subtended visual angle) มีผลต่อความสามารถในการมองเห็นได้ดีขึ้นเมื่อมีการนำวัตถุหรือภาพเข้ามาใกล้ตา

การมองเห็นของตาคนเรานั้นจะสามารถเห็นวัตถุที่ใหญ่ได้ง่ายกว่าวัตถุที่เล็ก และมีแนวโน้มที่จะเห็นวัตถุชิ้นเดียวกันมีขนาดเล็กลงในเวลากลางคืนเมื่อเทียบกับเวลากลางวัน การเพิ่มปริมาณแสงที่พอเหมาะ คือ การทำให้ตาของคนเรามีความรู้สึกเห็นวัตถุชิ้นเดียวกันนั้นเสมือนขยายใหญ่ขึ้นมาเท่ากับขนาดที่เราเห็นในเวลากลางวัน วัตถุยิ่งเล็กๆรายละเอียดมาก ปริมาณแสงที่ต้องการจะมีมากขึ้นเป็นเงาตามตัว เช่น การอ่านหนังสือ การพิมพ์ดีด การเขียนแบบ ย่อมต้องการปริมาณแสงมากขึ้นเป็นพิเศษ (พิบูลย์ ดิษฐอุดม, 2540)

- ความสว่างจ้าและความสว่าง (Brightness / Luminance)

การมองเห็นวัตถุต่างๆได้ชัดเจนหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุหรือสีของวัตถุ ถ้าความสว่างไม่เพียงพอจะทำให้เราสามารถแยกแยะวัตถุนั้นๆได้ลำบาก ยิ่งถ้าวัตถุนั้นกำลังเคลื่อนที่อยู่ก็จะต้องใช้แสงสว่างมากขึ้นเพื่อที่จะได้เห็นวัตถุนั้นได้ชัดเจน ถ้ามีความเปรียบต่างของความขาว – ดำ น้อย หรือมีลักษณะคล้ายๆ กัน หรือขนาดของวัตถุยิ่งเล็กก็ต้องการแสงสว่างมากและเวลาในการมองเห็นก็ต้องเพิ่มมากขึ้น องค์ประกอบเหล่านี้จะต้องนำไปพิจารณาในการออกแบบระบบแสงสว่าง การออกแบบแสงสว่างที่ดีได้ปริมาณแสงที่เหมาะสมถูกต้องกับการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆมากมาย ในที่นี้จะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆดังกล่าวข้างต้นที่มีผลกระทบต่อการเห็น

- ความจ้าของแสงและความส่องสว่าง (Brightness and Illumination)

เมื่อปริมาณแสงตกกระทบวัตถุ (Incident Light) เราเรียกว่า “ความส่องสว่าง” มีหน่วยวัดเป็นฟุตแคนเดิล (footcandle) แต่สิ่งที่ตาเราเห็นคือ ความสว่างจ้าของแสง(Brightness)อันเกิดจากการสะท้อนแสงจากวัตถุเข้าสู่ตา และมีหน่วยวัดเป็นฟุตแลมเบิร์ต (foot-Lambert) เมื่อเพิ่มปริมาณแสงมากขึ้นความสว่างจ้าจะมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ความสว่างจ้ามากหรือน้อยของวัตถุใดๆ ขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการสะท้อนแสง (Reflection)ของวัตถุนั้นๆด้วย ดังนั้นผู้ออกแบบต้องควบคุมความสว่างจ้าที่เกิดขึ้นให้เหมาะสม

ในการออกแบบระบบแสงสว่างทั่วไปต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่อยู่รอบๆในบริเวณที่กำลังออกแบบได้แก่ พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน โต๊ะ และชิ้นงานต่างๆ โดยต้องจัดให้สิ่งเหล่านี้มีความสว่างจ้าสอดคล้องกลมกลืนกันเพื่อสร้างความสบายตาในการมองเห็น จึงมีการศึกษาเพื่อหาสัดส่วนความแตกต่างของความสว่างจ้าที่ต้องการในสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไปของมุมมองปกติ ซึ่งมีอัตราส่วนดังต่อไปนี้

อัตราส่วนความสว่างจ้า(Brightness Ratio) ในที่นี้หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความสว่างจ้าของชิ้นงานกับสิ่งที่อยู่รอบชิ้นงานนั้น โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีสีค่อนข้างมืดกว่าพื้นที่ที่อยู่ข้างเคียง โดยพยายามจัดให้ชิ้นงานมีความสว่างจ้าน้อยกว่าพื้นที่ที่อยู่ข้างเคียงไม่เกินอัตราส่วน 1/3 : 1 หรือตามข้อเสนอแนะดังตารางที่ 2.2

ตารางที่2.2 แสดงอัตราส่วนความจ้าระหว่างชิ้นงานกับพื้นที่ที่อยู่ใกล้เคียง

ประเภทของงาน	อัตราส่วน
ระหว่างชิ้นงานกับผนังที่สว่างกว่าซึ่งอยู่ไกลออกไป	1/10 : 1
ระหว่างชิ้นงานกับผนังที่มืดกว่าซึ่งอยู่ไกลออกไป	10 : 1
ระหว่างชิ้นงานกับพื้นที่ข้างเคียงซึ่งสว่างกว่า	1/3 : 1
ระหว่างชิ้นงานกับพื้นที่ข้างเคียงซึ่งมืดกว่า	3 : 1
ระหว่างช่องเปิดหน้าต่างดวงโคมกับพื้นที่ข้างเคียง	20 : 1
พื้นที่ทั่วไปที่อยู่ในสนามแห่งการมอง	40 : 1
การเน้นเฉพาะวัตถุ	50: 1

ที่มา : Kaufman, 1981 : 9-2

ในการวิจัยนี้เลือกพิจารณาอัตราส่วนความสว่างจ้าที่ให้ความสบายตาต่อการมองเห็น ได้แก่ อัตราส่วนความสว่างจ้า 20:1 สำหรับอัตราส่วนความสว่างจ้าที่ช่องแสงกับผนังรอบช่องแสง และอัตราส่วนความสว่างจ้า 10:1 สำหรับอัตราส่วนความสว่างจ้าที่หน้าต่างกับความสว่างจ้าในบริเวณที่ห่างหน้าต่างมากที่สุด (ซึ่งในการวิจัยนี้บริเวณที่อยู่ห่างหน้าต่างมากที่สุดของห้องเรียนแบบใหม่ คือ บริเวณหน้าชั้นเรียนที่ครูยืน)

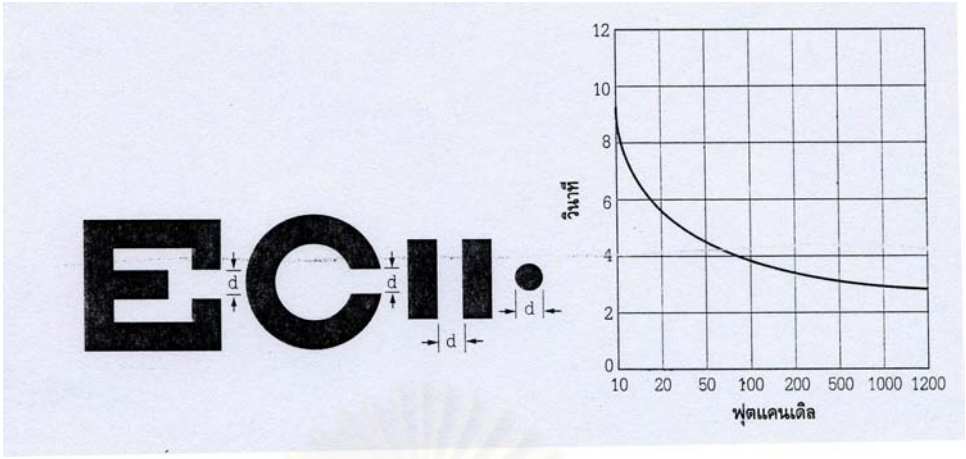
- ความเปรียบต่าง (Contrast)

ความแตกต่างของความดำ-ขาวระหว่างวัตถุกับสิ่งต่างๆที่อยู่รอบตัวมัน จะเห็นได้ว่าเมื่อความแตกต่างของความดำ-ขาวยิ่งมากการมองเห็นก็จะทำได้ง่ายขึ้น ความต้องการปริมาณแสงจะน้อยลง ยกตัวอย่างเช่น ตัวหนังสือดำบนกระดาษสีขาว ย่อมถูกเห็นได้ง่ายกว่าตัวหนังสือดำบนพื้นเทา และถ้าความแตกต่างของความดำ-ขาวยิ่งน้อยปริมาณแสงที่ต้องการจะมีมากขึ้น อย่างเช่น การเย็บผ้าสีดำด้วยด้ายสีดำย่อมต้องการปริมาณแสงเป็นจำนวนมาก เป็นต้น

- เวลา

ตามปกติตาของคนเราไม่สามารถมองเห็นวัตถุที่ปรากฏขึ้นตรงหน้าทันที เพราะต้องมีช่วงเวลาให้ตาได้สัมผัสหรือมองเห็นกับวัตถุ เนื่องจากตาต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งเพื่อปรับกล้ามเนื้อตาให้ขยายหรือหดตัวให้เข้ากับปริมาณแสง ซึ่งถ้าปริมาณแสงยิ่งน้อยการเห็นก็ต้องการเวลามากยิ่งขึ้น ดังนั้นผู้ออกแบบระบบแสงสว่างจะต้องคำนึงถึงปัญหานี้เป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ เช่น การเล่นฟุตบอลปริมาณแสงที่ต้องการจะต้องสูงเพียงพอ ผู้ออกแบบควรนำข้อจำกัดเหล่านี้มาพิจารณาเป็นพิเศษ

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ตาต้องการใช้ในการปรับตาเพื่อให้มองเห็นจะสั้นลง อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณแสงมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง เวลาที่ตาต้องการใช้ในการปรับตาจะเริ่มคงที่เนื่องจากตามีขีดจำกัดในการปรับกล้ามเนื้อตานั่นเอง ดังนั้นผู้ที่ทำงานอยู่ภายใต้แสงที่มีปริมาณมากเพียงพอ ก็ย่อมสามารถทำงานได้เร็วกว่าและถูกต้องมากกว่า



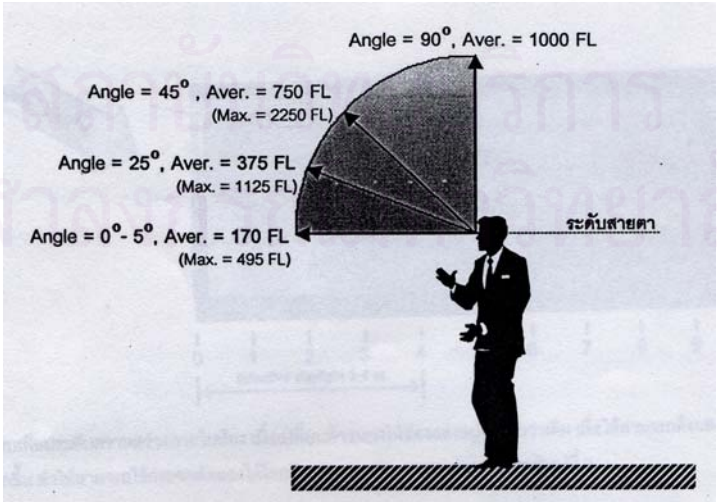
รูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นงานต่างๆและเวลาในการมองเห็นเมื่อเทียบกับปริมาณแห่งการส่องสว่าง

ที่มา :Kaufman, 1966 : 2 – 7

2.2.7. สมรรถนะในการมองเห็นและความสบายตา (Visual Performance and Comfort) (Moore, 1991)

ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความสบายตาในการมองเห็น คือ แสงจ้า ความสว่างจ้ามากเกินไปทำให้เกิดแสงจ้าส่งผลให้ความชัดเจนในการมองเห็นลดลงเพราะการรับรู้ถึงความเปรียบต่างลดลง แต่โดยปกติแล้วความสว่างจ้ามากขึ้นเนื่องจากมีระดับความส่องสว่างที่มากขึ้นช่วยให้การมองเห็นดีขึ้น

อิทธิพลของแสงไม่ได้ทำให้มนุษย์มีความสบายตาและมองเห็นได้ชัดเจนเสมอไป เพราะปริมาณความส่องสว่างที่มากเกินไปทำให้ตาไม่อาจทนทานต่อความสว่างของแสงได้ และความสว่างจ้าจากการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวเรียบที่มีมุมของการสะท้อนเข้าสู่ตาโดยตรงจะทำให้ความสว่างจ้านั้นมีความจ้ามากจนกลายเป็นแสงจ้าได้ (Michel , 1996) ความสว่างจ้าของแสงในมุมมองของการมองเห็นในมุมต่างๆที่ไม่ก่อให้เกิดแสงจ้าจากการวิจัยของ Flynn, 1988 พบว่าความสามารถของตาในการยอมรับความสว่างจ้าขึ้นอยู่กับทิศทางของมุมมองที่แสงสว่างนั้นเข้าสู่ตา จากเอกสารเผยแพร่ อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ ของศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ แสดงดังรูปที่ 2.5 แสดงระดับความสว่างจ้าที่มุมมองต่างๆ ที่ตายอมรับได้ ซึ่งในการวิจัยนี้พิจารณาความสว่างจ้า ในมุมมอง 0-5 องศา ที่มีความสว่างจ้ามากที่สุดที่ตายอมรับได้ 495 ฟุตแลมเบริต และพิจารณามุมมองตั้งแต่ 25-45 องศา ที่มีความสว่างจ้าที่ตายอมรับได้มากที่สุดตั้งแต่ 1125-2250 ฟุตแลมเบริต

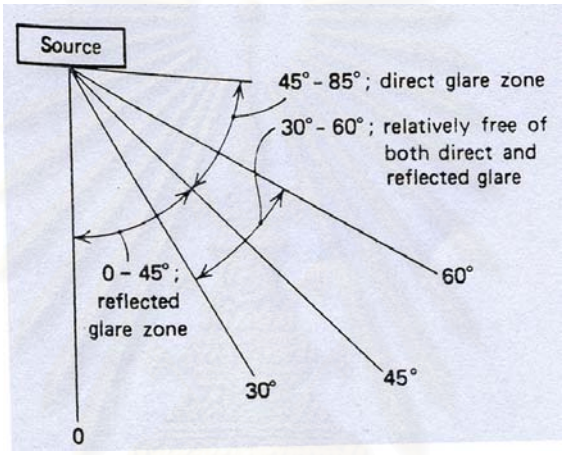


รูปที่ 2.5 แสดงระดับความสว่างจ้าที่ตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ

ระดับของการส่องสว่างไม่เพียงแต่เป็นปัจจัยในการให้แสงสว่างที่มีผลต่อการมองเห็นและประสิทธิภาพในการมอง (Visual efficiency) เท่านั้น ทิศทางของการให้แสงและการเกิดเงาของวัตถุ ทำให้เห็นวัตถุได้ชัดเจนขึ้น การตกแต่งและรูปทรงของวัตถุกับการให้แสงและการติดตั้งดวงโคม ความสบายตาในการมองเห็น สภาพแวดล้อมโดยรอบวัตถุ การสร้างความน่าสนใจให้มอง ความง่ายและชัดเจนในการมองชิ้นงาน สิ่งต่างๆที่กล่าวมานี้มีสิ่งสำคัญที่ที่มีส่วนในการออกแบบจัดแสงก็คือ แสงจ้า (W.R. Stevens, 1969 : 23)

แสงจ้า(Glare) ถูกแบ่งออกตามทางของแสงจ้า (Path of the glare) ได้ 2 อย่าง คือ แสงจ้าทางตรง (Direct glare) ที่เกิดจากการมองแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง และแสงจ้าทางอ้อม(Reflected glare) ที่เกิดจากการสะท้อนแสงของแหล่งกำเนิดแสงบนพื้นผิวมันเงา ซึ่งทั้งแสงจ้าที่ทำให้ไม่สบายตา(Discomfort glare) และแสงจ้าที่ลดความสามารถในการมองเห็น (Disability glare) เป็นสาเหตุให้เกิดได้ทั้งแสงจ้าทางตรงและแสงจ้าทางอ้อม



รูปที่ 2.6 แสดงแสงจ้าทางตรงและแสงจ้าทางอ้อม

ที่มา : Kaufman, 1966 : 11-3

แสงจ้า(Glare) สามารถแบ่งตามผลกระทบที่มีต่อการมองเห็นของผู้สังเกตได้2 อย่าง คือ แสงจ้าที่ลดความสามารถในการมองเห็น(Disability Glare) และแสงจ้าที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา(Discomfort Glare)

- <u>แสงจ้าที่ลดความสามารถในการมองเห็น</u> เป็นผลกระทบที่เกิดจากพื้นที่ในสนามของการมองเห็น (Field of view) ที่มีความสว่างจ้ามากจนเป็นเหตุให้ตาพร่าและเป็นสาเหตุของเงาสะท้อนเหนือภาพที่มอง (Veiling Glare) ซึ่งผลของเงาสะท้อนเหนือภาพที่มองนี้จะลดความเปรียบต่างในการมองเห็น (Visual contrast) ในมุมแห่งการมองทำให้ความชัดเจนในการมองภาพลดลง ตัวอย่างการเกิดแสงจ้าที่ลดความสามารถในการมองเห็นที่พบกันบ่อยๆเช่น การขับรถยนต์ในเวลากลางคืนบนถนนว่างที่ไม่มีรถยนต์คันอื่นๆ ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นถนนข้างหน้าได้โดยอาศัยความส่องสว่างของไฟจากหน้ารถยนต์ ดังนั้นพื้นผิวถนนด้านหน้ารถจึงมีความสว่างมากกว่าบริเวณอื่นๆที่ไม่ได้รับความสว่างจากแสงไฟหน้ารถ เนื่องจากพื้นผิวที่ได้รับแสงสว่างจะสะท้อนแสงได้ดีกว่าและสว่างกว่าพื้นผิวที่มืดกว่าหรือพื้นผิวที่ไม่ได้รับแสงสว่าง และเมื่อมีความสว่างจากแสงไฟหน้ารถยนต์ของรถที่ขับสวนมา ทำให้เกิดแสงจ้าพร่านัยตาเพราะความสว่างของแสงจ้านี้ทำให้เกิดการสะท้อนแสงบนพื้นผิวถนนที่มีความสว่างและพื้นผิวถนนที่มีความมืดด้วย จึงทำให้ผู้ขับขี่ไม่สามารถมองเห็นไปชั่วขณะหนึ่ง ข้อยกเว้นกรณีแสงจ้าที่ลดความสามารถในการมองเห็นเช่น การมองท้องฟ้าผ่านทางหน้าต่างที่อยู่ปลายสุดของบริเวณทางเดินที่มืดกว่า หรือการสะท้อนจากวัสดุที่มีพื้นผิวมันเงา

แสงจ้าที่ทำให้มองไม่เห็นทำให้สภาพที่เป็นปกติเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น ความสว่างจ้าจากหน้าต่างที่ตรงกับแนวการมองของตา (line of sight) หรือการสะท้อนแบบกระจก (Specular reflection) จากผิวมันเงา ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดที่สุดของแหล่งกำเนิดแสงจ้า คือ ดวงอาทิตย์ หรือแสงไฟจากหน้ารถยนต์ในเวลากลางคืน

- <u>แสงจ้าที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา</u> เป็นแสงจ้าที่ไม่ขัดขวางความสามารถหรือลดสมรรถนะในการมองเห็น แสงจ้านี้อาจเกิดขึ้นได้จากความสว่างจ้าจากแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่ในสนามแห่งการมองที่ไม่ทำให้แสบตาได้เช่น การมองเห็นความสว่างจากดวงโคมในสภาพแวดล้อมภายในห้องที่มีความมืดมากๆ

ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดแสงจ้าความไม่สบายตา (Discomfort Glare) ของแสงธรรมชาติ (Daylight) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าดัชนีแสงจ้า มีดังต่อไปนี้ (Hopkinson, Petherbrige และ Longman ,1966)

1. ความสว่างของท้องฟ้า (The luminance of the sky) ที่มองเห็นผ่านหน้าต่าง หน้าต่างที่กว้างมากค่าดัชนีแสงจ้าก็จะยิ่งมากขึ้นด้วย
2. ขนาดของมุมมองท้องฟ้าที่มองเห็น (The apparent size of the visible area of sky) ซึ่งถ้าขนาดของมุมมองยิ่งกว้างมากก็ยิ่งมีค่าดัชนีแสงจ้ามาก
3. ตำแหน่งของท้องฟ้ามองเห็นในสนามแห่งการมอง (The position of the visible sky within the field of view) ตำแหน่งยิ่งใกล้จุดศูนย์กลางภาพที่เห็นมากเท่าไรค่าดัชนีแสงจ้าก็ยิ่งมากขึ้นด้วย
4. ความสว่างเฉลี่ยของห้องไม่นับรวมความสว่างท้องฟ้าที่มองเห็น (The average luminance of the excluding the visible sky) ยิ่งห้องมีความมืดมากค่าดัชนีแสงจ้าก็ยิ่งมากขึ้น

ในสหรัฐอเมริกามีการใช้ Index of Sensation ในการประเมินค่าแสงจ้าที่ไม่สบายตา (Discomfort Glare) โดยใช้ในการประเมินค่าครั้งแรกกับแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ ส่วน IES (The Illumination Engineering Society,1981) ได้กำหนดดัชนีแสงจ้าเป็นตัวเลขที่ใช้กับแหล่งกำเนิดแสงแต่ละแหล่ง ซึ่งใช้แสดงผลความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง(Source luminance) ค่าตัวประกอบของมุมตัน (Solid angle factor) ดัชนีตำแหน่ง (Position Index) และความสว่างในสนามแห่งการมองที่อยู่ในอันดับของแสงจ้าไม่สบายตา (The field luminance on discomfort glare rating) ซึ่ง อันดับของแสงจ้าไม่สบายตา(Discomfort glare rating) นี้ได้จากผลรวมของแหล่งกำเนิดแสงทั้งหมด(หลายๆแหล่ง)ในสนามแห่งการมอง

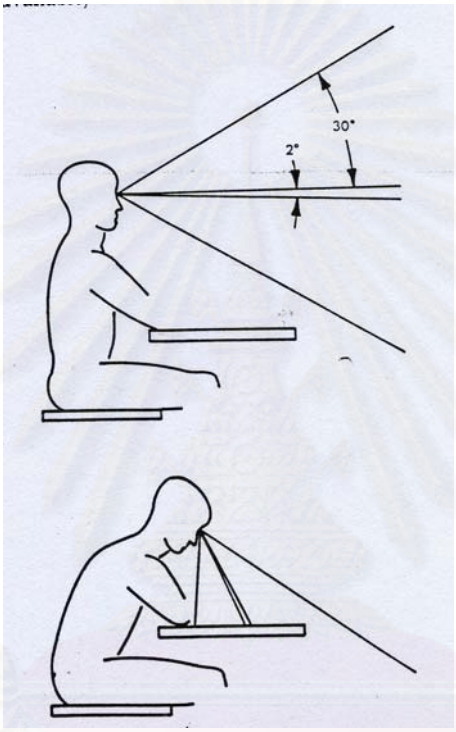
<u>เงาสะท้อนเหนือภาพที่มองเห็น</u> (Veiling Reflects) เป็นรูปแบบหนึ่งของแสงจ้าทางอ้อม(Reflect glare) จะเกิดขึ้นเมื่อความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงถูกสะท้อนกลับบนพื้นผิวที่มีความมันเงา(specular task surface) ตัวอย่างที่พบบ่อยๆ เช่น เงาสะท้อนเหนือภาพบนพื้นผิวของปกนิตยสารที่มีความมันเงาเนื่องจากการสะท้อนกลับของแสงจากดวงโคมแสงไฟฟ้าที่ตกกระทบบนปกนิตยสาร ทำให้ลดความชัดเจนของภาพบนปก เพราะความสว่างจ้าของเงาที่สะท้อนบนภาพทำให้เพิ่มความสว่างจ้าบนปกนิตยสารที่มีพื้นผิวมันเงาเพิ่มมากขึ้น จึงลดความเปรียบต่างความสว่างของภาพบนปกนิตยสารนั้นและทำให้มองเห็นภาพไม่ชัดเจน

Veiling Reflects หรือเงาสะท้อนเหนือภาพที่มองสามารถควบคุมได้โดย

1. ควบคุมตำแหน่งที่ติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มสว่างมากๆให้อยู่นอกบริเวณที่จะเกิดการสะท้อนแสงเข้าสู่สนามแห่งการมองเห็น

2. ลดความสว่างหรือลูมิแนนต์ของแหล่งกำเนิดแสง โดยจัดวางแหล่งกำเนิดแสงให้กระจายออกไปเป็นพื้นที่กว้างๆที่ระนาบทำงาน(Working plane) จะช่วยลดการเกิดเงาสะท้อนเหนือภาพที่มองเห็นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มสว่างมากที่ทำให้เกิดการสะท้อนของแสงจ้าในสนามแห่งการมองเห็น

ส่วนมากมุมมองที่นั่งอ่านหนังสือกับโต๊ะที่ไม่เอียงมุมจะมีมุมวิกฤต เป็นมุม 25 องศา และเมื่อแสงจากดวงโคมตกกระทบกับโต๊ะในแนวระนาบ (หน้าโต๊ะไม่เอียง) ในมุม 25 องศาจะทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) และเกิดเงาสะท้อนเหนือภาพที่เข้าสู่มุมมองของตาได้ จึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดมุมสะท้อน 25 องศา ดังรูป 2.7



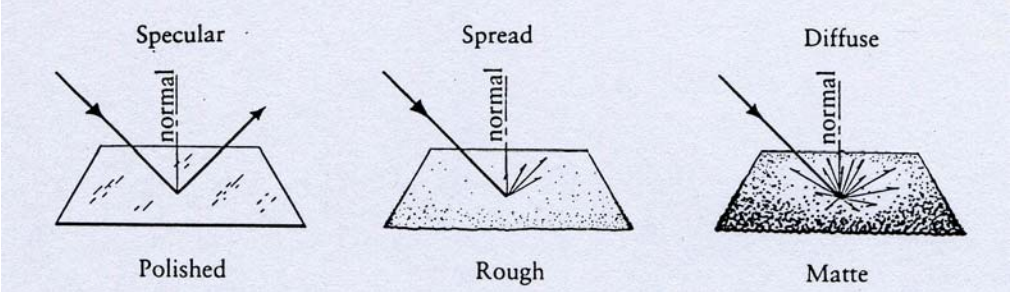
รูปที่ 2.7 แสดงมุมมองขณะนั่งเรียนหนังสือ

ที่มา : Egan, 1983 : 37

2.3 แหล่งกำเนิดแสง

2.3.1. พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงตกกระทบพื้นผิววัตถุ ดูรูปที่ 2.5 จะมีการกระทำที่พื้นผิววัตถุอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้ง 3 ชนิด ดังนี้ : 1) เกิดการสะท้อน(reflected)กลับในทิศทางตรงข้ามกับแสงที่ตกกระทบ; 2)เกิดการดูดกลืน (absorbed) ที่ผิววัสดุ โดยปกติแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน; หรือ 3) เกิดการทะลุผ่าน (transmitted) ไปยังอีกด้านหนึ่งของเนื้อวัสดุ



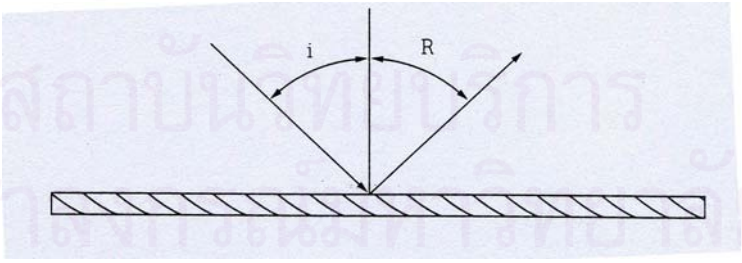
รูปที่ 2.8 แสดงการกระทำของแสงกับพื้นผิววัสดุ

ที่มา : Michel, 1996 : 37

การสะท้อน (Reflectance) หมายถึง ปริมาณของแสงที่สะท้อนกลับภายหลังการตกกระทบของแสงบนพื้นผิววัสดุ ค่าการสะท้อนของแสงไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณความเข้มสว่างเปลี่ยนไป อัตราส่วนของการดูดกลืนแสงและการสะท้อนกลับบนผิววัสดุมีปริมาณเดียวกันกับปริมาณของแสงที่ตกกระทบไม่ว่าความเข้มสว่างมากขึ้นหรือน้อยลงก็ตาม

จากรูปที่ 2.8 เป็นการแสดงการกระทำของแสงทั้ง 3 แบบกับพื้นผิววัสดุเรียบ ซึ่งในทางสาขาวิชาส่องสว่างถือปฏิบัติ ได้แก่ การสะท้อนแบบมันเงา(specular reflection), การสะท้อนแบบกระจาย (spread reflection), และ การสะท้อนแบบแพร่กระจาย (diffuse reflection)

พื้นผิววัสดุขัดมัน (Polished) และไม่มีความหยาบขรุขระ กล่าวกันว่ามีคุณสมบัติการสะท้อนแบบมันเงา (Specular) และมีการดูดกลืนน้อยมาก มีปริมาณการสะท้อนกลับมากที่สุด ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด ได้แก่ กระจก และวัสดุผิวมันต่างๆ เช่น อโนไดซ์ อลูมิเนียม แก้วและพลาสติกผิวเรียบ หินอ่อน กระเบื้องเคลือบ และสีเคลือบมันเงา พื้นผิวต่างๆเหล่านี้ตามกฎในทางฟิสิคส์ กล่าวว่า มุมตกกระทบของแสงเท่ากับมุมสะท้อน ในการวัดมุมตกกระทบและมุมสะท้อนนี้ถูกอ้างอิงด้วยระนาบทางทฤษฎีที่เรียกว่า “normal “(เส้นตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุ) ดูรูปที่ 2.9 ซึ่งตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุที่แสงตกกระทบ การสะท้อนแบบมันเงาเป็นสาเหตุของการเกิดแสงจ้าทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมแห่งการมองและมุมสะท้อนของแสง



รูปที่ 2.9 แสดงมุมตกกระทบของแสงเท่ากับมุมสะท้อน

ที่มา : Willard Allphin, P.E., 1973 : 21 อ้างโดย ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2543: 6

พื้นผิววัสดุหยาบขรุขระเล็กน้อย (Rough) มีคุณสมบัติการสะท้อนแบบกระจาย (spread reflection) ซึ่งหมายถึงพื้นผิววัสดุที่ได้รับแสงตกกระทบและไม่สามารถสะท้อนกลับได้เหมือนกับการสะท้อนกลับแบบกระจก ตัวอย่างเช่น พื้นผิววัสดุที่ถูกขัดให้ขึ้นเงา ซึ่งพื้นผิวชนิดนี้มีความเงาและลดความจ้าของแสงสะท้อนได้

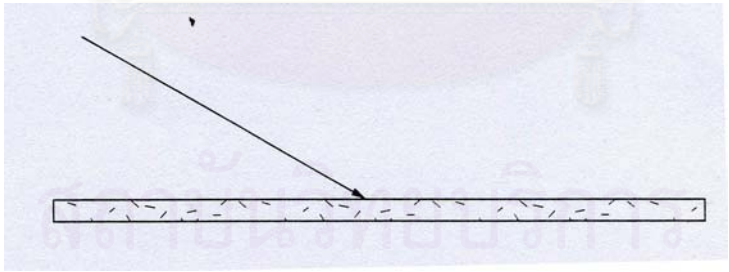
พื้นผิววัสดุหยาบขรุขระ (Matte)มีคุณสมบัติการสะท้อนแบบแพร่กระจาย (diffuse reflection) พื้นผิวของวัสดุชนิดนี้มีความหยาบขรุขระมากกว่าพื้นผิวอื่นๆ เมื่อแสงตกกระทบบนส่วนที่ยื่นออกมามากที่สุดจากพื้นผิวที่มีความหยาบขรุขระมากที่สุด จะทำให้เกิดการสะท้อนกลับตามกฎของมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และส่วนยื่นของพื้นผิวหยาบขรุขระที่สม่ำเสมอกันจะมีการสะท้อนกลับแบบกระจายออกตามทิศทางเดียวกันกับทิศที่แสงตกกระทบ ดูรูปที่ 2.8 ดังนั้นการสะท้อนแบบนี้จะกระจายแสงออกไปทุกทิศทาง ตัวอย่างวัสดุที่มีการสะท้อนแบบกระจาย ได้แก่ สีใช้ทาวัสดุที่ให้พื้นผิวด้านหรือไม่มันเงา ผิวปูนฉาบ ไม้ คอนกรีต และอิฐ

การสะท้อนกลับของพื้นผิววัสดุเดียวกัน อาจเกิดการสะท้อนได้ทั้ง 2 แบบ หรือสะท้อนร่วมกันของทั้ง 3 แบบ (specular reflection, spread reflection, diffuse reflection) ดังนั้นค่าการสะท้อนของวัสดุที่ใช้จึงมีความสำคัญเพื่อให้นักออกแบบใช้เป็นแนวทางในการกำหนดใช้พื้นผิววัสดุเพื่อให้ได้ความสว่างจ้าของแสงที่สะท้อนออกจากผิววัสดุต่างๆที่ใช้ในงานสถาปัตยกรรมมีความแตกต่างกัน

ตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิววัสดุ เช่น

กระดาษขาว	85%
พื้นผิวเรียบสีดำ	4%
สีเทาเข้ม	14%
อลูมิเนียม	60%
ไม้มะฮอกกานี	10%

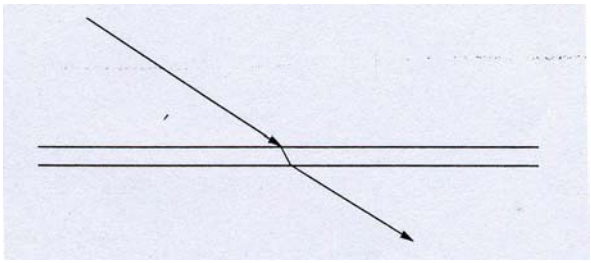
การดูดกลืน (Absorbtion) เมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่เป็นผิวเรียบธรรมดาจะมีบางส่วนหรือทั้งหมดที่หายเข้าไปในพื้นผิวเรียบนั้น ไม่สะท้อนกลับออกมาหรือออกมาน้อยกว่าปกติ จะสังเกตเห็นว่า เมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในพื้นวัตถุแล้วมันจะเปลี่ยนสถานะออกมาในรูปของพลังงานความร้อน



รูปที่ 2.10 แสดงการดูดกลืนแสงเมื่อตกกระทบตัวกลาง

ที่มา : Willard Allphin, P.E., 1973 : 21 อ้างโดย ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2543: 6

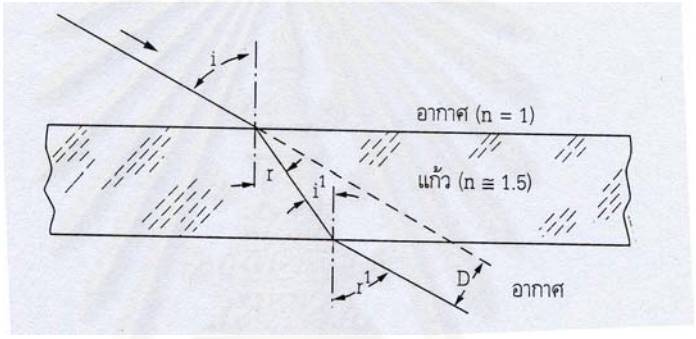
การทะลุผ่านตัวกลาง (Transmission) เมื่อแสงตกกระทบลงบนพื้นหรือวัสดุและทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งของตัวกลาง



รูปที่ 2.11 แสดงการทะลุผ่านตัวกลางของแสงเมื่อตกกระทบตัวกลางในแนวระดับ

ที่มา : Willard Allphin, P.E., 1973 : 22 อ้างโดย ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2543: 7

การหักเห (Refraction) เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงสว่างผ่านตัวกลางลำแสงจะหักเหออกจากแนวทางเดิน ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อแสงวิ่งผ่านวัตถุที่โปร่งแสง เช่นแก้ว



รูปที่ 2.12 แสดงการหักเหของแสงเมื่อวิ่งผ่านตัวกลาง

ที่มา : Kaufman, 1966 : 6 – 3 อ้างโดย ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2543 : 5

2.3.2. แสงธรรมชาติ

สภาพที่ตั้งของประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยทั่วไปมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 28-29 ^{0}c เฉพาะในเวลากลางวันมีค่าประมาณ 30-31^{0}c สภาพท้องฟ้ามีเมฆมากและมีแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี (ดังตารางที่1.2) จะเห็นว่าดัชนีเมฆของประเทศไทยมีค่าตั้งแต่ 5.9ถึง9.0 (ค่าสูงสุดคือ10) และค่าระดับความสว่างสำหรับกรุงเทพมหานครมีความสว่างในระดับ 10,000 ลักซ์ ขึ้นไป มีความถี่ถึงกว่า 99% ของเวลากลางวัน

ในการมองเห็นสิ่งต่างๆนั้นความชัดเจนของการมองเห็นเกิดจากปริมาณแสงที่ตกกระทบบนวัตถุในระดับที่แตกต่างกัน ที่ทำให้เกิดความเปรียบต่างความสว่างจ้าบนผิววัสดุในระดับที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นสีของวัตถุต่างๆที่มองเห็นก็เป็นผลเนื่องมาจากช่วงคลื่นของแสงที่ส่องออกมาจากแหล่งกำเนิดกระทบวัตถุแล้วเกิดการหักเหดูดซับหรือสะท้อนคลื่นสีต่างๆออกมา เช่น ในวัตถุทึบแสงที่สะท้อนคลื่นแสงแดงและดูดซับคลื่นแสงสีอื่นๆไว้ก็จะเห็นวัตถุนั้นเป็นสีแดง ซึ่งแสงสว่างธรรมชาติจะให้ช่วงของความยาวคลื่นกว้างที่สุด(มีสีทุกความยาวคลื่น) นั่นหมายความว่าวัตถุต่างๆภายใต้แสงสว่างธรรมชาติจะให้สีที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดเมื่อเทียบกับการให้แสงที่เกิดแสงประดิษฐ์

2.3.3. สภาพท้องฟ้า (Sky condition)

ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่นฝุ่น ควัน หรือไอน้ำ อย่างไรก็ตามหลังจากที่แสงธรรมชาติผ่านสิ่งต่างๆมาถึงพื้นดินระดับความสว่างบนพื้นดินจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปสภาพท้องฟ้าสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1. สภาพท้องฟ้าแจ่มใส หมายถึงสภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม (Clear Sky) หรือมีเมฆปกคลุมไม่เกิน30 %ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบ คือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Illumination) และแสงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์(Solar altitude) เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวตั้งประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความส่องสว่างของพื้นผิวแนวระนาบเนื่องจากแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนของท้องฟ้า (Half Sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล และมีค่าเฉลี่ย 1,000 ฟุตแคนเดิล จากการวิจัย(Moon, Hopkinson, 1968) พบว่าความสว่างของสภาพท้องฟ้าแบบโปร่งสามารถเขียนเป็นสมการแยกออกได้เป็น 2 กรณีดังนี้ คือ

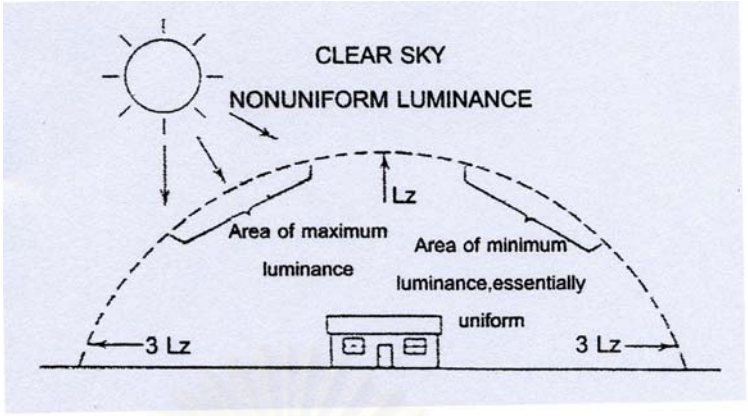
สมการที่ 1 ในกรณีที่เกิดจากท้องฟ้าอย่างเดียว

$$E_H = 1345 + 14{,}795 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.1)}$$

สมการที่2 ในกรณีที่เกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว

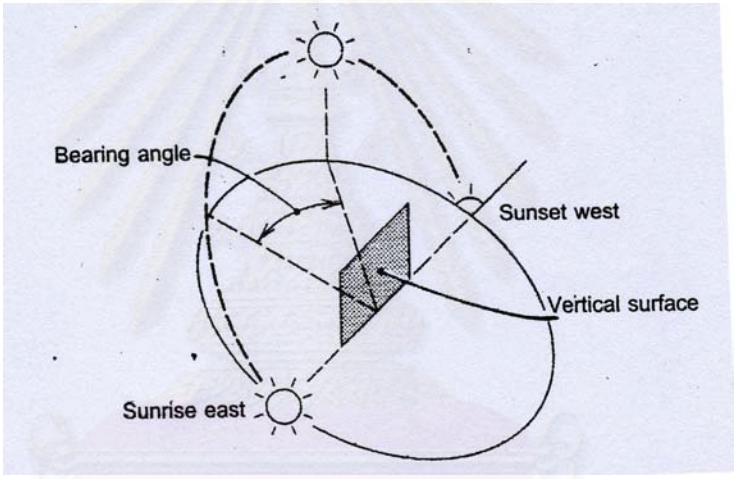
$$\log E_H = 4{,}466 + 0.31 \log A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.2)}$$

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้งขึ้นอยู่กับมุม Azimuth และ Altitude หรือมุม Bearing ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่าง หรือด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุม Bearing มีค่ามากกว่า 90 องศา (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุหรือพื้นผิวใดๆที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย



รูปที่ 2.13 แสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky

ที่มา : Stein and Reynolds,1992: 974



รูปที่ 2.14 แสดง Bearing angle

ที่มา : Stein and Reynolds,1992: 977

2. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) หมายถึงสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม 30 – 70 % การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้ทำได้ยากเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของเมฆตลอดเวลา โดยทั่วไปการพิจารณาค่าการส่องสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนนี้หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบางไม่หนาทึบ(น้อย) ค่าความสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่ามากกว่าค่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10 -15 % เนื่องจากการสะท้อนแสงของเมฆ (Nadamura and Oki, 1983) ในขณะที่การวิจัย (Krochman, 1968) พบว่าค่าความสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_{Hp} = 500A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.3)}$$

โดย E_{Hp} คือค่าความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบภายใต้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน(Partly Cloudy Sky)มีหน่วยเป็นลักซ์

A คือ Solar altitude

อย่างไรก็ตามหากที่เมฆปกคลุมท้องฟ้ามีลักษณะเป็นกลุ่มหนาทึบหรือมีสีดำ เช่น เมฆฝน ก็อาจทำให้แสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้าและปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ถูกกั้น นั่นคือ แสงจะถูกดูดกลืนมากกว่าการสะท้อน อันเป็นผลให้ค่าความสว่างจากท้องฟ้ามีค่าลดลง หากพิจารณาค่าความส่องสว่างในระดับระนาบแนวนอนและระนาบแนวตั้ง ซึ่งมีอิทธิพลในการพิจารณาการนำแสงมาใช้ จากการศึกษา (The Gillete prediction model, 1985) อาศัยดัชนีเมฆ หรือ Cloud Ratio หาความสัมพันธ์ของความส่องสว่างของท้องฟ้าอันเกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตยีและแสงที่กระจายจากท้องฟ้า (Elvegard and Sjostedt, 1940) พบความสัมพันธ์เพื่อหาค่าระดับความส่องสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบแนวนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางตามสมการดังนี้

$$E_H = 0.35\ E_S + 0.89\ E_C \text{ (lux)} \qquad (2.4)$$

โดย E_S คือค่าความสว่างที่ได้จากแสงตรงของดวงอาทิตย์

E_C คือค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงกระจายภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง

3. สภาพท้องฟ้ามืด หมายถึงสภาพที่ท้องฟ้าถูกปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได้ (Overcast Sky หรือ CIE Sky) มีเมฆปกคลุมมากกว่า 70% ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งความสว่างในระดับสูงสุด(Zenith Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบมีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (Horizontal Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่ามีผลทำให้พื้นผิวระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องจากค่าความสว่างของท้องฟ้าที่จุดใดๆจะพิจารณาจากมุม Altitude ของดวงอาทิตย์เหนือระดับแนวระนาบซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$L_A = L_Z\ (1+2\ \sin A)\ /\ 3 \qquad (2.5)$$

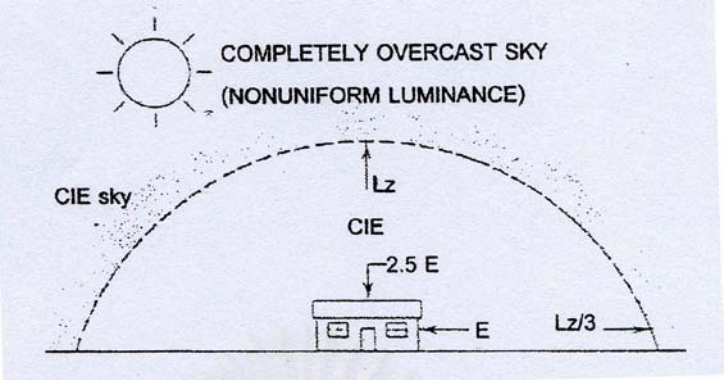
โดย L_A คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งของมุม A องศา เหนือแนวระนาบในทุกทิศทาง

L_Z คือ ความสว่างของท้องฟ้าที่จุดสูงสุด (Zenith)

ดังนั้นความสว่างที่ระดับสูงสุด Zenith Luminance จากการศึกษา Krochman and Sidel พบว่า

$$L_Z = 123+8600\ \sin A \text{ (cd/sqm)} \qquad (2.6)$$

โดย A คือ Solar altitude



รูปที่ 2.15 แสดงท้องฟ้าแบบOvercast Sky

ที่มา : Stein and Reynolds,1992: 974

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณีคือมีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอกัน (Uniform Brightness) ความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบมีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizontal-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง แต่ก็มีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง จากการวิจัย (Krochman, 1963) พบว่าค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky จะแปรผันตาม Solar altitude สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \qquad \text{.....(2.7)}$$

โดย E_H คือค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้า Overcast Sky มีหน่วยเป็น ลักซ์

A คือ Solar altitude

- วิธีการแยกประเภทสภาพท้องฟ้า

<u>การพิจารณาแยกประเภทสภาพของท้องฟ้าสามารถพิจารณาได้ 2 วิธี ดังนี้</u>

1. การแยกโดยใช้วิธีการหาอัตราส่วนของท้องฟ้า (The sky ratio method)

การแยกประเภทท้องฟ้าด้วยอัตราส่วนของค่ารังสีกระจายจากท้องฟ้าต่อค่ารังสีจากท้องฟ้าที่ตกกระทบในแนวระนาบทั้งหมด วิธีการนี้ถ้าหากอัตราส่วนของท้องฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่ามุมAltitudeของดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับศูนย์ และการแยกประเภทท้องฟ้าด้วยวิธีนี้จะมีความคลาดเคลื่อนเมื่อมุมอัลติจูด (Altitude) ของดวงอาทิตย์มีค่าต่ำมากๆ การแยกประเภทท้องฟ้าด้วยวิธีนี้สามารถแยกประเภทท้องฟ้าออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear Sky)	:	Sky Ratio <=	0.3
สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky)	:	0.3 < Sky Ratio>	0.8
สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)	:	Sky Ratio > =	0.8

2. การแยกประเภทท้องฟ้าด้วยองค์ประกอบของก้อนเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า(The sky cover method)

การแยกประเภทท้องฟ้าวิธีนี้เป็นการประมาณปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยอาศัยข้อมูลที่เก็บเป็นรายชั่วโมงของ กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีค่าระหว่าง 0–10 โดยที่

ค่าระหว่าง 0-3 จัดเป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear Sky)

ค่าระหว่าง 3-7 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

ค่าระหว่าง 7-10 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (Overcast Sky)

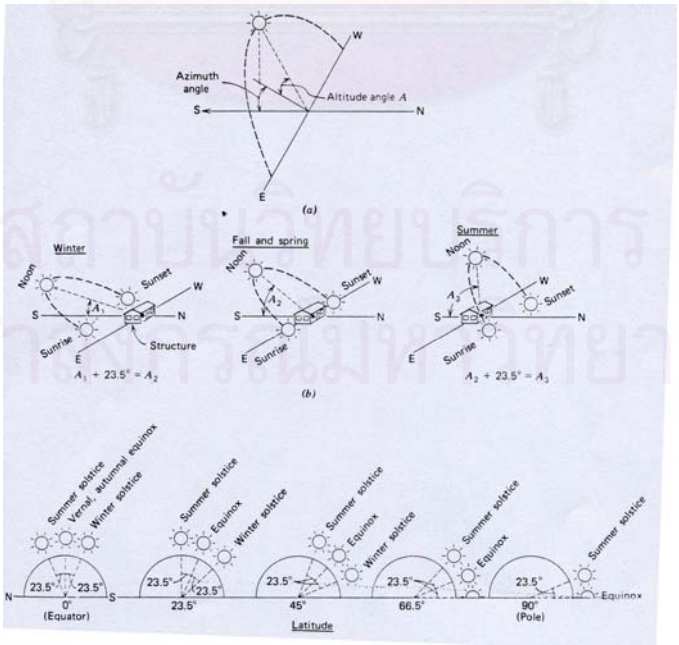
ในการวิจัยนี้เลือกพิจารณาเฉพาะท้องฟ้าโปร่งเท่านั้น เนื่องจากมีความสว่างจ้าของท้องฟ้ามากที่สุด แต่สภาพท้องฟ้าของกรุงเทพมหานครมีเมฆปกคลุมบางส่วนตลอดทั้งปี (จากรายงานการเก็บข้อมูลสภาพท้องฟ้าของกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา โดยเฉลี่ย 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 - 2540) ดังนั้นการเลือกสภาพท้องฟ้าโปร่งเพื่อทำการทดลองในการวิจัยนี้ จึงเลือกทำการทดลองเฉพาะวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่งมากที่สุด คือ มีเมฆปกคลุมน้อยที่สุด หรือมีอัตราส่วนท้องฟ้าไม่เกิน 0.3

2.3.4. ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

การคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อนำไปใช้ในแต่ละบริเวณนั้นจะเริ่มต้นจากการหาทิศทางตำแหน่งของดวงอาทิตย์และองค์ประกอบอื่นๆ ดังนี้

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

โดยที่เวลาท้องถิ่น(Local time)จะแปรเปลี่ยนมาจากเวลาที่แท้จริงของดวงอาทิตย์(Solar time) และมุมต่างที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นเรเดียน(Radian) ที่อธิบายถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.16 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมอัลติจูดและมุมอะซิมุธ

ที่มา : Stein and Reynolds, 2000: 1113

1. ตำแหน่งของที่ตั้ง

ตำแหน่งและที่ตั้งของบริเวณที่ศึกษานั้นถูกกำหนดขึ้นจากเส้นรุ้ง(Longitude, l) และเส้นแวง(Latitude, L) ที่มีอยู่ เส้นรุ้งและเส้นแวงของกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ที่ เส้นรุ้ง(Longitude, l) 100° 30' และเส้นแวง(Latitude, L)13° 44' โดยมีหน่วยเป็น องศา-พิลิปดา

เส้นแวง(Latitude, L) ถูกกำหนดให้ด้านเหนือของทรงกลม(Hemisphere) มีค่าเป็นบวก และด้านใต้ของทรงกลมมีค่าเป็นลบ

เส้นรุ้ง(Longitude, l) ถูกกำหนดให้ด้านทิศตะวันตกของเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน(Meridian, Greenwich, U.K.) มีค่าเป็นลบ และด้านทิศตะวันออกของเส้นแบ่งเวลามีค่าเป็นบวก

2. การบอกเวลา

ปัจจุบันนี้การบอกเวลาแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการบอกเวลาแบบปกติตามแต่ละท้องถิ่น แต่การบอกเวลาตามดวงอาทิตย์(Solar time) สามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐานโดยเริ่มจากการกำหนดจากเส้นแวง (Latitude, L) ของเส้นแบ่งเวลาในช่วงต่างๆ และจากสมการของเส้นบอกเวลา(Equation of time) โดยเวลาเทียบเท่าจะมีความแตกต่างจากเวลาดวงอาทิตย์(Solar time) และเวลานาฬิกา(Clock time) เนื่องจาก

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

การบอกเวลาแบบ Equation of time สามารถอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$ET = 0.170\sin\{4\pi(J-80)/373)\}-0.129\sin\{2\pi(J-8)/355)\} \quad (2.8)$$

โดยที่ ET = เวลาเทียบเท่า(Equation of time) ในหน่วยของเวลาแบบทศนิยม(เช่นเวลา13.30น. เท่ากับ 13.5)

J = วันที่ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี(Julian date) โดยเริ่มนับตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

ตารางที่ 2.3 แสดงเวลามาตรฐานตามเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน(Time Zone Standard Meridians)

Time Zone	Standard Meridian	
	Degree	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	2.86

ที่มา : Daylighting, Daylighting Sources and Availbility

ค่าที่ได้จากสมการข้างต้นเป็นค่าที่น้อยที่สุดของสมการกำลัง 2 (Lamm, 1970) ซึ่งไม่มีความแม่นยำในการนำมาใช้คำนวณแสงธรรมชาติ โดยแพาะในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้นตามแต่ละบริเวณที่ต้องการอ้างถึง เส้นรุ้งที่พาดผ่าน เพื่อนำมาคำนวณเวลาของดวงอาทิตย์(Solar time) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐาน(Standard time) และเวลาแสงอาทิตย์(daylight time) สามารถกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$t_s = t_d - 1 \quad \text{.....(2.9)}$$

โดยที่ t_s = เวลามาตรฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)

t_d = เวลาแสงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง(Daylight time in decimal hours)

เวลาดวงอาทิตย์(Solar time) สามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐาน(Standard time) ได้ดังนี้

$$t = t_s + ET + \{12(SM - L)\} / \pi \quad \text{.....(2.10)}$$

โดยที่ t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

t_s = เวลามาตรฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)

ET = เวลาที่ใช้ในการคำนวณหน่วยทศนิยมของชั่วโมง(Time in decimal hours)

SM = ระยะจากเส้นแงเวลามาตรฐานเมอริเดียน(Standard meridian) หน่วยเรเดียน(rad)

L = ตำแหน่งตามเส้นแวงหน่วยเรเดียน(Site Latitude in rad)

3. ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar Position)

ตำแหน่งแะทิศต่างๆของดวงอาทิตย์ถูกกำหนดโดยมุมอัลติจูดและมุมอะซิมุธของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude and Azimuth) ซึ่งลักษณะของมุมทั้ง 2 จะอิงกับ เส้นแวง ณ บริเวณนั้น เวลาของดวงอาทิตย์ (Solar Time) และแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์(Solar Declination) โดยแนวเคลื่อนของดวงอาทิตย์ (Solar Declination) สามารถประมาณได้จากสมการดังนี้

$$\delta = 0.4093 \sin \{2\pi (J - 81) / 368\} \quad \text{.....(2.11)}$$

โดยที่ δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์มีหน่วยเป็นเรเดียน(Solar Declination in Rad)

J = วันที่ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี (Julian Date) โดยไม่คำนึงถึงเดือนต่างๆ และเริ่มนับวันแรก ของปีเป็นตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของปีเป็นวันที่ 365

สมการของมุมอัลติจูลสามารถอธิบายได้จากสมการนี้

$$a_r = \arcsin \{ \sin l \sin \delta - \cos l \cos \delta \cos (\pi t / 12)\} \quad \text{.....(2.12)}$$

โดยที่ a_r = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นเรเดียน(Solar Altitude in Rad)

I = ตำแหน่งละติจูด มีหน่วยเป็นเรเดียน(Site Latitude in Rad)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar Declination in Rad)

t = เวลาดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นทศนิยมของชั่วโมง (Solar Time in decimal hours)

มุมของ Solar Altitude มีค่าของมุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง π / 2 ถ้าทิศทางของดวงอ่ทิตย์อยู่ต่ำกว่าแนวระดับหรือเกินกว่า π / 2 จะให้ค่าเป็นลบ สมการของมุมอะซิมุธ (Solar Azimuth) สามารถอธิบายได้จาสมการนี้

$$a_z = \arctan [- \{ \cos \delta \sin(\pi t / 12)\}] / [- \cos I \sin + \sin I \cos \delta \cos (\pi t / 12)] \quad \text{.....(2.13)}$$

โดยที่ a_z = ระดับมุมอะซิมุธของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป้นเรเดียน(Solar Azimuth in Rad)

I = ตำแหน่งละติจูด มีหน่วยเป็นเรเดียน(Site Latitude in Rad)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar Declination in Rad)

t = เวลาดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นทศนิยมของชั่วโมง (Solar Time in decimal hours)

มุมอะซิมุธ (Azimuth) เริ่มจากศูนย์องศาในแนวของทิศใต้และหมุนตามเข็มนาฬิกาเรื่อยไปจนถึงทิศเหนือเป้นระยะทาง π และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงกันข้ามเมื่อเริ่มจากศูนย์องศาในแนวทิศใต้ให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางเหนือผ่านทิศตะวันออกเป้นระยะทาง π ซึ่งให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบ ในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่างๆนั้น ต้องคำนวณแสงธรรมชาติบนพื้นผิวแนวตั้งเสมอ เช่น หน้าต่างหรือผนังอาคาร ดังนั้นมุมอะซิมุธ ที่เกิดขึ้นจะเป็นมุมในแนวนอนระหว่างมุมที่อ้างถึง(ศูนย์องศา ทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดขึ้นจริงของผนังที่ตั้งฉากนั้นๆ

มุมอะซิมุธ (Azimuth)ของดวงอาทิตย์เมื่อตกกระทบผนังหรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ สามารถพิจารณาได้จากสมการ ดังนี้

$$a_s = a_z - a_e \quad \text{.....(2.14)}$$

โดยที่ a_s = ระดับมุมอะซิมุธ (Azimuth)ของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นเรเดียน (Solar Elevation Azimuth in Rad)

a_z = มุมอะซิมุธ (Azimuth) มีหน่วยเป็นเรเดียน (Solar Azimuth in Rad)

a_e = ความสูงของมุมอะซิมุธ (Azimuth) มีหน่วยเป็นเรเดียน (Elevation Azimuth in Rad)

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างเนวระนาบปกติกับมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ สามารคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$a_I = \arccos (\cos a_r / \cos a_z) \quad \text{.....(2.15)}$$

โดยที่ a_I = มุมตกกระทบ มีหน่วยเป็นเรเดียน (Incident angle in Rad)

a_r = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์(Solar Altitude in Rad)

a_z = ระดับของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นเรเดียน (Solar Elevation Azimuth in Rad)

มุม Profile angle เป็นมุมที่เกิดขึ้นจริงของมุมอัลติจูดในแนวตั้งและพิจารณาได้จากสมการทั้ง 2 นี้

$$a_p = \arctan (\sin a_r / \cos a_z) \quad \text{.....(2.16)}$$

$$a_p = \arctan (\tan a_t / \cos a_z) \quad \text{.....(2.17)}$$

โดยที่ a_p = มุม Profile มีหน่วยเป็นเรเดียน (Profile angle in Rad)

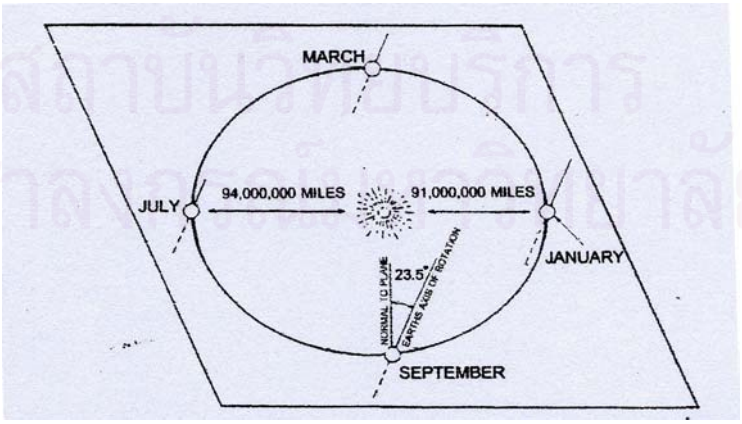
a_r = มุมตกกระทบมีหน่วยเป็นเรเดียน (Solar Altitude in Rad)

a_z = ระดับมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นเรเดียน (Solar Elevation Azimuth in Rad)

2.3.5. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังบรรยากาศของโลก เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnatic wave) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation) เกิดจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์แผ่รังสีในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแลกเปลี่ยนกับผิวโลกที่มีระยะห่างกัน 93 ล้านไมล์ เป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short-wave Radiation) ในช่วงคลื่นรังสีอุลตร้าไวโอเลต (Ultraviolet region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.29-0.40 นาโนเมตร ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.4-0.7 นาโนเมตร และช่วงใกล้อินฟราเรด (The near Infrared region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.7-3.5 นาโนเมตร โดยมีสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 7%, 39%, และ 52% ตามลำดับ ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่แผ่นอกบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่างกันอันเนื่องมาจากแกนโลกที่เอียง และวงโคจรของโลกที่มีลักษณะเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าสูงสุดประมาณ 1,418 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม (ASHRAE, 1993)



รูปที่ 2.17 แสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่วัน เวลา ต่างๆ

ที่มา: ASHRAE, 1993 Fundamental Handbook (SI) , 27.10

2. การแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากพื้นโลก(Terrestrial Radiation) เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกและวัตถุบนพื้นผิวโลก เป็นการแผ่รังสีคลื่นยาว (Long-wave Radiation) ในช่วงคลื่นเหนืออินฟราเรด (The far Infrared region)

โดยทั่วไปการทำความร้อนแก่ผิวอาคารมักเกิดจาก Solar Radiation เป็นหลัก ส่วน Terrestrial Radiation นั้นมีจำนวนน้อย เนื่องมาจากปริมาณที่รับและส่งออกมาจากพื้นผิวเกือบใกล้เคียงกัน ซึ่งในการวิจัยนี้จะกล่าวถึง Solar Radiation เท่านั้นโดยพิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ดังนี้

รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (I_D ; Direct Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนโลกไม่เปลี่ยนแปลง

รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ (I_d ; Diffuse Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นรังสีของดวงอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่ได้รับจากท้องฟ้าทั้งหมด

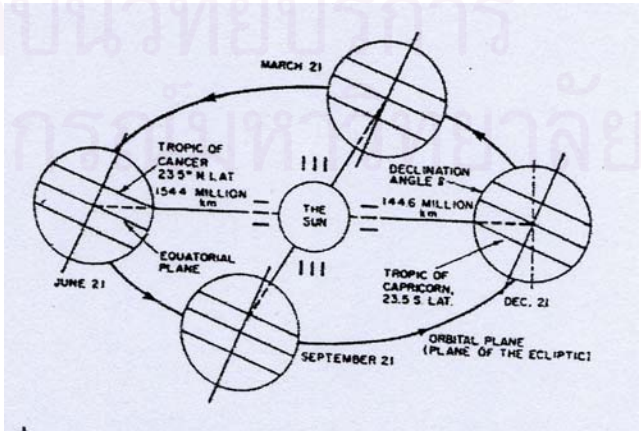
รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์ (I_r ; Reflected Solar Radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับจากพื้นผิวที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับ

รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (I_T ; Total or Global Solar Radiation) คือพลังงานรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์บนระนาบระดับต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_T = I_D + I_d + I_r \quad \text{(BTU/hr. Sq. ft)} \qquad (2.18)$$

จากการศึกษาประสิทธิภาพความส่องสว่างต่อพลังงานที่ตกกระทบของรังสีของดวงอาทิตย์ในแนวระนาบ (Treado and Gillete, 1983) พบว่า รังสีกระจายของดวงอาทิตย์มีค่า 14 ลูเมนต่อวัตต์ รังสีตรงของดวงอาทิตย์มีค่า 105 ลูเมนต่อวัตต์ รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (รังสีตรงและรังสีกระจาย) มีค่า 119 ลูเมนต่อวัตต์

3. เดคลีเนชั่น (Declination) คือมุมที่เกิดระหว่างแนวต่อศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตร โดยทางเหนือของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นบวก และทางใต้ของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ ซึ่งจะอยู่ระหว่าง -23.45^{O}ถึง 23.45^{O}



รูปที่ 2.18 แสดงการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์และมุมเดคลีเนชั่น

ที่มา: ASHRAE, 1993 Fundamental Handbook (SI) , 27.10

4. ความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (The Relationship between Daylight and Solar Radiation) จากการวิจัย(Hopkinson, 1966) พบความสัมพันธ์ว่า

4.1 ปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25^{O} และจะเท่ากับ 90 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5^{O} ถึง 25^{O} ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้ว ยังต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ อีก เช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพบรรยากาศ เป็นต้น

4.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ (BTU/hr.Sq.ft) กับปริมาณความสว่างจากแสงสว่างดวงอาทิตย์ (Footcandle) โดยวิธี Regression Equation เป็นสมการดังนี้

$$E = 104.8 + 31.007 * I \quad \text{.....(2.19)}$$

โดยที่ E คือ ปริมาณความสว่างจากแสงสว่างของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

I คือปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ หน่วยเป็น (BTU/hr.Sq.ft)

ซึ่งความสัมพันธ์นี้ครอบคลุมในทุกๆสภาพของลักษณะท้องฟ้าที่ท้องฟ้าเดียวกัน มีค่าความถูกต้องในการกะประมาณ (R-squre) เท่ากับ 0.97 และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard error) เท่ากับ 9.7 ฟุตแคนเดิล

2.3.6. แสงไฟฟ้าประดิษฐ์

- **แสงไฟฟ้าประดิษฐ์ในห้องเรียน** (Artificial light in schools)

มาตรฐานในการส่องสว่างมีความจำเป็นสำหรับการมองเห็น เพื่อความสบายตา การให้แสงไฟฟ้าภายในห้องเรียนจะให้ความสว่างในปริมาณเดียวกันกับการให้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน ซึ่งห้องเรียนจะมีค่าความสว่างน้อยที่สุด 10 lm / ft^2 (10 fc) ควรจัดหาแหล่งกำเนิดแสงไฟฟ้าเพิ่มเติมจากแสงธรรมชาติเพราะค่ามาตรฐานที่ให้นี้เป็นค่าต่ำสุด IES เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในเรื่องการกำหนดความสว่าง ได้ให้คำแนะนำว่าห้องเรียนต้องมีความสว่างไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์ หรือ 30 lm / ft^2 โดยประมาณ และการออกแบบติดตั้งดวงโคมต้องไม่เกิดปัญหาแสงจ้า มีการกำหนดค่าความสว่างหรือลูมิแนนต์มากที่สุด ของแสงไฟฟ้าที่ติดตั้งภายในห้องเรียนที่มองเห็นได้ในมุมมองปกติ ความสว่างจ้าต้องไม่เกินค่าเฉลี่ยประมาณ 1000fL ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการติดตั้งให้ความสว่างในพื้นที่ประมาณ 100 sq. in (0.06 sq.m) แต่การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะมีพื้นผิวมากกว่า ดังนั้นความส่องสว่างจึงต้องถูกกำหนดค่าให้ต่ำลง เพื่อให้ความสว่างอยู่ในปริมาณที่ทำให้เกิดความสบายตา ตามคำแนะนำ ซึ่งต้องมีค่า Glare Index = 16 ตามทิศทางการมองไปที่ครูและกระดานดำของนักเรียน ในการติดตั้งแสงไฟฟ้าในห้องเรียนให้มีความสามารถในการให้แสงได้ดี ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะในการสะท้อนแสงของผนัง ฝ้าเพดาน และพื้น รวมทั้งการให้แสงไฟฟ้าร่วมกับแสงธรรมชาติ การติดตั้งดวงโคมต้องออกแบบให้กระจายแสงที่ป้องกันความเปรียบต่างที่มากเกินไประหว่างดวงโคมกับฉากหลัง นั่นหมายถึงการติดตั้งดวงโคมจะต้องให้แสงได้ทุกทิศทางไม่เพียงแต่การให้แสงลงที่โต๊ะเท่านั้น แสงจะต้องกระจายทั่วห้องเพื่อไม่ให้มีแสงจ้าจากดวงโคม ซึ่งแนวการมองด้วยมุมปกติของสายตาไปยังหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ติดตั้งตามแนวยาวจะไม่ทำให้ระคายเคืองตา ส่วนแนวการมองตามขวางของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะทำให้มีความเข้มสว่างจากการกระจายแสงด้านข้างของหลอดไฟเข้าตามากกว่าจึงเป็นแสงจ้าทำให้ไม่สบายตา

การให้แสงต้องมีปริมาณเพียงพอและหลีกเลี่ยงแสงจ้าหรือแสงบาดตา(Glare)

1. ระดับความสว่างที่แนะนำมีดังนี้

- 300 ลักซ์ แสงสว่างที่ตกกระทบบนโต๊ะเรียน
- 500 ลักซ์ แสงสว่างที่หน้าชั้นเรียนหรือบริเวณที่ครูยืนสอน
- 500 ลักซ์ แสงในแนวระดับตั้งฉากกับกระดานห้องเรียน

2. ต้องหลีกเลี่ยงแสงจ้าหรือแสงบาดตาทั้งบริเวณโต๊ะเรียนและบริเวณหน้าชั้นเรียน ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงจ้าพิจารณาได้จาก

- ความส่องสว่างของแหล่งกำเนิด
- ขนาดของแหล่งกำเนิด
- จำนวนของแหล่งกำเนิดแสง
- ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสงเข้าสู่ตาของผู้สังเกต
- ความสัมพันธ์ของมุมมองกับแหล่งกำเนิด
- ความสว่างของฉากหลัง(Background)
- สภาพความเคยชินในการปรับสายตาของผู้ใช้อาคาร ได้แก่ ครูและนักเรียน
- เงื่อนไขด้านสุขภาพของผู้ใช้อาคาร
- การสะท้อนแสงของผนัง พื้น และฝ้าเพดาน
- ขนาดและรูปร่างของห้องเรียน

3. แสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มุม 35 องศา จะไม่ก่อให้เกิดแสง
4. ดัชนีแสงจ้า (Glare Index) สำหรับห้องเรียนไม่ควรเกิน 16 จากรายงานการประเมินแสงจ้าของ IES
5. ควรหลีกเลี่ยงความมันเงาของผิวผนัง และฝ้าเพดาน เพราะแสงสะท้อนจากผิววัสดุเข้าตาและรบกวนการมองเห็นเมื่อมีการฉายสไลด์ หรือใช้เครื่องฉายข้ามศีรษะ (Overhead)
6. การให้แสงในห้องที่กว้างควรหลีกเลี่ยงการใช้สีเข้มทาฝ้าเพดานเพราะจะทำให้แหล่งกำเนิดแสงที่ฝ้ามีความเข้มแสงมากหรือแสงจ้ามากเมื่อเทียบกับความมืดเข้มของฝ้าเพดาน
7. ควรหลีกเลี่ยงการใช้หลอดไฟที่ให้คุณค่า(Value)ของสีต่างกับโครงสี(Colour scheme)ของห้อง เพราะจะทำให้ห้องดูไม่เป็นธรรมชาติ
8. ควรคำนึงถึงความร้อนที่เป้นผลมาจากดวงโคมในการออกแบบอาคารเพื่อความน่าสบายที่คต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของห้อง ควรใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ และคำนึงถึงระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ
9. ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานเพื่อการส่องสว่างภายในอาคาร และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงให้เหมาะกับการเรียนการสอนแบบใหม่ เมื่อแบบเดิมไม่เหมาะก็ควรออกแบบเปลี่ยนแปลงใหม่
10. การใช้แสงประดิษฐ์ (Artificial Light) ในการให้ความสว่างโดยทั่วไปมักใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ติดตั้งที่ระดับความสูง 3.00 เมตร จากพื้น (กนกวรรณ อุสันโน, 2539)

การเลือกแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการให้แสงภายในห้องเรียนมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันดังนี้

ตารางที่2.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในห้องเรียน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. แสงธรรมชาติให้แสงและเงาที่ช่วยในการมองเห็นได้ชัดเจนและถูกต้อง	1. ไม่สามารถควบคุมสภาพความสว่าง ความเปรียบต่างและความสว่างจ้าของแสงจากหน้าต่างและจากสภาพแวดล้อมโดยรอบได้
2. การมองออกไปนอกหน้าต่างผ่านช่องเปิดแสง ช่วยสร้างบรรยายกาศพักผ่อนและลดความเครียด	2. แสงแดดนำพาความร้อนเข้ามาในห้อง
3. ประหยัดพลังงานไฟฟ้า	3.การเปิดช่องเปิดแสงเพื่อรับแสงและระบายอากาศแต่ไม่ป้องกันเสียง
4. หน้าต่างช่วยในการระบายอากาศภายในห้องเรียนได้	4. ต้องเสียค่าบำรุงรักษาและทำความสะอาดหน้าต่างและม่าน
	5. มีข้อจำกัดในการประหยัดพลังงานที่ต้องออกแบบให้สัมพันธ์กับจำนวนช่องเปิดแสง
	6. อุปกรณ์การสอนบางชนิดต้องการห้องมืดหรือต้องปิดไฟ

ที่มา : Peter H.K. Smith, 1979 : 56

ตารางที่2.5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียการส่องสว่างจากแสงไฟฟ้าภายในห้องเรียน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถควบคุมปริมาณแสงได้	1. ปริมาณแสงไฟฟ้าอาจไม่เพียงพอถ้าไม่มีกำลังไฟเพียงพอตามที่ต้องการ หรือกรณีกำลังไฟตก
2. ไม่สร้างบรรยายกาศที่มีสิ่งดึงดูดใจจากภายนอก ไม่มีแสงจ้าและ ความร้อนจากดวงอาทิตย์	2. ค่าใช้จ่ายไฟฟ้ามีราคาแพงและต้องคำนึงถึงการระบายอากาศรวมทั้งปริมาณอากาศภายในห้อง
3. ใช้งบประมาณการเดินสายไฟถูกกว่าการทำช่องเปิดแสง	3. ถ้าไม่มีการออกแบบระบบการส่องสว่างที่ดีจะทำให้ห้องมืดทึมและไม่มีชีวิตชีวา
4. การดูแลและบำรุงรักษาดวงโคมไฟง่ายกว่าหน้าต่าง	

ที่มา : Peter H.K. Smith, 1979 : 57

2.3.8. การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงไฟฟ้า(Combination Daylight and Artificial light)

ค่าเดไลท์ แฟคเตอร์น้อยที่สุด 2% (DF. Min 2 %) กำหนด เป็นค่าของการให้ปริมาณการส่องสว่างของแสงที่สามารถใช้ร่วมกันระหว่างแสงธรรมชาติร่วมกับแสงไฟฟ้า การพิจารณาเลือกวิธีการให้แสงไฟฟ้าร่วมกับแสงธรรมชาติ ต้องคำนึงถึงงบประมาณการใช้จ่าย ควรแก้ไขความสูงและความลึกของห้องเพื่อให้เหมาะกับงบประมาณในการติดตั้งแสงไฟฟ้า ขนาดพื้นที่หน้าต่างที่เล็กสามารถลดปัญหารังสีความร้อนในหน้าร้อนแต่จะไม่ระบายอากาศร้อนจากรังสีความร้อนของหลอดไฟออกไปภายนอกได้ การลดขนาดหน้าต่างลงช่วยลดแสงจ้าจากท้องฟ้าได้และใช้แสงไฟฟ้าช่วยเสริมในบริเวณที่แสงธรรมชาติกระจายไม่ถึง โดยปกติแม้ว่าหน้าต่างกว้างขึ้นความเข้มของแสงก็ไม่เพียงพอในส่วนที่อยู่ลึกเข้ามาภายในห้อง ระบบการใช้แสงไฟฟ้าร่วมกับแสงธรรมชาติช่วยให้การปรับสายตาดีขึ้น ลดความสว่างจ้าและแสงจ้าที่มากเกินไปจากท้องฟ้า

โดยทั่วไปห้องเรียนมักใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ในการให้แสงภายในห้องเรียน โดยหลอด Daylight จะให้สีใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

ตำแหน่งในการติดตั้งหลอดไฟโดยทั่วไปจะติดที่ฝ้าเพดานเพราะให้แสงเสมือนแสงที่มาจากช่องแสงด้านบน(Top Light) ควรหลีกเลี่ยงการติดหลอดไฟที่ผนังเพราะจะดึงดูดความสนใจไปยังผนังนั้น การใช้เกล็ดบังหลอดไฟ (Louver)เพื่อช่วยลดความสว่างจ้าของหลอดและป้องกันการมองเห็นหลอดไฟโดยตรง

2.4 สีและแสง

2.4.1 ความสว่างจ้าของสี (The Brightness of Colours)

สีสามารถแสดงส่วนที่ว่างทางสถาปัตยกรรมได้เพราะสีเป็นสื่อที่ใช้เพื่อการควบคุมคุณสมบัติของระดับความสว่างจ้า(Brightness) ต่างๆ และปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการพิจารณาและคำนึงถึงคุณภาพและปริมาณความเข้มส่องสว่าง(Illumination) ถ้าสีแดงกับสีเขียวมีค่าของสี(Value) ค่าความจัดของสี (Saturation) เท่ากัน และมีค่าการสะท้อนแสงเท่ากันและลักษณะพื้นผิวแบบเดียวกันแล้ว สีทั้งสองนี้จะให้ความสว่างจ้า (Brightness)เท่ากันด้วย

เมื่อแสงธรรมชาติหรือแสงไฟฟ้าที่ตกกระทบพื้นผิวโดยตรงมีความเข้มแสง(Intensity)มาก ส่วนพื้นผิวที่ถูกบังแสงจะมีความมืดเข้มมาก ทำให้สีของพื้นผิวในที่ปรากฏส่วนนี้เปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัด ผนัง 2 ผืนที่มีสีเดียวกันทำมุมประชิดกัน ผนังด้านที่ได้รับแสงจะมีความสว่างและให้ความจัดของสีมากกว่าผนังด้านที่ทำมุมประชิดกันและถูกบังแสงซึ่งจะมีค่าของสีและความจัดของสีน้อยกว่า สำหรับการเลือกใช้สีของพื้นผิวที่ต้องการให้ดูเด่นแม้ว่าจะถูกบังแสง หรือมีเงื่อนไขของความเปรียบต่างที่ไม่สบายตา เช่น ผนังในส่วนที่อยู่ติดกับหน้าต่าง R.G.Hopkinson(1963,111) แนะนำให้ใช้สีของผนังที่ติดกับหน้าต่างนี้ตามกฎคือ ให้เลือกใช้สีโดยใช้ระบบของ Munsell ที่ให้ค่าของสี(Value) สูงขึ้นจากเดิม 2 ขั้น และเลือกใช้ค่าความจัดของสี(Saturation,Chroma)สูงขึ้นจากเดิม 4 ขั้น

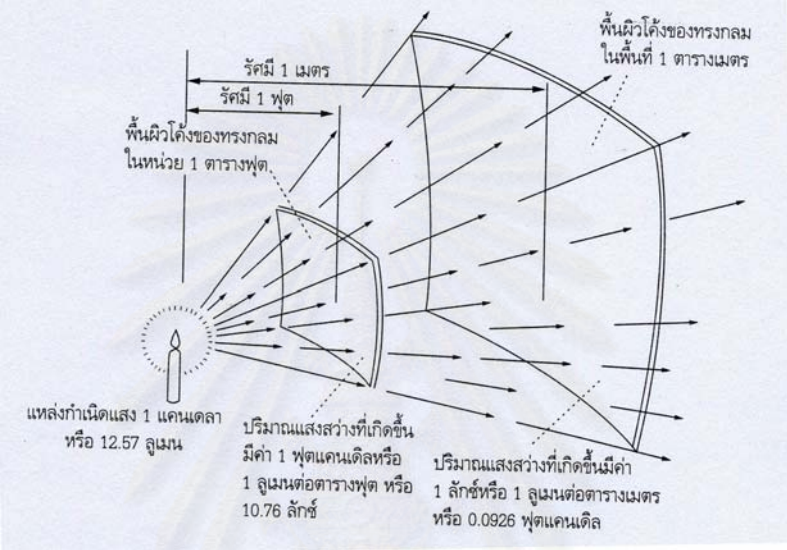
2.5 หน่วยที่ใช้ในการวัดความสว่าง (Measurement of Light)

แสงสว่างเป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่สามารถวัดปริมาณได้เหมือนพลังงานอย่างอื่นๆ แต่มีชื่อการเรียกที่แตกต่างกันออกไปเท่านั้น การวัดปริมาณแสงสว่างอาจจะออกมาในรูปต่างๆดังต่อไปนี้

ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) หรือกำลังส่องสว่าง(Candlepower) สามารถวัดค่าได้ตามความมากน้อยของพลังงาน หรือกำลังงานที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งมีหน่วยเป็นแคนเดลา (Candela) กำลังส่องสว่างหรือความเข้มแห่งการส่องสว่างหนึ่งแคนเดลาจะมีค่าขนาดเท่ากับ 1/6 ของความเข้มแห่งการส่องสว่างต่อตารางเซนติเมตรบนทุกๆ พื้นผิวของวัตถุดำที่อุณหภูมิเท่ากับจุดเยือกแข็งของทองคำขาวภายใต้ความดัน 760 มิลิเมตรปรอท

ปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง (Lumen) ในการบอกค่าความมากน้อยของพลังงานหรือกำลังของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กัน คือ บอกอยู่ในรูปของปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง

ที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น เช่น ถ้ามีแหล่งกำเนิดแสงขนาดเล็กมากๆ เสมือนจุดและมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างเปล่งออกมารอบตัวมันอย่างสม่ำเสมอรอบทุกทิศทาง และมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา นำมาวางที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมโดยมีรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งตกลงไปบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนผิวของทรงกลมจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน ถ้าพิจารณาพื้นที่ทั้งหมดของทรงกลมแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ เพราะฉะนั้นค่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่างออกได้เท่ากับ 12.57 ลูเมน พิจารณาได้จากรูปที่2.17



รูปที่ 2. 19 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยวัดแสงสว่างในรูปของฟุตแคนเดิลและลักซ์

ที่มา : Ronald N. Helms, 1980 : 55 อ้างโดย ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์, 2543 : 8

ฟุตแคนเดิล (footcandle) พิจารณาจากการนำเอาแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กมากๆเสมือนจุดและมีค่ากำลังส่องสว่างเปล่งออกมารอบทุกๆทิศอย่างสม่ำเสมอมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลา นำมาวางที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมซึ่งมีรัศมี 1 ฟุต และมีปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง 1 ลูเมน ไปตกลงทุกๆ 1 ตารางฟุตบนพื้นที่ผิวทรงกลม ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล หรือมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางฟุต

แต่ถ้าเราให้รัศมีของทรงกลมเปลี่ยนจาก 1 ฟุต ไปเป็น 1 เมตร และมีปริมาณจำนวนเส้นแรงของแสงสว่าง 1 ลูเมน เมน ไปตกลงทุกๆ 1 เมตรบนพื้นที่ผิวทรงกลม ปริมาณแห่งการส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลักซ์ หรือมีค่า 1 ลูเมนต่อตารางเมตร และค่าปริมาณแห่งการส่องสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล จะมีค่าเท่ากับ 10.76 ลักซ์ เครื่องมือที่ใช้วัดค่าปริมาณแห่งการส่องสว่างที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีด้วยกัน 2 แบบ คือ ฟุตแคนเดิลมิเตอร์ (Footmeter) กับลักซ์มิเตอร์ (Luxmeter)

ปริมาณของแสง

ปริมาณของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิววัตถุ เรียกว่า ความเข้มส่องสว่าง(Illumination,E) มีหน่วยในการวัดเป็น ความหนาแน่นของปริมาณแสง

ปริมาณของแสง 1ลูเมน ที่ตกกระทบอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่ 1 ตารางฟุต จะให้ระดับความเข้มส่องสว่างเท่ากับ 1 ฟุตแคนเดิล

footcandles(fc) = lumens / area……(2.20)

ตัวอย่างเช่น ดวงโคมให้ปริมาณแสง 1,000 ลูเมน ตกกระทบอย่างสม่ำเสมอบนพื้นที่ 5 * 5 ตารางฟุต ความเข้มส่องสว่างจะเท่ากับ 1,000 / 25 = 40 ฟุตแคนเดิล

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง

- **กฎกำลังสองผกผัน** (Inverse Square Law)

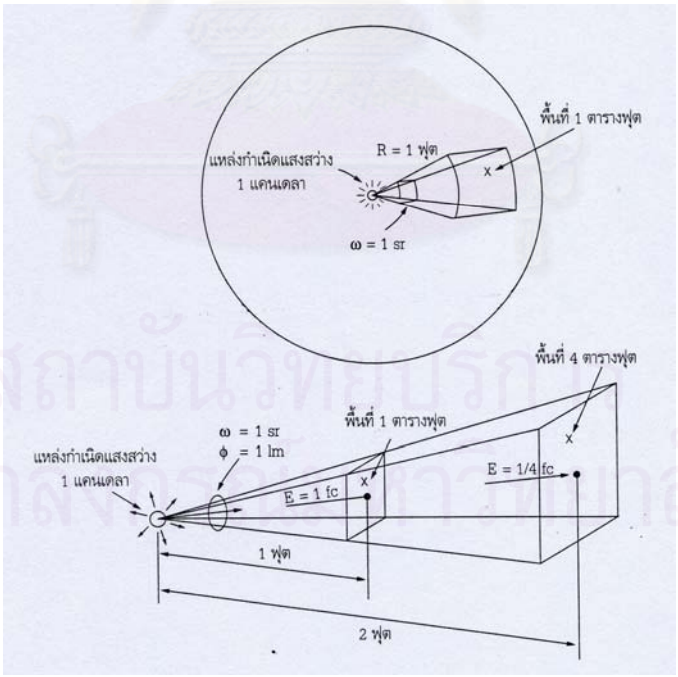
ตามธรรมชาติแล้วปริมาณแห่งการส่องสว่างจะแปรผันตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่าง และผกผันกับระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดที่เราต้องการวัดแสงสว่างยกกำลังสอง และเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = I / D^2 \quad \text{……(2.21)}$$

E คือ ปริมาณแห่งการส่องสว่างบนจุดที่ต้องการวัด มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิลหรือลักซ์

I คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่าง

D คือ ระยะทางจากแหล่งกำเนิดแสงถึงจุดบนพื้นที่ที่ต้องการวัดแสงมีหน่วยเป็นฟุตหรือเมตร

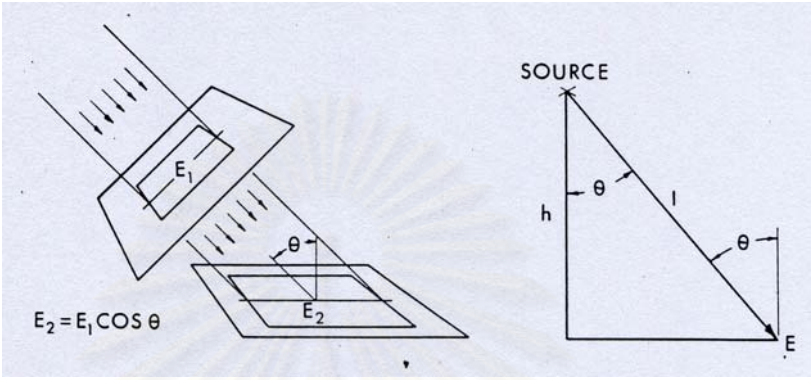


รูปที่ 2.20 แสดงปริมาณการส่องสว่างซึ่งจะลดลงเมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงไปโดยผกผันกับระยะทางกำลังสอง

ที่มา : Kaufman, 1966 : 4-3

■ **กฎของแลมเบริตโคไซน์** (Lambert's Cosine Law)

จากกฎกำลังสองผกผันใช้ได้เฉพาะแสงที่ส่องมาโดยตรงเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าแสงส่องมากระทบพื้นผิวที่ตั้งฉากกับจุด A แต่ถ้าแสงส่องไปกระทบพื้นผิวที่ไม่เป็นมุมฉาก เช่น จุด B สมการจะเป็นไปตามกฎของแลมเบริตโคไซน์ ที่กล่าวว่า "กำลังส่องสว่างเป็นปฏิภาคโดยตรงกับโคไซน์ (Cosine) ของมุมที่ผิววัตถุเอียงไปจากแนวตั้งฉากกับรังสีของแสง "



รูปที่ 2.21 แสดง"กำลังส่องสว่างเป็นปฏิภาคโดยตรงกับโคไซน์ (Cosine)

ที่มา : Kaufman, 1966 : 4-3

ความสว่างจ้าของแสง (Brightness) เป็นปริมาณที่เกิดขึ้นระหว่างความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิววัตถุต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Foot Lambert) แสดงเป็นสมการดังนี้

$$L = fc * \rho \quad \text{.....(2.22)}$$

$$L = fc * \tau \quad \text{.....(2.23)}$$

โดยที่ L = ความสว่างจ้าขอแสง

fc = ค่าความส่องสว่าง(Luminance)

ρ = ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ (Reflectance)

τ = ค่าการทะลุผ่านของวัตถุ (Transmission)

ความเปรียบต่าง (Contrast) เป็นตัวแปรสำคัญตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการมองเห็นให้ชัดเจนง่ายขึ้น เมื่อมีความส่องสว่างของวัตถุที่ต้องการมองเทียบกับความส่องสว่างรอบข้างมีความเปรียบต่างมากก็จะมองเห็นวัตถุได้ง่ายขึ้น แต่ถ้าความเปรียบต่างมากเกินไปจะทำให้สายตาล้า อัตราส่วนของความเปรียบต่างจะได้จากสูตรคำนวณนี้

$$C = (Lt - Lb) / Lb \quad \text{.....(2.24)}$$

โดยที่ Lt = ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ของสภาพแวดล้อมหรือฉากหลัง

Lb = ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ของวัตถุ

อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างจ้า (Contrast Brightness Ratio) เป็นอัตราส่วนที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสว่างจ้าเพื่อใช้ในการวิจัยศึกษาหาอัตราส่วนที่ไม่ก่อให้เกิดแสงจ้าไม่สบายตา ซึ่งมีสูตรคำนวณ ดังนี้

Contrast Brightness Ratio = Lo / Lw.....(2.25)

โดยที่ Lo = ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ของช่องแสง

Lw = ค่าความส่องสว่าง (Luminance) ของผนังรอบช่องแสง

แสงจ้า (Glare)

Stiles and Holladay ได้คิดค้นสูตรในการคำนวณแสงจ้า มีสมการดังนี้

$$\beta = L + (kE / \theta^2) \quad \text{.....(2.26)}$$

โดย L ฉากหลังของความสว่างที่ไม่มีแหล่งกำเนิดแสงจ้า

β ฉากหลังของความสว่างที่มีแหล่งกำเนิดแสงจ้า

E แสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงจ้าที่ตาผู้สังเกตมองในมุมที่ทำกับแนวสายตา

θ มุมที่แบ่งระหว่างแหล่งกำเนิดแสงจ้ากับวัตถุ

แหล่งกำเนิดแสงจ้านี้จะทำให้เกิดเงาสลัวบางๆลอยอยู่เหนือผิววัตถุ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนฉากหลังของภาพจากระดับ L มาอยู่ที่ระดับ β และภายใต้สภาวะนี้การรับรู้ในความแตกต่างของความสว่างของแสงจะน้อยที่สุด ในการทดสอบวัตถุที่ปราศจากแสงจ้าสภาวะเริ่มต้น (ระดับ L)จะอยู่สภาวะเดียวกันกับสภาวะที่มีแสงจ้า ความแตกต่างระหว่าง β - L เป็นผลรวมของแหล่งกำเนิดหลายแหล่งและมีการปรับเป็นสมการ Σ 10 π E / θ^2 เมื่อ E มีหน่วยเป็น lm / ft ^{2} และ θ มีหน่วยเป็นองศา และ β - L มีหน่วยเป็น fL

เป็นการยากที่จะนำสูตรนี้มาใช้ในการคำนวณหาแสงจ้าสำหรับสภาพห้องที่มีขนาดเล็กกับแหล่งกำเนิดแสงขนาดใหญ่และแสงในบริเวณทั่วไป และในกรณีที่เป็นแสงจ้าที่เกิดจาก Discomfort Glare

สูตรในการคำนวณแสงจ้ามีหลายสูตรให้เลือกใช้แต่ที่นิยมใช้กันคือสูตรของ Hopkinson และคณะวิจัยของ The Building Research Station มีสมการดังนี้

$$G = \Sigma (L_s^{1.6} \omega^{0.8}) / L_b * (1 / P^{1.6}) \quad \text{.....(2.26)}$$

โดย G ค่าคงที่ของแสงจ้า

L_s ความสว่างจ้าของแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็น fL

L_b ความสว่างจ้าของฉากหลัง มีหน่วยเป็น fL ซึ่งความสว่างของฉากที่มีแสงกระจายอย่างสม่ำเสมอจะให้ค่าความส่องสว่างที่ตาเห็นไม่นับรวมความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง

ω มุมตันของแหล่งกำเนิดแสงที่ตาผู้สังเกต

P ดัชนีตำแหน่งสำหรับแหล่งกำเนิดแสงจ้าแต่ละแหล่งกับชิ้นงาน Luckeish and Guth นักวิจัยสหรัฐอเมริกาได้นับรวมตำแหน่งของความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดกับแนวมองของสายตาเพื่อความสะดวกในการแสดงค่าคงที่ของแสงจ้า จึงจัดให้อยู่ในรูปสมการนี้

$$\text{Glare Index} = 10 \log_{10} \Sigma G \quad \text{.....(2.27)}$$

ในประเทศอังกฤษใช้ IES code ใช้เป็นค่ากำหนดขั้นพื้นฐานของแสงจ้า ตัวอย่างเช่น ดัชนีแสงจ้า = 1 สำหรับสำนักงาน 28 สำหรับการทำงานที่ใช้เครื่องจักร และ 16 สำหรับห้องเรียน

2.7 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงธรรมชาติ

การให้ความสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงธรรมชาติในการพิจารณาความส่องสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 แนวทาง คือ

1. การพิจารณาจากปริมาณค่าความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายในอาคารในตำแหน่งต่างๆ พื้นที่ในความสูงที่กำหนดจากระดับพื้นห้องนั้นๆ โดยการวัดค่าความส่องสว่างออกมาเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล หรือลักซ์ ซึ่งค่าความสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับเวลา ทิศทางการเปิดช่องแสง และสภาพของท้องฟ้า

2. การพิจารณาโดยอาศัยอัตราส่วนของระดับความส่องสว่างของภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance) ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมมาก ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซนต์ (%) ซึ่งมีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาหรือการเปิดของช่องแสง หากแยกพิจารณาออกกเป็นวิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงธรรมชาติ โดยทั่วไปแยกอกเป็น 3 วิธี ดังนี้

- วิธีลูเมน (Lumen Method)
- วิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor Method)
- วิธีฟลักซ์ ทรานเฟอร์ (Flux Transfer Method)

ซึ่งในการศึกษานี้จะกล่าวเพียงวิธีลูเมนและวิธีเดไลท์ แฟคเตอร์เท่านั้น

1. <u>วิธีลูเมน (Lumen Method)</u> เป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่งในระดับที่กำหนดภายในอาคาร อันเนื่องมาจากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องเปิดหรือช่องแสงเข้ามาในขณะนั้น ในบางครั้งเรียกว่า Lumen Input Method หรือ Total Flux Method การพิจารณามีความแตกต่างจากวิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ ที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือห้องขนาดใหญ่ เช่น โรงงาน (Biesele, 1953) ซึ่งปริมาณของแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคารและพื้นผิวภายในอาคาร มีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารน้อยมาก หมายถึงระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้วิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ หากพิจารณาพื้นที่ห้องขนาดเล็ก ปริมาณแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร เช่น พื้นดิน และแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวภายใน

เช่น ผนัง ฝ้าเพดาน พื้น จะมีผลต่อปริมาณแสงที่เข้าสู่ภายในห้องนั้นๆ จึงต้องพิจารณาโดยวิธีลูเมน ซึ่งรวมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติเข้าด้วยกัน

การพิจารณาแบบวิธีลูเมน ไม่จำเป็นต้องทราบค่าความส่องสว่างที่ทุกตำแหน่งภายในอาคาร โดยทั่วไปสามารถพิจารณาเพียง 3 จุด (Station Pint หรือ SP.) ซึ่งอยู่กึ่งกลางห้องในแนวตั้งฉากกับช่องเปิด (รูปที่ 2.22) และกำหนดเป็น SP.max, SP. mid และ SP. Min

โดย SP.max คือ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุต ที่ระดับความสูง Working Plane

SP. mid คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางห้อง ที่ระดับความสูง Working Plane

SP. Min คือ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากผนังด้านตรงข้ามช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุต ที่ระดับความสูง Working Plane

ซึ่งค่าความส่องสว่างที่ได้กำหนดให้เป็น E max, E mid และ E min

โดยที่ E max คือ ความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP.max

E mid คือ ความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP. mid

E min คือ ความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP. Min

และมีการพิจารณาปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพการส่องสว่าง ดังนี้

1.1 ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดเหนือระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรของแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และท้องฟ้าที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสง ได้แก่

- ค่าความสว่างและสภาพท้องฟ้า
- มุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิด
- ปริมาณความเข้มของแสงแดด (Internally of Sunlight) โดยไม่รวมแสงแดดที่ส่องเข้าสู่ภายในห้อง

1.2 ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดต่ำกว่าระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

- ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky หรือ Overcast Sky

โดยที่ กำหนดให้ EGH,c คือ ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky

EGH,o คือ ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky

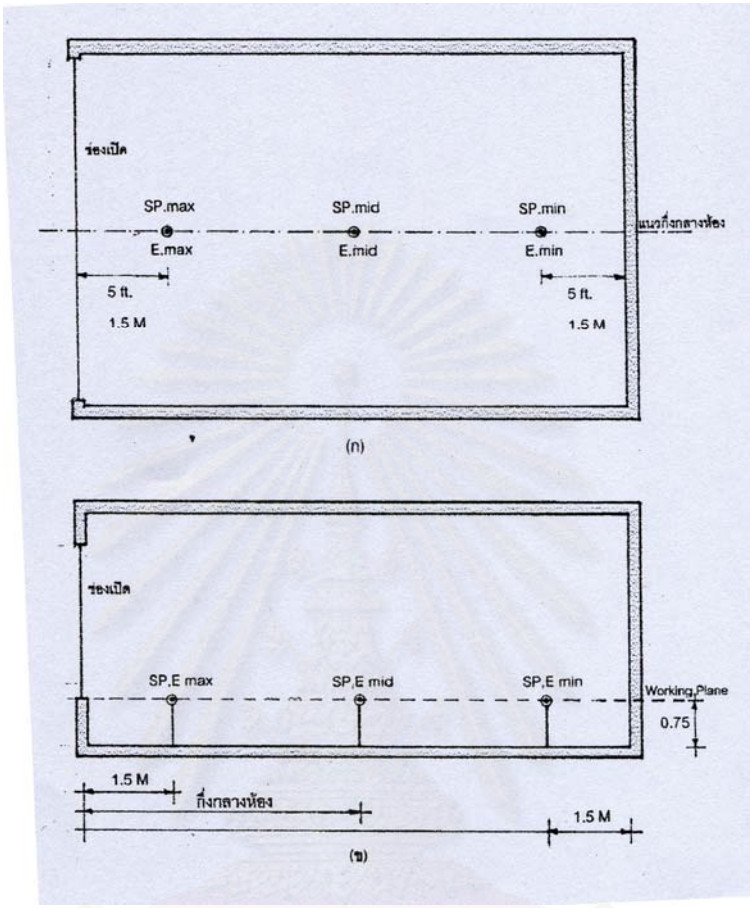
- ค่าการสะท้อนแสงของดิน (ρgr)

1.3 ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

- พื้นที่กระจกของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านได้ (Ag)
- ค่าการส่งผ่านแสงของวัสดุที่เป็นช่องแสง (Tg)
- อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ช่องแสงสามารถส่องผ่านได้ต่อพื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด
- ความสกปรกของช่องแสงซึ่งมีผลต่อการส่องสว่างแสงอันเนื่องมาจากการสะสมของฝุ่นหรือ Dirt collection (Dg)

1.4 ปริมาณแสงที่สามารถนำมาใช้งานและการกระจายแสงในระดับ Working Plane โดยพิจารณาดังนี้

- การกระจายตัวของแสงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวของวัสดุภายในห้อง
- อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องเปิด
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความยาว ต่อความสูงของห้อง



รูปที่ 2.22 แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธีลูเมน

ก) ผังพื้นแสดงตำแหน่ง SP. , E ข) รูปตัดแสงตำแหน่ง SP. , E

การพิจารณาโดยวิธีลูเมน ถือว่าระดับของช่องเปิดที่อยู่ในระดับเท่ากันหรือสูงกว่าระดับ Working Plane เท่านั้นที่จะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในระดับ Working Plane ส่วนช่องเปิดที่อยู่ในระดับต่ำกว่าถือว่ามีผลน้อยมาก และความกว้างของช่องแสงถือว่ามีความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น

2. วิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor Method) เป็นการพิจารณาปริมาณความสส่องสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่างและปริมาณความเข้มของแสง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่ (มุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ และมุมอะซิมุท) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติ โดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบ คือ

- องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component ; SC)
- องค์ประกอบจากภายนอก (Externally reflected component ; ERC)
- องค์ประกอบจากภายใน (Internally reflected component ; IRC)

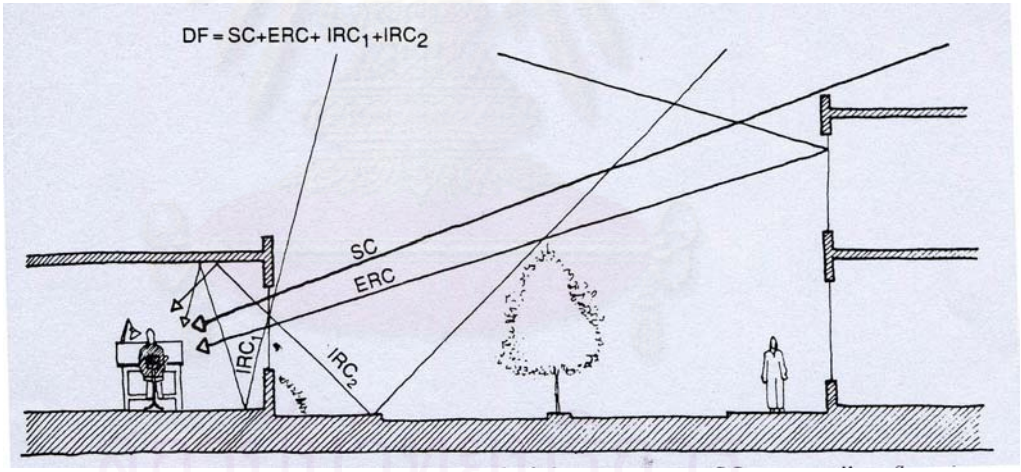
1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component ; SC) โดยสภาพท้องฟ้าจะมีหลายสภาพ เช่น ท้องฟ้าโปร่ง หรือปกคลุมด้วยเมฆ ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้น

2. องค์ประกอบจากภายนอก (Externally reflected component ; ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอกหรือบริเวณข้างเคียง แสงสะท้อนที่ส่องผ่านเข้ามาภายในอาคารเป็นเสมือนแหล่งกำเนิดอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงจะขึ้นอยู่กับทิศทางของแสงสะท้อน หรือคุณสมบัติพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ

3. องค์ประกอบจากภายใน (Internally reflected component ; IRC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรือพื้นผิวที่อยู่ภายในอาคาร โดยได้รับแสงจาก SC และ ERCและปริมาณแสงจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ เช่นเดียวกันกับ ERC

2.1 เดไลท์ แฟคเตอร์ ในระนาบนอน (Horizontal Daylight Factor ; DF_H) คือ ค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ในระนาบนอนภายในอาคารแต่ละจุดใดๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ในระนาบนอนภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และไม่รวมแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Excluded Direct Sun) ค่าที่ได้คิดเป็นเปอร์เซนต์ (Stein and Reynolds, 1992)

$$DF_H\ (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายในระนาบนอน} * 100\ \%}{\text{ความสว่างภายนอกในระนาบนอนไม่รวมแสงแดดตรง}} \quad \text{.....(2.28)}$$



รูปที่ 2. 23 แสดงลักษณะของผลรวมเดไลท์ แฟคเตอร์ (Total DaylightFactor ; DF.)
ที่มา : Stein and Reynolds, 1992 : 980

ถ้าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์มีค่าเท่ากับ 10% หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้นๆ ได้รับปริมาณแสงเท่ากับ 10% ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับภายใต้สภาพท้องฟ้าที่โปร่งไม่มีสิ่งกีดขวาง

ถึงแม้ว่าค่าเดไลท์ แฟคเตอร์ ไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแสงที่แน่นอน แต่ก็เป็นตัวที่ชี้ให้เห็นว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ หรือการทำงานในชิ้นงานใดๆนั้น มีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ และมีการกำหนดช่วงของค่าเดไลท์ แฟคเตอร์สำหรับพื้นที่ใช้งานในลักษณะต่างๆ ดูได้จากตารางที่ 2.2 ประกอบ

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าประมาณเดไลท์ แฟคเตอร์ (DaylightFactor ; DF) สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ

การใช้งาน	ค่า DF.%
การอ่านหนังสือ การทำงานปกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5 – 2.5
การอ่านหนังสือ หรือใช้สายตาในที่ๆหนึ่งในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่อาจจะต้องมีอุปกรณ์บางอย่างเข้าช่วย ซึ่งไม่มีอันตรายมาก	2.5 – 4.0
สำหรับการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูงหรือการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่อาจจะต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดอัตราย	4.0 – 8.0

ที่มา : Millet and Bedrick, 1980 อ้างโดย Stein and Reynolds, 1992 : 197

2.2 เดไลท์ แฟคเตอร์ ในระนาบตั้ง (Vertical Daylight Factor ; DF_V) เป็นการพิจารณาความส่องสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่างและปริมาณความเข้มของแสง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงกระทำต่อพื้นที่ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน

การกำหนดค่าเดไลท์ แฟคเตอร์ ในระนาบตั้ง คือ ค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ในระนาบตั้ง (Vertical) ภายในอาคารแต่ละจุดใดๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่แนวระนาบตั้งภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และไม่รวมแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Excluded Direct Sun) ค่าที่ได้คิดเป็นเปอร์เซนต์ (Stein and Reynolds, 1992)

$$DF_V\ (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายในระนาบตั้ง} * 100\ \%}{\text{ความสว่างภายนอกในระนาบตั้งไม่รวมแสงแดดตรง}} \quad \text{.....(2.29)}$$

ในการคำนวณหาค่า Daylight Factor (DF) นี้จะต้องหาค่าองค์ประกอบของแสงกระจายทั้ง 3 นี้ แต่ละองค์ประกอบ แล้วจึงนำมารวมกันเป็นค่า Daylight Factor (DF) ของแสงกระจายที่เข้าสู่อาคาร เพื่อหาค่าความส่องสว่าง ณ จุดอ้างอิง

$$DF. = SC.+ ERC.+ IRC \quad \text{.....(2.30)}$$

- แสงกระจายที่ได้รับจากท้องฟ้าโดยตรง (Sky component หรือ SC.) ในการหาค่า SC. นี้ โดย
  - การหาค่า SC. จากการอ่านตาราง โดยใช้ Reference Daylight Table สิ่งที่จะต้องทราบคือ ความสูงของหน้าต่าง : ระยะทางไปยังจุดอ้างอิง และความกว้างของหน้าต่าง : SC. ที่จุดอ้างอิงอื่นๆ หาได้ด้วยการบวกหรือลบระยะทางไปยังจุดอ้างอิง
  - การหาค่า SC. จากการใช้ตาราง Waldram Diagram วิธีนี้ส่วนใหญ่จะใช้หาค่า SC. ที่มีสิ่งกีดขวางภายนอกที่ไม่เป็นแนวกับหน้าต่าง

การหาค่า SC. จาก Daylight Factor Protractors วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะสะดวกรวดเร็วกว่าการใช้ตาราง แม้ค่าที่ได้จะไม่ถูกต้อง 100 % ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางซึ่งไม่เป็นแนวกับหน้าต่าง ค่า SC. ที่ได้นี้ใช้สำหรับ

CIE(International Commission on Illumination) overcast sky การนำมาใช้สำหรับสภาพวะท้องฟ้าอื่นๆ ต้องปรับตามสภาพท้องฟ้า ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้หลักการเดียวกัน

- แสงที่ได้รับหลังจากการสะท้อนจากพื้นอาคาร หรือพื้นผิวอื่นๆ ภายนอกอาคาร (Externally Reflected Component หรือ ERC.)

แสง ERC. นี้สามารถคำนวณหาค่าได้โดยพิจารณาสิ่งกีดขวางภายนอกอาคาร ให้มีค่าแสงสว่างเป็นเศษส่วนของ SC. ซึ่งในการปฏิบัติค่า SC. ซึ่งหาได้จากวิธีใดวิธีหนึ่งข้างต้น จะถูกแปลงเป็นค่าแสงสว่างที่ได้รับหลังจากการสะท้อน จากส่วนอื่นๆภายนอกอาคาร โดยกำหนดให้ค่าความส่องสว่างของพื้นผิวที่กีดขวางมีค่าน้อยกว่า ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า ซึ่งค่าความส่องสว่างของสิ่งกีดขวางนี้ จะแปรเปลี่ยนไปเมื่อดวงอาทิตย์สูงขึ้น ในการคำนวณโดยทั่วไปสำหรับ สภาพท้องฟ้าที่มีแสงกระจายสม่ำเสมอ (Uniform Sky) ถ้าไม่รู้ค่าที่แท้จริงของความส่องสว่างนี้ ให้ใช้ค่าความส่องสว่าง 1 / 10 ของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท้องฟ้า การใช้ค่านี้จะแตกต่างกันตามสภาพท้องฟ้า ถ้าสภาพท้องฟ้ามืดมน ใช้ค่าความส่องสว่างนี้จะมีค่า 1 / 5 ของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท้องฟ้า

- แสงที่ได้รับ ณ จุดอ้างอิง หลังจากการสะท้อนจากพื้นผิวภายในห้อง (Interally Reflected Component หรือ IRC.)

  แสงที่ได้รับ ณ จุดอ้างอิงหลักจากการสะท้อนจากพื้นผิวภายในห้อง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการสะท้อนแสงของกำแพง, ฝ้าเพดาน, พื้นภายในห้อง และปริมาณของแสงที่ส่วนต่างๆดังกล่าวที่ได้รับจากท้องฟ้า, สิ่งกีดขวาง และพื้นภายนอกอาคาร ในทางปฏิบัติ ปริมาณของแสงสะท้อนภายในห้อง จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะห่างจากจุดอ้างอิงไปถึงหน้าต่าง โดยทั่วไปการประมาณหาค่าเฉลี่ยของ IRC นี้ จะประมาณจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของห้อง โดยใช้ค่าต่ำสุดที่จุดที่ไกลจากหน้าต่างมากที่สุด การคำนวณหาค่า IRC สำหรับการให้แสงทางด้านข้างสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$IRC = \frac{0.85\, w}{A\,(1-R)} * (CRfw + 5R\,cw)\% \quad \text{.....(2.31)}$$

W = พื้นที่หน้าต่าง

A = พื้นที่ผนังทั้งหมดของฝ้าเพดาน พื้น และกำแพง รวมทั้งพื้นที่หน้าต่าง

R = ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน พื้น และกำแพงทุกด้าน รวมถึงหน้าต่างซึ่งมีค่าเป็นเศษส่วน

Rfw = ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงของพื้น และส่วนของกำแพงที่อยู่ใต้ระดับกึ่งกลางของความสูงของหน้าต่าง

Rcw= ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงของกำแพงซึ่งอยู่เหนือระดับกึ่งกลางของความสูงของหน้าต่าง (ไม่รวมกำแพงด้านหน้าต่าง)

C = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางด้านนอกหน้าต่าง (ในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางค่าของ C นี้ = 39 ค่าของ C นี้จะน้อยลงเมื่อมุมมองของสิ่งกีดขวางจากจุดกึ่งกลางของหน้าต่างน้อยลง)

นอกจากการคำนวณแล้ว สามารถหาค่าเฉลี่ยของ IRC. โดยใช้แผนภูมิโนโมแกรม (Nomogram) ซึ่งจัดทำโดย The Building Research Station UK. ถ้าต้องการหาค่าต่ำสุดของค่า IRC ก็นำค่าเฉลี่ยที่ได้จาก แผนภูมิโนโมแกรม (Nomogram)มาแปลงค่าจากตารางการแปลงค่าอีกครั้งหนึ่ง

เมื่อหาค่า SC., ERC., IRC. ได้แล้วก็นำค่าทั้ง 3 มารวมกันเป็นค่า Daylight Factor ถ้าต้องการหาค่าความส่องสว่างที่จุดอ้างอิง ก็ใช้ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าคูณกับค่า Daylight Factor ที่จุดอ้างอิงนั้น(มาลินี ศรีสุวรรณ ,2528 : 175-178)

การคำนวณความสว่างที่หน้าต่างด้านข้าง

ในการวิจัยนี้เลือกใช้สมการการคำนวณความสว่างที่หน้าต่างจากวิธีลูเมน เพื่อหาความสว่างจากแสงธรรมชาติที่ตกกระทบหน้าต่าง ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการคำนวณความสว่าง ดังนี้

สมการคำนวณความสว่างจากท้องฟ้าและจากดวงอาทิตย์ (แสงแดดตรง) ที่กระทำกับหน้าต่างได้รับความสว่างจาก 2 ทิศทาง คือ

1. ความสว่างของแสงกระจายระนาบตั้งจากท้องฟ้าที่กระทำกับหน้าต่างตามแต่ละทิศของหน้าต่าง (Illumination from the clear sky on window : Ekw) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc) ใช้สมการคำนวณความสว่างจากแสงกระจายระนาบตั้งของทศพร นามเทพ ดูวิทยานิพนธ์ เทคนิคการประมาณค่าความส่องสว่างจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์, ปีการศึกษา 2542
2. ความสว่างของแสงแดดตรงระนาบตั้งจากท้องฟ้าที่กระทำกับหน้าต่างตามแต่ละทิศของหน้าต่าง (Illumination from the sun on window : Euw) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc) ใช้สมการคำนวณความสว่างจากแสงกระจายระนาบตั้งของทศพร นามเทพ ดูวิทยานิพนธ์ เทคนิคการประมาณค่าความส่องสว่างจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์, ปีการศึกษา 2542

ความสว่างของแสงจากท้องฟ้ากระทำกับหน้าต่าง (Illumination from the sun and sky on window : Ekuw)

$$Ekuw = Ekw + Euw \quad \text{.....(2.32)}$$

<u>หมายเหตุ</u> ในการทดลองวิจัยนี้ทำการออกแบบห้องเรียนที่มีการป้องกันไม่ให้มีแสงแดดตรงส่องเข้าภายในห้องเรียน ดังนั้นการคำนวณจึงคิดเฉพาะความสว่างที่ได้รับจากแสงกระจายในระนาบตั้งเท่านั้น

สมการคำนวณความสว่างจากการสะท้อนที่พื้นเข้าหน้าต่าง ซึ่งมีความสว่างจากท้องฟ้าและจากดวงอาทิตย์ (แสงแดดตรง) ที่กระทำพื้น

1 ความสว่างของแสงกระจายจากท้องฟ้าที่กระทำกับพื้นก่อนสะท้อนความสว่างมาที่หน้าต่างตามแต่ละทิศของหน้าต่าง (Illumination from the sky on ground : Ekg) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc)

2 ความสว่างของแสงแดดตรงที่กระทำพื้นก่อนสะท้อนความสว่างมาที่หน้าต่าง (Illumination from the sun on ground : Eug) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc)

ความสว่างของแสงสะท้อนจากพื้นกระทำกับหน้าต่าง (Illumination on the window from ground : Ekug)

Ekug = RF *0.5 * (Ekg + Eug).....(2.33)

โดยที่ RG ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้น ซึ่งการวิจัยนี้ใช้วัสดุที่เป็นพื้นหญ้าที่มีค่าการสะท้อนแสง 6%

หมายเหตุ ใช้สมการคำนวณความสว่างจากแสงกระจายระนาบตั้งและแสงแดดตรง ของทศพร นามเทพ ดูวิทยานิพนธ์ เทคนิคการประมาณค่าความส่องสว่างจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์, ปีการศึกษา 2542

***** นำค่าความสว่างที่ได้จากการคำนวณมาคูณกับค่าการส่งผ่านหน้าต่าง ซึ่งการวิจัยนี้เลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่าน 88%

การคำนวณความสว่างเฉลี่ยภายในห้อง (Average Reflectance: Avg RF)

ในการวิจัยนี้เลือกใช้สมการการคำนวณความสว่างที่หน้าต่างจากวิธีเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ เพื่อหาความสว่างเฉลี่ยภายในห้อง ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการคำนวณความสว่าง ดังนี้

Avg. RF (%) =[(Wall area * Wall RF) + (Ceiling area * Ceiling RF) + (Floor area * Floor RF) + (Window Glass area * RF) / Total Surface]

หมายเหตุ ในการวิจัยนี้ใช้ค่าการสะท้อนแสงของกระจกใสที่หน้าต่าง 15%

2.8งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1. งานวิจัยเกี่ยวกับการให้แสงภายในห้องเรียน

- การควบคุมปริมาณแสงภายในห้องเรียน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังนี้

1. ราคาหรืองบประมาณที่ใช้
2. รูปแบบที่ต้องการและความทันสมัย
3. ความต้องการปริมาณแสงสว่างของห้องต่างๆ
4. การควบคุมปริมาณแสงให้เหมาะสมกับการใช้อุปกรณ์ต่างๆหรือสื่อในการสอน เช่น สไลด์ โปรเจคเตอร์

- การให้แสงที่กระดานดำและไวท์บอร์ด (Peter H.K. Smith, 1979 :)

กระดานดำ (Chalk board) โดยปกติจะมีความยาว 9 ฟุต และ 12 ฟุต ความสูงกระดานมากที่สุด (Max) ประมาณ 6ฟุต 8 นิ้ว หรือประมาณ 2.00 เมตร

การให้แสงเฉพาะที่เพื่อต้องการให้เป็นมุมมองที่ดึงดูดความสนใจเป็นพิเศษในกรณีห้องเรียน กระดานดำเป็นจุดที่ต้องให้แสงเพื่อดึงดูดใจให้นักเรียนตั้งใจมองที่กระดาน ซึ่งควรให้มีความส่องสว่างที่กระดานดำมากกว่าความสว่างทั่วๆไปภายในห้อง ความสว่างจ้าที่กระดานดำที่เกิดจากการให้แสงเฉพาะที่ควรอยู่ในช่วง 600 – 1000 ลักซ์ (60-100 lm / ft^2) และต้องไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์ (30 lm / ft^2) และต้องควบคุมให้แสงมีปริมาณเท่านี้ตลอดทั้งวัน สามารถเลือกใช้ดวงโคมแบบใดก็ได้ในการติดตั้งเพื่อการให้แสงที่กระดาน แต่หลอดฟลูออเรส

เซนต์ซึ่งเป็นหลอดยาวมีโคมการกระจายแสงที่สามารถกระจายได้สม่ำเสมอ จึงเหมาะแก่การติดตั้งให้แสงที่กระดานมาก

1. การให้แสงที่กระดานดำด้วยหลอดไส้ ถ้าติดตั้งใกล้เกินไปจะทำให้เกิดลำแสงแบบ Scallops ซึ่งรบกวนการมองและยังทำให้เกิดความเปรียบต่างของความสว่างระหว่างพื้นที่ส่วนบนและส่วนล่างของลำแสง
2. การให้แสงที่กระดานดำควรเป็นแสงที่คงที่สม่ำเสมอ ถ้าเป็นไปได้ควรให้มีความสม่ำเสมอจากส่วนบนสุดจนถึงส่วนล่างสุดของกระดาน
3. ถ้าการให้แสงในพื้นที่ส่วนบนสุดของกระดาน ถ้าให้สว่างจ้ามากจะเกิดแสงสะท้อนเข้าสู่ตาโดยตรงกับผู้มอง (นักเรียน) ที่นั่งอยู่ใกล้กระดานมากที่สุด
4. กระดานดำควรมีค่าการสะท้อนแสงน้อย เพื่อให้เกิดความเปรียบต่างในระดับที่ทำให้การมองเห็นมีความชัดเจน และต้องมีความสว่างบริเวณกระดานดำให้มากเพียงพอต่อระดับที่ทำให้การมองเห็นชัดเจนด้วย
5. จากรายงานการประเมินผลของ IES กำหนดให้มีการติดตั้งดวงโคมที่ให้ความสว่างเป็นพื้นที่กว้างจากขอบบนสุดของกระดานลงมาไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร และให้ยื่นกล่องหลอดไฟที่ขอบบนของกระดานไม่น้อยกว่า 1/5 ของความสูงของกระดานและต้องไม่ติดตั้งในตำแหน่งที่ทำให้เกิดแสงสะท้อนจากกระดานเข้าสู่ตานักเรียนที่นั่งแถวหน้าสุด

- ความสูงของห้องเรียน (S. Rowland Pierce, Patrick Cutbush and Anthony Williams, 1959 : 204)

การกำหนดความสูงของห้องเรียนโดยปกติแล้วไม่มีแต่จะได้จากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยที่สำคัญมาก คือ ค่า Daylight Factor : DF. = 2 % (min) บนระนาบทำงาน (Working – surfaces) ซึ่งส่งผลให้เป็นตัวกำหนดความสูงและความกว้างของห้อง เพื่อให้ได้ค่า DF. ตามที่กำหนดดังกล่าว อย่างไรก็ตามจากคำแนะนำของ The Memorandum accompanying the Regulations ห้องเรียนไม่ควรสูงน้อยกว่า 11 ฟุต (ประมาณ 3.30 เมตร) จากพื้นถึงฝ้าเพดาน ความสูงที่เกินค่านี้จะดียิ่งขึ้น แต่ถ้าห้องที่มีความสูงตามที่กำหนดและมีการให้ความสว่างที่เพียงพอแล้วก็ไม่จำเป็นต้องเพิ่มความสูงขึ้นไปอีก

โดยทั่วไปห้องเรียนนิยมทำฝ้าเรียบแต่การออกแบบในบางครั้งจะมีโครงสร้างของคานขวางภายในห้อง จึงต้องยกฝ้าเพดานห้องให้สูงขึ้นอีก ดังนั้นห้องที่สูงมากขึ้นนี้ควรออกแบบให้มีช่องแสงด้านบน (Clerestory) จึงทำให้ห้องมีความสูงกว่ากำหนดเดิมเป็น12 ฟุต หรือ 13 ฟุต และมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 50 % ของพื้นที่เรียน

ถ้าห้องที่มีความสูงพื้นถึงฝ้าเพดาน 11 ฟุต การให้แสงด้านเดียว(One side only) ต้องออกแบบส่วนบนช่องเปิดแสงหรือยอดหน้าต่างมีความสูงถึงระดับฝ้าเพดาน เพื่อให้มีแสงเพียงพอตลอดความลึกของห้อง และการให้แสงจาก Clerestory ในด้านที่อยู่ตรงข้ามกับหน้าต่าง โดยไม่มีแสงจากข้างห้องหรือจากบริเวณทางเดินของห้องเรียน จะไม่สามารถช่วยในเรื่องการให้แสงมากนัก

- หน้าต่างของห้องเรียน (S. Rowland Pierce, Patrick Cutbush and Anthony Williams, 1959 : 206)

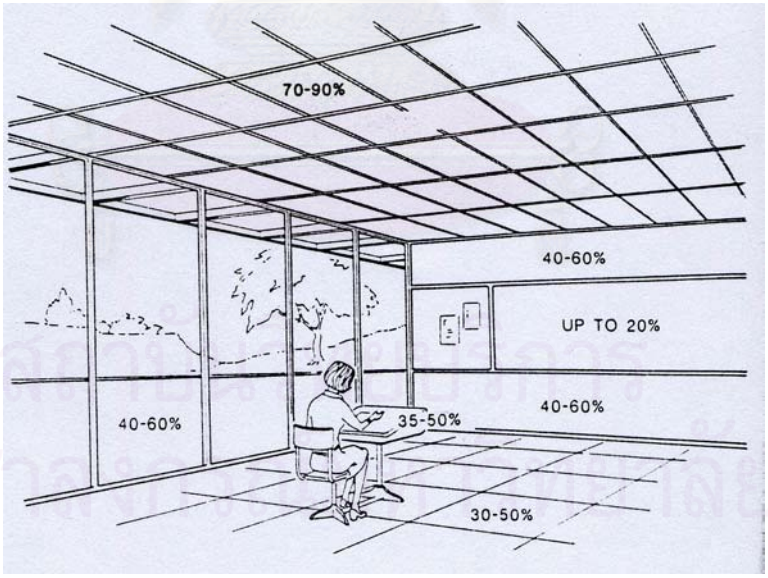
The Memorandum กำหนดให้มีพื้นที่หน้าต่างของห้องเรียนที่เพียงพอกับการให้ความสว่างภายในห้องที่มีค่า Daylight Factor : DF. = 2 % (min) และต้องมีการกระจายแสงได้ทั่วห้อง นอกจากนี้ยังแนะนำอีกว่าแสงสว่างภายในห้องเรียนไม่ควรเกินกว่า 50% ของความเข้มแสงที่กำหนดก่อนหน้านี้ Clerestory และ Top

light (การให้แสงด้านบน) ทำให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอีก 5% จึงควรระวังไม่ให้มีความสว่างมากเกินไป ควรมีการพิจารณาปัจจัยประกอบเหล่านี้

- ความยุ่งยากในการติดตั้งหน้าต่าง
- ค่าการบำรุงรักษา
- ค่าซ่อมแซม
- การทำความสะอาด
- ความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในห้อง

หน้าต่างควรอยู่ในตำแหน่งที่ระดับสายตาของนักเรียนที่นั่งในห้อง สามารถมองออกไปภายนอกได้ ควรให้อยู่ในระดับความสูง 3 ฟุต จากพื้น ควรทำช่องหน้าต่างตลอดแนวยาวของห้องจากหน้าชั้นเรียนไปยังโต๊ะเรียนแถวสุดท้าย ไม่ควรใช้กรอบหน้าต่างที่มีสีเข้มตัดกับความสว่างของแสง และหน้าต่างควรออกแบบให้อยู่ทางด้านซ้ายมือของนักเรียน กรณีที่เป็นการออกแบบช่องหน้าต่างด้านเดียว (One side only) แต่ถ้ากรณีที่ออกแบบช่องหน้าต่าง 2 ด้าน (Two Sides) แสงที่ให้ความเข้มแสงมากที่สุดต้องอยู่ด้านซ้ายมือของนักเรียน ซึ่งในกรณีหลังจะเป็นการออกแบบและการจัดแสงที่ยากมาก ไม่ควรออกแบบวางทิศทางหน้าต่างที่หันเข้าหาครูหรือหน้าชั้นเรียน ควรยืดหน้าต่างให้สูงเกือบจรดฝ้าเพดาน

มาตรฐานปริมาณการสะท้อนแสงของวัสดุภายในห้องเรียน

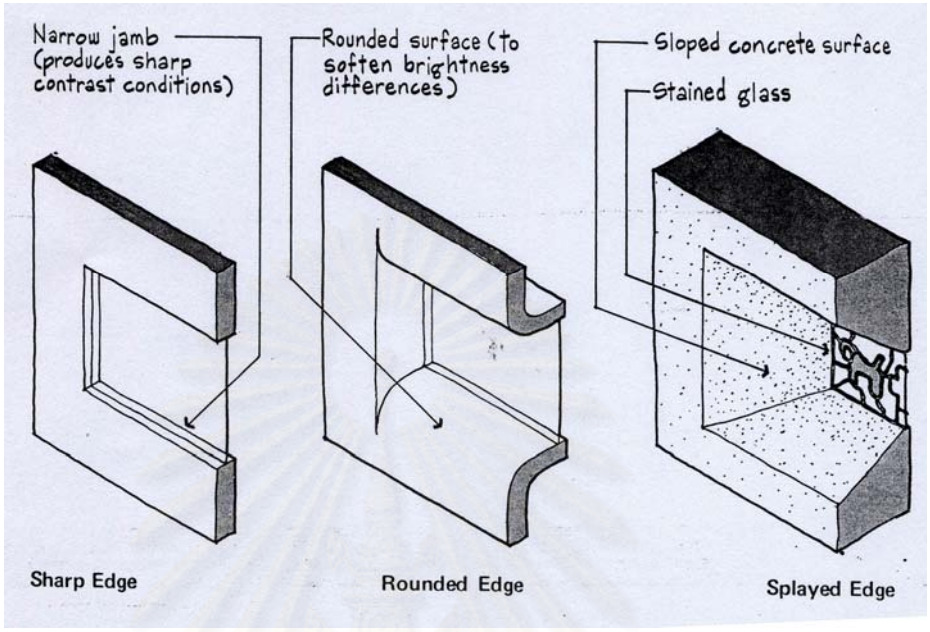


รูปที่ 2.24 แสดงการสะท้อนแสงของสีในส่วนต่างๆของห้องเรียน

ที่มา : Kaufman, 1981 : 11 – 17

- <u>การออกแบบหน้าต่างเพื่อลดปัญหาแสงจ้า</u> (Egan, 1983)

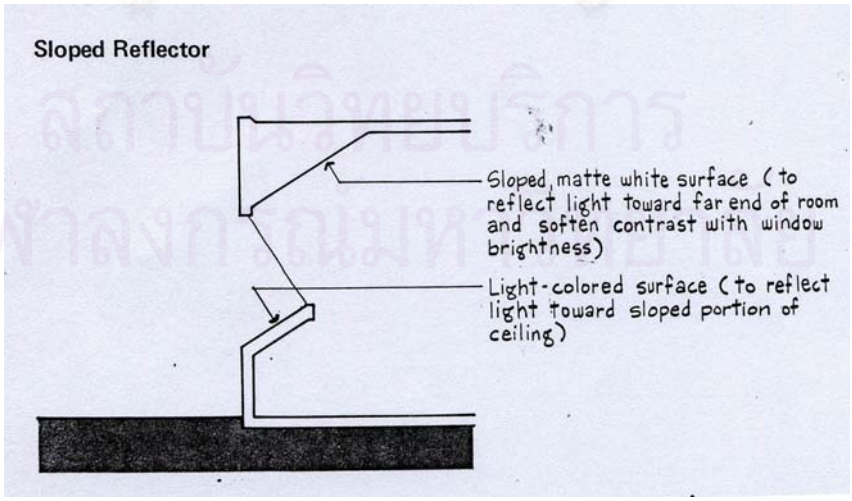
1. การลบมุมที่ขอบรอบหน้าต่าง เพื่อไล่ลำดับความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างไม่ให้มีความแตกต่างมาก ซึ่งมีทั้งแบบปาดมุมเอียงรอบผนัง (Splayed) และแบบลบมุมให้โค้งมน ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงการไล่ลำดับความเปรียบต่างที่หน้าต่างด้วยการลบมุมที่ขอบรอบหน้าต่าง

ที่มา : Egan, 1983 : 115

2. การออกแบบฝ้าเพดานเอียงจรดวงกบบนหน้าต่าง (Sloped surface) ทำให้ความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับฝ้าเพดานไม่แตกต่างมาก
3. การออกแบบหน้าต่างเอียงทำให้มุมมองที่มองเห็นท้องฟ้าลดลง ซึ่งมีการออกแบบฝ้าเอียงและเพิ่มส่วนสะท้อนแสงที่ผนังใต้หน้าต่าง วิธีนี้มี 2 รูปแบบ คือ แบบฝ้าโค้ง และแบบฝ้าเอียงธรรมดา ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงการเอียงกระจกหน้าต่างและฝ้าเพดานจรดหน้าต่างเพื่อลดความเปรียบต่างความสว่าง

ที่มา : Egan, 1983 : 188

2.8.2. งานวิจัยในด้านการออกแบบปรับปรุงห้องเรียน

1. กรมสามัญศึกษามีโครงการพัฒนาโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดเล็ก 50 โรง โดยการช่วยเหลือของยูเนสโก ในปี 1986 และได้มีการสร้างอาคารต้นแบบโรงเรียนนำร่องที่จังหวัดอุทัยธานี และมีการประเมินอาคารต้นแบบนี้โดยศึกษารูปแบบของอาคารมีความเหมาะสมกับการเรียนการสอนหรือไม่ เพื่อนำผลสรุปไปขยายผลและพัฒนาโรงเรียนต้นแบบต่อไป รูปแบบอาคารเรียนต้นแบบนี้ใช้มากว่า 10 ปีแล้ว เป็นอาคารเรียน 2 ชั้น ชั้นละจำนวน 6 – 8 ห้องเรียนมีทางเดินเชื่อมอยู่หน้าห้อง ขนาดห้องเรียนมี 2 ขนาด คือ 7*9 เมตร และ 8*8 เมตร ตามแนวนโยบายของกรมสามัญศึกษาได้เสนอการประเมินผลอาคารเรียนมาตรฐานไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 6 ระหว่าง พ.ศ. 2530 – 2534 โดยเสนอให้สถาปนิกควรให้ความสำคัญในรายละเอียดของขนาด สัดส่วนและระยะห่างระหว่างอาคาร การใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น

ปัจจุบันมีการทดลองออกแบบแผงกันแดด โดยการออกแบบใช้เงื่อนไขของเวลาในแต่ละวันเป็นตัวกำหนด เพื่อการป้องกันแสงโดยตรงที่เข้ามาภายในห้องเรียนและสามารถป้องกันแสงจ้า (Glare) ได้มากแต่ยังยอมให้มีแสงสว่างอย่างเพียงพอภายในห้องเรียน

จากการประเมินผลอาคารเรียนนี้สรุปได้ว่า เป็นอาคารที่ใช้แสงธรรมชาติเป็นหลัก เนื่องจากบางพื้นที่ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าถึง และรูปแบบของอาคารสามารถกันแดดกันฝนได้บ้าง และควรมีการออกแบบแผงกันแดดเพื่อช่วยตัดความจ้าของแสงออกไปให้เหลือเพียงแสงสว่างที่ใช้ในการมองให้เห็นได้อย่างชัดเจน (การประเมินอาคารต้นแบบโรงเรียนนำร่องที่จังหวัดอุทัยธานี)

. 2. จากรายงานการวิจัยปรับปรุงโรงเรียนชนบทในบังคลาเทศเกี่ยวกับการส่องสว่างภายในโรงเรียนชนบทโดยทั่วไปจะใช้แสงธรรมชาติในการส่องสว่าง ทั้งภายในห้องเรียนและตามพื้นที่ในส่วนต่างของโรงเรียน ซึ่งจากการวิจัยของยูเนสโกพบว่าการจัดแสงภายในห้องเรียน มีระดับการส่องสว่างบนโต๊ะเรียนยังไม่เพียงพอ เนื่องจากการออกแบบหน้าต่างห้องเรียนมีขนาดเล็กเพราะต้องการให้มีขนาดของบานเปิดที่สะดวกในการเปิดและปิดหน้าต่างเมื่ออากาศภายนอกไม่เอื้ออำนวย จึงทำให้การนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในห้องเรียนไม่เพียงพอ ซึ่งระดับการส่องสว่างที่ใช้กันโดยทั่วไปภายในห้องเรียนจะอยู่ในช่วง 106 ลักซ์ ถึง 220 ลักซ์ (ที่มา: จากการวิจัยของ Narasimhan, V. et al.1971) ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงการให้แสงภายในห้องเรียนให้มีความสว่างที่เหมาะสมเพียงพอและประหยัดงบประมาณมากที่สุด โดยการออกแบบให้อาคารมีชายคายื่นยาว เพียง 1 ด้านเฉพาะในด้านที่มีมุมกระทำจากดวงอาทิตย์ในมุมต่ำ และมีการกำหนดความลาดชันของหลังคา เพื่อควบคุมมุมของแสงแดดและลดความสูงของหน้าต่างเพื่อให้ตำแหน่งที่นั่งใกล้หน้าต่างไม่มีแสงจ้ารบกวนสายตา นอกจากนี้การวิจัยครั้งนี้ได้มีการประมาณความส่องสว่างของท้องฟ้าเพื่อใช้ในการออกแบบ โดยกำหนดที่ 6000 ลักซ์ จะให้ความส่องสว่างที่โต๊ะเรียนที่ระดับความส่องสว่างน้อยกว่า 107 ลักซ์ ซึ่งทำให้มีความสว่างภายในห้องไม่เพียงพอ และบริเวณที่ไม่มีชายคามีระดับความส่องสว่างเพียงพอ

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบขนาดหน้าต่าง เพื่อควบคุมทิศทางของแสงแดดที่ละติจูด 20 ^{O}Nถึง 26 ^{O}N สำหรับในช่วงวิกฤตของปี และทิศทางการวางอาคารตามแนวแกนทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตกจะไม่สามารถบังเงาแดดที่หน้าต่างได้ ส่วนหน้าต่างที่หันสู่ทิศเหนือไม่มีปัญหาแสงแดดเพราะไม่มีแดดส่องด้านนี้ (Alternative Building Design for Universal Primary Education in Bangladesh หน้า 32-33)

3. จากรายงานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงห้องเรียนระดับประถมศึกษาในประเทศไทยของ หม่อมราชวงศ์ ทองใหญ่ ทองใหญ่ กับ สมชาย เอกปัญญากุล โดยได้รับทุนการวิจัยจากยูเนสโก พบว่า อาคารเรียนของโรงเรียนระดับชั้นประถมศึกษาควรมีการแก้ไขปรับปรุงการให้แสงสว่างภายในห้องเรียน และสรุปแนวทางการให้แสงภายในห้องเรียนให้เพียงพอตามปัจจัยต่างๆ เช่น อาคารเรียนต้องจัดตำแหน่งการวางอาคารเรียนให้ถูกต้องเพื่อผลในด้านการมองเห็น (Visual Function) การลดแสงจ้า(Glare) ที่เกิดขึ้น โดยการปลูกต้นไม้ การออกแบบอาคารให้มีรูปทรงตามแนวยาวและจัดทิศทางการวางอาคารตามแนวทิศตะวันออกและทิศตะวันตก โดยให้มีช่องเปิดของอาคารด้านทิศเหนือ

นอกจากนี้ยังได้เสนอแนะปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเพื่อการมองเห็นของนักเรียนอย่างถูกต้องชัดเจนอีก เช่น

- ค่าการสะท้อนแสงของฝ้า 80% พื้น 20 – 30 % ผนัง70-80% กระดานดำ 20%
- ระยะห่างระหว่างอาคารเพื่อให้ไม่มีเงาแดดบังอาคารตรงข้าม A = 2H
- การจัดผังภายในห้องนักเรียนที่นั่งแถวหน้าควรห่างกระดานดำ 2 เมตร เป็นอย่างน้อย
- การกำหนดความสูงของกระดานดำ สูงจากพื้น 0.62 – 0.75 และกระดานสูง 1.10 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง หุ่นจำลอง และ วิธีการวัดแสง

การศึกษาและเก็บข้อมูลการทดลองครั้งนี้ใช้หุ่นจำลองและเลือกใช้เครื่องมือในการวิจัยที่มีความเหมาะสมกับขนาดของหุ่นจำลองเพื่อให้ความสะดวกในการทดลอง และเลือกใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพดีเพื่อให้ผลข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือวัดแสงที่อ่านค่าความส่องสว่างเป็นลักซ์ จำนวน 2 เครื่อง นำมาวัดความสว่างทั้งภายในและภายนอกในเวลาเดียวกันของแต่ละจุดที่ทำการวัด เพื่อเป็นการอ่านค่าสำหรับนำมาหาค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ของแต่ละจุดที่ทำการวัด และการวัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุภายในห้องเรียน เครื่องมือที่ใช้มีดังนี้

1. ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)
2. มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ (Minolta Lux Meter)T10
3. กล้องถ่ายภาพระบบDigital ยี่ห้อ Nikon รุ่น COOLPIX 950 เลนส์ Wide Converter WC-E24 0.66 X (2.8 mm wide angle) แสดงผล ขาว – ดำ

รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องมือวัดแสงที่ใช้ในการศึกษา
(ก) ลักซ์มิเตอร์ (ข) มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์

1. ลักซ์มิเตอร์ ใช้ในการวัดแสงที่มีช่วงระหว่าง(Measuring range) 5 - 50,000 ลักซ์ วัดค่าความส่องสว่างภายนอกที่ตกกระทบบนระนาบนอน และในการวัดไม่รวมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Exterior Illumination Horizontal exclude Direct Sun) โดยใช้แผ่นเหล็กทึบสีดำ (Shadow ban) ช่วยบังแสงแดดเหนือ Probe ของเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์ ดังแสดงรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แสดงวิธีจัดตั้งลักซ์มิเตอร์ที่ใช้วัดแสงภายนอกโดยไม่รวมรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

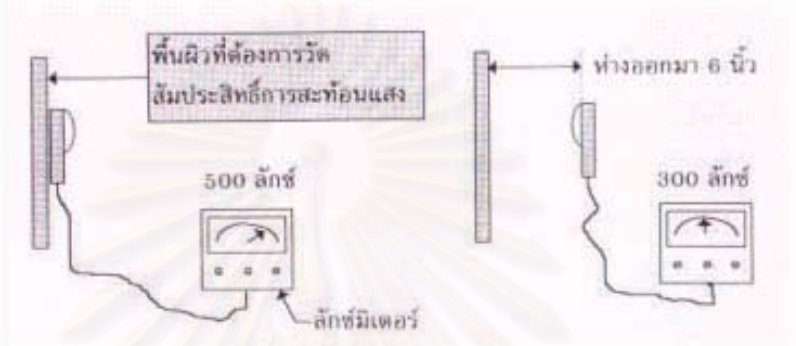
2. มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ ใช้ในการวัดแสงที่มีช่วงการวัดระหว่าง (Measuring range) 10 – 200,000 ลักซ์ วัดค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลองที่ตกกระทบลงบนระนาบนอนที่ระนาบทำงานสูงจากพื้น 0.60 เมตร และวัดค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนระนาบตั้งที่บริเวณกระดานดำกับที่หน้าต่าง เนื่องจากเครื่องมือมีหัววัดแสง (Sensor) ที่มีขนาดเล็ก จึงเหมาะสมในการนำมาวัดแสงภายในหุ่นจำลอง

สาเหตุที่เลือกใช้เครื่องมือวัดแสงภายในและภายนอกหุ่นจำลองแตกต่างกัน เนื่องจากอุปกรณ์เครื่องวัดแสงมีจำกัด ดังนั้นจึงต้องทำการหาความสัมพันธ์ของค่าปริมาณแสงของเครื่องวัดแสงทั้ง 2 เครื่อง ได้แก่ ลักซ์มิเตอร์ที่ใช้วัดภายนอกหุ่นจำลองและมินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ที่ใช้วัดภายในหุ่นจำลอง โดยการเก็บข้อมูลปริมาณแสง ณ ตำแหน่งเดียวกันหลายๆค่าและทำการวัดแสงพร้อมกันทั้ง 2 เครื่อง เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของเครื่องวัดทั้ง 2 เครื่อง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข.)

3. กล้องถ่ายภาพ Digital ยี่ห้อ Nikon รุ่น COOLPIX 950 เลนส์ Wide Converter WC-E24 0.66 X (2.8 mm wide angle) ใช้เก็บภาพโดยเลือกระบบการถ่ายภาพแบบ Manual และเลือกให้ผลของภาพเป็นสีขาว - ดำ กล้อง Digital นี้มีขนาดเล็กสามารถติดตั้งภายในหุ่นจำลองได้ นอกจากนี้ยังมีหน้าเลนส์กว้างสามารถเก็บภาพภายในห้องได้มากขึ้น

3.2 การวัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวต่าง ๆภายในห้องเรียน (ดูรูปที่3.3)

- วัดแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิววัสดุ (Incident Light) โดยวางProbe ให้แนบกับวัสดุที่ต้องการวัด
- วัดแสงที่สะท้อนออกจากพื้นผิววัสดุ (Reflacted Light) โดยหัน Probe เข้าหาพื้นผิววัสดุที่ต้องการวัด และให้ห่างจากพื้นผิวประมาณ 6 นิ้ว



รูปที่ 3 .3 วัดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ

- นำค่าที่ได้จากการวัดแสงไปคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงตามสมการข้างล่าง

Reflectance = (Reflected / Incident) * 100

หมายเหตุ หน่วยค่าการสะท้อนแสงเป็นเปอร์เซนต์

3.3 หุ่นจำลองและวิธีการวัดแสง

เพื่อให้ผลการทดลองกับสภาพห้องฟ้าจริง มีข้อมูลที่ใกล้เคียงห้องเรียนจริงและมีความสะดวกในการทดลอง จึงออกแบบหุ่นจำลองเพื่อใช้ในการทดลองและมีวิธีการวัดแสงดังนี้

วิธีการวัดความสว่างเพื่อหาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ ทั้งในแนวระนาบ (DF $_H$) และในแนวตั้ง (DF $_V$) จากหุ่นจำลองห้องเรียนกับสภาพห้องฟ้าจริง ทำการวัดแสงหุ่นจำลองห้องเรียนตัวเวลา 8.00 10.00 12.00 14.00 และ 16.00 น.

1. การวัดค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ ทั้งในแนวระนาบ (DF $_H$) ทำการกำหนดจุดต่างๆที่ต้องการวัดแสงในระนาบทำงาน(Working Plane) โดยให้ระยะห่างจากผนังโดยรอบ 0.50 เมตร และจุดอื่นๆห่างกัน 1.00 เมตร

2. การวัดค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ ทั้งในแนวตั้ง (DF_V) โดยทำการวัดแสงสว่างในระนาบตั้งที่หน้าต่าง
3. การวัดค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ ทั้งในแนวตั้ง (DF_V) โดยทำการวัดแสงสว่างในระนาบตั้งที่กระดาน

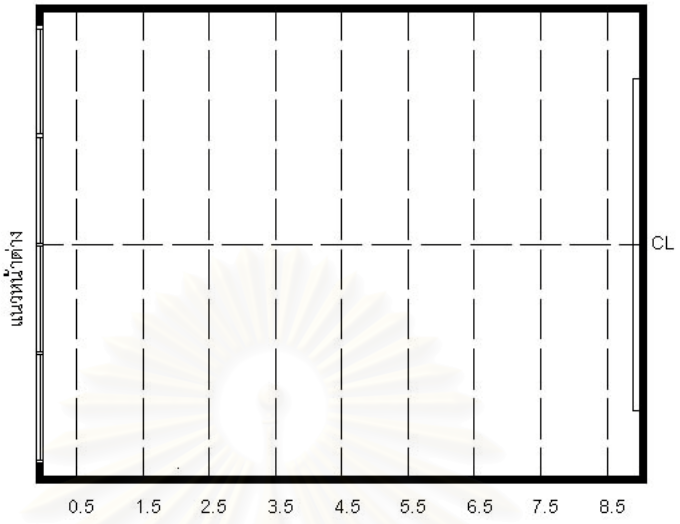
- หุ่นจำลองที่สร้างขึ้นนี้ใช้มาตราส่วน 1:20 เป็นขนาดที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและเหมาะสมกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสงภายใน คือ มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ และรอยต่อชนที่ขอบและมุมห้องของหุ่นจำลองปิดด้วยผ้าเทปสีดำสนิทเพื่อป้องกันไม่ให้มีแสงผ่านเข้ามาตามรอยต่อของผนัง
- วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลองที่ใช้เป็น พื้น ฝ้าเพดาน และผนัง กำหนดให้มีค่าการสะท้อนแสง 70% 50% และ30%ตามลำดับ ใช้วัสดุทำหุ่นจำลองเป็นวัสดุทึบแสงและมีน้ำหนักเบา และต้องทำการทดสอบค่าการสะท้อนแสงให้ค่าใกล้เคียงที่สุด โดยสามารถวัดค่าได้จริงดังนี้

  วัสดุที่ใช้ทำพื้น ใช้ด้านหลังของกระดาษอาร์ตสีเทาอ่อนมีค่าการสะท้อนแสง 32%

  วัสดุที่ใช้ทำผนัง ใช้กระดาษ Canson สีลูกพีชมีค่าการสะท้อนแสง 53%

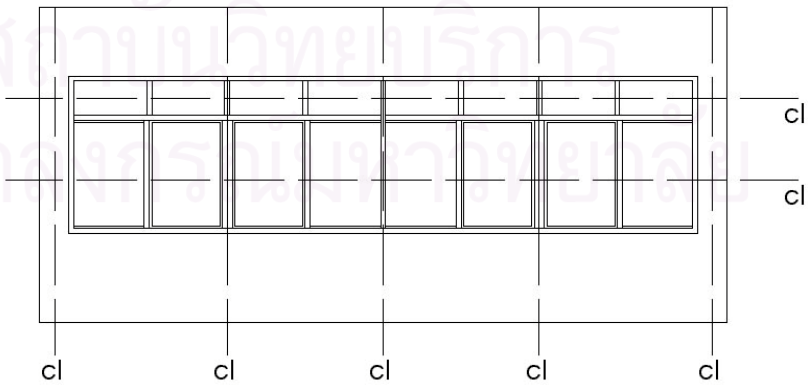
  วัสดุที่ใช้ทำฝ้าเพดาน ใช้กระดาษการ์ดขาวมีค่าการสะท้อนแสง 70.66%

  วัสดุที่ใช้ทำผนังที่มีหน้าต่าง ใช้กระดาษการ์ดขาวมีค่าการสะท้อนแสง 70.66%
- ช่องเปิดของหุ่นจำลองที่ใช้ทดลองไม่มีวัสดุโปร่งแสง เนื่องจากสามารถนำค่าความสว่างที่วัดได้หักออกจากค่าการส่งผ่านโดยการคำนวณ เช่น ค่าความสว่างที่วัดได้ภายในห้องเท่ากับ 500 lx (ลักซ์) และกำหนดให้ค่าการส่งผ่านของกระจกเท่ากับ 88% ดังนั้นค่าความส่งที่หักออกจากค่าการส่งผ่านของกระจกเท่ากับ 500* 0.88 เท่ากับ 440 lx
- การศึกษาการทดสอบการส่องสว่างภายนอกและภายในหุ่นจำลองนี้ โดยทดสอบแสงกับสภาพท้องฟ้าจริงที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) เท่านั้น และเลือกทำการทดลองเฉพาะวันที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าน้อยที่สุด หรือมีอัตราส่วนท้องฟ้า (Sky Ratio) ไม่เกิน 0.3
- ตำแหน่งที่ทำการวัดแสงภายในหุ่นจำลอง ตามจุดที่วัดแสงระนาบนอนที่ระยะต่างๆ ดังนี้ 0.50 1.50 2.50 3.50 4.50 5.50 6.50 7.50 8.50 และ9 เมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4 และกำหนดจุดที่ทำการวัดแสงสูงจากพื้น 0.60 เมตร หรือที่ระดับความสูงที่ใช้งาน(Working Plane) ดูรูปที่ 3.5
- ตำแหน่งวัดแสงที่หน้าต่าง วัดแสงที่กึ่งกลางหน้าต่างในระนาบตั้งตามจุดที่กำหนดดังรูปที่ 3.6 โดยที่การวัดแสงที่หน้าต่างบริเวณที่เป็นช่องแสงให้หัน Probe ออกไปรับแสงภายนอกห้องเรียน ดังรูปที่ 3.7
- ตำแหน่งวัดแสงที่กระดานในระนาบตั้งอยู่ที่กลางกระดานสูงจากพื้นเป็นระยะต่างๆ ดังนี้ 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50 และ 3.00 เมตร ตามลำดับ ส่วนจุดวัดแสงที่กระดานที่ระดับตานักเรียน (1.10 เมตร) กำหนดให้ห่างจากผนังโดยรอบ 0.50 เมตร และจุดอื่นๆห่างกันทุกระยะ 1.00 เมตร ดูรูปที่ 3.8 และ 3.9

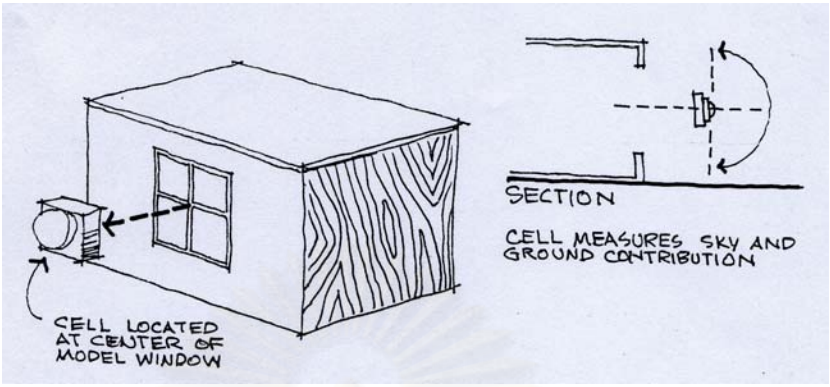


รูปที่ 3.4 แสดงผังพื้นแสดงจุดที่ทำการวัดปริมาณแสงในระนาบนอน

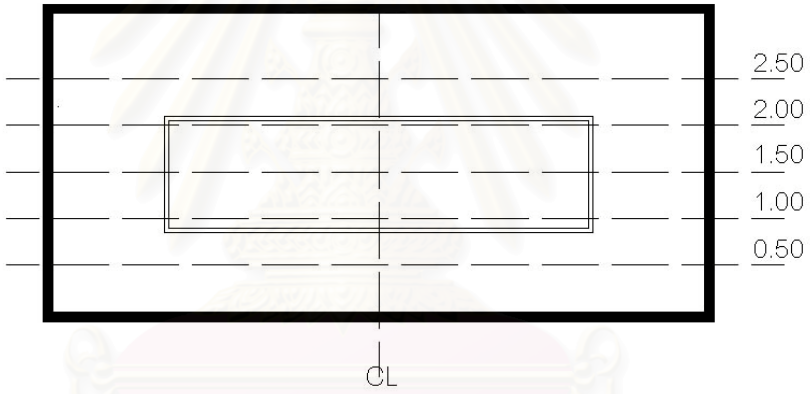
รูปที่ 3.5 แสดงระดับความสูงที่ใช้งาน(Working Plane)



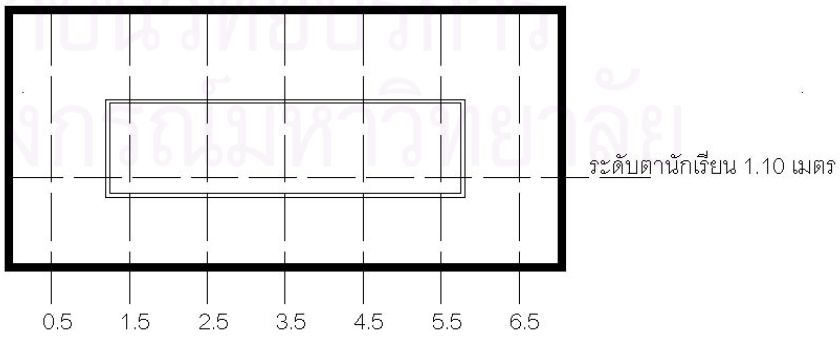
รูปที่ 3.6 แสดงจุดที่ทำการวัดแสงในแนวตั้ง (บริเวณหน้าต่าง)



รูปที่ 3.7 แสดงการหัน Probe ออกไปภายนอกห้องเพื่อวัดแสงในแนวตั้งที่หน้าต่าง



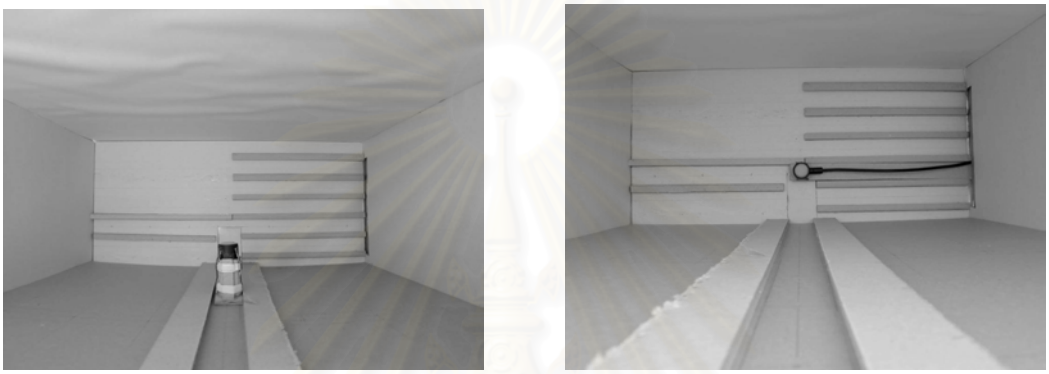
รูปที่ 3.8 แสดงจุดที่ทำการวัดแสงในแนวตั้ง (บริเวณกระดาน)



รูปที่ 3.9 แสดงจุดที่ทำการวัดแสงในแนวตั้งระดับตานักเรียนที่กระดาน

3.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดแสงภายในหุ่นจำลอง

การติดตั้งหัววัดแสงมินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ ภายในหุ่นจำลองเพื่อการวัดแสงในระนาบทำงานและระนาบตั้ง มีการทำร่องและก้านสำหรับติดหัววัดแสงทำให้การทดลองสะดวกและเก็บผลการทดลองได้รวดเร็วขึ้น และได้ค่าที่คลาดเคลื่อนน้อยลง และสามารถควบคุมแสงจากภายนอกที่ไม่ต้องการไม่ให้ส่องเข้าภายในหุ่นจำลองขณะอ่านผลการวัดแสง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดแสงภายในหุ่นจำลองทั้งแนวนอนและแนวตั้ง

3.5 การถ่ายภาพภายในหุ่นจำลอง

การถ่ายภาพภายในหุ่นจำลองด้วยกล้อง Digital เพื่อศึกษาความเปรียบต่างของความสว่างที่เกิดขึ้นที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง โดยตั้งกล้องที่ระดับตาครูขณะยืน และถ่ายภาพระบบ Manual เลือกผล ขาว-ดำ มีการป้องกันแสงจากส่วนอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องและทำให้ผลการถ่ายภาพโดยใช้ผ้าทึบสีดำปิดคลุมส่วนที่ต้องยื่นมือเข้าไปกดชัตเตอร์ ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 แสดงการใช้ผ้าสีดำทึบแสงคลุมหุ่นจำลองขณะทำการถ่ายภาพ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนการเก็บข้อมูลในการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนทำการสำรวจและสุ่มตัวอย่างห้องเรียน 10 ห้องและเก็บข้อมูลของห้องเรียนที่สุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับการให้แสงภายในห้องเรียนและความสบายตา ได้แก่ ขนาดห้องเรียน รูปแบบหน้าต่างและวัดเพื่อหาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในห้องเรียนรวมถึงการบันทึกภาพห้องเรียน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาวิเคราะห์เพื่อสรุปขนาดและรูปแบบหน้าต่างของห้องเรียนตัวอย่างจำลองเพื่อใช้ในการทดลอง ขั้นตอนที่ 2 นำผลการทดลองห้องเรียนตัวอย่างจำลองมาวิเคราะห์รูปแบบหน้าต่างและวิธีการให้แสงภายในห้องเรียนตัวอย่างจำลอง รวมทั้งข้อดี – ข้อเสียจากปัจจัยตัวแปรที่มีผลต่อการมองเห็นและความสบายตา จากนั้นนำผลสรุปที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ ทำการทดลองและเก็บข้อมูลห้องเรียนรูปแบบใหม่ เพื่อหาผลสรุปรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป

4.1 ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างและออกแบบห้องเรียนตัวอย่างจำลอง

4.1.1 หลักเกณฑ์การเลือกห้องเรียนตัวอย่าง

การกำหนดหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกห้องเรียนตัวอย่างจำนวน10 ห้อง เพื่อหาขนาดและรูปแบบหน้าต่างของห้องเรียนมาสรุปผลและทำการออกแบบห้องเรียนตัวอย่างจำลอง มีหลักเกณฑ์ในการเลือกดังนี้

1. เลือกโรงเรียนชั้นประถมศึกษาตามมาตรฐานของกระทรวงศึกษาธิการ อันได้แก่
1.1 โรงเรียนในสังกัดทบวงมหาวิทยาลัย ได้แก่ โรงเรียนสาธิตต่างๆ ที่มีการเรียนการสอนตามวิธีการแบบใหม่และมีพื้นที่อยู่ในบริเวณเดียวกับมหาวิทยาลัย
1.2 โรงเรียนในสังกัดกรุงเทพมหานครและโรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ(ส.พ.ช.) ได้แก่ โรงเรียนรัฐบาลที่มีพื้นที่เป็นของตนเองหรือมีพื้นที่อยู่ในบริเวณเดียวกันกับ กรม กองหรือหน่วยงานของรัฐบาล
1.3 โรงเรียนในสังกัดกรุงเทพมหานครและโรงเรียนในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ(ส.พ.ช.)ที่มีพื้นที่อยู่ในบริเวณที่อยู่ในเขตของวัด
2. เป็นโรงเรียนตัวอย่าง หรือโรงเรียนดีเด่น เพื่อศึกษาคุณภาพของโรงเรียนที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถนำมาประยุกต์และปรับปรุงใช้ได้ทันที
3. เป็นโรงเรียนที่มีที่ตั้งอยู่ในชุมชน เนื่องจากโรงเรียนเป็นส่วนหนึ่งของชุมชน และส่วนใหญ่จะเป็นศูนย์กลางของชุมชนที่เป็นแหล่งให้การศึกษาของชุมชนนั้นๆ ดังนั้นที่ตั้งที่เหมาะสมจึงควรอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของชุมชนนั้นๆ และเพื่อให้นักเรียนที่มีภูมิลำเนาเดียวกับโรงเรียน หรืออยู่ในชุมชนนั้นๆ ได้เข้าเรียนในโรงเรียนที่ใกล้บ้านและสามารถใช้โรงเรียนเป็นสถานที่ประกอบกิจกรรมได้ทุกวัน นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นที่ให้ความรู้กับชาว

บ้านในชุมชนนั้นได้ เช่น ใช้เป็นแหล่งฝึกงานและเรียนรู้วิชาชีพต่างๆในวันเสาร์ – อาทิตย์ เป็นต้น และโรงเรียนควรอยู่ในชุมชนเนื่องจากครูและผู้ปกครองของนักเรียน ซึ่งสามารถติดต่อพบปะให้คำปรึกษาและแก้ไขปัญหาต่างๆของชุมชน รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักเรียนได้สะดวกรวดเร็ว และโรงเรียนที่อยู่ใกล้บ้านนี้ทำให้ผู้ปกครองสะดวกในการรับ – ส่ง (Dean, 1989 : 198)

4. ขนาดของห้องเรียนมีขนาดใกล้เคียงกับมาตรฐานโรงเรียนมาตรฐานกรมสามัญศึกษา
5. เป็นห้องเรียนที่มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ

ห้องเรียนตัวอย่างที่ใช้สำรวจและทดลอง จำนวน 10 ห้องเรียน ดูรูปที่ 4.1 ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดข้างต้น นำมาเป็นตัวอย่างการออกแบบห้องเรียนตัวอย่างจำลองสำหรับศึกษาทดลองและวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสบายตาในการมองเห็นภายในห้องเรียนทั่วไป ได้แก่

1. โรงเรียนราชวินิต มีจำนวนนักเรียน 50 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 8.30 ม. ยาว 8.90 ม. สูง 3.25 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.80 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเลื่อนด้านเดียว ลูกฟักกระจกสีชา สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่าง 2 ด้านอยู่ตรงข้ามกัน และหน้าต่างให้แสงหลักหันหน้าต่างไปทางทิศใต้
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 64% ผนัง 50% พื้น 13 %

2. โรงเรียนพญาไท มีจำนวนนักเรียน 40 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 6 ม. ยาว 9 ม. สูง 3.70 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.55 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่างให้แสงหลักด้านเดียวหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 63% ผนัง 77%พื้น 46%

3. โรงเรียนอนุบาลสามเสน มีจำนวนนักเรียน 50 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 7 ม. ยาว 9 ม. สูง 3.25 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.55 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่างให้แสงหลักด้านเดียวหันหน้าต่างไปทางทิศใต้
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 63% ผนัง 69%พื้น 61%

4. โรงเรียนราชินี มีจำนวนนักเรียน 40 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 6 ม. ยาว 7.80 ม. สูง 3.40 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.70 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่างให้แสงหลักด้านเดียวหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตก
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 89% ผนัง 59%พื้น 43%

5. โรงเรียนประถมสาธิตจุฬาลงกรณ์ มีจำนวนนักเรียน 60 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 9 ม. ยาว 9.80 ม. สูง 3.40 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.70 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่าง 2 ด้านอยู่ตรงข้ามกัน และหน้าต่างให้แสงหลักหันหน้าต่างไปทางทิศใต้
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 74%ผนัง 62%พื้น 48%

6. โรงเรียนประถมสาธิตสถาบันราชภัฏสวนสุนันทา มีจำนวนนักเรียน 50 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 8 ม. ยาว 8.40 ม. สูง 3.00 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.60 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่างให้แสงหลักด้านเดียวหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 95% ผนัง 63%พื้น 60%

7. โรงเรียนประถมสาธิตประสานมิตร มีจำนวนนักเรียน 65 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 9 ม. ยาว 13 ม. สูง 3.85 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.60 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเลื่อนคู่ลูกฟักกระจกใส สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่าง 2 ด้านอยู่ตรงข้ามกัน และหน้าต่างให้แสงหลักหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 70% ผนัง 84%พื้น46%

8. โรงเรียนวัดคณิกาผล มีจำนวนนักเรียน 40 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 6.40 ม. ยาว 8 ม. สูง 3.50 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.80 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90

- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่างให้แสงหลักด้านเดียวหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันตก
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 66%ผนัง 51%พื้น 13%

9. โรงเรียนมหาวีรานุวัตน์ มีจำนวนนักเรียน 40 คน

รายละเอียดในการสำรวจ

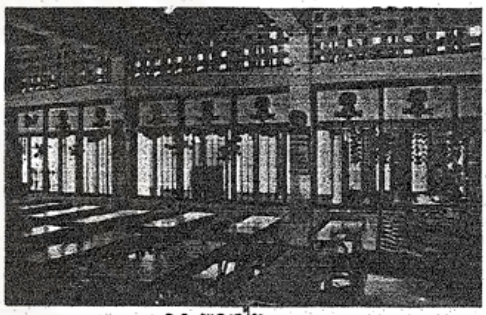
- ขนาดห้องเรียน กว้าง 6 ม. ยาว 8 ม. สูง 3.25 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.50 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่างให้แสงหลักด้านเดียวหันหน้าต่างไปทางทิศตะวันออก
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 76%ผนัง 38%พื้น 13%

10. โรงเรียนวัดชนะสงคราม มีจำนวนนักเรียน 40 คน

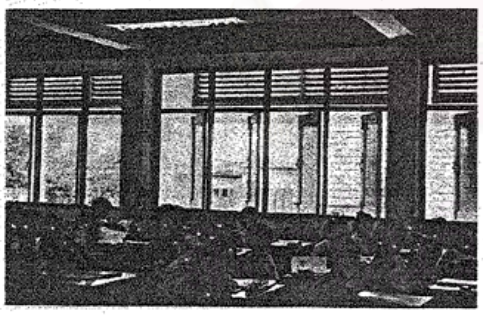
รายละเอียดในการสำรวจ

- ขนาดห้องเรียน กว้าง 6.70 ม. ยาว 8.70 ม. สูง 4.30 ม.
- ขนาดหน้าต่างสูง 1.20 ม. ช่องแสง 0.50 ม.
- รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
- การให้แสงธรรมชาติมีหน้าต่างให้แสงหลักด้านเดียวหันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 64%ผนัง 51%พื้น 11%

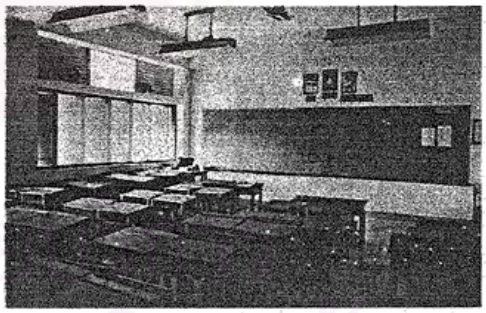
ร.ร. ราชวินิต



ร.ร. พญาไท

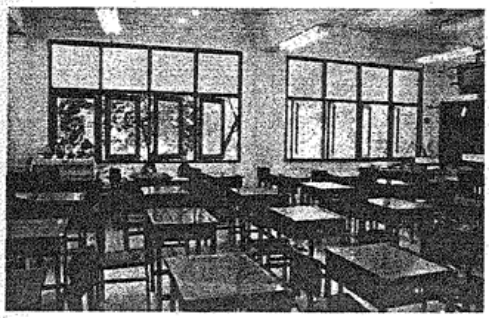


ร.ร. อนุบาลสามเสน

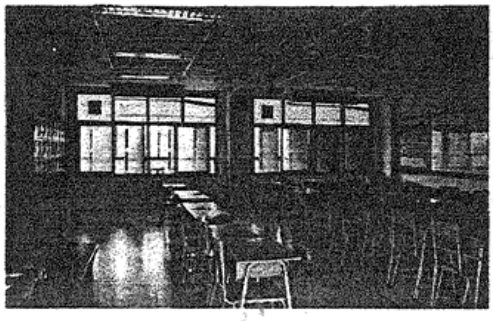


ร.ร. ราชินี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



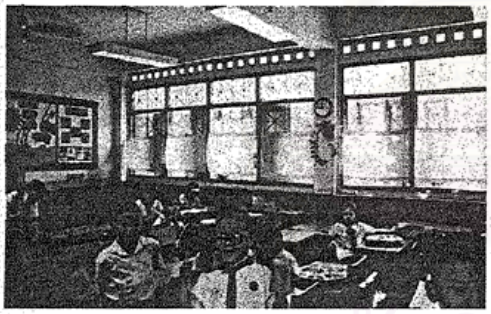
ร.ร. ประถมสาธิตจุฬาลงกรณ์



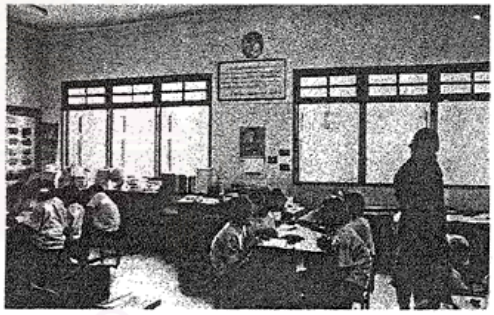
ร.ร. ประถมสาธิตราชภัฏสวนสุนันทา

ร.ร. ประถมสาธิตประสานมิตร

ร.ร. วัดคณิกาผล



ร.ร. มหาวีรานุวัตน์



ร.ร. วัดชนะสงคราม

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายห้องเรียนตัวอย่างที่ทำการสำรวจ

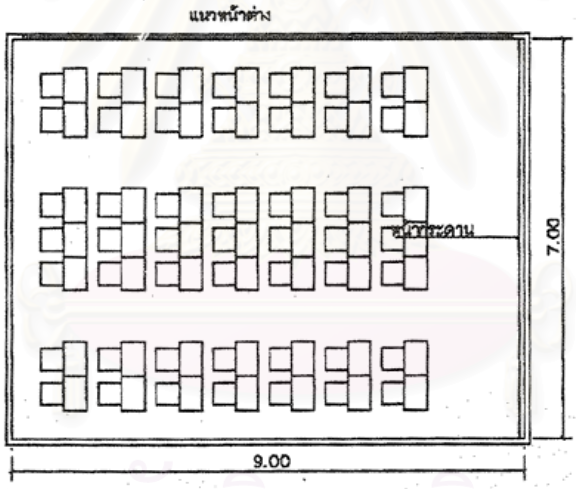
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 การออกแบบห้องเรียนตัวอย่างจำลอง

จากการสำรวจและทดลองห้องเรียนตัวอย่างจำนวน 10 ห้องเรียน เพื่อสรุปขนาดและรูปแบบของห้องเรียนตัวอย่างและวิธีการให้แสงธรรมชาติของห้องเรียนตัวอย่าง โดยนำข้อสรุปจากการสำรวจมาประเมินกับรูปแบบห้องเรียนมาตรฐานกรมสามัญศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนตัวอย่างจำลอง ดูรูปที่ 4.2 และใช้สำหรับทดลอง ได้ข้อสรุป ดังนี้

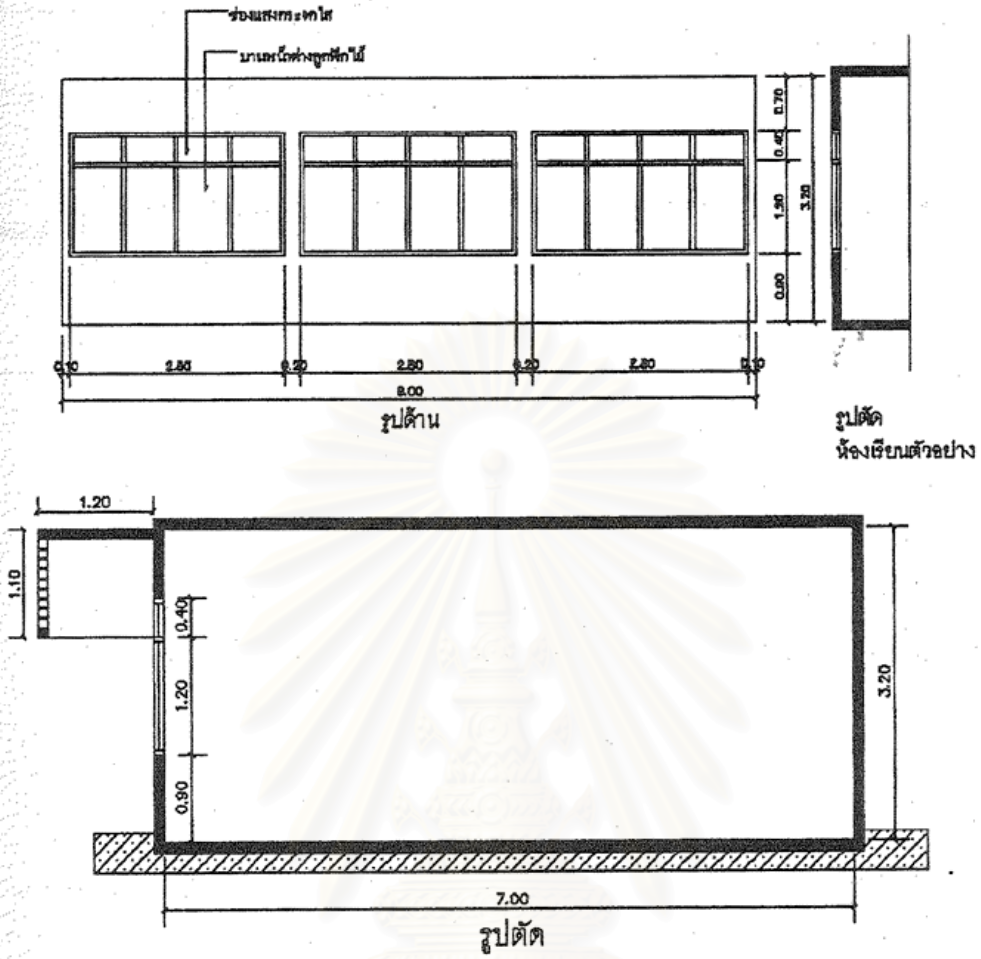
1. ขนาดของห้องเรียนสำหรับนักเรียนจำนวน 50คน โดยเฉลี่ยมีขนาด กว้าง 7 ม. ยาว 9 ม. สูง 3.20 ม. ซึ่งเป็นขนาดของห้องเรียนมาตรฐาน กรมสามัญศึกษา
2. หน้าต่างห้องเรียนสูง 1.20 ม. และมีช่องแสงสูง 0.60 ม.
3. รูปแบบหน้าต่าง บานเปิดไม้ สูงจากพื้น 0.90
4. การให้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียนโดยมากมีหน้าต่างที่ให้แสงเข้าด้านเดียวและหันหน้าต่างไปทุกทิศ
5. ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ ฝ้าเพดาน 70% ผนัง 50% พื้น 30%

สรุปรูปแบบห้องเรียนตัวอย่างที่ใช้เป็นต้นแบบสำหรับจัดทำหุ่นจำลองห้องเรียนตัวอย่าง ดูรูปที่ 4.2

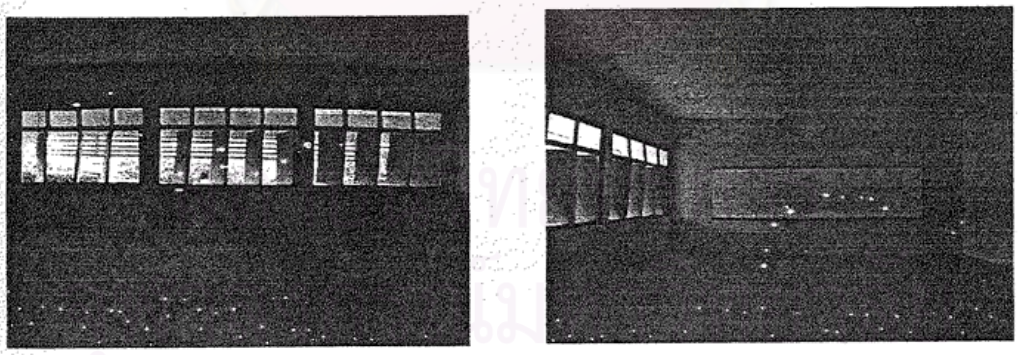


แปลนห้องเรียนตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



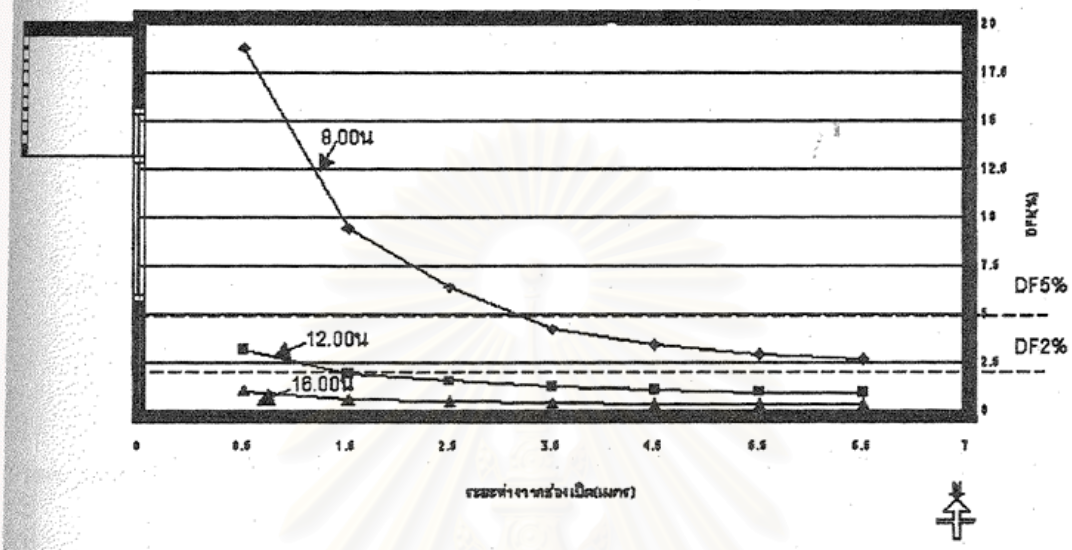
รูปที่ 4.2 ขนาดและรูปแบบหน้าต่างห้องเรียนตัวอย่างจำลอง



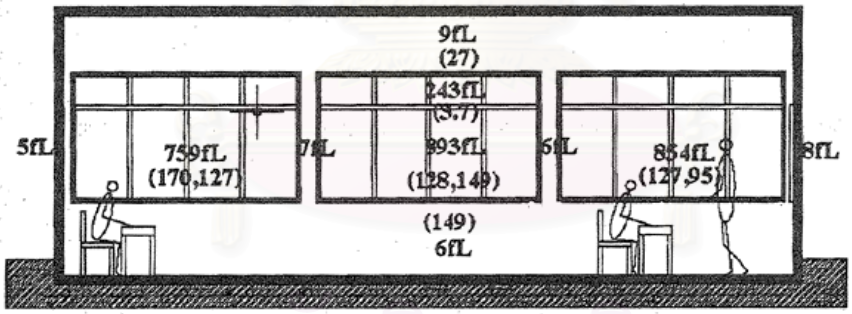
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายภายในห้องเรียนตัวอย่างจำลอง

4.1.3 ผลการทดลองหุ่นจำลองห้องเรียนตัวอย่าง

การทดลองห้องเรียนตัวอย่างจำลองทำการทดลองกับสภาพท้องฟ้าจริง หันหน้าต่างไปทางทิศเหนือ และเก็บข้อมูลการทดลองเวลา 3 เวลา ได้แก่ 8.00 12.00 และ16.00น.

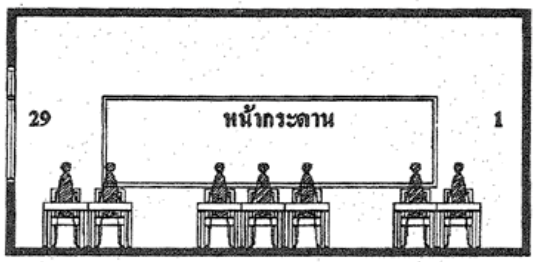


แผนภูมิที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ เวลา 8.00 12.00 และ 16.00 น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

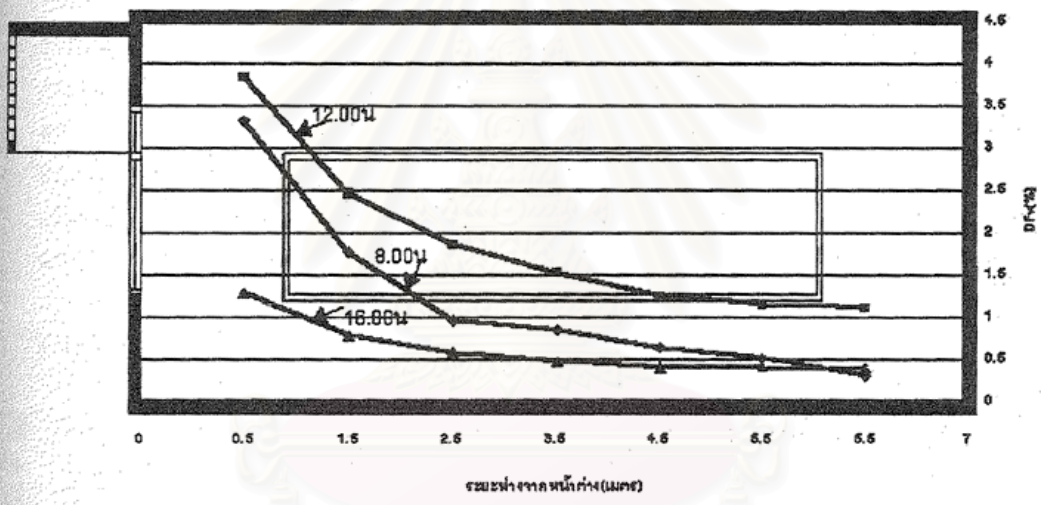


รูปที่ 4.4 แสดงความสว่างจ้าที่หน้าต่าง (fL) และแสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

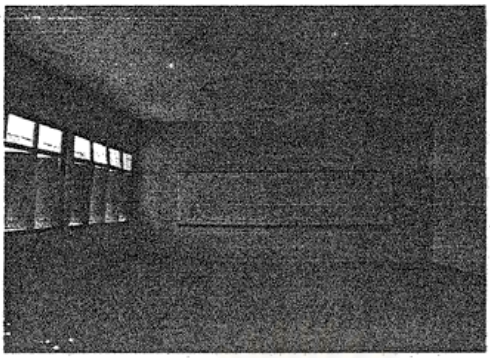


รูปที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00 น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้งที่กระดาน เวลา 8.00 12.00 และ 16.00 น ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายภายในห้องเรียนตัวอย่างที่หน้ากระดาน

4.1.4 การวิเคราะห์ห้องเรียนตัวอย่าง

จากผลการทดลองห้องเรียนตัวอย่างจำลอง เมื่อพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างของความสว่างจ้า (Contrast Brightness Ratio) ระหว่างหน้าต่างกับผนังโดยรอบดังรูปที่ 4.4 พบว่า ช่วงเวลา 11.00 – 12.00 น. ในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) มุมมองของคุณครูและนักเรียนที่มองเห็นหน้าต่างด้านข้างของห้องเรียน ที่มีอัตราส่วนความเปรียบต่างของความสว่างจ้าของหน้าต่างชุดแรกหน้าชั้นเรียน ชุดกลาง และชุดหลังชั้นเรียนมีอัตราส่วน 170:1, 149:1 และ 127:1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนเกินมาตรฐานของ IES ที่กำหนดให้มีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างไม่ควรเกิน 20:1 (25:1สำหรับทิศเหนือ) แสดงว่าถึงแม้การออกแบบห้องเรียนตัวอย่างที่มีชายคายื่นยาวเพื่อป้องกันแสงแดดตรง (Direct Sun) ที่ทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าในกรณีรูปแบบหน้าต่างของห้องเรียนตัวอย่างนี้ก็ไม่สามารถแก้ไขปัญหาแสงจ้าได้ ดังนั้นการมองออกไปภายนอกห้องผ่านหน้าต่างห้องเรียนตัวอย่างนี้จึงมีปัญหาแสงจ้าไม่สบายตา

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองห้องเรียนตัวอย่างทิศเหนือเวลา

กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL)	ค่าDFที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective Daylight(ม.)
ห้องเรียนตัวอย่าง	บน 27:1 ข้าง 122:1 , 149:1 ล่าง 149:1	29:1	560 fL	8:00 น. 2.69% 12:00น. 0.91% 16:00 น. 0.32%	8:00 น. 6.50ม. 12:00น. 1.00ม. 16:00 น. 0.00ม.

จากตารางที่ 4.1 พบว่าอัตราส่วนความเปรียบต่าง (Contrast Ratio) ของความสว่างภายในห้องเรียนดังรูปที่ 4.5 เวลา 12.00 น. ในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ความสว่างที่หน้าต่างกับบริเวณที่อยู่ห่างจากหน้าต่างไกลที่สุดมีอัตราส่วนความเปรียบต่างของความสว่างประมาณ 29:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนเกินมาตรฐานของ IES ที่กำหนดให้มีอัตราส่วน

ความเปรียบต่างความสว่างไม่ควรเกิน10:1 ตามที่กำหนด ดังนั้นการมองไปยังจุดที่ใกล้หน้าต่างของนักเรียนที่นั่งห่างหน้าต่างไกลที่สุดมีปัญหาแสงจ้าไม่สบายตา

การพิจารณาระดับความส่องสว่าง (Illuminance Level) จากแผนภูมิที่ 4.1 ในรูปของค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ (DF.) พบว่าเฉพาะช่วงเวลาเช้าก่อนเที่ยงเท่านั้นที่มีระดับความส่องสว่างเพียงพอ แต่หลังเวลาเที่ยงวันระดับความส่องสว่างลดลงมาก จะเห็นว่ามีค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ น้อยกว่าค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ต่ำสุด (DF min) ซึ่งเท่ากับ 2% แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน ระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนไม่เพียงพอจำเป็นต้องเพิ่มระดับความส่องสว่างภายในห้อง ถ้าไม่เพิ่มระดับความส่องสว่างให้เพียงพอต่อการมองเห็นแล้วนักเรียนจะต้องใช้สายตาในการเพ่งมองซึ่งทำให้เกิดอาการปวดตาได้ ดังนั้นจึงต้องใช้แสงไฟฟ้าประดิษฐ์เพิ่มปริมาณความส่องสว่างให้มีความส่องสว่างเพียงพอทำให้ไม่เป็นการประหยัดพลังงาน และเมื่อพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ ในช่วงเวลา 8.00 น พบว่ามีค่า DF18% ซึ่งถ้าให้ความสว่างท้องฟ้าภายนอกในวันที่ท้องฟ้าโปร่งมีความสว่างท้องฟ้าประมาณ 4000 fc (ฟุตแคนเดิล) ระดับความสว่างที่โต๊ะเรียนภายในห้องที่บริเวณใกล้หน้าต่างมีค่าเท่ากับ 720 fc ซึ่งเป็นระดับความส่องสว่างที่ก่อให้เกิดแสงจ้าได้ เพราะระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมสำหรับการมองเห็นที่โต๊ะเรียนประมาณ 500 fc แสดงว่าในเวลาช่วงเช้าก่อนเที่ยงจะต้องใช้อุปกรณ์กันแสงจ้าที่หน้าต่าง เพื่อลดระดับความส่องสว่างให้กับโต๊ะเรียนที่อยู่ใกล้หน้าต่างและลดความสว่างจ้าที่หน้าต่าง และจากการสำรวจห้องเรียนตัวอย่างพบว่าโรงเรียนบางแห่งมีการใช้ผ้าม่านลดความสว่างจ้าที่หน้าต่าง ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ระดับความส่องสว่างภายในห้องทั่วไปลดลงและไม่เพียงพอได้

จากแผนภูมิที่ 4.2 พบว่าระดับความส่องสว่างที่อยู่ในรูปของค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ในระนาบตั้งที่หน้ากระดานใกล้และไกลหน้าต่างมีระดับความส่องสว่างต่างกัน แสดงว่าการกระจายที่กระดานไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะเวลาเที่ยงวันพบว่ากระดานที่อยู่ในบริเวณที่ใกล้หน้าต่างมีระดับความส่องสว่างมากจน เป็นสาเหตุของการเกิดแสงจ้าสะท้อน(Reflected Glare) ได้ดูรูปที่ 4.6

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าห้องเรียนทั่วไปที่ออกแบบหน้าต่างตามความยาวของห้อง ทำให้การมองเห็นของครูและนักเรียนมีปัญหาแสงจ้าจากความสว่างจ้าที่หน้าต่างรบกวนการมองเห็นภายในห้องเรียน เพราะทิศทางในการมองของครูและนักเรียนมีทิศทางเดียวกับหน้าต่าง และแม้ว่าจะมีการออกแบบยื่นชายคายาวก็ยังคงมีปัญหาแสงจ้าเกิดขึ้นบริเวณโต๊ะเรียนใกล้หน้าต่างโดยเฉพาะในเวลาช่วงเช้าของวันที่ท้องฟ้าโปร่ง และในช่วงเวลาหลังเที่ยงวันจนถึงในเวลาเย็นระดับความส่องสว่างภายในห้องไม่เพียงพอ ถ้าไม่เพิ่มระดับความส่องสว่างให้เพียงพอต่อการมองเห็นก็จะทำให้การมองเห็นไม่ชัดเจนและไม่สบายตาเช่นกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ขั้นตอนการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่และผลการทดลอง

4.2.1 การออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่

การออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่โดยการพิจารณาผลการวิเคราะห์ปัญหาของห้องเรียนตัวอย่างและนำมาเป็นปัจจัยตัวแปรในการศึกษาวิจัยให้กับห้องเรียนรูปแบบใหม่ เพื่อแก้ไขปัญหาความไม่สบายตาในการมองเห็นที่มีอยู่เดิมของห้องเรียนตัวอย่าง ดังนี้

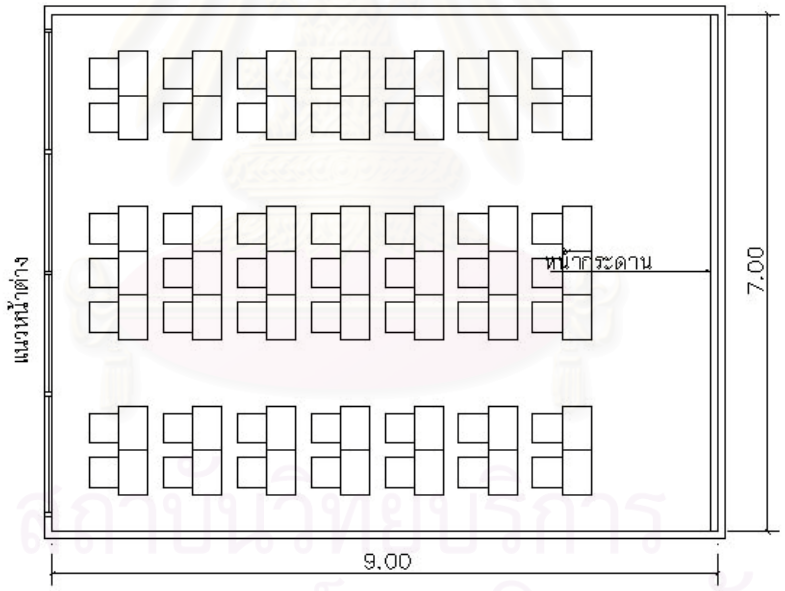
- ระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียน
- อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่าง (Contrast Brightness Ratio) ที่หน้าต่างกับผนังโดยรอบ
- อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่างบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด
- แสงจ้าจากการสะท้อน(Reflected Glare) ที่หน้ากระดาน
- แสงจ้าจากการสะท้อนที่ทำให้เกิดเงาสะท้อนเหนือภาพ(Veiling Reflected Glare) ที่หน้าโต๊ะเรียน

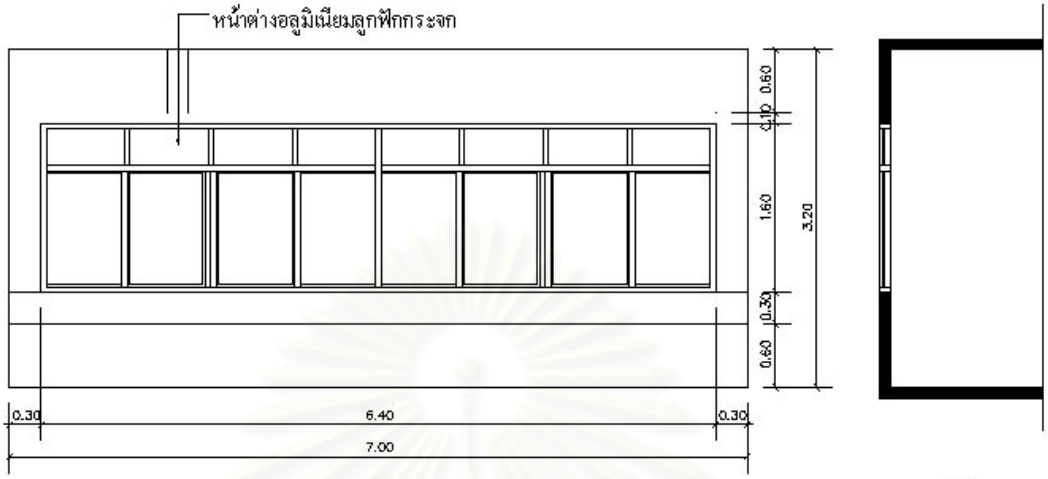
ผลการวิเคราะห์ห้องเรียนตัวอย่างพบว่า ปัญหาของห้องเรียนตัวอย่าง คือ มีความสว่างจ้า (Brightness) บริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่างมากและมีปัญหาความไม่สบายตาที่รบกวนสมาธิในการเรียนการสอน เนื่องมาจากแสงจ้าจากหน้าต่างที่อยู่ในทิศทางเดียวกันกับการมองทั้งจากหน้าชั้นเรียนไปหลังห้องและจากชั้นเรียนมองไปที่หน้าชั้นเรียน เพราะอัตราส่วนความเปรียบต่างของความสว่างจ้าระหว่างหน้าต่างกับผนังรอบๆหน้าต่างมีอัตราส่วนเกิน 20:1 นอกจากนี้ยังมีปัญหาความไม่เพียงพอของระดับความส่องสว่างช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน ซึ่งจากการสำรวจห้องเรียนตัวอย่างทั้ง 10 แห่ง มีวิธีการแก้ไขปัญหานี้ต่างๆกัน เช่น การใช้แสงไฟฟ้าประดิษฐ์เพิ่มระดับความส่องสว่าง หรือการเปิดช่องแสงของด้านที่อยู่ตรงข้ามหรือด้านที่อยู่ติดกัน ซึ่งวิธีหลังนี้ทำให้เกิดมีเงาของแสงหลายทิศทาง ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงออกแบบตำแหน่งของหน้าต่างใหม่ให้อยู่ด้านสกัดหรือด้ารแคบแทนตำแหน่งเดิมที่อยู่ด้านยาวของห้องเรียน เพื่อไม่ให้การมองไปที่หน้าชั้นเรียนของนักเรียนถูกรบกวนด้วยแสงจ้า และการออกแบบห้องเรียนใหม่นี้สามารถประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบนได้ง่ายกว่าตำแหน่งหน้าต่างที่อยู่ด้านยาวถ้าหากอาคารมีจำนวนชั้นมากกว่า 1 ชั้น การประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบนให้ผลดี เนื่องจากการให้แสงสว่างจากช่องแสงด้านบนสามารถดึงแสงจากภายนอกเข้ามาภายในอาคารได้ลึกกว่าและมากกว่า จึงช่วยให้ประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ทางอ้อมจากย้ายตำแหน่งหน้าต่างมาไว้ที่ด้านสกัดเพราะเป็นการลดพื้นที่ของช่องแสงหรือหน้าต่าง ทำให้ลดปริมาณรังสีความร้อนจากภายนอกอาคารที่จะเข้าสู่ภายในห้องผ่านทางช่องแสงนี้ได้อีกด้วย

แต่การย้ายช่องแสงหรือหน้าต่างให้อยู่หลังห้องเรียนตรงข้ามกับกระดานส่งผลกระทบโดยตรงกับการมองเห็นของคุณครูเพราะอยู่ในตำแหน่งของทิศการมองของครู และถ้าเลือกใช้กระดานไวท์บอร์ดซึ่งมีคุณลักษณะของพื้นผิวสะท้อนแบบกึ่งมันกึ่งด้าน (Specular Diffuse) จะต้องคำนึงถึงปัญหาแสงจ้าจากการสะท้อนบนพื้นผิวชนิดนี้ที่เรียกว่า Reflected Glare ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงออกแบบห้องเรียนใหม่ให้สามารถควบคุมและแก้ไขปัญหาต่างๆเหล่านี้ได้ โดยออกแบบรูปแบบหน้าต่างให้มีแบบต่างๆ เพื่อศึกษาหารูปแบบหน้าต่างที่เหมาะสมสามารถลดความ

เปรียบต่างของช่องแสงกับผนังที่อยู่โดยรอบ เพื่อให้การมองเห็นของครูไปยังหน้าต่างที่อยู่ด้านหลังห้องมีความสบายตาและมีระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนอย่างเพียงพอตลอดช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน

การศึกษาวิจัยห้องเรียนใหม่นี้ได้กำหนดขนาดของห้องเรียนตามมาตรฐานที่กรมสามัญศึกษากำหนดไว้สำหรับนักเรียน จำนวน 50 คน ซึ่งกำหนดไว้ 2 ขนาด คือ 7 * 9 ตรม. และ 8 * 8 ตรม. แต่การศึกษาวิจัยนี้เลือกใช้ขนาด 7 * 9 ตรม. ซึ่งเป็นขนาดเดียวกันกับห้องเรียนตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาและแก้ไขปัญหาห้องเรียนตัวอย่างรูปแบบเดิม และย้ายตำแหน่งช่องเปิดใหม่ให้อยู่ที่ด้านสกัด 7 เมตร ลักษณะหน้าต่างเป็นบานเลื่อนกรอบอลูมิเนียม ลูกฟักกระจกใสและกระจกมีค่าการส่งผ่านของแสง(transmission)88%ขนาดความสูงของช่องเปิด 1.60 ม. (รวมช่องแสง) และกำหนดให้ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุของฝ้าเพดาน 70% ผนัง 50% และพื้น 30% ซึ่งเป็นขนาดเดียวกันกับห้องเรียนตัวอย่าง





รูปที่ 4.6 แสดงแปลนและรูปตัดห้องเรียนแบบใหม่

4.2.2 รูปแบบหน้าต่างของห้องเรียนใหม่

จากการศึกษาทฤษฎีในบทที่ 2 พบว่าความเปรียบต่างความสว่างของพื้นผิววัสดุ 2 ชนิดที่อยู่ติดกันมีความเปรียบต่างต่างกันมากเป็นสาเหตุของแสงจ้า ดังนั้นเทคนิคการแก้ไขปัญหาแสงจ้าที่หน้าต่าง คือการลดความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง ซึ่งเทคนิคลดความเปรียบต่างนี้มีวิธีการต่างๆในการออกแบบหน้าต่างหลายวิธี และการวิจัยนี้ได้นำวิธีการออกแบบหน้าต่างรูปแบบต่างๆนี้มาประยุกต์ใช้กับการออกแบบหน้าต่างของห้องเรียนแบบใหม่ เพื่อให้การมองผ่านหน้าต่างออกไปภายนอกห้องเรียนใหม่นี้มีความสบายตามากขึ้น ซึ่งรูปแบบหน้าต่างของห้องเรียนแบบใหม่ที่ออกแบบนี้มีทั้งหมด 5 รูปแบบ และยังแบ่งออกเป็นกรณีศึกษาย่อยๆได้อีกเป็น 12 กรณีศึกษา ดังต่อไปนี้

- รูปแบบที่ 1

  รูปแบบที่ 1 ในการศึกษาวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 รูปแบบนี้มีการออกแบบเพิ่มพื้นที่ช่องแสงด้วยการใช้อิฐแก้วเพื่อลดพื้นที่ของผนังรอบช่องแสง ซึ่งการเพิ่มพื้นที่ช่องแสงจะทำให้ผนังรอบๆช่องแสงได้รับความสว่างเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นวิธีการลดความเปรียบต่าง(Contrast)ระหว่างช่องแสงกับผนังรอบช่องแสงได้

- รูปแบบที่ 2

  รูปแบบที่ 2 ในการศึกษาวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 รูปแบบนี้มีการออกแบบลบมุมผนังรอบช่องแสง (Splayed Window) โดยการปาดเฉียงและลบมุมมน ซึ่งเป็นวิธีการไล่ลำดับความ

เปรียบต่าง (Contrast Grading) จึงไม่ทำให้ความเปรียบต่างความสว่างของพื้นที่ 2 พื้นที่ที่อยู่ติดกันต่างกันมากจนเป็นปัญหาของแสงจ้า

- รูปแบบที่ 3

  รูปแบบที่ 3 ในการศึกษาวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 5 และ 6 รูปแบบนี้มีการออกแบบให้ฝ้าเพดานลาดเอียงมาจรดกับวงกบบนของหน้าต่าง เพื่อเพิ่มความสว่างของฝ้าเพดานส่วนที่อยู่ใกล้หน้าต่าง และวิธีการนี้ทำให้มีแสงสะท้อนจากฝ้าเพดานกระจายออกไปในห้องไกลขึ้น

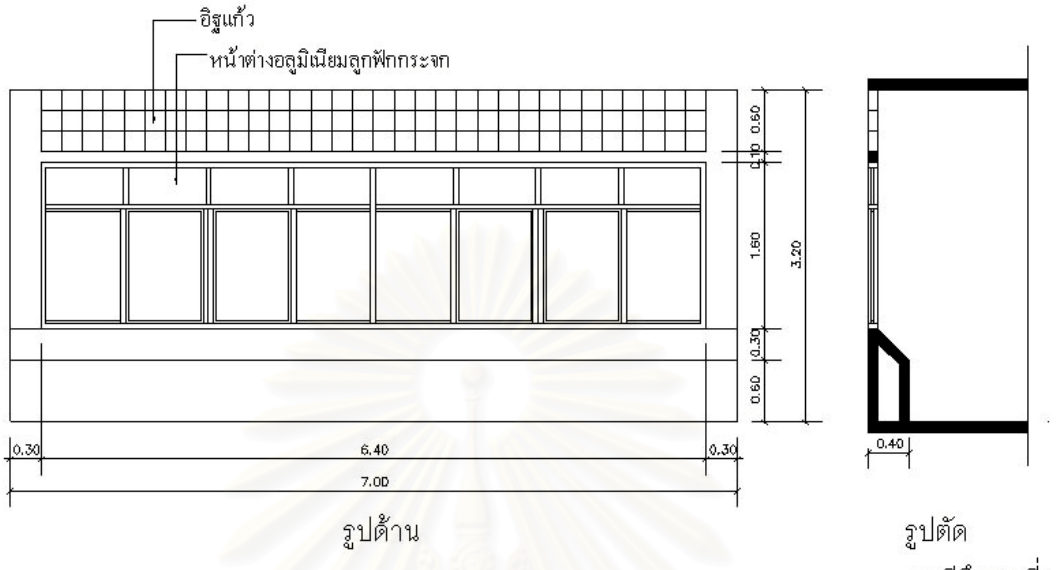
- รูปแบบที่ 4

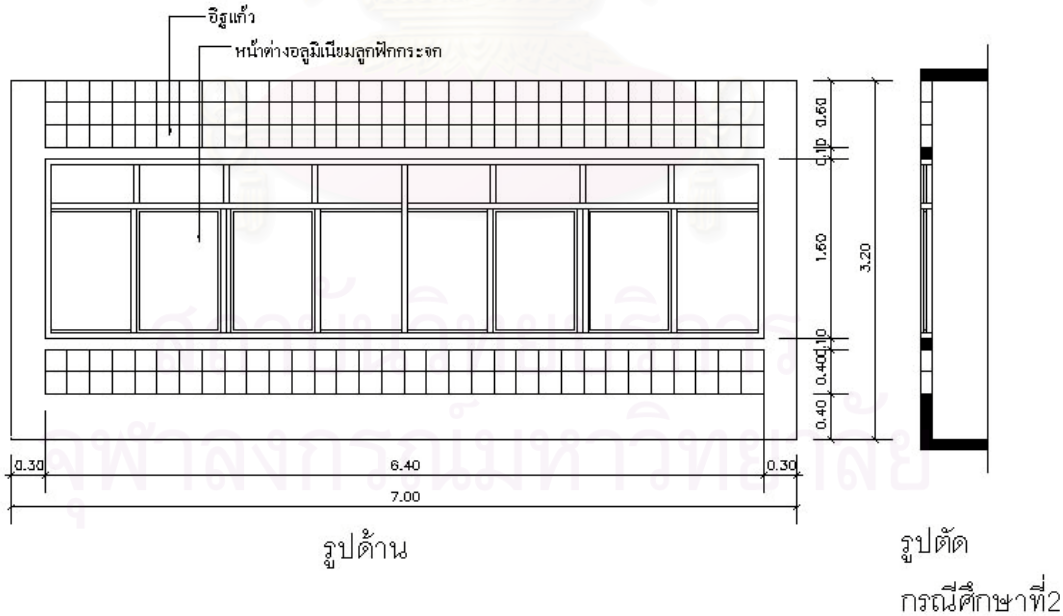
  รูปแบบที่ 4 ในการศึกษาวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9 โดยการเอียงกระจกหน้าต่างทำมุมกับระนาบตั้งเป็นมุม 10, 15 และ 20 องศา ตามลำดับ วิธีนี้ทำให้ผนังส่วนบนเหนือหน้าต่างยื่นออกไปช่วยให้เกิดร่มเงากับหน้าต่างจึงลดความเข้มแสงธรรมชาติที่ตกกระทบหน้าต่างห้องเรียนได้ และการออกแบบให้ฝ้าเพดานลาดเอียงมาจรดกับวงกบบนของหน้าต่าง เพื่อเพิ่มความสว่างของฝ้าเพดานส่วนที่อยู่ใกล้หน้าต่างและวิธีการนี้ทำให้มีแสงสะท้อนจากฝ้าเพดานกระจายออกไปในห้องไกลขึ้น นอกจากนี้การปาดมุมเอียงที่ผนังส่วนล่างใต้หน้าต่างเพื่อต้องการใช้เป็นส่วนสะท้อนแสงแดดตรงจากภายนอกเข้ามาภายในห้อง ดังนั้นความสว่างภายในห้องที่ได้รับจากแสงธรรมชาตินี้จึงเป็นความสว่างที่เกิดจากแสงกระจายทั้งหมด

- รูปแบบที่ 5

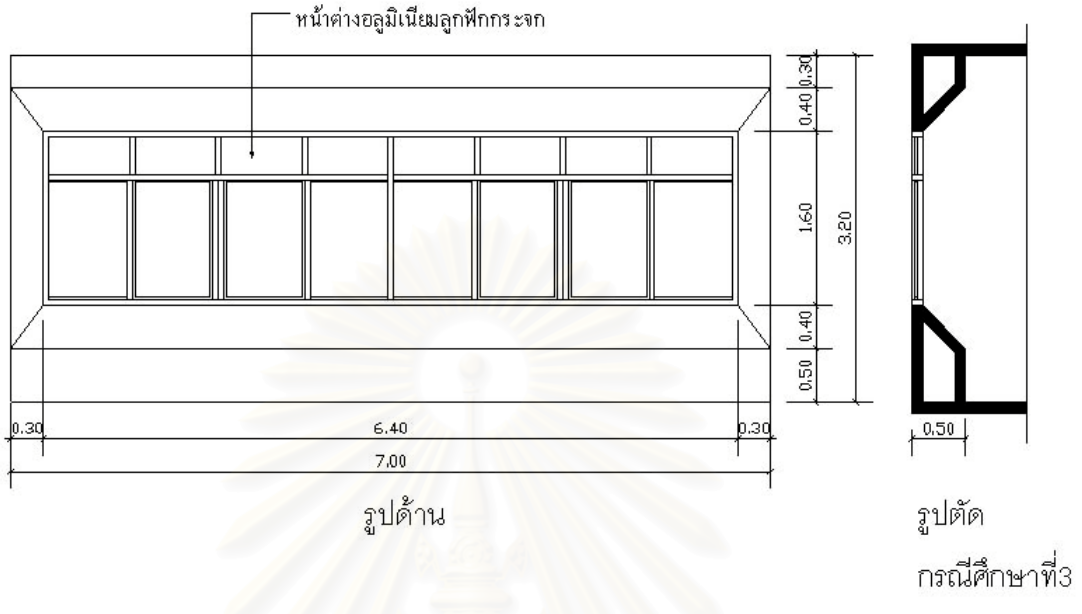
  รูปแบบที่ 5 ในการศึกษาวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 10, 11และ 12 โดยการเอียงกระจกหน้าต่างทำมุมกับระนาบตั้งเป็นมุม 10, 15 และ 20 องศา ตามลำดับ ซึ่งรูปแบบที่ 5 มีเทคนิคในการลดความเปรียบต่างความสว่างที่ช่องแสงคล้ายกับรูปแบบที่ 4 จะแตกต่างกันตรงที่มีการออกแบบฝ้าเพดานเอียงภายในห้องให้มีความโค้งแบบพาราโบลา และผนังใต้หน้าต่างภายนอกห้องที่เป็นส่วนที่ใช้สะท้อนแสงก็ปรับโค้งเช่นกัน นอกจากนี้ยังเลือกใช้สีที่มีคุณสมบัติเป็น Specular Diffuse ทาฝ้าเพดานโค้งและผนังโค้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสะท้อนแสง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





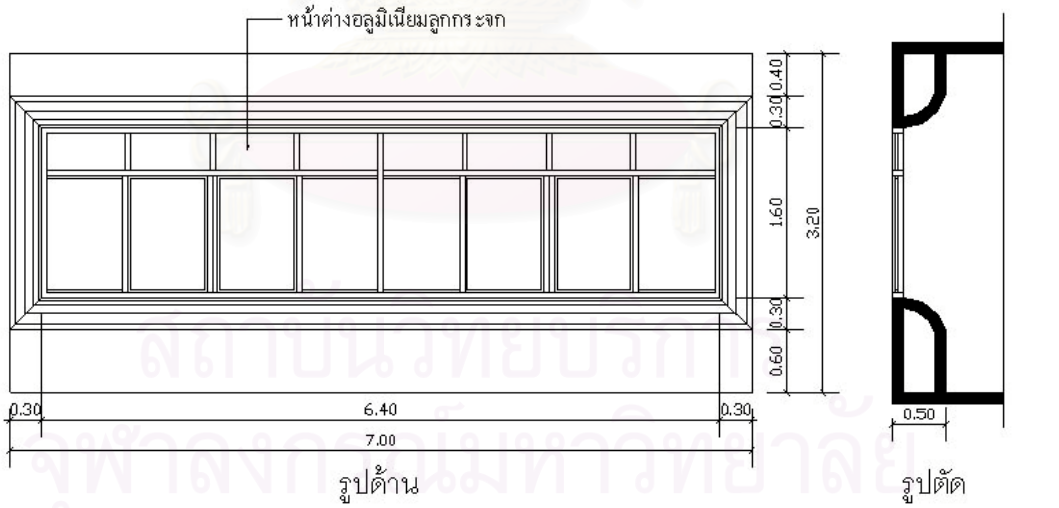
รูปที่ 4.8 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1 และ 2



รูปด้าน

รูปตัด

กรณีศึกษาที่3

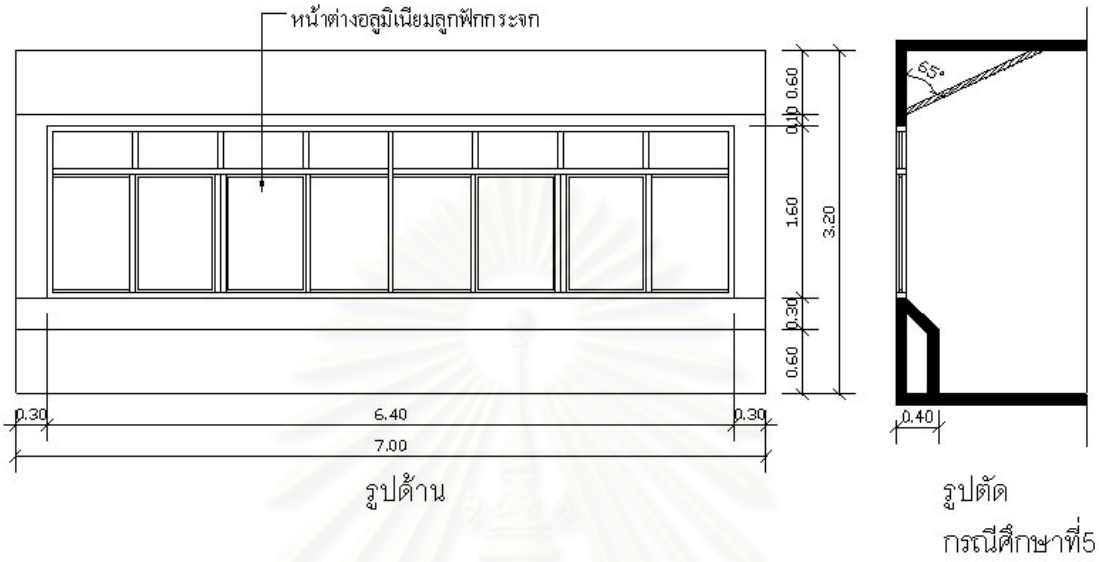


รูปด้าน

รูปตัด

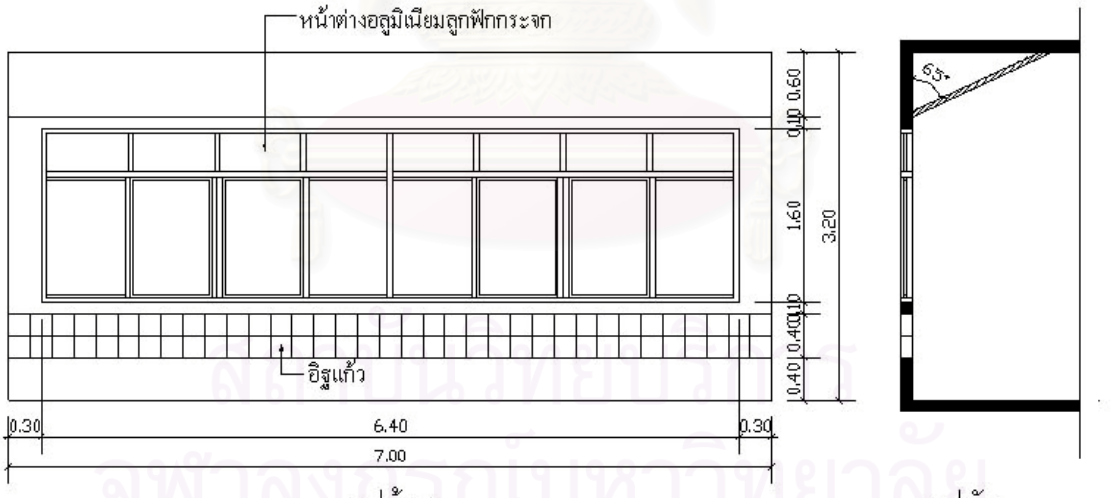
กรณีศึกษาที่4

รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3 และ 4



รูปด้าน

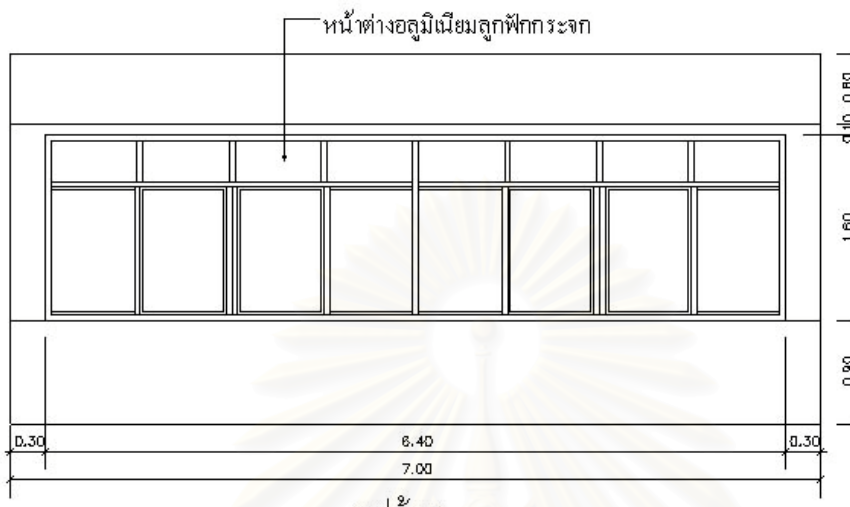
รูปตัด
กรณีศึกษาที่5



รูปด้าน

รูปตัด
กรณีศึกษาที่6

รูปที่ 4.10 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 3 กรณีศึกษาที่ 5 และ 6



รูปด้าน

รูปตัด

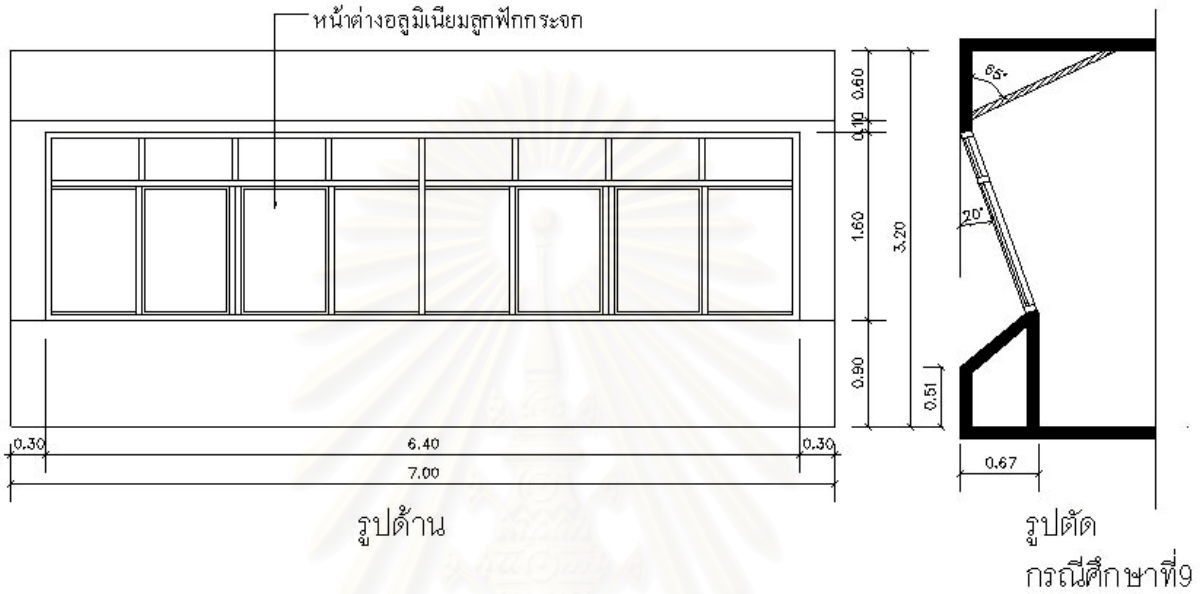
กรณีศึกษาที่7

รูปด้าน

รูปตัด

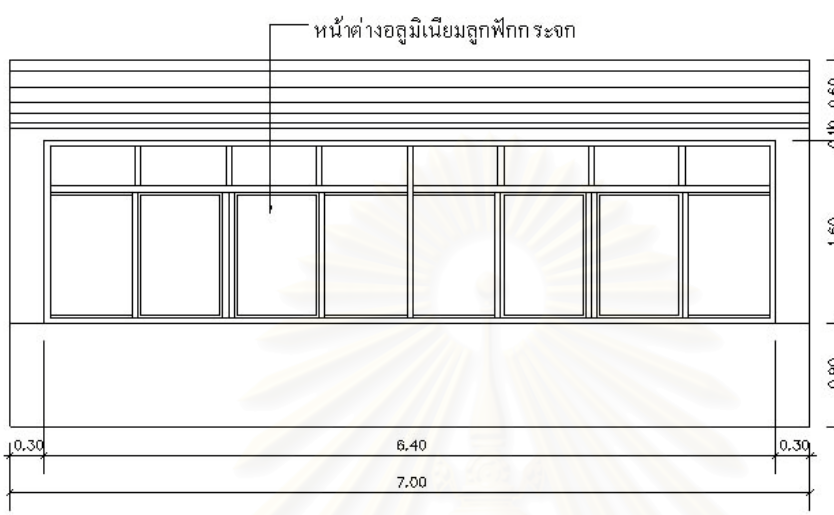
กรณีศึกษาที่8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 4 กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

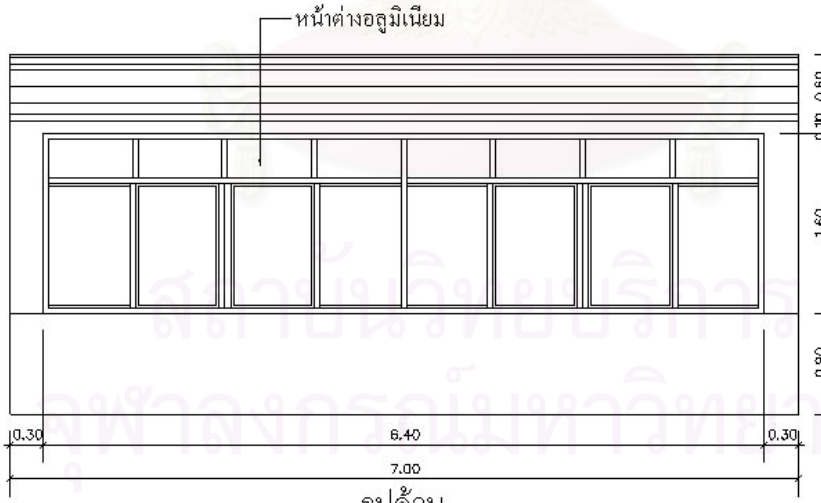


รูปด้าน

รูปตัด

กรณีศึกษาที่10

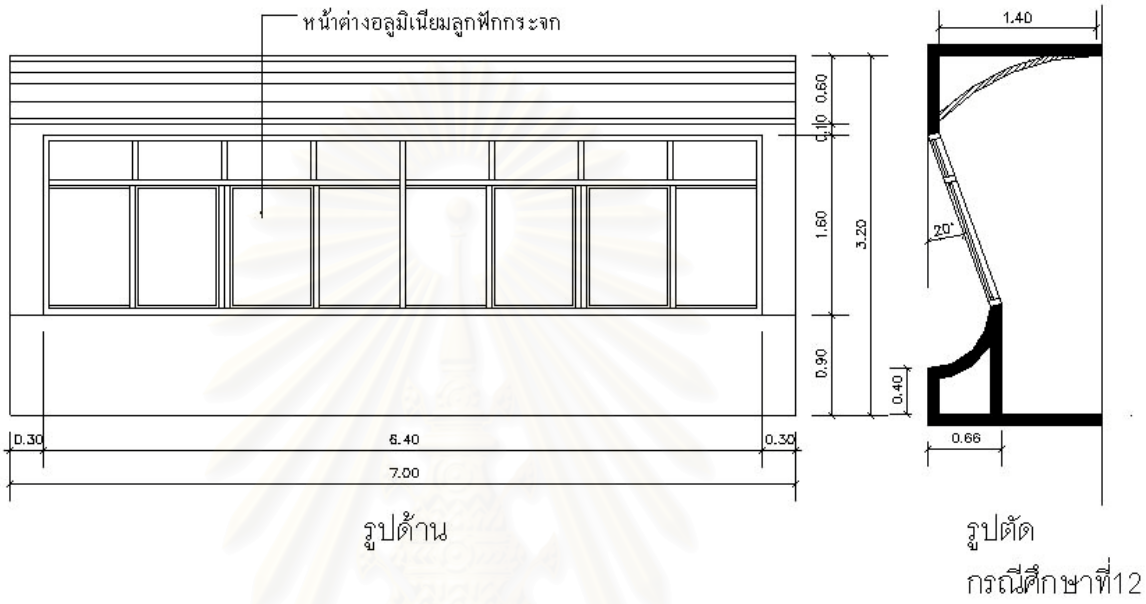
X



รูปด้าน

รูปตัด

กรณีศึกษาที่11



รูปที่ 4.12 แสดงรูปแบบหน้าต่างที่ 5 กรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการทดลองห้องเรียนแบบใหม่

การเก็บข้อมูลผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

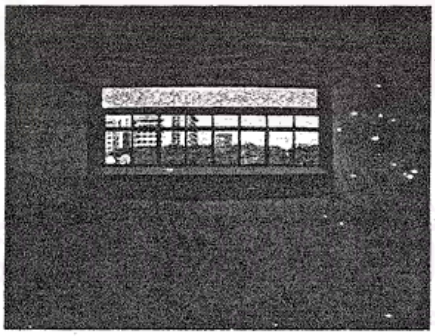
- ขั้นตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนแบบใหม่ตามแต่ละรูปแบบทั้ง 5 รูปแบบ (12 กรณีศึกษา) แบ่งออกเป็น
  1. เก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างในรูปค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh) และระนาบตั้ง (DFv)
  2 เก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างในรูปค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่หน้าต่างและที่กระดาน
- ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาแสงจ้าสะท้อน(Reflected Glare)ที่กระดานไวท์บอร์ด
- ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาแสงจ้าสะท้อนที่ทำให้เกิดเงาสะท้อนเหนือภาพที่มองเห็น (Veiling Reflected Glare) จากดวงโคมที่โต๊ะเรียน

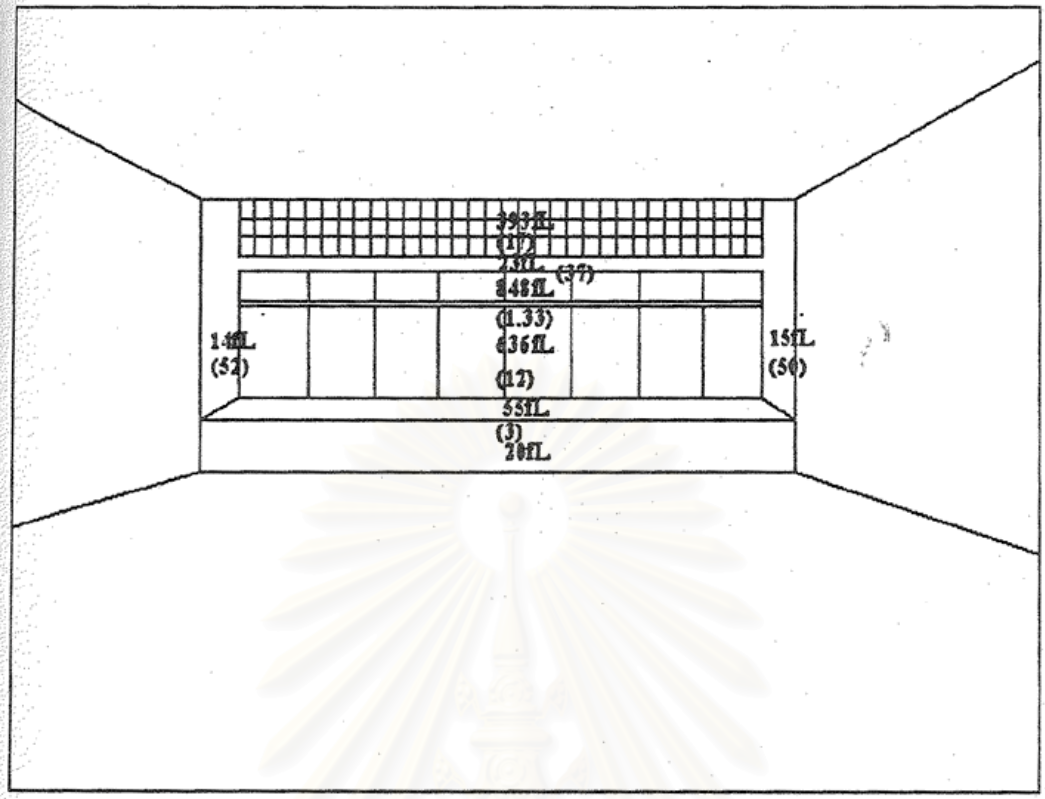
4.3.1 ผลการทดลองและเก็บข้อมูลความส่องสว่างของรูปแบบหน้าต่าง 5 แบบ (12 กรณี)

4.3.1.1 ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1 และ 2

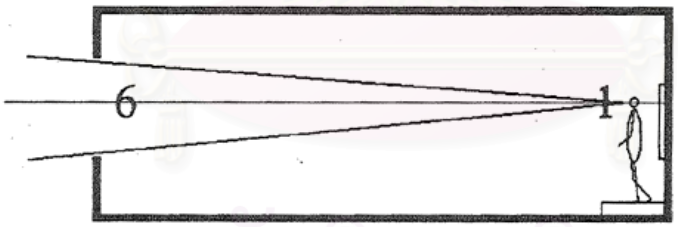
ผลการทดลองกรณีศึกษาที่1

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 1 นี้ มีการออกแบบเพิ่มช่องแสงอิฐแก้วเหนือหน้าต่างจนจรดฝ้าเพดานเพื่อให้แสงที่ตกกระทบผ่านอิฐแก้วแล้วกลายเป็นแสงกระจายไปตกกระทบที่ฝ้าเพดานบริเวณใกล้หน้าต่างทำให้ฝ้าเพดานในส่วนที่ใกล้ช่องแสงสว่างขึ้น จึงลดความเปรียบต่างความสว่างระหว่างฝ้าเพดานกับช่องแสงได้ และการลบมุมที่ใต้หน้าต่างทำให้มีการไล่ระดับความเปรียบต่างที่หน้าต่างกับผนังใต้หน้าต่าง





รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 1 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

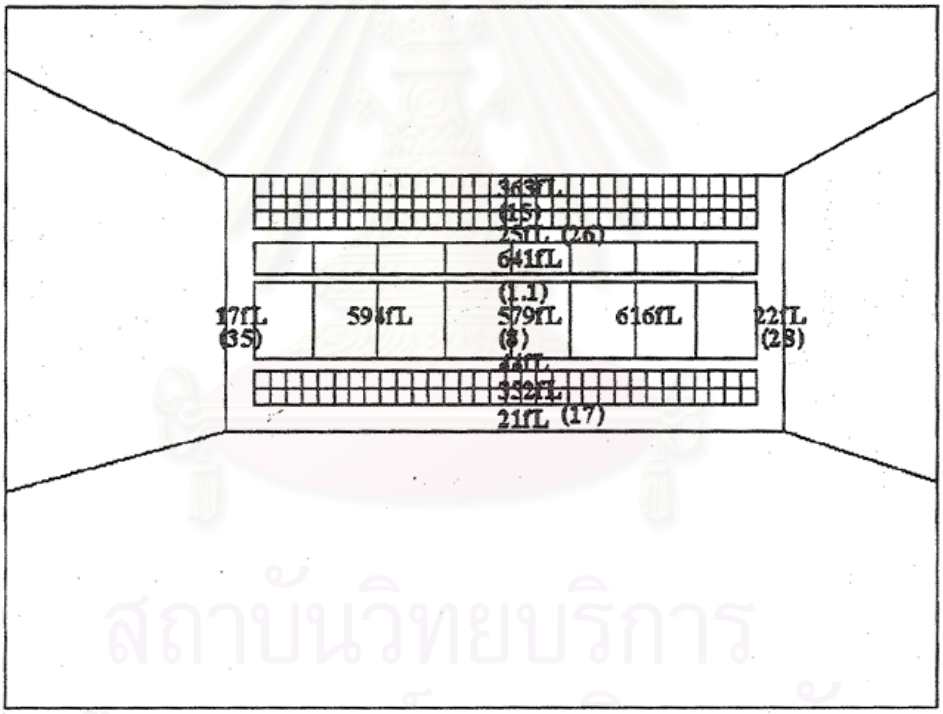


รูปที่ 4. 14 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 1 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

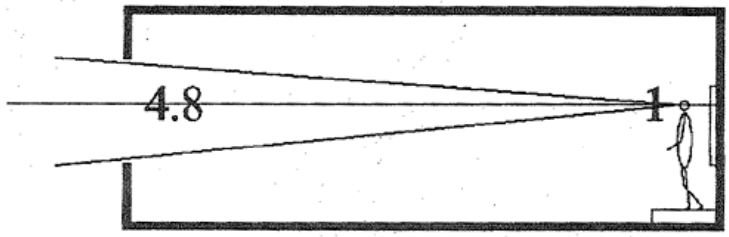
ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 2

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 2 นี้ มีการออกแบบเพิ่มช่องแสงอิฐแก้วเหนือหน้าต่างจนจรดฝ้าเพดานเพื่อให้แสงที่ตกกระทบผ่านอิฐแก้วแล้วกลายเป็นแสงกระจายไปตกกระทบที่ฝ้าเพดานบริเวณใกล้หน้าต่างทำให้ฝ้าเพดานในส่วนที่ใกล้ช่องแสงสว่างขึ้น จึงลดความเปรียบต่างความสว่างระหว่างฝ้าเพดานกับช่องแสงได้ และการออกแบบเพิ่มช่องแสงอิฐแก้วใต้หน้าต่างช่วยเพิ่มความสว่างที่กับผนังใต้หน้าต่างเป็นวิธีลดความเปรียบต่างเช่นกัน

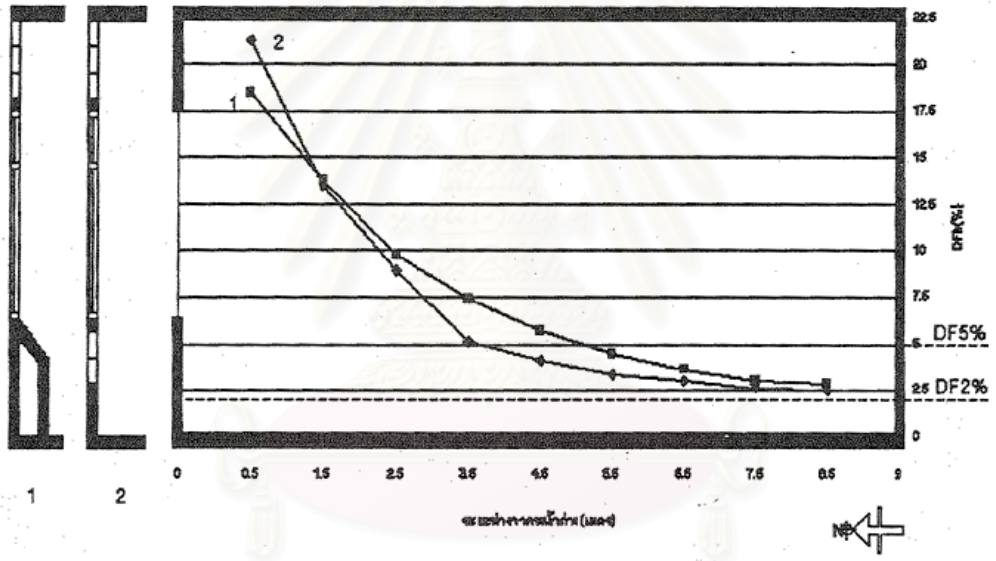


รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 2 กับความสว่างจ้าที่หน้าต่าง (fL) และแสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

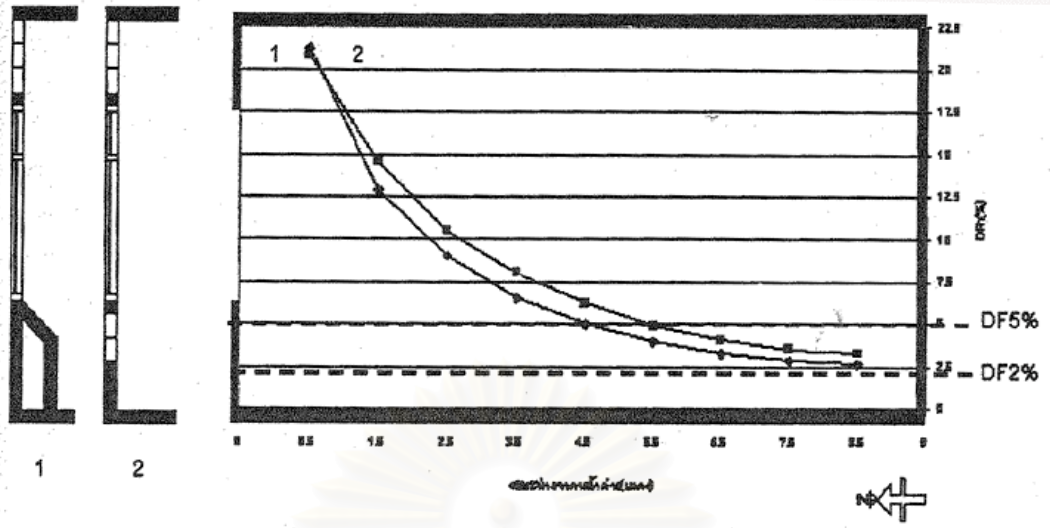


รูปที่ 4.16 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 2 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

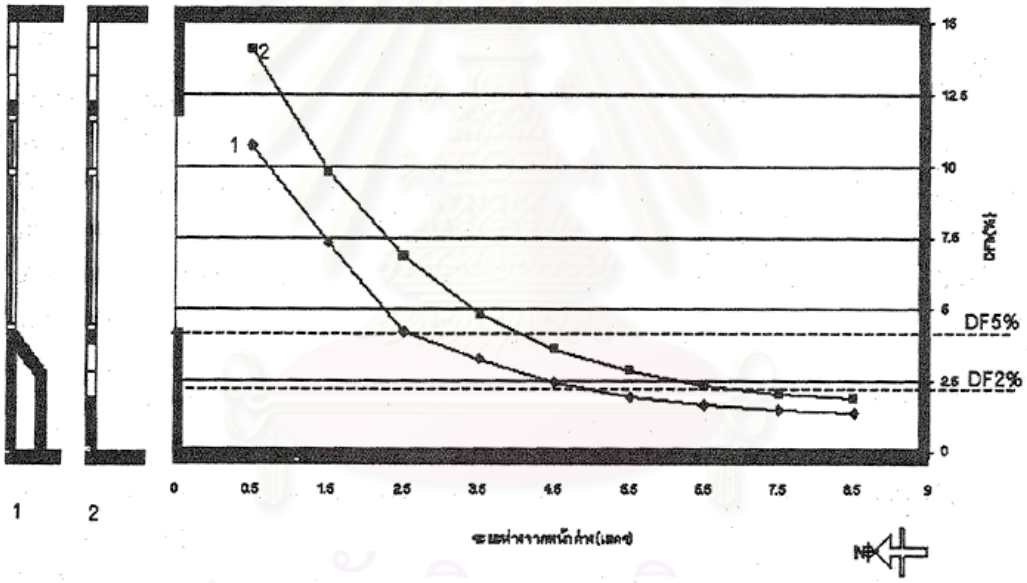


แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เวลา 8.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เวลา 16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1 และ 2

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.13 และ 4.15แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง กรณีศึกษาที่ 1และ 2 พบว่ามีอัตราส่วนไม่เกิน 20:1 ยกเว้นบริเวณที่เป็นคานเอ็นระหว่างช่องแสงอิฐแก้วกับช่องแสงหน้าต่างของกรณีศึกษาที่ 1 มีอัตราส่วน 37:1 และกรณีศึกษาที่ 2 มีอัตราส่วน 26:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เกินจากมาตรฐานกำหนด

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.3,4.4 และ 4.5 พบว่า

- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดทั้ง 2 กรณีศึกษา
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดทั้ง 2 กรณีศึกษา
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 1
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 2

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตารองครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบริต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 636 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 103 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 6:1

กรณีศึกษาที่ 2

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 579 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 120 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 4.8:1

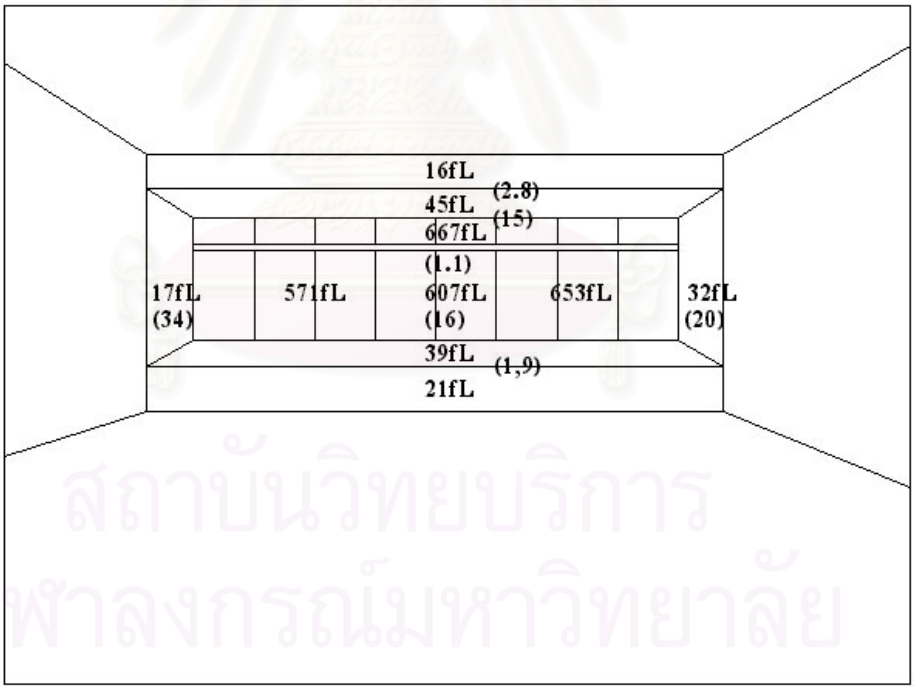
จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 2 ให้ผลในด้านประสิทธิภาพแสงต่อการส่องสว่างภายในห้องเรียนและความสบายตาในการมองเห็นดีกว่ากรณีศึกษาที่ 1 และมีค่าความสว่างจ้าที่หน้าต่างน้อยกว่า แต่อัตราส่วนความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างยังเกินกำหนดมาตรฐานอยู่จึงยังไม่สมควรพิจารณาเลือกใช้หน้าต่างรูปแบบนี้กับการออกแบบห้องเรียนในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1.2 ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3 และ 4

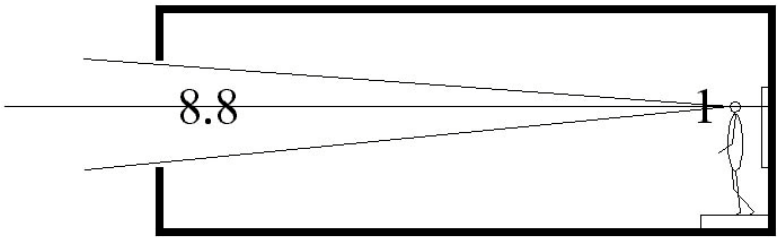
ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 มีการออกแบบลบมุมผนังรอบหน้าต่างโดยการปาดเอียงเป็นมุม 45 องศา เพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ผนังรอบๆ



รูปที่ 4.17 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

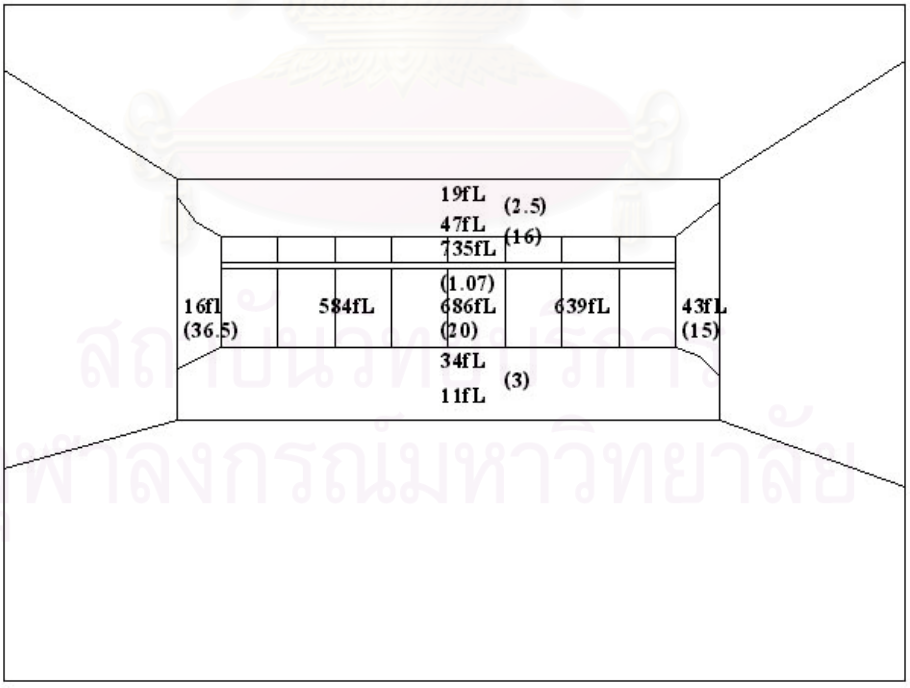
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



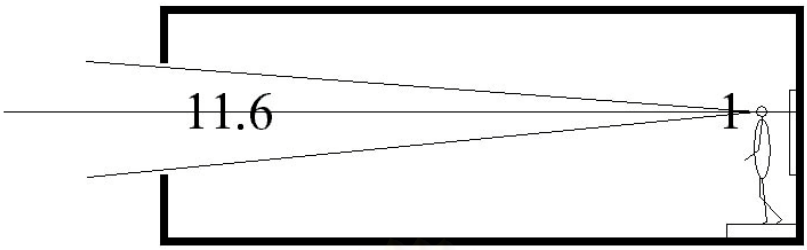
รูปที่ 4. 18 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 4

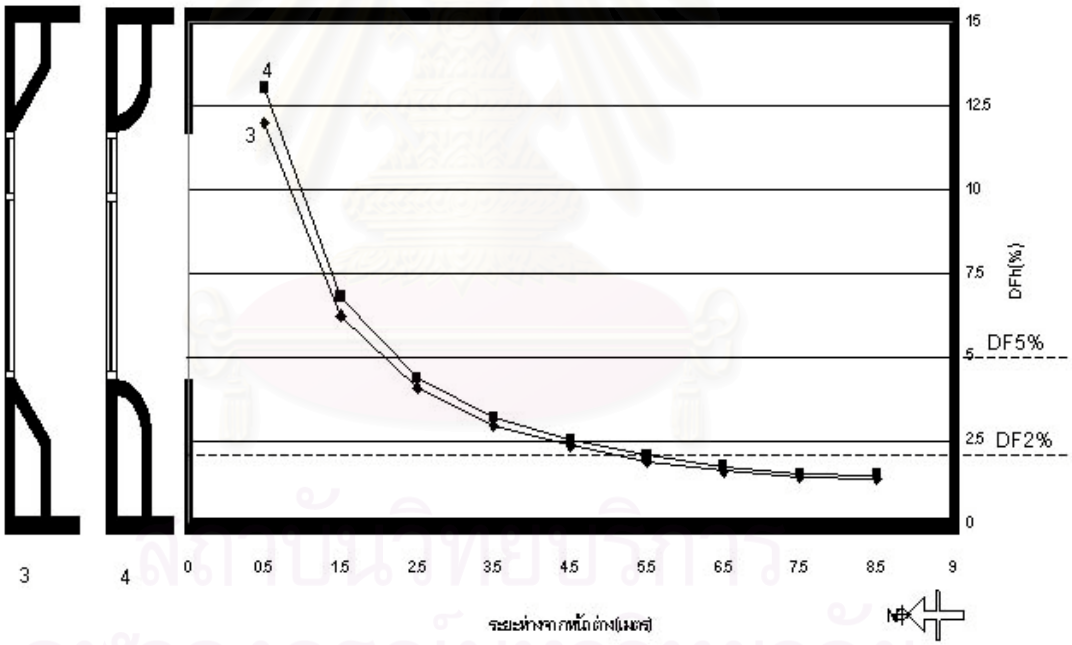
รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 4 มีการออกแบบลบมุมโค้งมนที่ผนังรอบหน้าต่างเพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ผนังรอบๆ



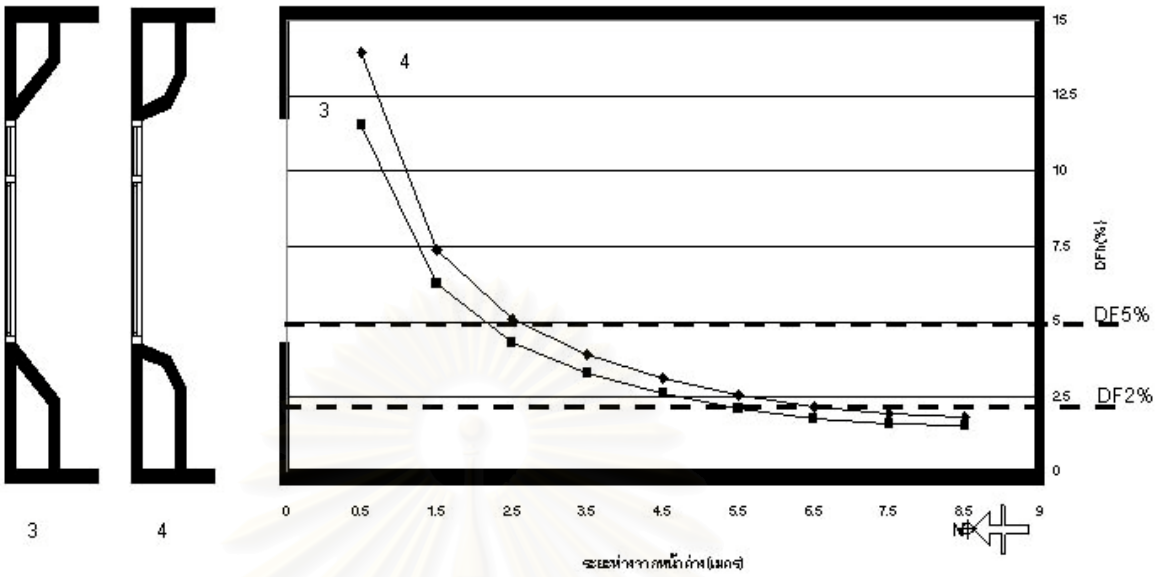
รูปที่ 4.19 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 4 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



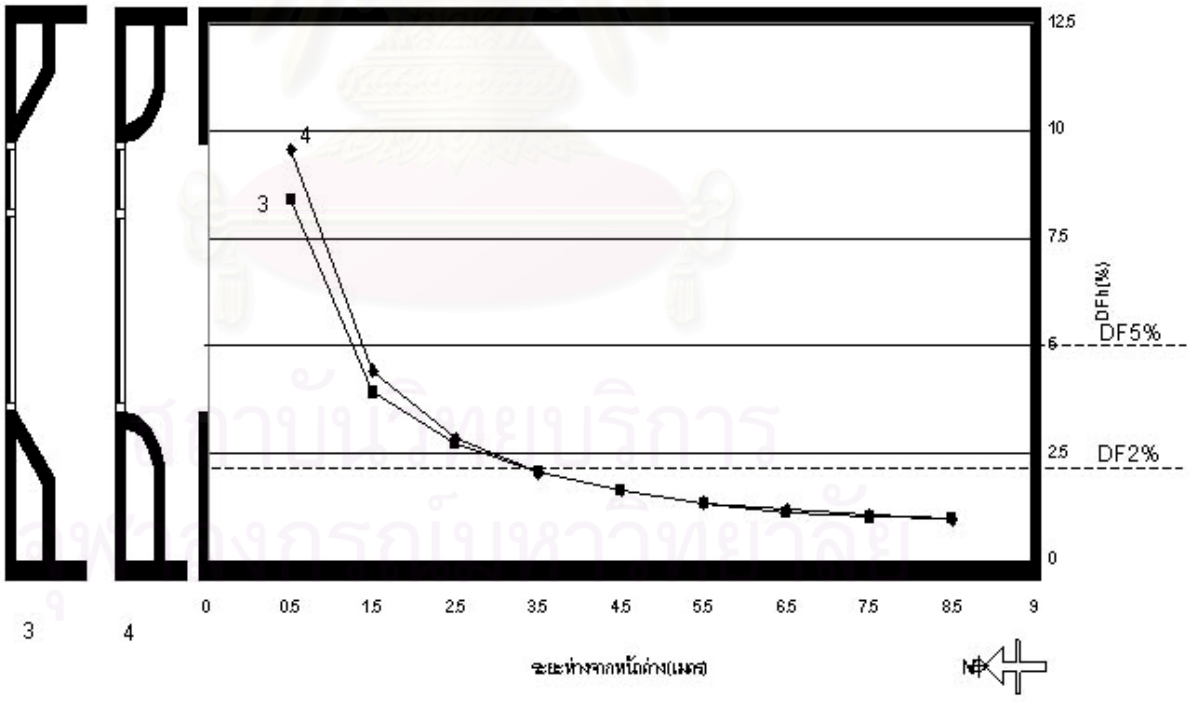
รูปที่ 4. 20 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 4 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 เวลา 8.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 เวลา 16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3 และ 4

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.17 และ 4.19แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3และ 4 พบว่ามีอัตราส่วนไม่เกิน 20:1 ทั้ง 2 กรณี

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.6,4.7 และ 4.8 พบว่า

- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดทั้ง 2 กรณีศึกษา
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 3
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 4
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.50 เมตร ทั้ง 2 กรณี

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบริต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

กรณีศึกษาที่ 3

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 607 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 69 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 8.8:1

กรณีศึกษาที่ 4

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 686 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 59 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 11.6:1

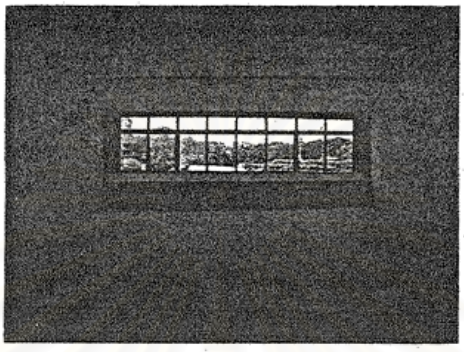
จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 ให้ผลในด้านความสบายตาในการมองเห็นดีกว่ากรณีศึกษาที่ 4 และมีมีค่าความสว่างจ้าที่หน้าต่างน้อยกว่า และอัตราส่วนความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 4 เกินกำหนดมาตรฐานอยู่จึงยังไม่สมควรพิจารณาเลือกใช้หน้าต่างรูปแบบนี้กับการออกแบบห้องเรียนในการวิจัย

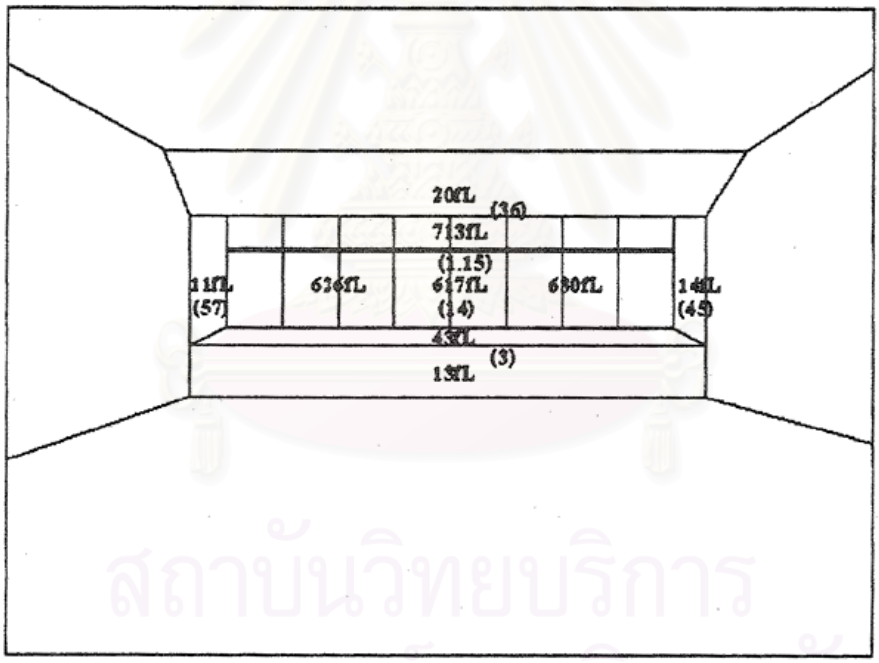
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1.3 ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาที่ 5 และ 6

ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 5

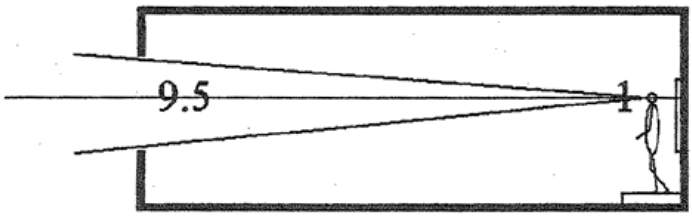
รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 5 มีการออกแบบลบมุมผนังใต้หน้าต่างโดยการปาดเอียงเป็นมุม 45 องศา และออกแบบฝ้าเพดานให้ลาดเอียงจรดวงกบหน้าต่างบน เพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่รอบๆที่เป็นส่วนของผนังและฝ้าเพดาน





รูปที่ 4.21 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 5 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

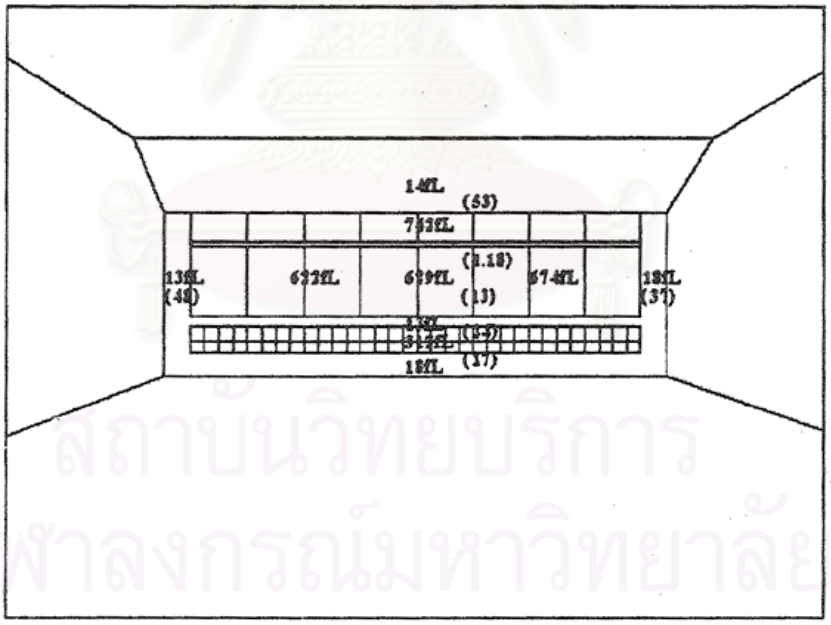
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4. 22 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 5 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

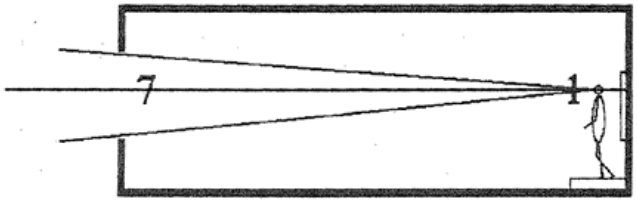
ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 6

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 6 มีการออกแบบเพิ่มช่องแสงอิฐแก้วที่ผนังใต้หน้าต่าง และออกแบบฝ้าเพดานให้ลาดเอียงจรดวงกบหน้าต่างบนเพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ผนังรอบๆ

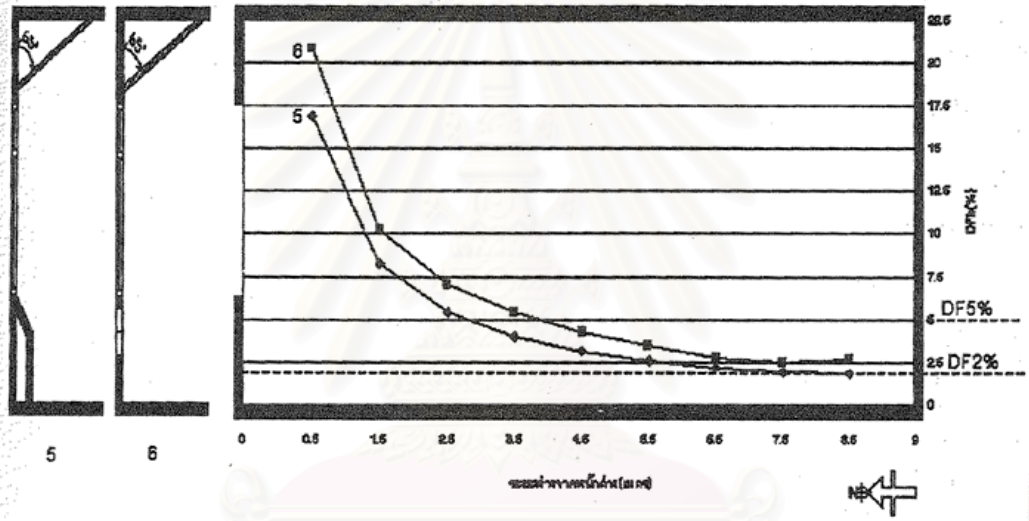


รูปที่ 4.23 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 6 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

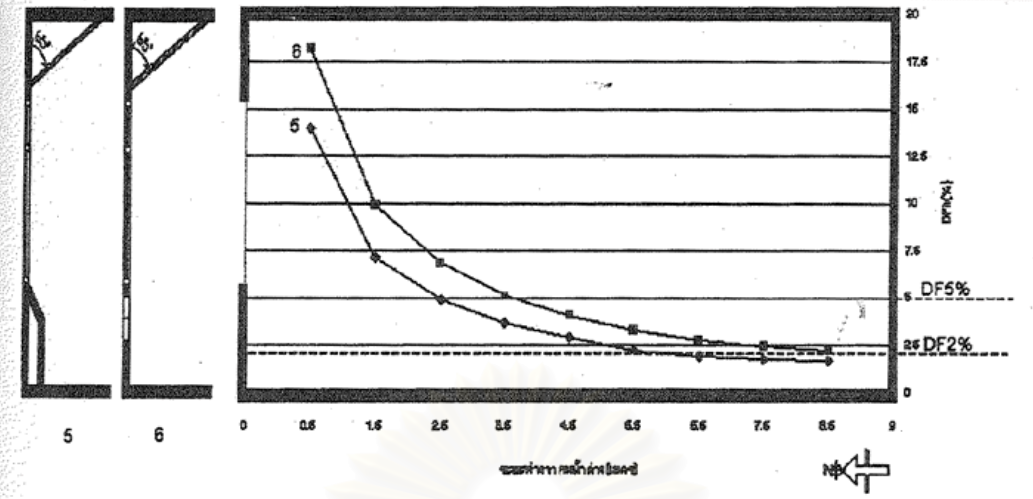


รูปที่ 4. 24 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 6 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

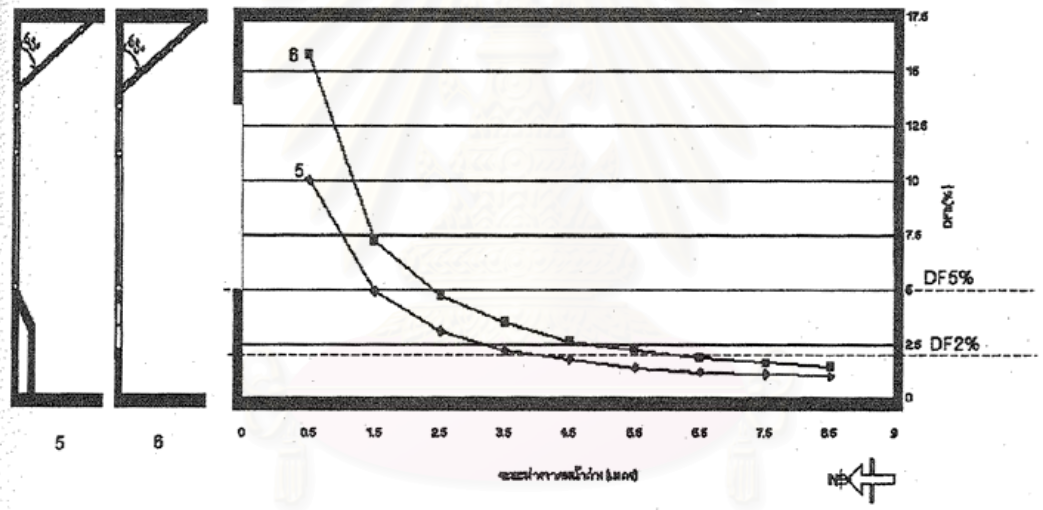


แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 5 และ 6 เวลา 8.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 5 และ 6 เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 5 และ 6 เวลา 16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 3 กรณีศึกษาที่ 5 และ 6

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง กรณีศึกษาที่ 5และ 6 พบว่ามีอัตราส่วนเกิน 20:1 บริเวณฝ้าเพดานและผนังใต้หน้าต่างกับช่องแสงหน้าต่างของกรณีศึกษาที่ 5 มีอัตราส่วน 36:1, 43:1 และบริเวณฝ้าเพดานกับช่องแสงหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 6 มีอัตราส่วน 53:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เกินจากมาตรฐานกำหนด

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.9,4.10 และ 4.11 พบว่า

- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 7 เมตร กรณีศึกษาที่ 5
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด กรณีศึกษาที่ 6
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6 เมตร กรณีศึกษาที่ 5
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด กรณีศึกษาที่ 6
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4 เมตร กรณีศึกษาที่ 5
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6 เมตร กรณีศึกษาที่ 6

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบิร์ต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

กรณีศึกษาที่ 5

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 617 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 65 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 9.5:1

กรณีศึกษาที่ 6

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 629 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 88 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7:1

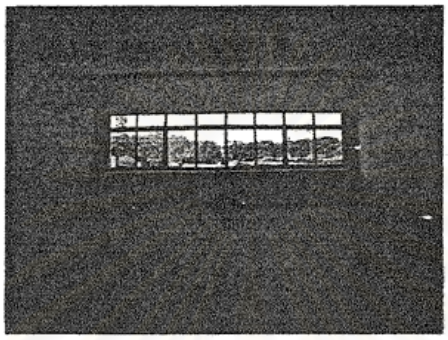
จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 5 และ 6 ให้ผลในด้านความสบายตาในการมองเห็นไม่ดี เนื่องจากมีแต่อัตราส่วนความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างยังเกินกำหนดมาตรฐานอยู่จึงยังไม่สมควรพิจารณาเลือกใช้หน้าต่างรูปแบบนี้กับการออกแบบห้องเรียนในการวิจัย

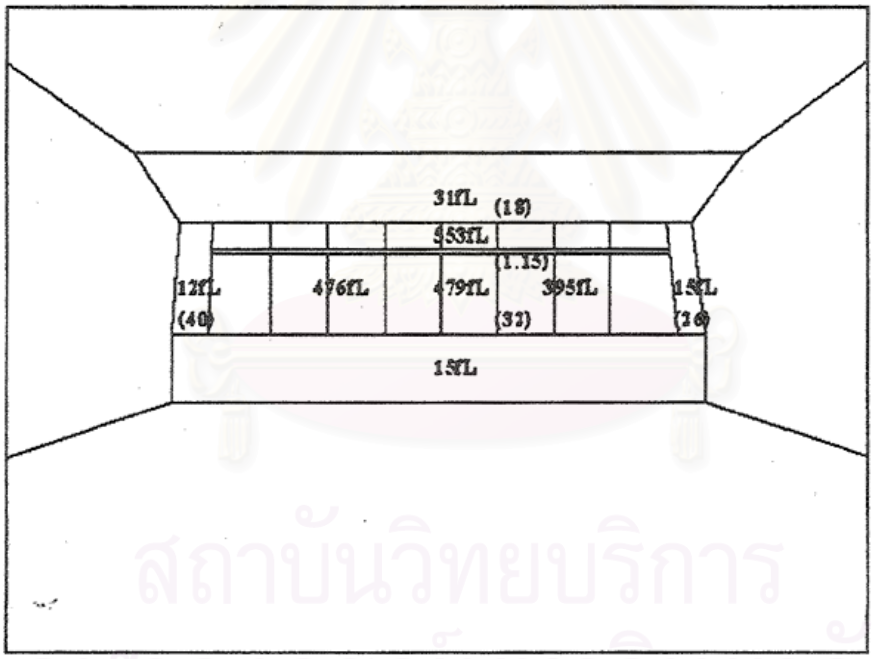
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1.4 ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 4 กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9

ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 7

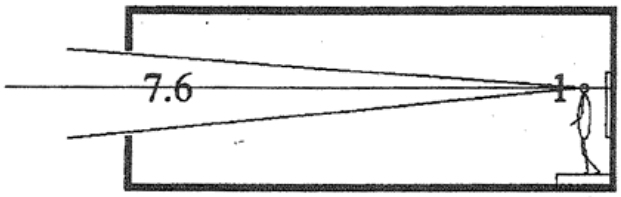
รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 7 มีการออกแบบให้หน้าต่างเอียง 10 องศากับระนาบตั้ง และปาดมุมผนังใต้หน้าต่างภายนอกห้องเรียนเป็นมุม 25 องศา เพื่อใช้เป็นส่วนสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียน และออกแบบฝ้าเพดานให้ลาดเอียงจรดวงกบหน้าต่างบน เพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ฝ้าเพดานส่วนที่ใกล้หน้าต่าง





รูปที่ 4.25 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 7 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

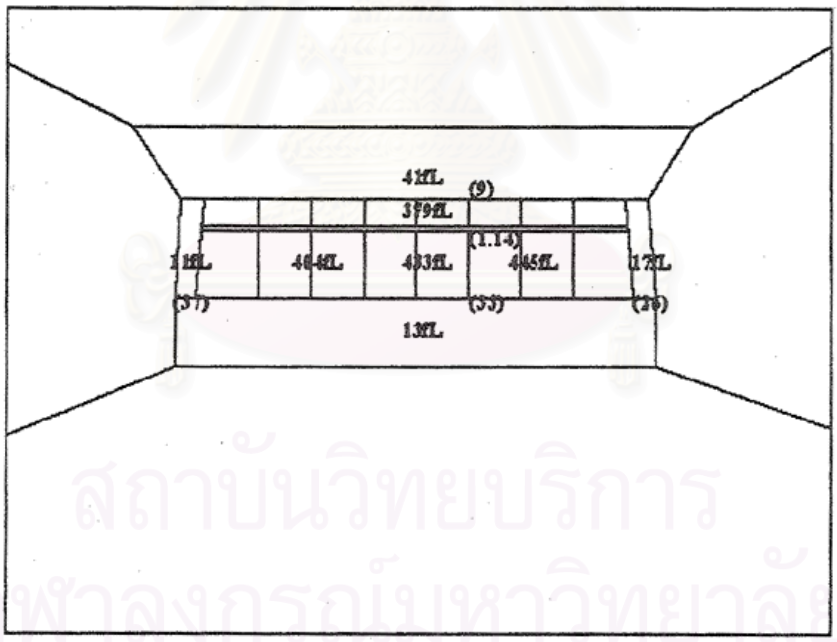
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 7 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

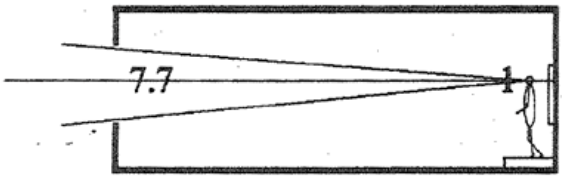
ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 มีการออกแบบให้หน้าต่างเอียง 15 องศากับระนาบตั้ง และปาดมุมผนังได้หน้าต่างภายนอกห้องเรียนเป็นมุม 25 องศา เพื่อใช้เป็นส่วนสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียน และออกแบบฝ้าเพดานให้ลาดเอียงจรดวงกบหน้าต่างบน เพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ฝ้าเพดานส่วนที่ใกล้หน้าต่าง



รูปที่ 4.27 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

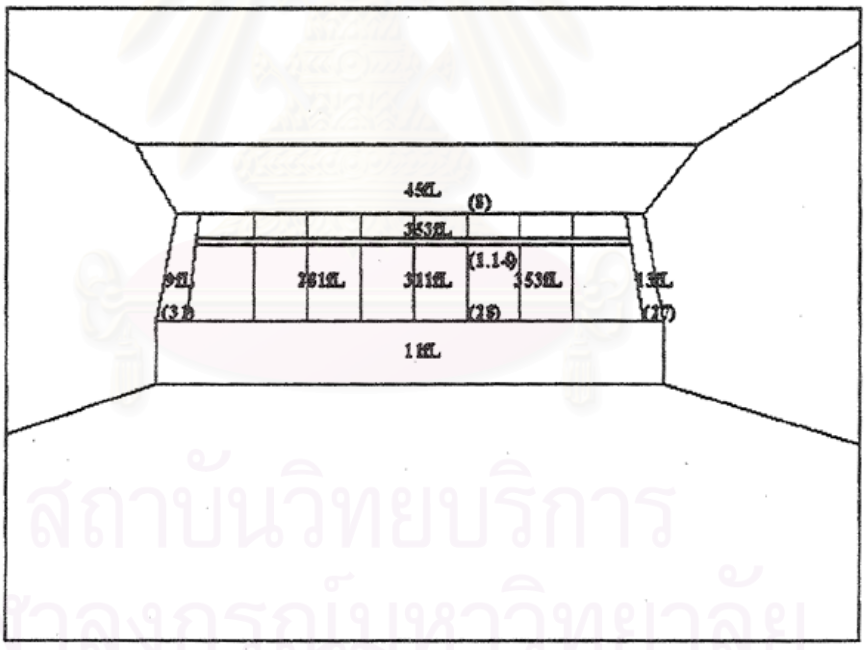
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.28 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

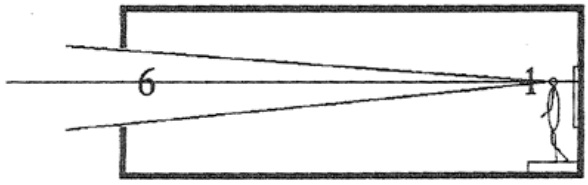
ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 9

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 9 มีการออกแบบให้หน้าต่างเอียง 20 องศากับระนาบตั้ง และป่าดมุมผนังได้หน้าต่างภายนอกห้องเรียนเป็นมุม 25 องศา เพื่อใช้เป็นส่วนสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียน และออกแบบฝ้าเพดานให้ลาดเอียงจรดวงกบหน้าต่างบน เพื่อให้ผลในการได้ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ฝ้าเพดานส่วนที่ใกล้หน้าต่าง

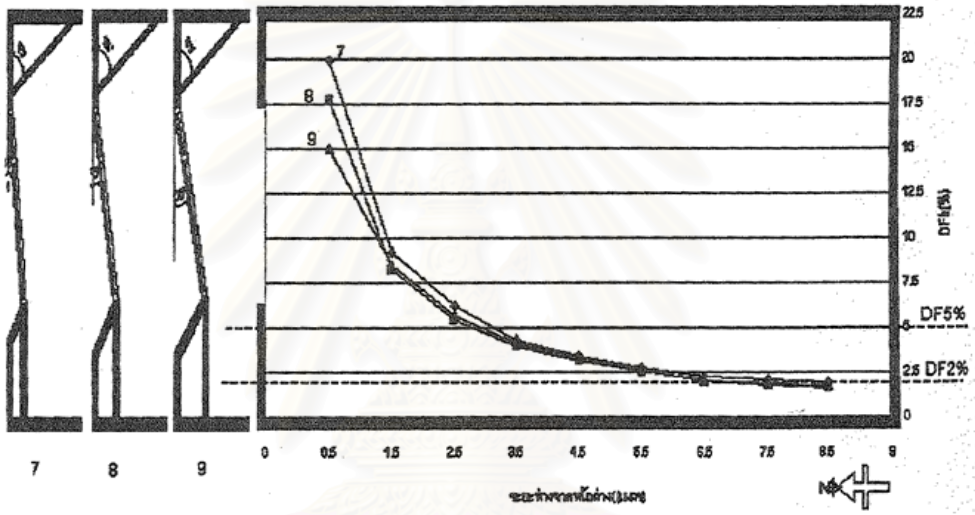


รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 9 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

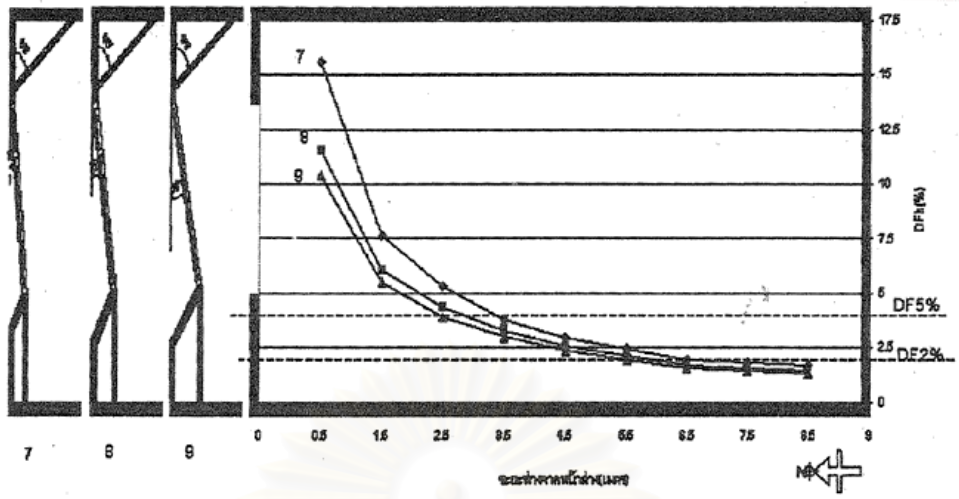


รูปที่ 4.30 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 9 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

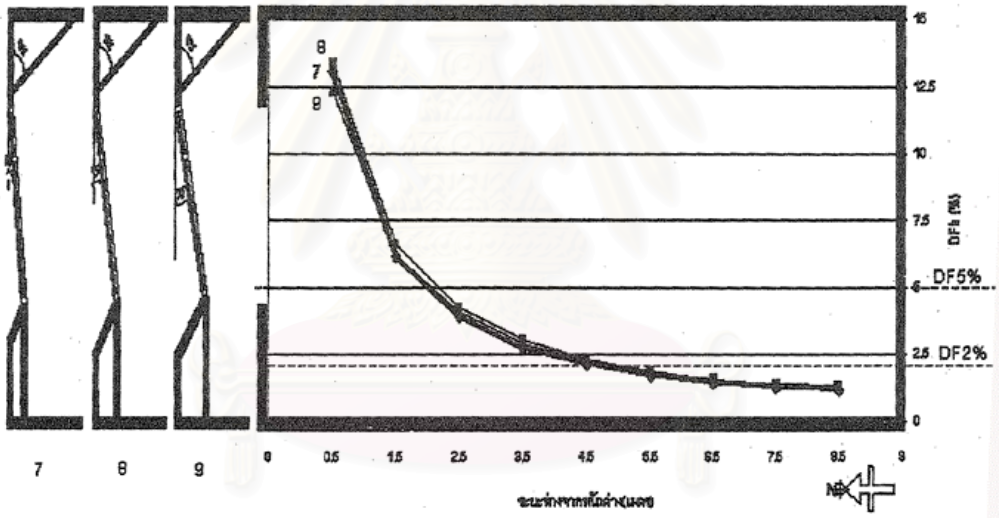


แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9 เวลา 8.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9 เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9 เวลา 16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 4 กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.25, 4.27 และ 4.29 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับฝ้าเพดานใกล้หน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตากรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9 พบว่าทั้ง 3 กรณีไม่มีอัตราส่วนเกิน 20:1 แต่อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังใต้หหน้าต่างมีอัตราส่วนที่เกินมาตรฐานกำหนด

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.12,4.13 และ 4.14 พบว่า

- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 7
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 8
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 9
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น-16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.50-5.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 7
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น-16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.50-5.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 8
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น-16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 9

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบริต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

กรณีศึกษาที่ 7

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 479 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 63 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7.6:1

กรณีศึกษาที่ 8

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 433 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 56 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7.7:1

<u>กรณีศึกษาที่ 9</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 311 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 51 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 6:1

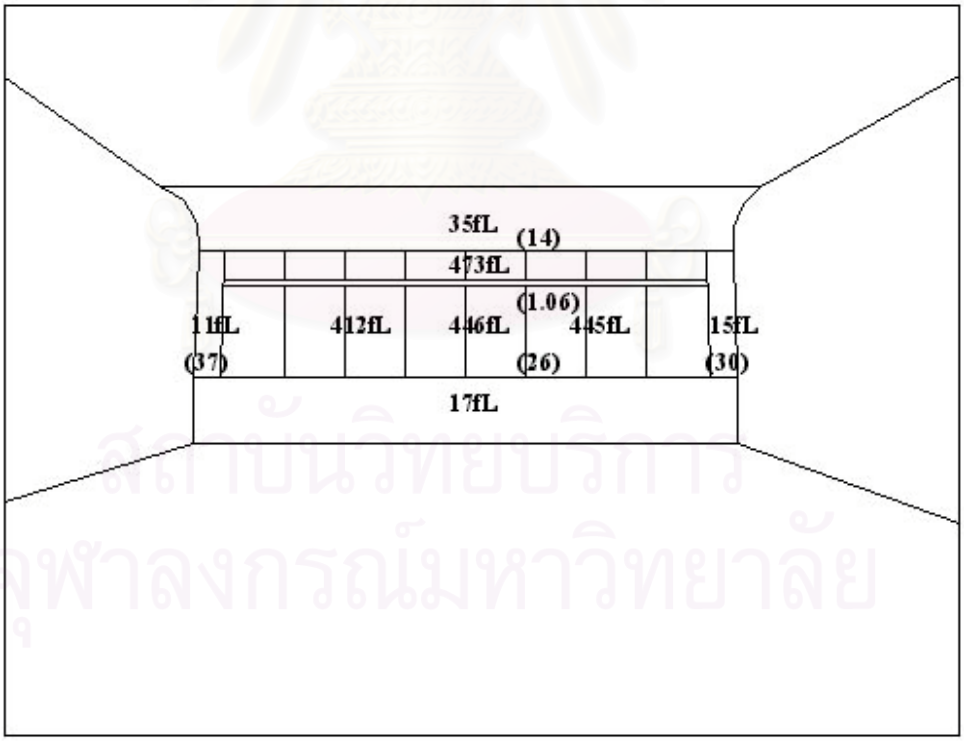
จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า รูปแบบหน้าต่างทั้ง 3 กรณีให้ผลในด้านความสบายตาในการมองเห็นดี แม้ว่าจะมีแต่อัตราส่วนความสว่างที่หน้าต่างกับผนังใต้หน้าต่างเกินกำหนดมาตรฐานแต่เป็นส่วนที่ไม่อยู่ในมุมมองของตาจึงไม่ส่งผลกระทบกับความสบายตาในการมองเห็นมากนัก ดังนั้นรูปแบบหน้าต่างทั้ง 3 กรณีนี้จึงสามารถเลือกกรณีใดกรณีหนึ่งนำไปใช้การออกแบบห้องเรียนในการวิจัยนี้ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

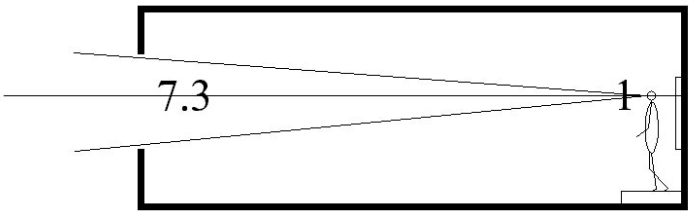
4.3.1.5 ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 5 กรณีศึกษาที่ 10, 11 และ12

ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 10

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 10 มีการออกแบบให้หน้าต่างเอียง 10 องศากับระนาบตั้ง และผนังใต้หน้าต่างภายนอกห้องเรียนถูกปาดโค้งและทาสีที่มีคุณสมบัติ Specular Diffuse เพื่อใช้เป็นส่วนสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียน และออกแบบฝ้าเพดานโค้งรูปพาราโบลาให้โค้งจรดวงกบหน้าต่างบน เพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ฝ้าเพดานส่วนที่ใกล้หน้าต่าง นอกจากนี้ยังช่วยกระจายแสงไปยังส่วนที่ห่างจากหน้าต่างอีกด้วย



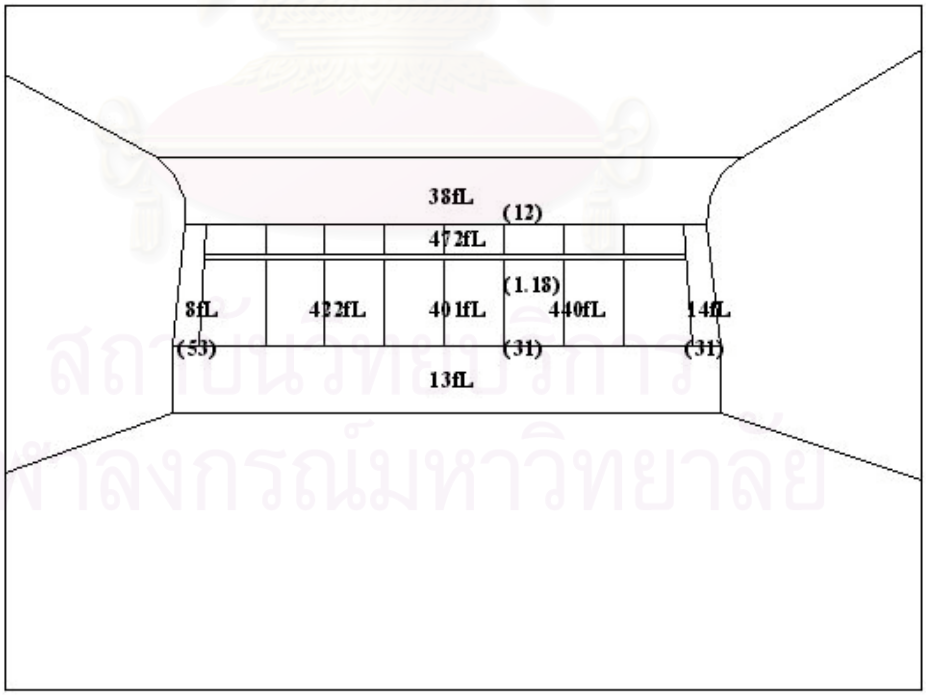
รูปที่ 4.31 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 10 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



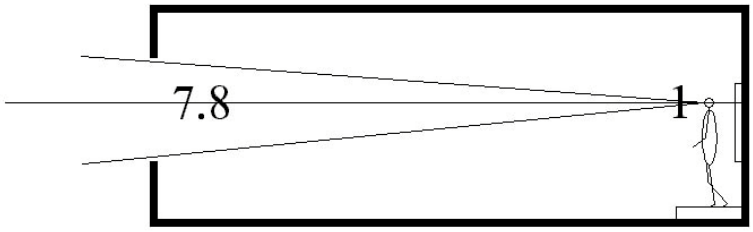
รูปที่ 4.32 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 10 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 11

รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 มีการออกแบบให้หน้าต่างเอียง 15 องศากับระนาบตั้ง และผนังใต้หน้าต่างภายนอกห้องเรียนถูกปาดโค้งและทาสีที่มีคุณสมบัติ Specular Diffuse เพื่อใช้เป็นส่วนสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียน และออกแบบฝ้าเพดานโค้งรูปพาราโบลาให้โค้งจรดวงกบหน้าต่างบน เพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ฝ้าเพดานส่วนที่ใกล้หน้าต่าง นอกจากนี้ยังช่วยกระจายแสงไปยังส่วนที่ห่างจากหน้าต่างอีกด้วย



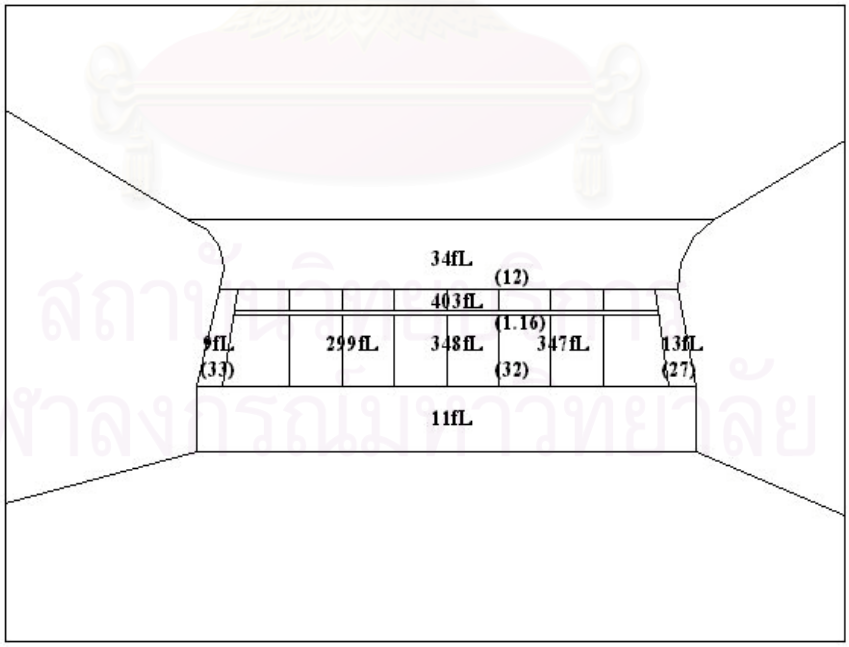
รูปที่ 4.33 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



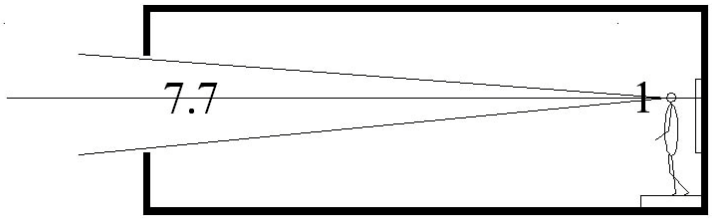
รูปที่ 4.34 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 12

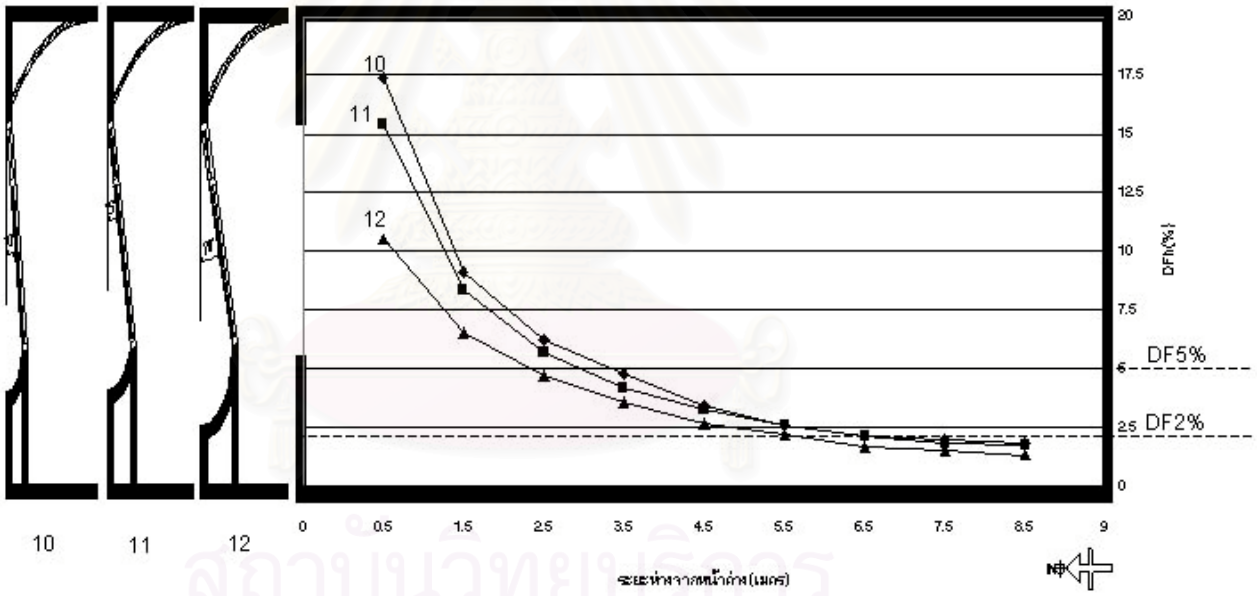
รูปแบบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 12 มีการออกแบบให้หน้าต่างเอียง 20 องศากับระนาบตั้ง และผนังใต้หน้าต่างภายนอกห้องเรียนถูกปาดโค้งและทาสีที่มีคุณสมบัติ Specular Diffuse เพื่อใช้เป็นส่วนสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในห้องเรียน และออกแบบฝ้าเพดานโค้งรูปพาราโบลาให้โค้งจรดวงกบหน้าต่างบน เพื่อให้ผลในการไล่ระดับความเปรียบต่างความสว่างของช่องหน้าต่างกับพื้นที่ฝ้าเพดานส่วนที่ใกล้หน้าต่าง นอกจากนี้ยังช่วยกระจายแสงไปยังส่วนที่ห่างจากหน้าต่างอีกด้วย



รูปที่ 4.35 แสดงภาพถ่ายหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 12 กับความสว่างที่หน้าต่าง (fL) และ อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่าง เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

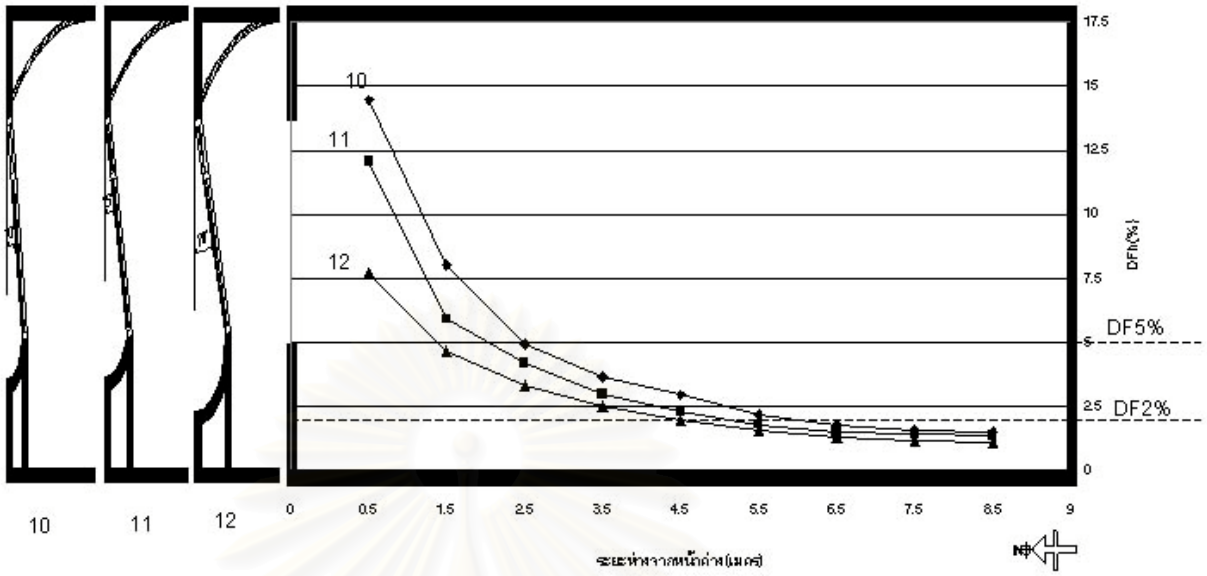


รูปที่ 4.36 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 12 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

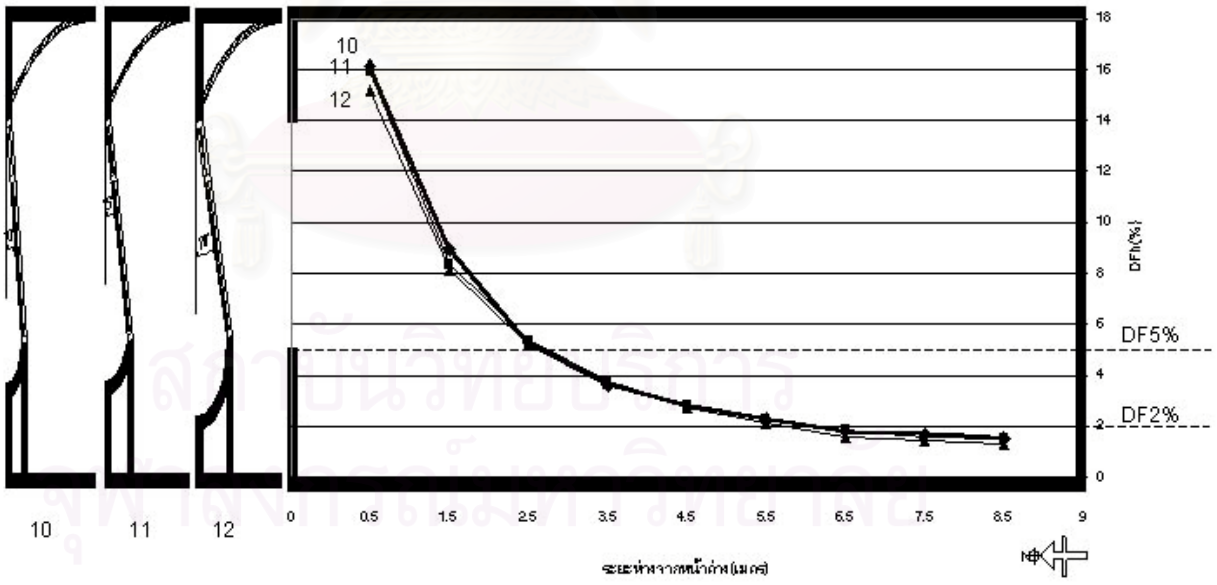


แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12 เวลา 8.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12 เวลา 12.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12 เวลา 16.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างรูปแบบที่ 4 กรณีศึกษาที่ 7, 8 และ 9

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.31, 4.33 และ 4.35 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับฝ้าเพดานใกล้หน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตากรณีศึกษาที่ 10, 11 และ 12 พบว่าทั้ง 3 กรณีไม่มีอัตราส่วนเกิน 20:1 แต่อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังใต้หหน้าต่างมีอัตราส่วนที่เกินมาตรฐานกำหนด

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.15,4.16 และ 4.17 พบว่า

- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 10
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 11
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 8.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 12
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น-16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.50-6.00 เมตร กรณีศึกษาที่ 10
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น-16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.50-6.00 เมตร กรณีศึกษาที่ 11
- พิจารณาค่า DFh ในช่วงเวลา 12.00น-16.00น. มีเกินค่า DFh ต่ำสุดที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.00-5.50 เมตร กรณีศึกษาที่ 12

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบริต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

กรณีศึกษาที่ 10

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 446 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 61 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7.3:1

กรณีศึกษาที่ 11

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 401 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 51 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7.8:1

กรณีศึกษาที่ 12

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 348 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 45 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7.7:1

จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า รูปแบบหน้าต่างทั้ง 3 กรณีให้ผลในด้านความสบายตาในการมองเห็นดี แม้ว่าจะมีแต่อัตราส่วนความสว่างที่หน้าต่างกับผนังใต้หน้าต่างเกินกำหนดมาตรฐานแต่เป็นส่วนที่ไม่อยู่ในมุมมองของตาจึงไม่ส่งผลกระทบกับความสบายตาในการมองเห็นมากนัก ดังนั้นรูปแบบหน้าต่างทั้ง 3 กรณีนี้จึงสามารถเลือกกรณีใดกรณีหนึ่งนำไปใช้การออกแบบห้องเรียนในการวิจัยนี้ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองห้องเรียนรูปแบบใหม่

การวิเคราะห์ห้องเรียนรูปแบบใหม่จากผลการทดลองห้องเรียนที่มีรูปแบบหน้าต่าง 5 รูปแบบ ทั้ง 12 กรณีศึกษาที่ได้ทำการทดลองเฉพาะทิศเหนือ เพื่อเลือกกรณีศึกษาที่เหมาะสมและมีความสบายตาในการมองเห็นเพียง 3 กรณีมาทำการทดลองต่อให้ครบทั้ง 4 ทิศ โดยการคัดเลือกจะวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 4.2 ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองรูปแบบหน้าต่าง 5 รูปแบบ (12กรณีศึกษา) เวลา12.00น. ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง

รูปแบบ	กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL)	ค่าDFที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective Daylight(ม.)
1	1	บน 17:1 คานเข็น 23:1 ผนังเอียง 12:1 ล่าง 3:1	6:1	636	8:00 น. 2.48% 12:00น. 2.65% 16:00 น.1.36%	8:00 น. 9.00ม. 12:00น. 9.00ม. 16:00น. 5.00ม.
	2	บน 15:1 คานเข็นบน 26:1 คานเข็นล่าง 8:1 ล่าง 17:1	4.8:1	579	8:00 น. 2.8% 12:00น. 3.3% 16:00 น.1.86%	8:00 น. 9.00ม. 12:00น. 9.00ม. 16:00น. 8.00ม.
2	3	บน 2.8:1 ผนังเอียงบน 15:1 ผนังเอียงล่าง 16:1 ล่าง 1.9:1	8.8:1	607	8:00 น. 1.36% 12:00น. 1.83% 16:00 น.0.97%	8:00 น. 5.00ม. 12:00น. 5.50ม. 16:00น. 4.00ม.
	4	บน 2.5:1 ผนังเอียงบน 1 6:1 ผนังเอียงล่าง 20:1 ล่าง 3:1	11.6:1	686	8:00 น. 1.48% 12:00น. 1.53% 16:00 น.0.97%	8:00 น. 5.00ม. 12:00น. 6.50ม. 16:00น. 4.00ม.
3	5	ฝ้าเอียง 36:1 ผนังเอียงล่าง 14:1 ล่าง 3:1	9:5	617	8:00 น. 1.85% 12:00น. 1.71% 16:00 น.1.03%	8:00 น. 7.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 4.00ม.
	6	ฝ้าเอียง 53:1 คานเข็นล่าง 24:1 ล่าง 17:1	7:1	629	8:00 น. 2.7% 12:00น. 2.23% 16:00 น.1.48%	8:00 น. 9.00ม. 12:00น. 9.00ม. 16:00น. 6.00ม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองรูปแบบหน้าต่าง 5 รูปแบบ (12กรณีศึกษา) เวลา12.00น. ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง (ต่อ)

รูปแบบ	กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL)	ค่าDFที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective Daylight(ม.)
4	7	ฝ้าเชียง 18:1 ล่าง 32:1	7.6:1	479	8:00 น. 1.89% 12:00น. 1.70% 16:00 น.1.17%	8:00 น. 8.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 5.00ม.
	8	ฝ้าเชียง 9:1 ล่าง 33:1	7.7:1	433	8:00 น. 1.61% 12:00น. 1.43% 16:00 น.1.30%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 5.00ม.
	9	ฝ้าเชียง 8:1 ล่าง 28:1	6:1	311	8:00 น. 1.75% 12:00น. 1.31% 16:00 น.1.28%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 5.00ม. 16:00น. 5.00ม.
5	10	ฝ้าโค้ง 14:1 ล่าง 26:1	7.3:1	446	8:00 น. 1.82% 12:00น. 1.51% 16:00 น.1.52%	8:00 น. 7.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 6.00ม.
	11	ฝ้าโค้ง 12:1 ล่าง 31:1	7.8:1	401	8:00 น. 1.75% 12:00น. 1.36% 16:00 น.1.51%	8:00 น. 7.00ม. 12:00น. 5.00ม. 16:00น. 6.00ม.
	12	ฝ้าโค้ง 12:1 ล่าง 32:1	7.7:1	348	8:00 น. 1.33% 12:00น. 1.11% 16:00 น.1.31%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 4.00ม. 16:00น. 6.00ม.

จากภาพถ่ายและรูปแสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่าง(Contrast Brightness Ratio) รวมทั้งผลสรุปจากตารางที่ 4.2 พบว่า รูปแบบหน้าต่างที่ 1 กับ 3 ได้แก่กรณีศึกษาที่ 1, 2,5 และ 6 พบว่ามีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างของหน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตาเกิน 20:1 และการใช้ช่องแสงอิฐแก้วในกรณีศึกษาที่ 1 กับ 2 กับการลาดเอียงฝ้าเพดานในกรณีศึกษาที่ 5 กับ 6 จะทำให้เกิดแหล่งแสงจ้าที่บริเวณฝ้าเพดานใกล้หน้าต่างได้ จึงไม่สมควรเลือกใช้ในการทดลองต่อไป

ส่วนรูปแบบหน้าต่างที่ 2 ได้แก่กรณีศึกษาที่ 3 และ 4 พบว่ากรณีศึกษาที่ 4 ไม่เหมาะสมเนื่องจากมีอัตราส่วนความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียน ณ จุดที่ครูยืนมีอัตราส่วนมากเกิน 10:1 และถ้าการก่อสร้างส่วนลบมุมให้โค้งมนไม่ปราณีตจะทำให้เห็นแสงที่สะท้อนจากส่วนโค้งไม่เรียบสม่ำเสมอกันดังนั้นกรณีศึกษาที่ 3 จึงมีความเหมาะสมกว่า

และกรณีศึกษาที่ 7, 8, 9, 10, 11, และ 12 มีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างของหน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตาไม่เกิน 20:1 และให้ความสบายตามาก แม้ว่าอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่าง

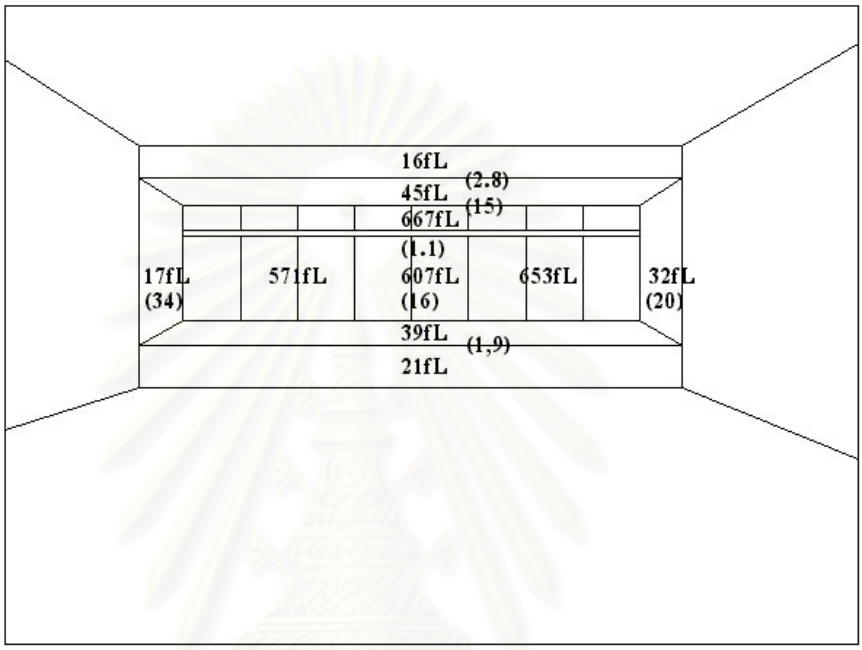
ระหว่างหน้าต่างกับผนังใต้หน้าต่างจะมีค่ามากเกินมาตรฐานกำหนดก็ตาม ในทางปฏิบัติพบว่าเป็นตำแหน่งที่ไม่อยู่ในมุมมองและเมื่อจัดโต๊ะเรียนแล้วนักเรียนจะนั่งบังผนังส่วนใต้หน้าต่างนี้ จึงไม่มีผลที่จะก่อให้เกิดความไม่สบายตา จากตารางที่ 4.1 พบว่ากรณีศึกษาที่ 8, 9, 11 และ 12 ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน แต่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 9 และ 12มีมุมเอียงมากกว่าจึงทำให้มีพื้นที่ใต้หน้าต่างกว้างมากกว่ากรณีศึกษาที่ 8, 9 จนเกินความจำเป็นในด้านประโยชน์ใช้สอย ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาเลือกกรณีศึกษาที่ 8 และ 11 ทำการทดลองทั้ง 4 ทิศ เนื่องจากให้ผลความสบายตาใกล้เคียงกับกรณีศึกษาที่ 9 และ 12

สรุปจากผลการวิเคราะห์อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างสามารถเลือกหน้าต่างกรณีศึกษาได้ 3 กรณี คือ กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11

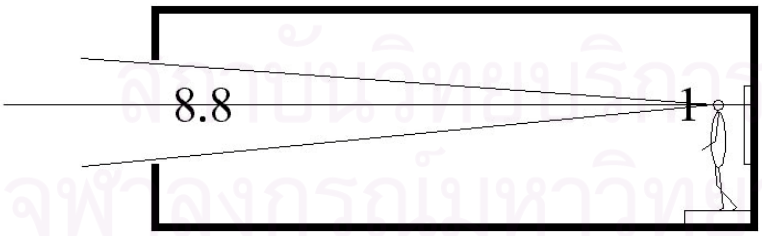
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 ผลการทดลองและเก็บข้อมูลความส่องสว่างของหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ11 ทั้ง 4 ทิศ

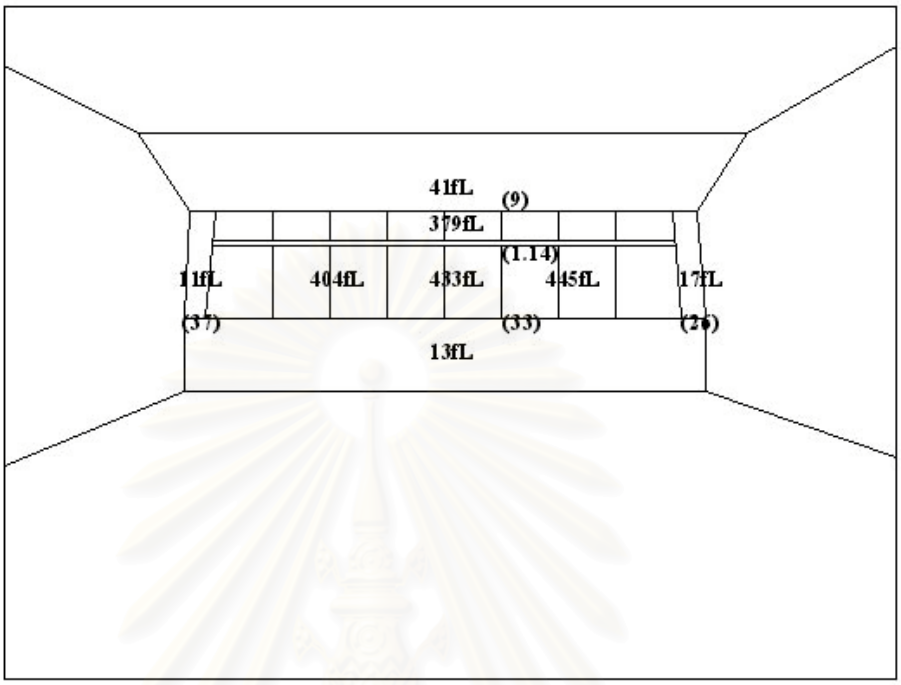
4.3.3.1 ผลการทดลองของหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ11 เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



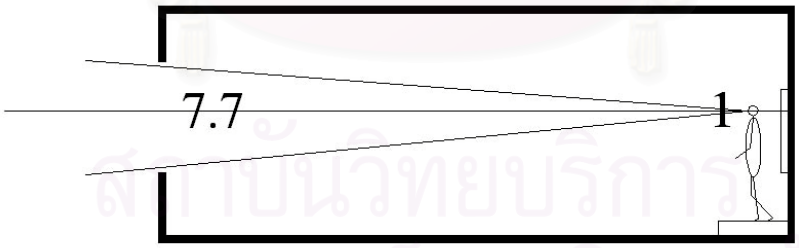
รูปที่ 4.37 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



รูปที่ 4.38 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

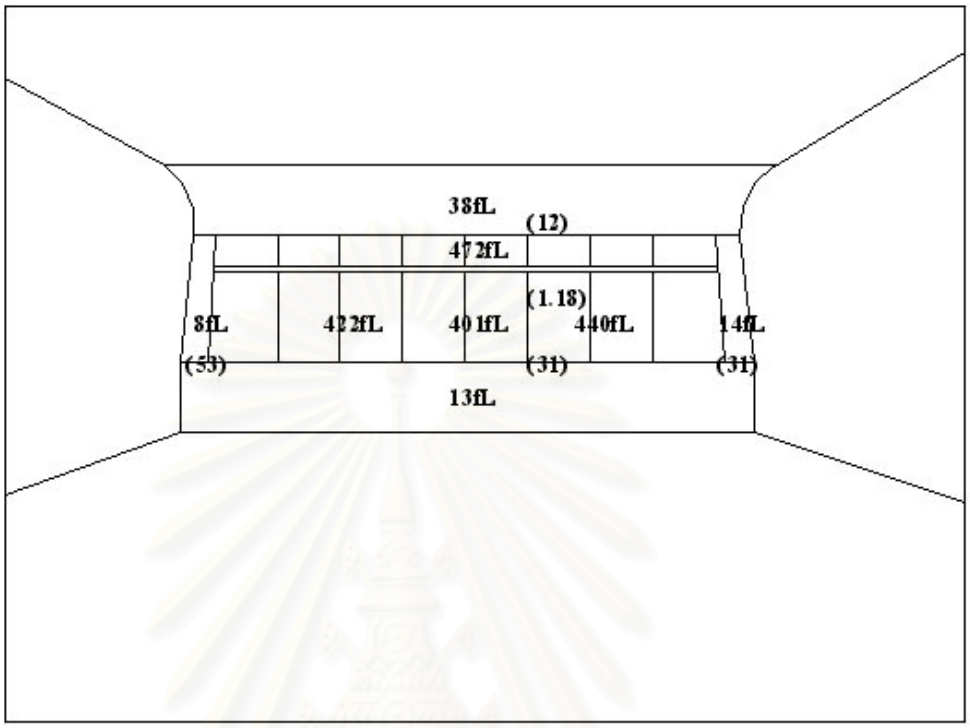


รูปที่ 4.39 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

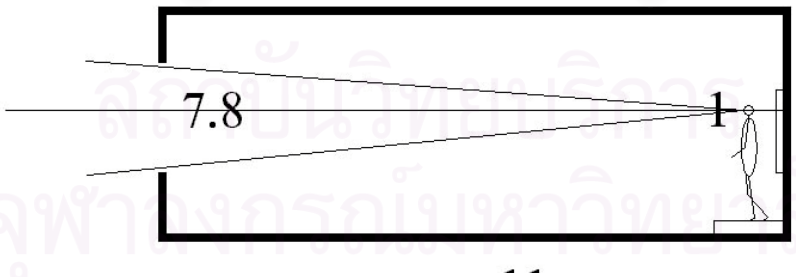


รูปที่ 4.40 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

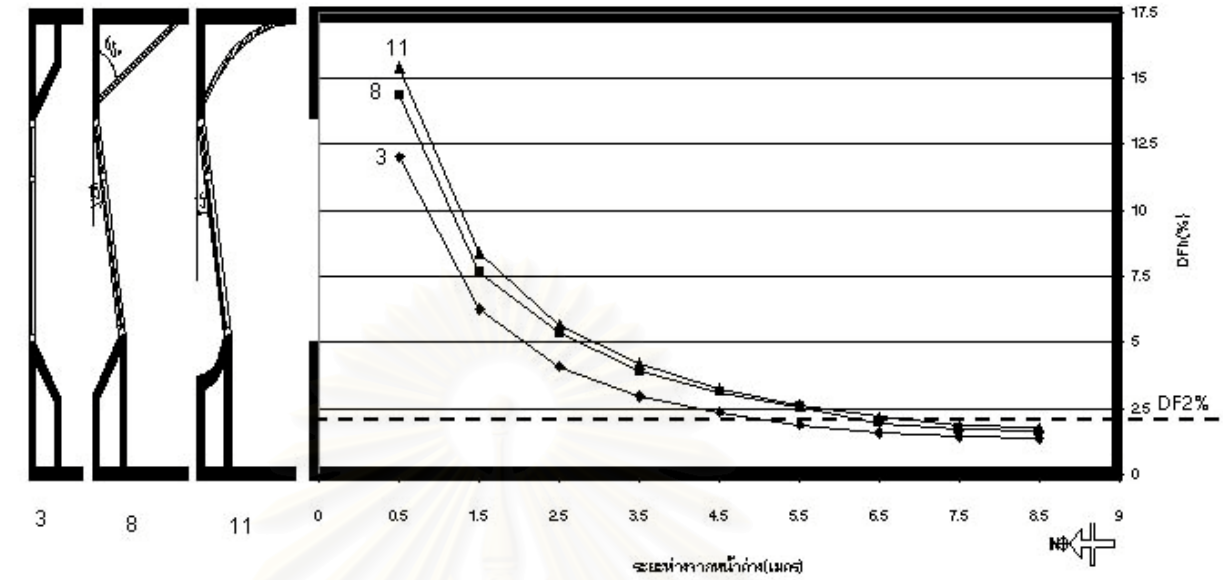
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



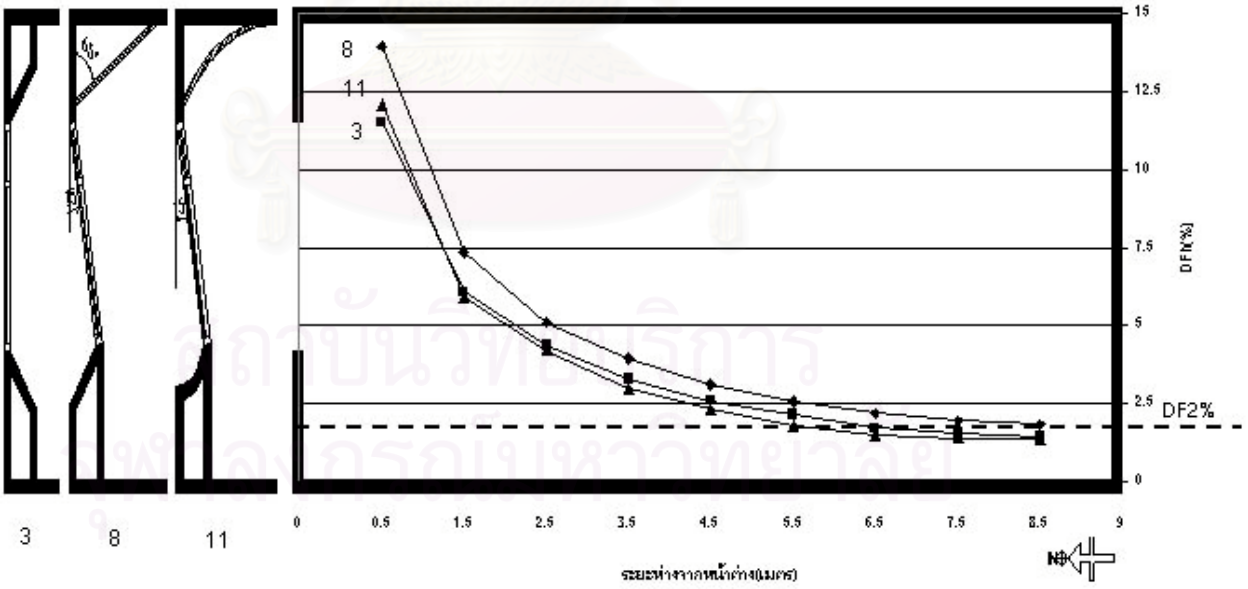
รูปที่ 4.41 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



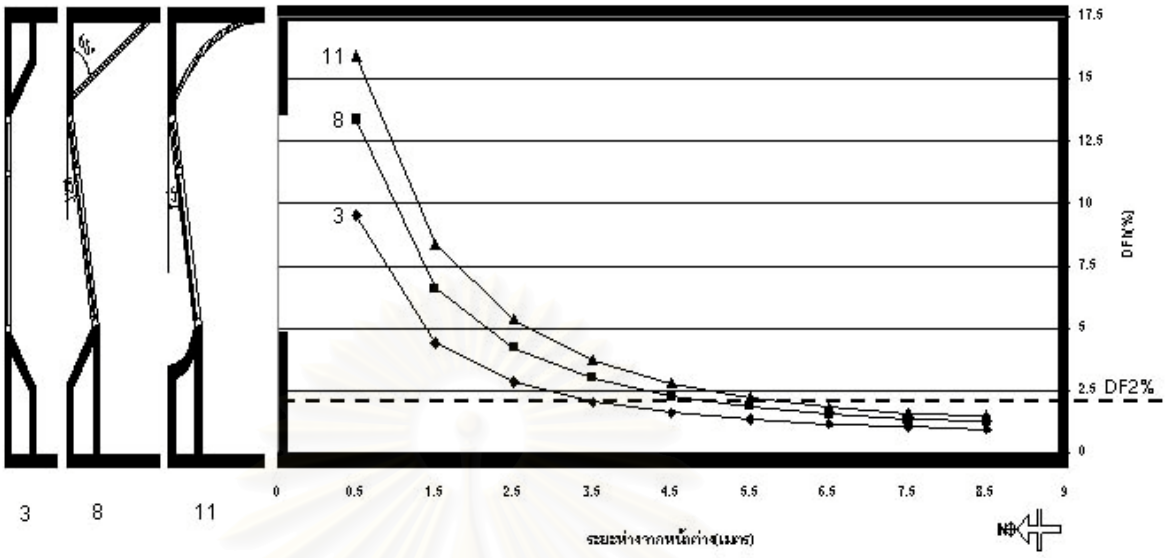
รูปที่ 4.42 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 8.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 12.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 16.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ

<u>วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ</u>

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.37 ถึงรูปที่ 4.42 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตาพบว่าทั้ง 3 กรณีไม่มีอัตราส่วนเกิน 20:1 และความสว่างที่หน้าต่างที่มุมมอง 0-5 องศาของหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 และ11 อยู่ในเกณฑ์กำหนดไม่เกิน 495 fL

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.18,4.19 และ 4.20 พบว่า

เวลา 8.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 7 เมตร

เวลา 12.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 7 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6 เมตร

- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5.50 เมตร

เวลา 16.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6 เมตร

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศเหนือ ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบริต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

<u>กรณีศึกษาที่ 3</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 607 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 69 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 8.8:1

<u>กรณีศึกษาที่ 8</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 433 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 56 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7.7:1

<u>กรณีศึกษาที่ 11</u>

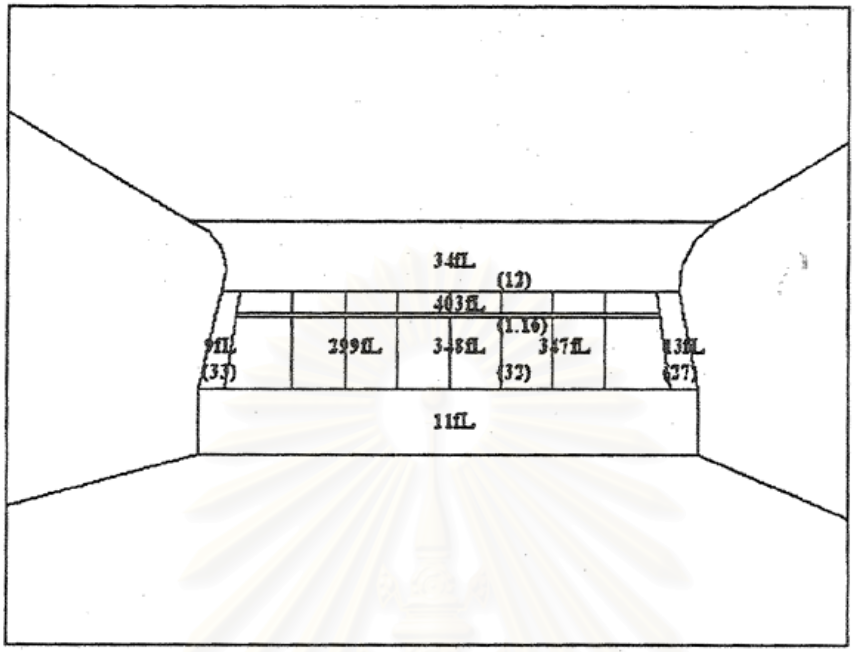
ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 401 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 51 fL

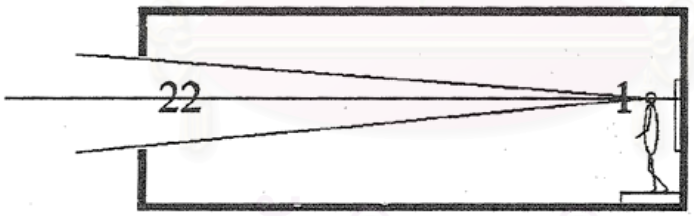
ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 7.9:1

จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองทิศเหนือได้ว่าหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 และ 11ให้ผลในด้านความสบายตาในการมองเห็นดี แม้ว่าจะมีแต่อัตราส่วนความสว่างที่หน้าต่างกับผนังใต้หน้าต่างเกินกำหนดมาตรฐานแต่เป็นส่วนที่ไม่อยู่ในมุมมองของตาจึงไม่ส่งผลกระทบกับความสบายตาในการมองเห็นมากนัก

4.3.3.2 ผลการทดลองของหน้าต่างหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ11 เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

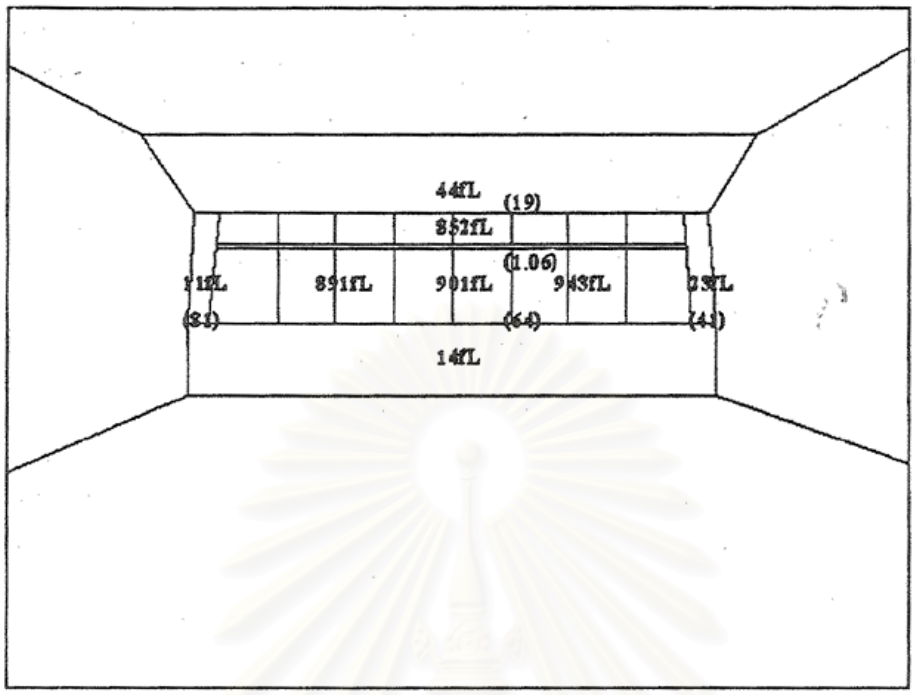


รูปที่ 4.43 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

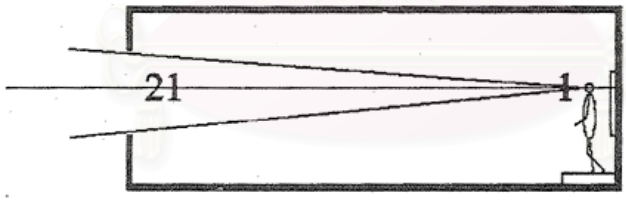


รูปที่ 4.44 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

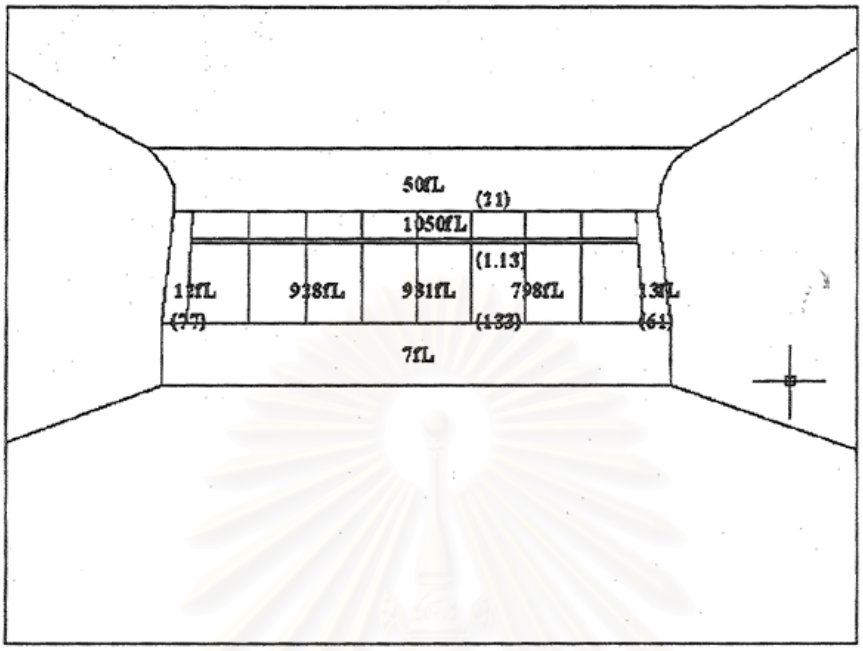


รูปที่ 4.45 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

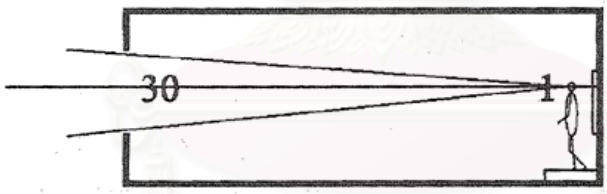


รูปที่ 4.46 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

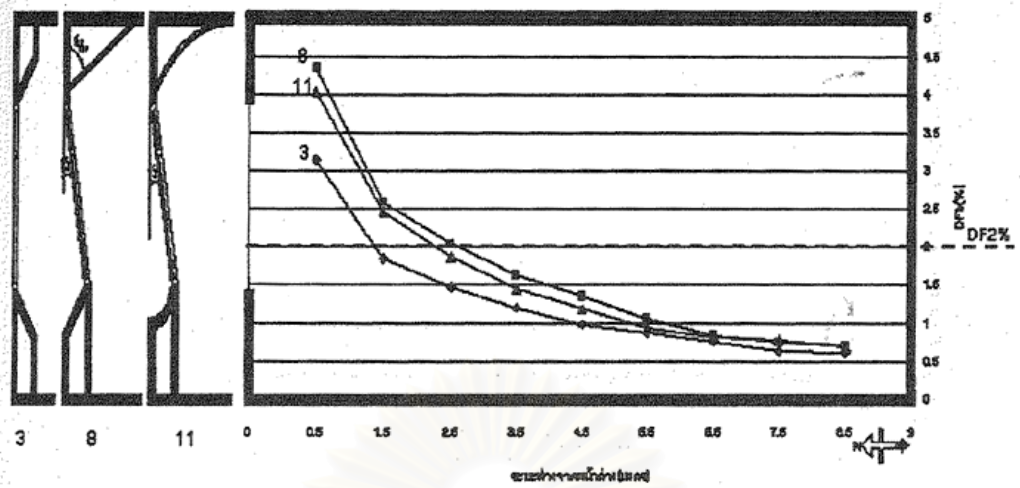


รูปที่ 4.47 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

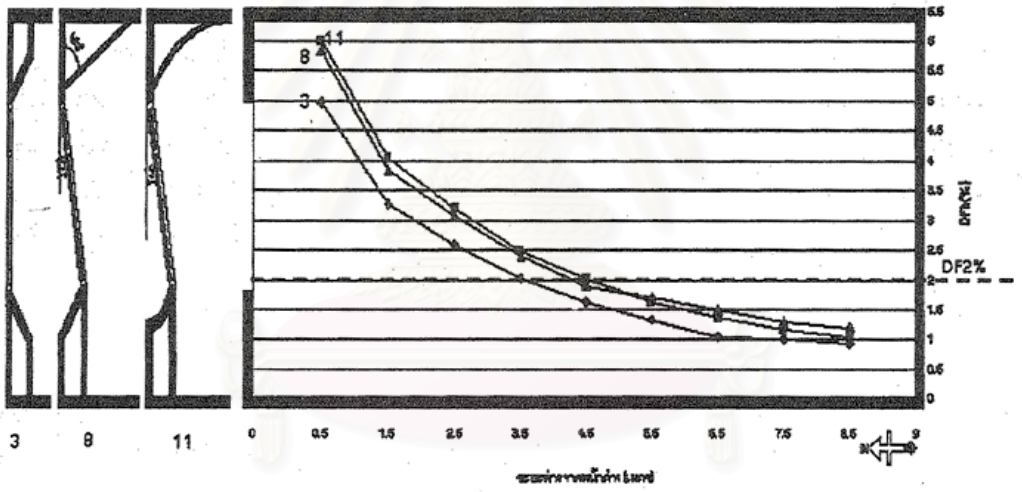


รูปที่ 4.48 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

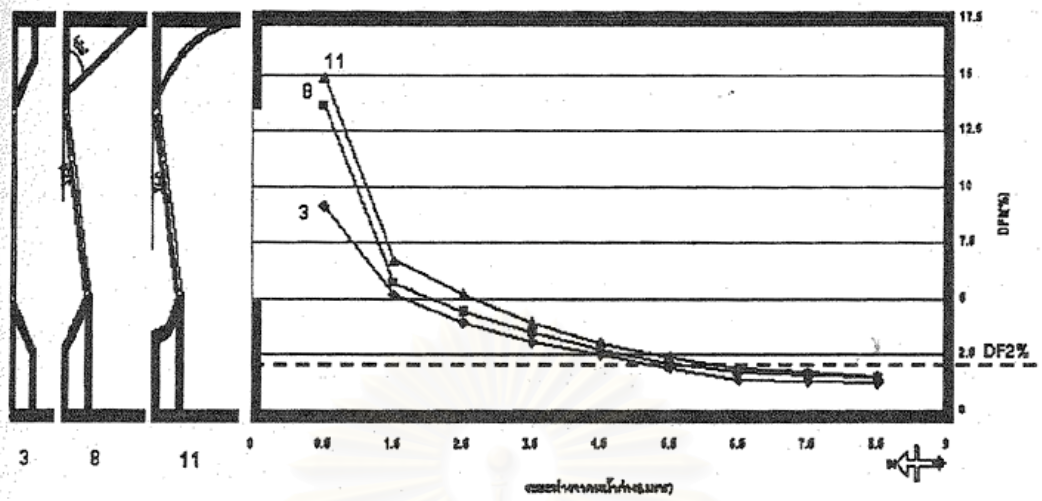


แผนภูมิที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 8.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้



แผนภูมิที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 12.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 16.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้

<u>วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 ห้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้</u>

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.43 ถึงรูปที่ 4.48 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตาพบว่าทั้ง 3 กรณีพบว่ามีอัตราส่วนเกิน 20:1 และความสว่างที่หน้าต่างที่มุมมอง 0-5 องศาของหน้าต่างเกินมาตรฐานกำหนด 495 fL และกรณีศึกษาที่ 8 ให้ผลความเปรียบต่างน้อยที่สุด จึงควรนำมาปรับปรุงการใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่านที่มีค่าเปอร์เซนต์น้อยกว่า 88% เพื่อลดความสว่างที่หน้าต่างทำให้การมองเห็นไปยังหน้าต่างมีความสบายตามากขึ้นได้

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.21,4.22 และ 4.23 พบว่า

เวลา 8.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 1 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 2.50 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 2 เมตร

เวลา 12.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 3.50 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.50 เมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4.00 เมตร เวลา 16.00น.
- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 6 เมตร

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศใต้ ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบิร์ต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

<u>กรณีศึกษาที่ 3</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 607 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 69 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 8.8:1

<u>กรณีศึกษาที่ 8</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 901 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 42 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 21:1

<u>กรณีศึกษาที่ 11</u>

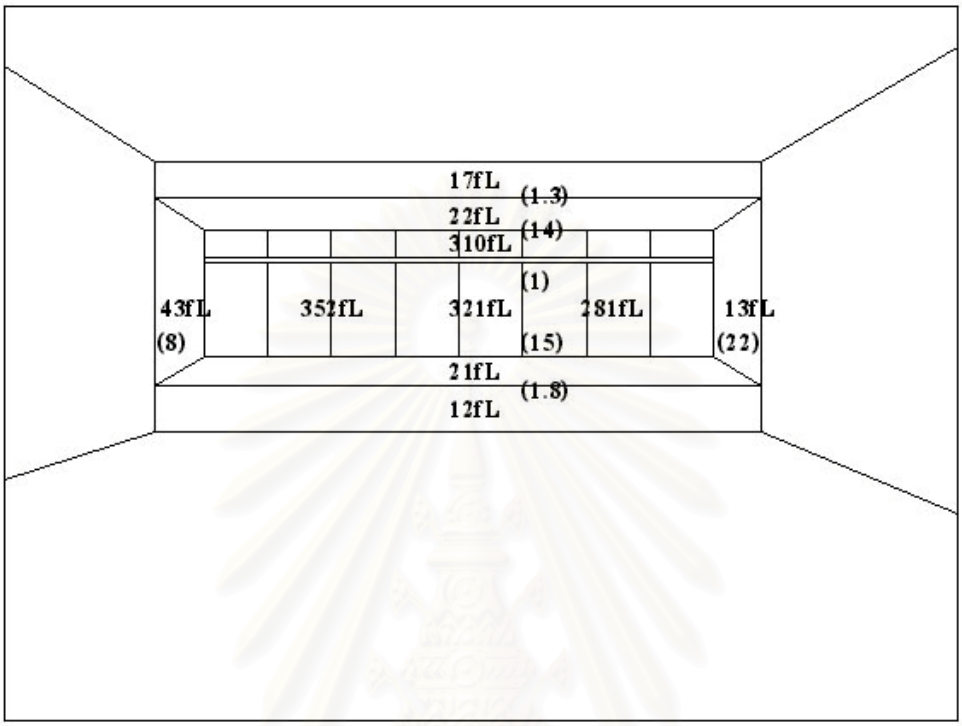
ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 931 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 31 fL

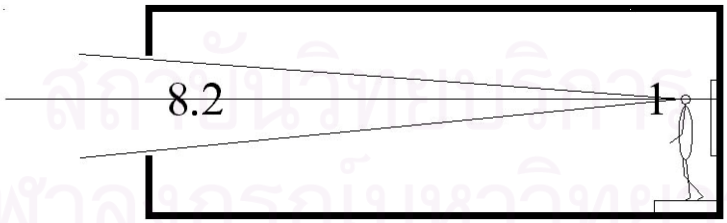
ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 30:1

จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองทิศใต้ได้ว่า การจัดวางตำแหน่งหน้าต่างทางทิศใต้ทั้ง 3 กรณีศึกษานี้ให้ผลไม่สบายตาในการมองเห็น ดังนั้นจึงควรพิจารณาใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่านที่มีค่าเปอร์เซนต์น้อยกว่า 88% เพื่อลดความสว่างที่หน้าต่างทำให้การมองเห็นไปยังหน้าต่างมีความสบายตามากขึ้นได้

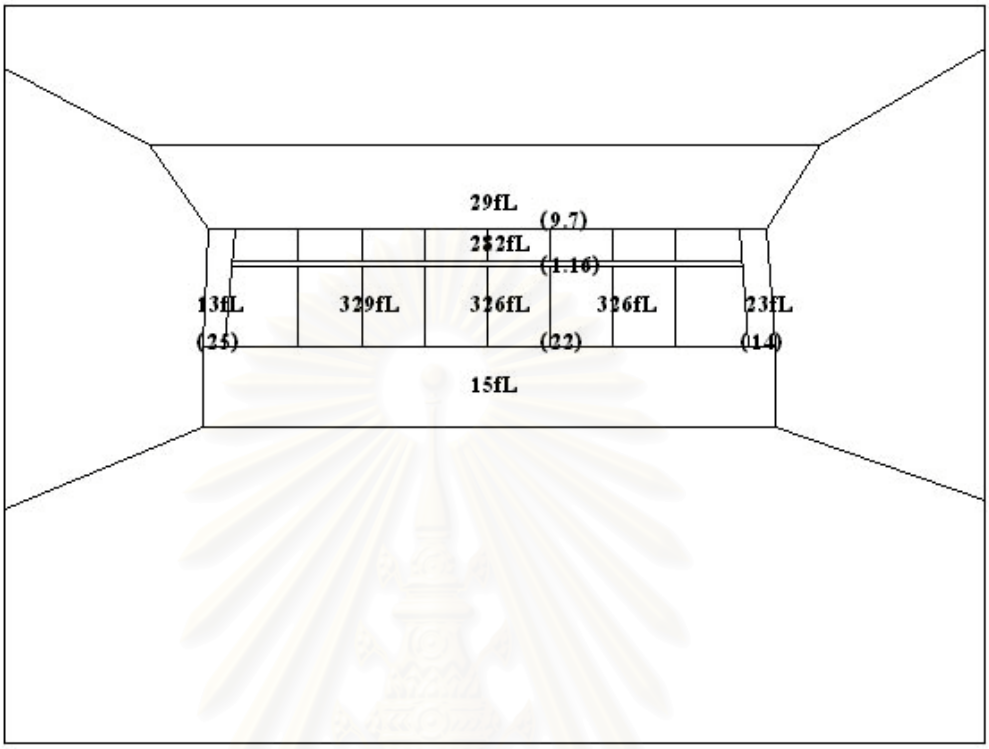
4.3.3.3 ผลการทดลองของหน้าต่างหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ11 เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



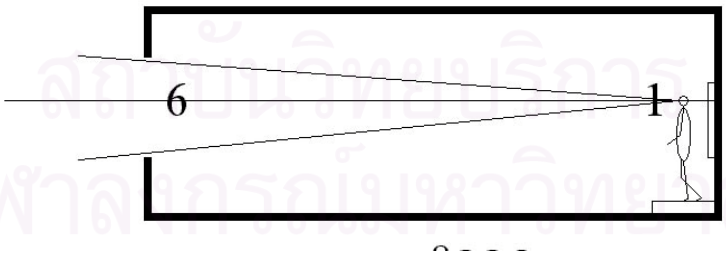
รูปที่ 4.49 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



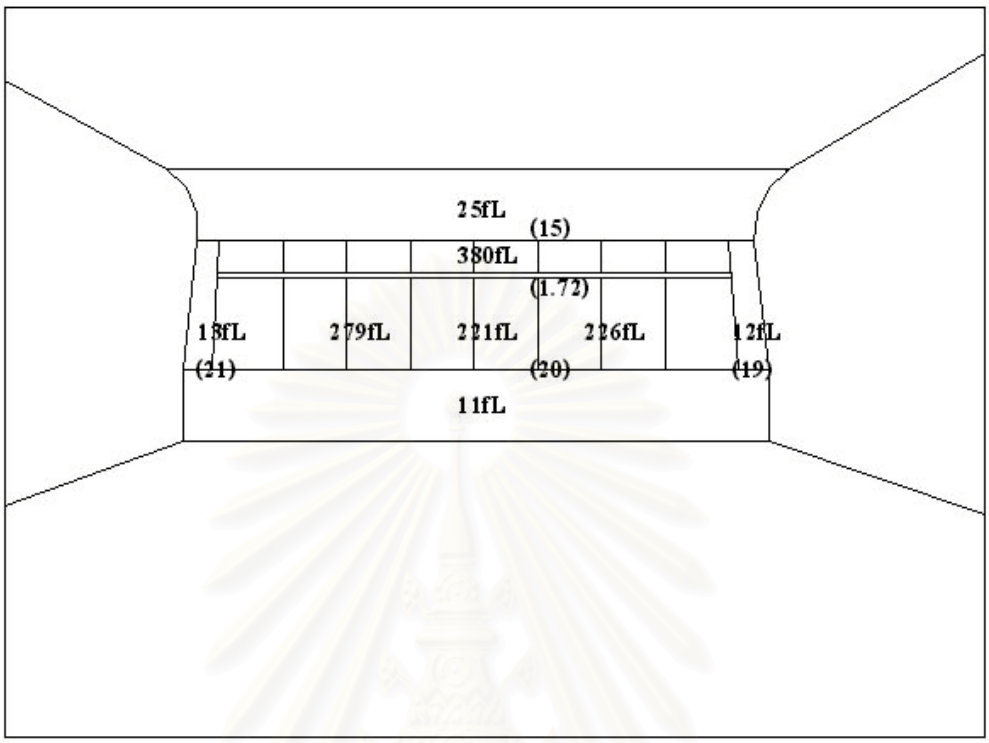
รูปที่ 4.50 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



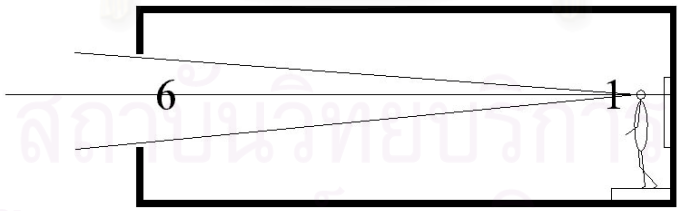
รูปที่ 4.51 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



รูปที่ 4.52 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก

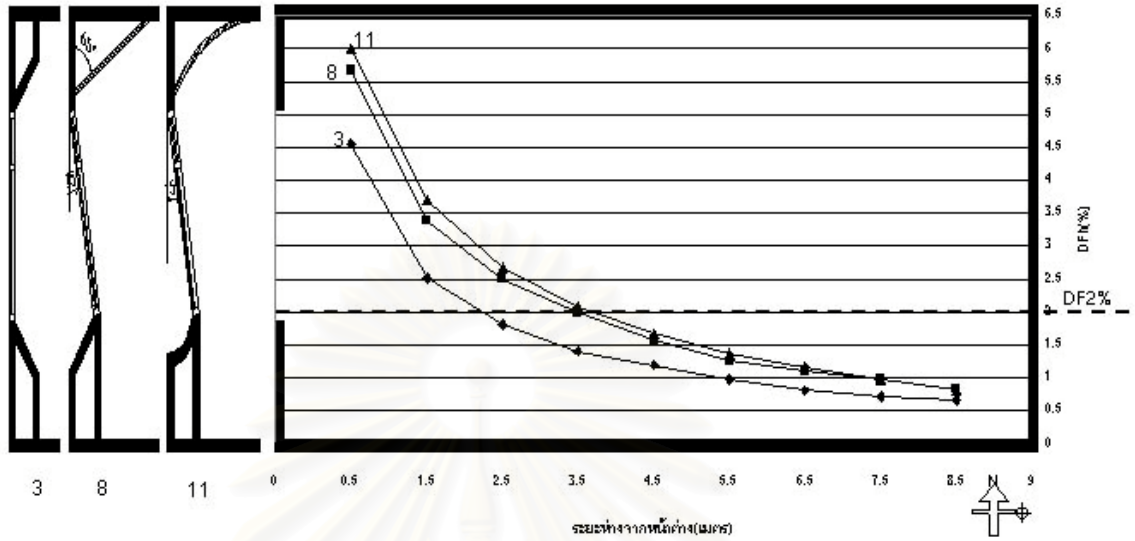


รูปที่ 4.53 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก

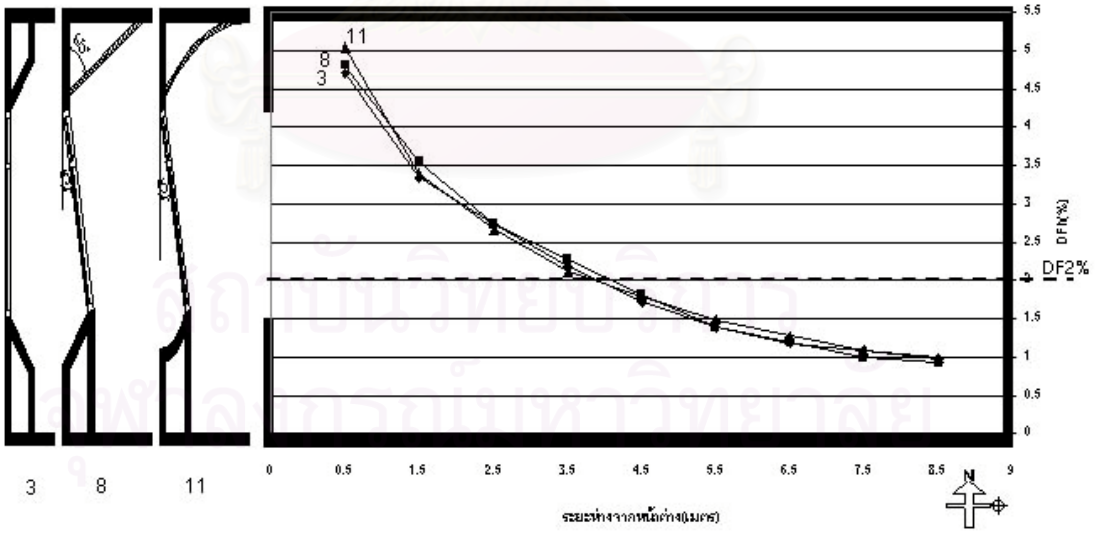


รูปที่ 4.54 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก

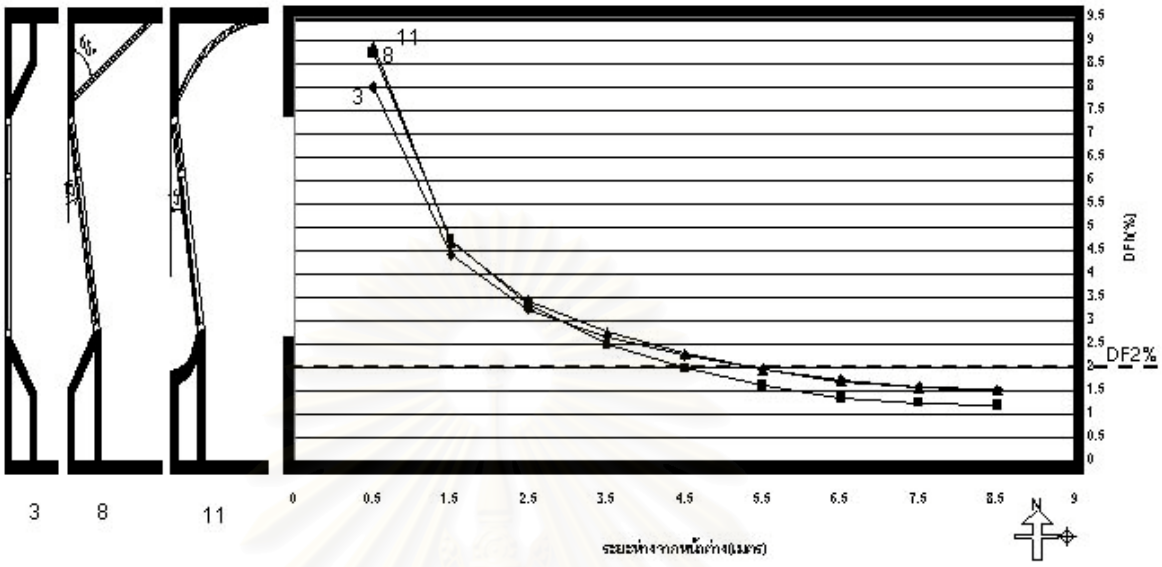
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 8.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 12.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 16.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก

<u>วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก</u>

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.49 ถึงรูปที่ 4.58 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตาพบว่า กรณีศึกษาที่ 3 และ 11 อัตราส่วนเกิน 20:1 คือ 14:1 และ15:1 ส่วนกรณีศึกษาที่ 8 อยู่ในเกณฑ์พอดี คือ10:1 แต่ทั้ง 3 กรณีมีความสว่างที่หน้าต่างที่มุมมอง 0-5 องศาของหน้าต่างไม่เกินมาตรฐานกำหนด 495 fL ดังนั้น การมองเห็นไปยังหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8มีความสบายตามากที่สุด

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.24,4.25 และ 4.26 พบว่า

เวลา 8.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 2 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 3 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 3.50 เมตร

เวลา 12.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4 เมตร

- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4. เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4 เมตร

เวลา 16.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศตะวันออก ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบริต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

<u>กรณีศึกษาที่ 3</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 312 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 39 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 8.2:1

<u>กรณีศึกษาที่ 8</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 326 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 53 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 6:1

<u>กรณีศึกษาที่ 11</u>

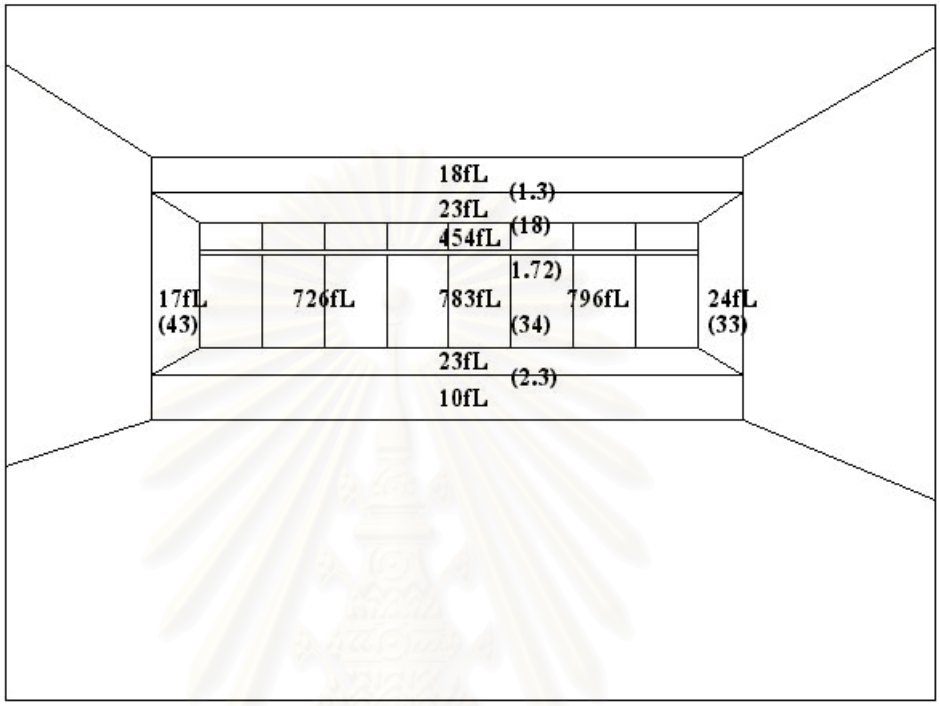
ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 221 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 36 fL

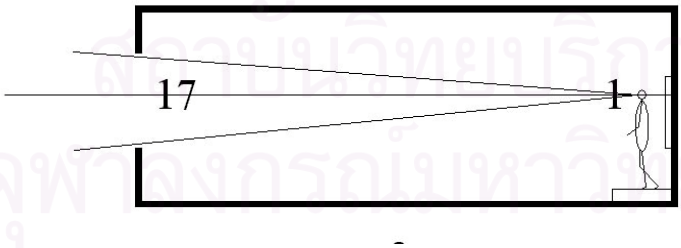
ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 6:1

จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองทิศตะวันออกได้ว่า หน้าต่างทั้ง 3 กรณีศึกษานี้ให้ผลสบายตาในการมองเห็น

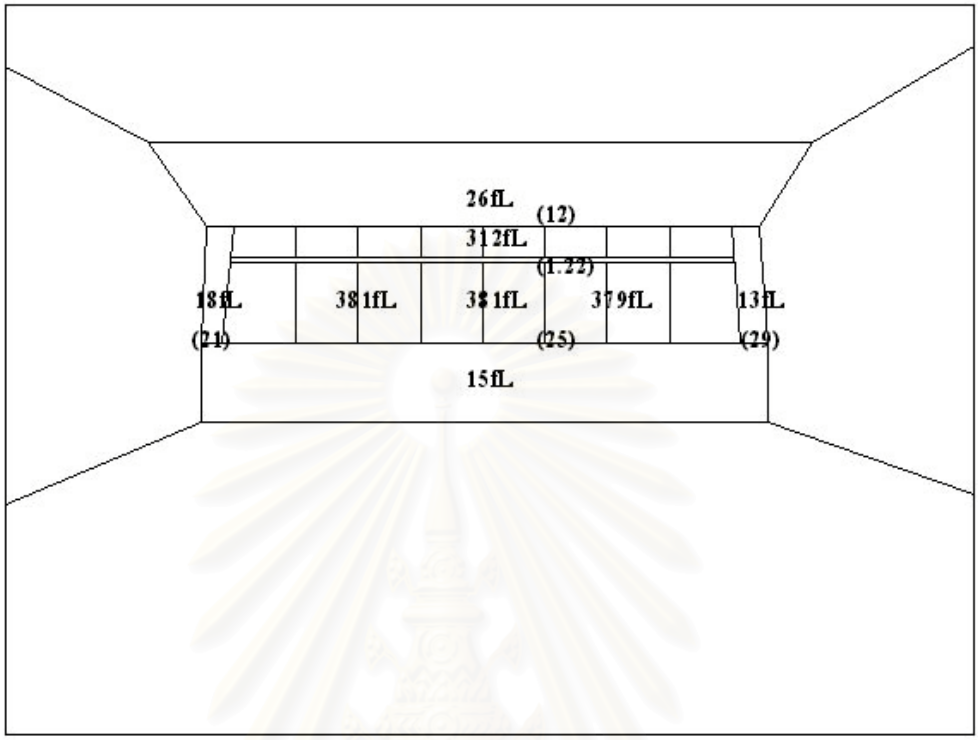
4.3.3.4 ผลการทดลองของหน้าต่างหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ11 เวลา 12.00น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก



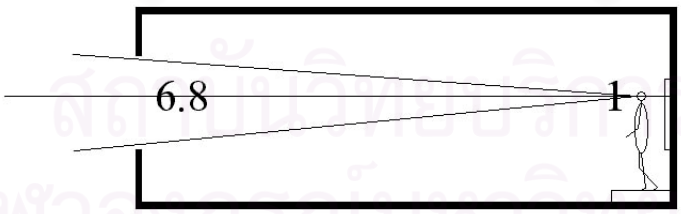
รูปที่ 4.55 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก



รูปที่ 4.56 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก

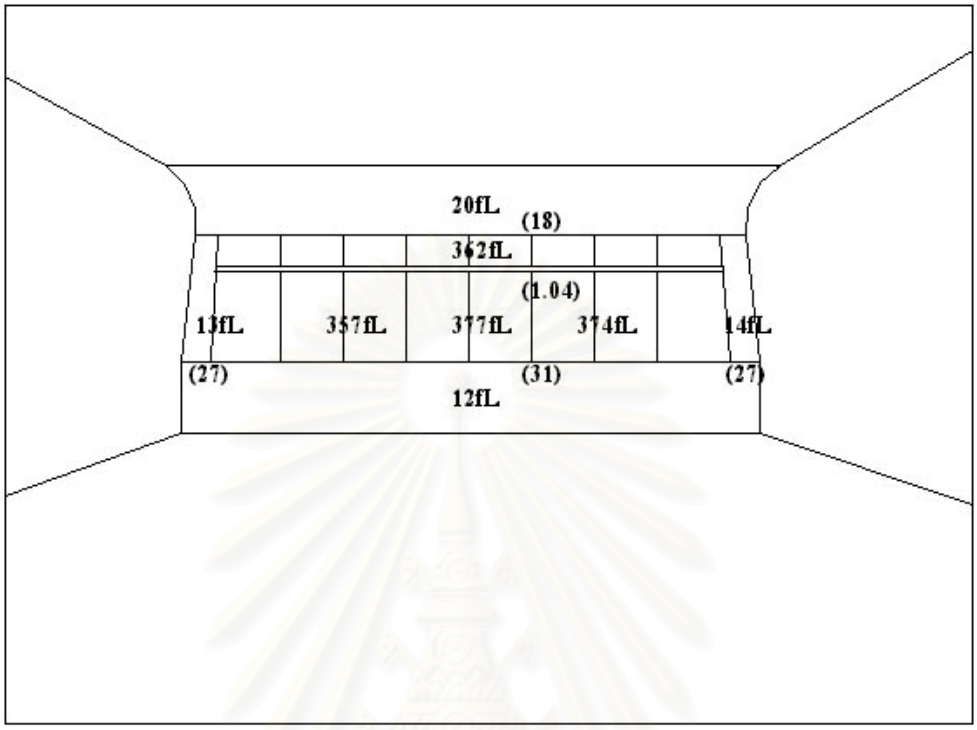


รูปที่ 4.57 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก

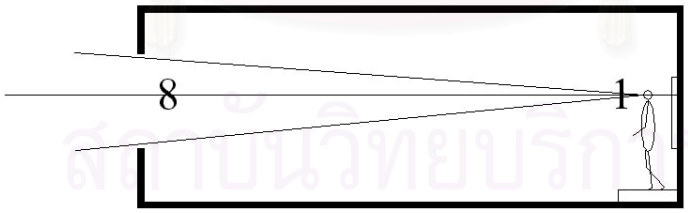


รูปที่ 4.58 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

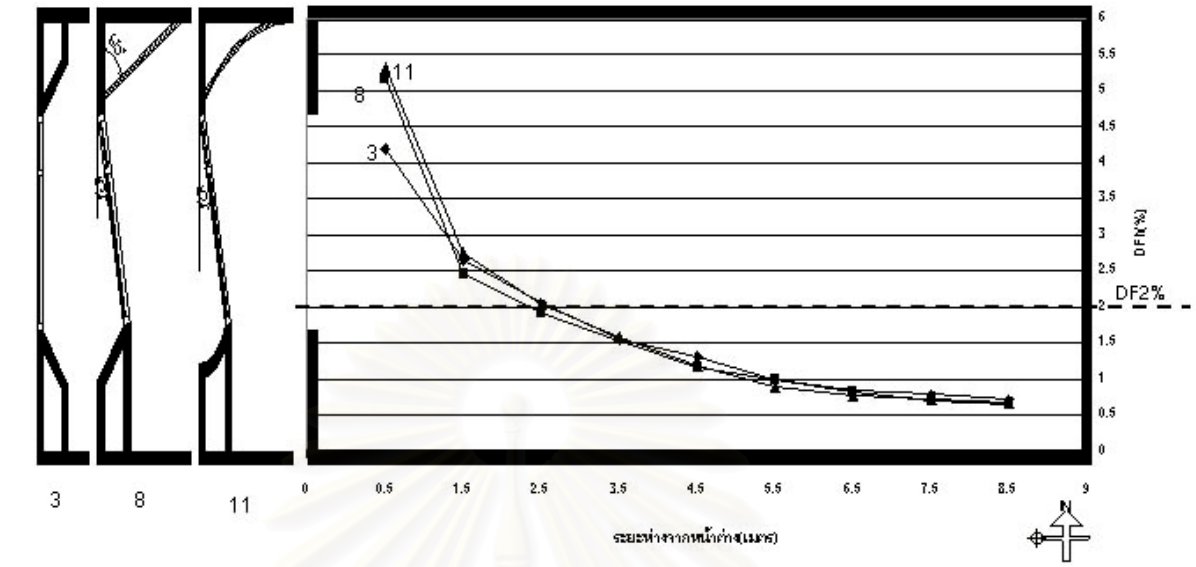


รูปที่ 4.59 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังรอบหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 เวลา 12.00 น ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก

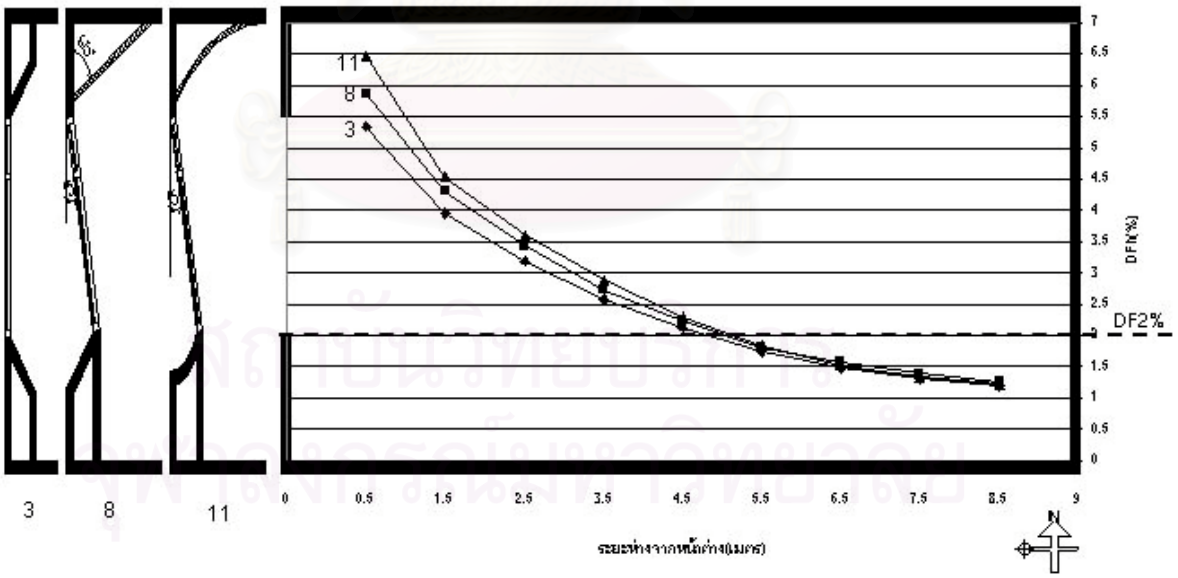


รูปที่ 4.60 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 11 กับบริเวณห่างจากหน้าต่างมากที่สุด เวลา 12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก

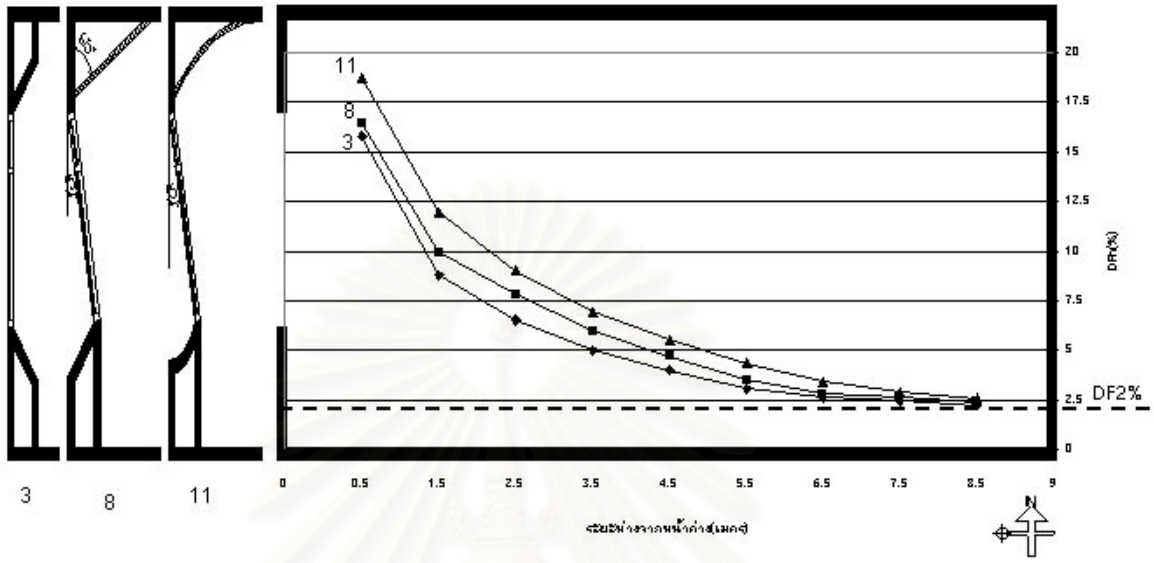
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 8.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 12.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 เวลา 16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก

<u>วิเคราะห์ผลการทดลองหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก</u>

1. การพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่าง

จากรูปที่ 4.55 ถึงรูปที่ 4.60 แสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังรอบหน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตาพบว่า ทั้ง 3 กรณี มีอัตราส่วนไม่เกิน 20:1 และกรณีศึกษาที่ 8 มีอัตราส่วนน้อยที่สุด คือ 12:1 แต่กรณีศึกษาที่ 3 มีความสว่างที่หน้าต่างที่มุมมอง 0-5 องศาของหน้าต่างเกินมาตรฐานกำหนด 495 fL ดังนั้น การมองเห็นไปยังหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 3 มีปัญหาแสงจ้าจากหน้าต่างได้

2. การพิจารณาค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน (DFh)

จากแผนภูมิที่ 4.27,4.28 และ 4.29 พบว่า

เวลา 8.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 2.50 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 2.50 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 2.50 เมตร

เวลา 12.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 4 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5. เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 5 เมตร

เวลา 16.00น.

- กรณีศึกษาที่ 3 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 9 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 8 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 9 เมตร
- กรณีศึกษาที่ 11 ค่า DFh ต่ำสุด ที่ระยะห่างจากหน้าต่าง 9 เมตร

3. การพิจารณามุมมองของครูจากหน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่าง โดยพิจารณาจากอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนในเวลา 12.00 น ทิศตะวันตก ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งการคำนวณวิจัยนี้ใช้ข้อมูลค่า DFv ณ จุดที่ครูยืนที่ระดับตาของครู (1.60 เมตร) กับ ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบตั้ง (DFv) ที่จุดกึ่งกลางหน้าต่างที่ได้จากการทดลองนำมาคำนวณกับค่าความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการหา TYPICAL SKY ตามวิธีการในบทที่ 2 จะได้ค่า TYPICAL SKY ที่มีความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่มองเห็น ณ จุดกึ่งกลางหน้าต่างประมาณ 4000 ฟุตแลมเบริต (fL) ค่าการส่งผ่านกระจกหน้าต่าง 88% และมีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยที่หน้าชั้นเรียนที่ได้จากการคำนวณประมาณ 51% ดูคำนวณจากตารางการคำนวณในภาคผนวก ก ได้ผลการคำนวณดังนี้

<u>กรณีศึกษาที่ 3</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 783 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 46 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 17:1

<u>กรณีศึกษาที่ 8</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 381 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 56 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 6.8:1

<u>กรณีศึกษาที่ 11</u>

ความสว่างที่หน้าต่างจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 377 fL

ความสว่างที่หน้าชั้นเรียนจากการคำนวณมีความสว่างประมาณ 46 fL

ดังนั้นอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ครูยืนหน้าชั้นเรียนเท่ากับ 8:1

จากการพิจารณาทั้ง 3 ข้อ รวมทั้งรูปประกอบสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองทิศตะวันตกได้ว่า หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8นี้ให้ผลสบายตาในการมองเห็นมากที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองห้องเรียนแบบใหม่กรณีศึกษาที่ 3,8 และ11 ทั้ง 4ทิศ

การวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบหน้าต่างที่เหมาะสมมากที่สุดเพียงกรณีเดียว โดยพิจารณาจากตารางที่ 4.3 ซึ่งได้สรุปผลการทดลองทั้ง 4 ทิศ ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 3, 8 และ 11 ห้องฟ้าโปร่ง ทั้ง 4 ทิศ

ทิศเหนือ

กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL0	ค่าDFhที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective DFh(ม.)
3	บน 2.8:1 ผนังเอียงบน 15:1 ผนังเอียงล่าง 16:1 ล่าง 1.9:1	8.8:1	607	8:00 น. 1.36% 12:00น. 1.83% 16:00 น.0.97%	8:00 น. 5.00ม. 12:00น. 5.50ม. 16:00น. 4.00ม.
8	ฝ้าเอียง 9:1 ล่าง 33:1	7.7:1	433	8:00 น. 1.61% 12:00น. 1.43% 16:00 น.1.30%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 5.00ม.
11	ฝ้าโค้ง 12:1 ล่าง 31:1	7.8:1	401	8:00 น. 1.75% 12:00น. 1.36% 16:00 น.1.51%	8:00 น. 7.00ม. 12:00น. 5.00ม. 16:00น. 6.00ม.

ทิศใต้

กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL0	ค่าDFhที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective DFh(ม.)
3	บน 24:1 ผนังเอียงบน 27:1 ผนังเอียงล่าง 35:1 ล่าง 1.9:1	22:1	801	8:00 น. 0.61% 12:00น. 0.94% 16:00 น.1.24%	8:00 น. 1.00ม. 12:00น. 3.50ม. 16:00น. 5.00ม.
8	ฝ้าเอียง 19:1 ล่าง 64:1	21:1	901	8:00 น. 0.70% 12:00น. 1.04% 16:00 น.1.26%	8:00 น. 2.50ม. 12:00น. 4.50ม. 16:00น. 5.00ม.
11	ฝ้าโค้ง 21:1 ล่าง 133:1	30:1	931	8:00 น. 0.69% 12:00น. 1.20% 16:00 น.1.54%	8:00 น. 2.00ม. 12:00น. 4.00ม. 16:00น. 6.00ม.

ทิศตะวันออก

กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL0	ค่าDFhที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective DFh(ม.)
3	บน 1.3:1 ผนังเอียงบน 14:1 ผนังเอียงล่าง 15:1 ล่าง 1.8:1	8.2:1	312	8:00 น. 0.67% 12:00น. 0.97% 16:00 น.1.52%	8:00 น. 2.00ม. 12:00น. 4.00ม. 16:00น. 5.00ม.
8	ฝ้าเอียง 9.7:1 ล่าง 22:1	6:1	326	8:00 น. 0.70% 12:00น. 1.04% 16:00 น.1.26%	8:00 น. 3.00ม. 12:00น. 4.00ม. 16:00น. 5.00ม.
11	ฝ้าโค้ง 12:1 ล่าง 20:1	6:1	221	8:00 น. 0.69% 12:00น. 1.20% 16:00 น.1.54%	8:00 น. 3.50ม. 12:00น. 4.00ม. 16:00น. 5.00ม.

ทิศตะวันตก

กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL0	ค่าDFhที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective DFh(ม.)
3	บน 1.3:1 ผนังเอียงบน 18:1 ผนังเอียงล่าง 34:1 ล่าง 2.3:1	17:1	783	8:00 น. 0.71% 12:00น. 1.19% 16:00 น.2.21%	8:00 น. 2.50ม. 12:00น. 5.00ม. 16:00น. 9.00ม.
8	ฝ้าเอียง 12:1 ล่าง 25:1	6.8:1	381	8:00 น. 0.65% 12:00น. 1.25% 16:00 น.2.4%	8:00 น. 2.50ม. 12:00น. 5.00ม. 16:00น. 9.00ม.
11	ฝ้าโค้ง 18:1 ล่าง 31:1	8:1	377	8:00 น. 0.66% 12:00น. 1.22% 16:00 น.2.55%	8:00 น. 3.00ม. 12:00น. 5.00ม. 16:00น. 9.00ม.

จากตารางที่ 4.3 และรูปแสดงอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่าง(Contrast Brightness Ratio) ทั้ง 4 ทิศของทั้ง 3 กรณีศึกษา พบว่ากรณีศึกษาที่ 3 ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการออกแบบห้องเรียนแบบใหม่ เนื่องจากมีความสว่างที่หน้าต่างที่อยู่ในมุมมองของตาที่มุม 0-5 องศา มากเกินค่าความสว่างสูงสุดที่ตายอมรับได้ คือ เกิน 495 fL ส่วนกรณีศึกษาที่ 8และ 11 ให้ผลด้านความสบายที่ใกล้เคียงกัน แต่กรณีศึกษาที่ 8 ให้ผลด้านความสบายตาดีกว่าเพราะมีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างของหน้าต่างกับผนังโดยรอบน้อยกว่า และในด้านการก่อสร้างการทำฝ้าเพดานและผนังเอียงกรณีศึกษาที่ 8 ทำได้ง่ายกว่าการทำฝ้าเพดานและผนังโค้ง ซึ่งถ้าการก่อสร้างฝ้า

เพดานและผนังโค้งไม่ปราณีตจะทำให้พื้นผิวส่วนโค้งไม่เรียบสม่ำเสมอ และมีผลต่อการสะท้อนแสงที่ไม่สม่ำเสมอด้วย ดังนั้นเป็นกรณีศึกษาที่ 8 จึงเป็นกรณีศึกษาที่เหมาะสมมากที่สุดที่สามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ เพราะให้ความสบายตามากที่สุดและการทำการก่อสร้างสามารถทำได้ง่ายกว่าและปราณีตกว่ากรณีศึกษาที่ 11

และจากผลการทดลองยังพบอีกว่าการจัดวางตำแหน่งหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8ทางทิศตะวันออกให้ผลทางด้านความสบายตาดีกว่าทิศอื่นๆ เพราะมีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียนน้อยที่สุด คือ 6:1 ส่วนการจัดวางหน้าต่างทางทิศใต้ควรเลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่านแสงน้อยกว่า 88% มากๆ จะช่วยลดความสว่างของแสงธรรมชาติที่ตกกระทบหน้าต่างทางทิศนี้ได้ อย่างไรก็ตามการเลือกกระจกที่มีค่าการส่งผ่านน้อยต้องคำนึงถึงปัญหาระดับความส่องสว่างที่จะลดลงรวมทั้งปัญหาการดูดกลืนความร้อนของกระจกชนิดนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.5 แนวทางการประยุกต์ใช้ห้องเรียนรูปแบบใหม่

การวิเคราะห์ผลการทดลองทั้ง 4 ทิศ สรุปว่าหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 เป็นกรณีที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการออกแบบห้องเรียนแบบใหม่ เพราะให้ความสบายตามากที่สุด และจากตารางที่ 4.3 เป็นตารางรวบรวมผลการทดลองหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 ทั้ง 4 ทิศ เพื่อใช้ในการพิจารณาการนำหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 ไปประยุกต์ใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8ทั้ง 4 ทิศ

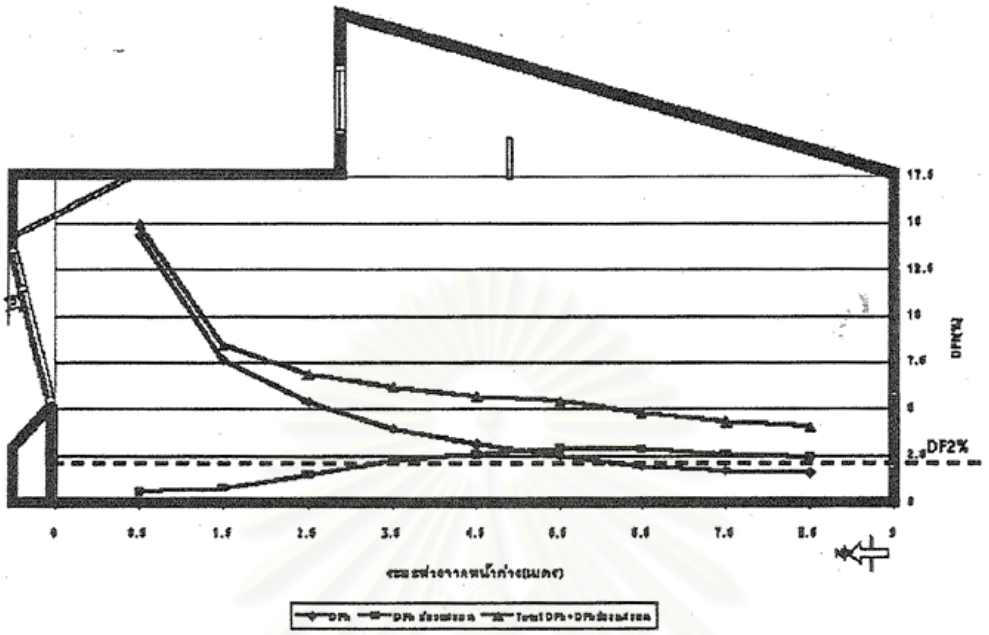
ทิศ	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง (fL)	ค่าDFhที่หน้าชั้นเรียน (%)	ระยะEffective Daylight(ม.)
เหนือ	7.7:1	433	8:00 น. 1.61% 12:00น. 1.43% 16:00 น.1.30%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 5.00ม.
ใต้	21:1	901	8:00 น. 0.70% 12:00น. 1.04% 16:00 น.1.26%	8:00 น. 2.50ม. 12:00น. 4.50ม. 16:00น. 5.00ม.
ตะวันออก	6:1	326	8:00 น. 0.70% 12:00น. 1.04% 16:00 น.1.26%	8:00 น. 3.00ม. 12:00น. 4.00ม. 16:00น. 5.00ม.
ตะวันตก	6.8:1	381	8:00 น. 0.65% 12:00น. 1.25% 16:00 น. 2.4%	8:00 น. 2.50ม. 12:00น. 5.00ม. 16:00น. 9.00ม.

การออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ที่ใช้หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 โดยกำหนดให้หน้าต่างของห้องเรียนอยู่ด้านสกัดของห้อง จากตารางสรุปผลการทดลองทั้ง 4 ทิศพบว่า การจัดวางหน้าต่างทางทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก มีประสิทธิภาพความสว่างของแสงธรรมชาติ (Effective Daylight) เวลาช่วงเช้าถึงเที่ยงมีระยะห่างจากหน้าต่างประมาณ 2.50 – 4.00 เมตร จึงควรออกแบบห้องเรียนให้มีช่องแสงด้านบน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแสงภายในห้องดีขึ้น

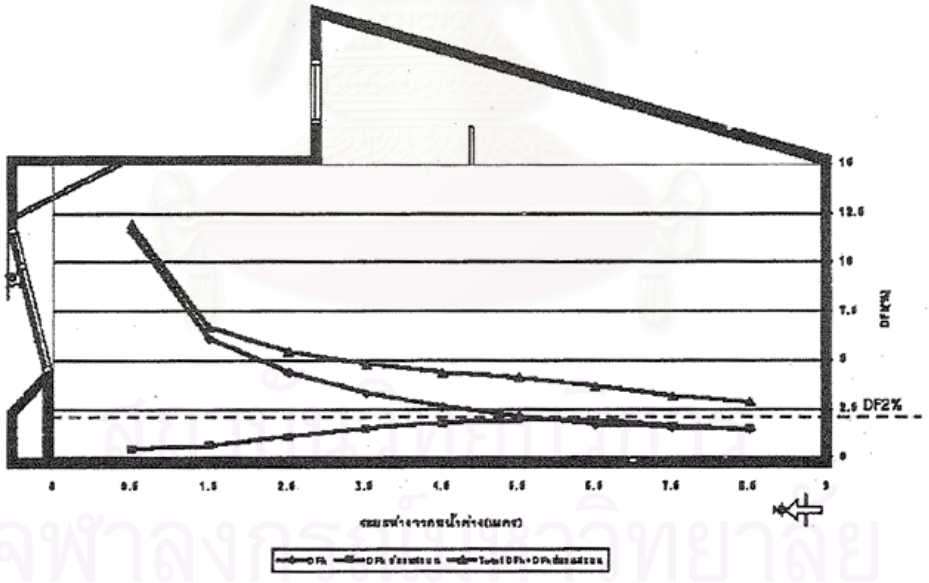
การศึกษาทดลองนี้กำหนดให้ช่องแสงด้านบนมีขนาดความสูงของช่องแสง 0.60 เมตร และให้อยู่ห่างจากหน้าต่างด้านข้างตามแนวระนาบนอน 3 เมตร ผลของการทดลองห้องเรียนรูปแบบใหม่กับช่องแสงด้านบนทุกทิศ 3 เวลา ได้แก่ 8.00,12.00 และ16.00 น.) ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

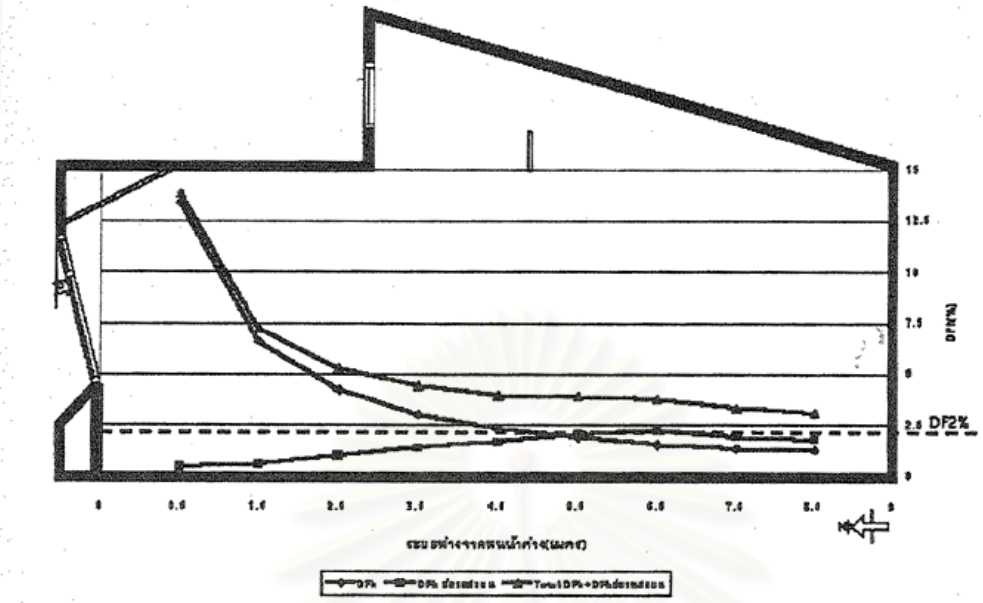
4.3.5.1 ผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสง ท้องฟ้าโปร่ง ทั้ง 4 ทิศ



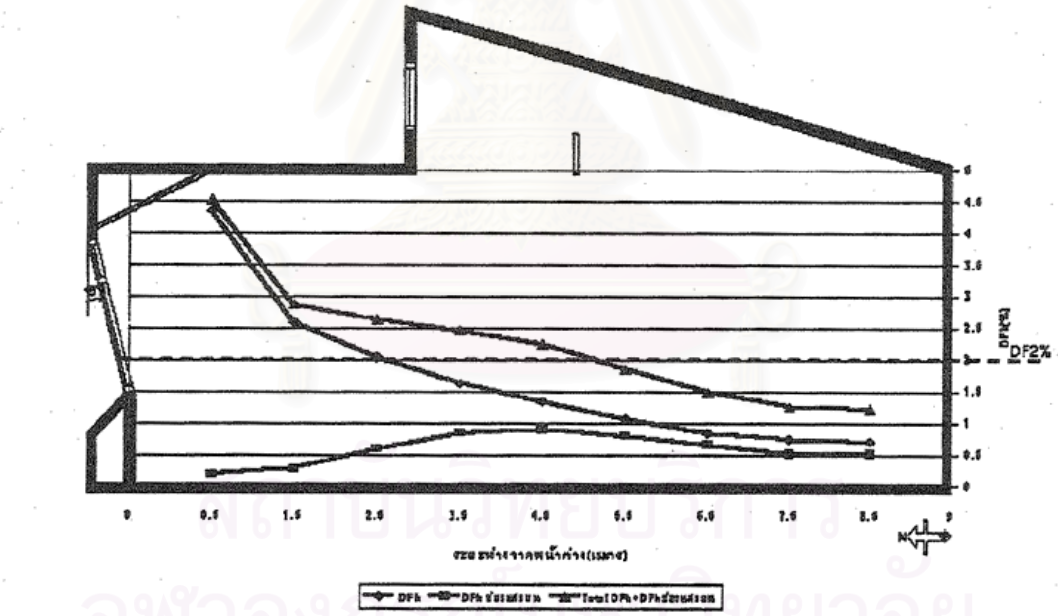
แผนภูมิที่ 4.30 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา 8.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



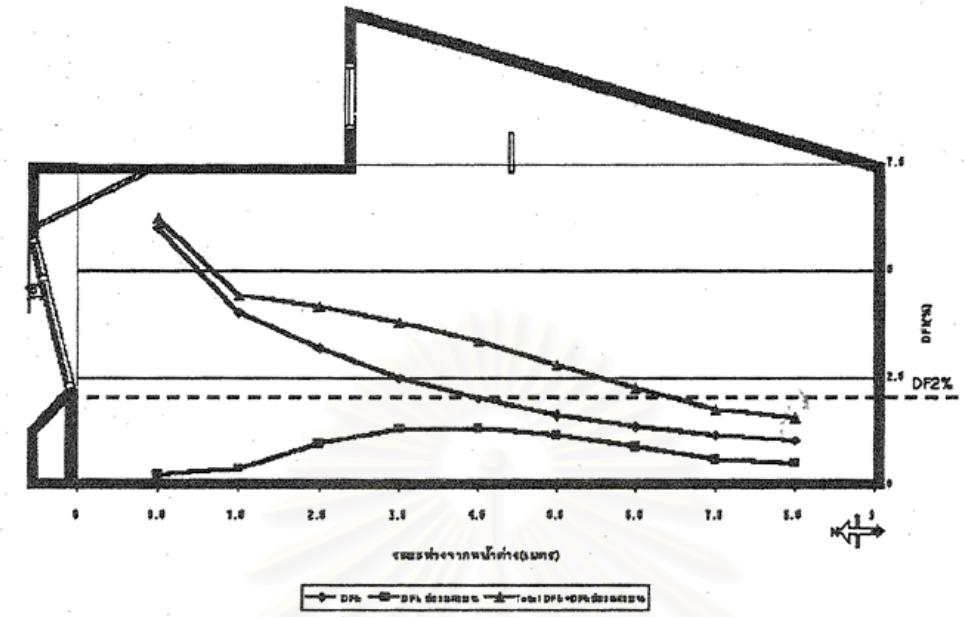
แผนภูมิที่ 4.31 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



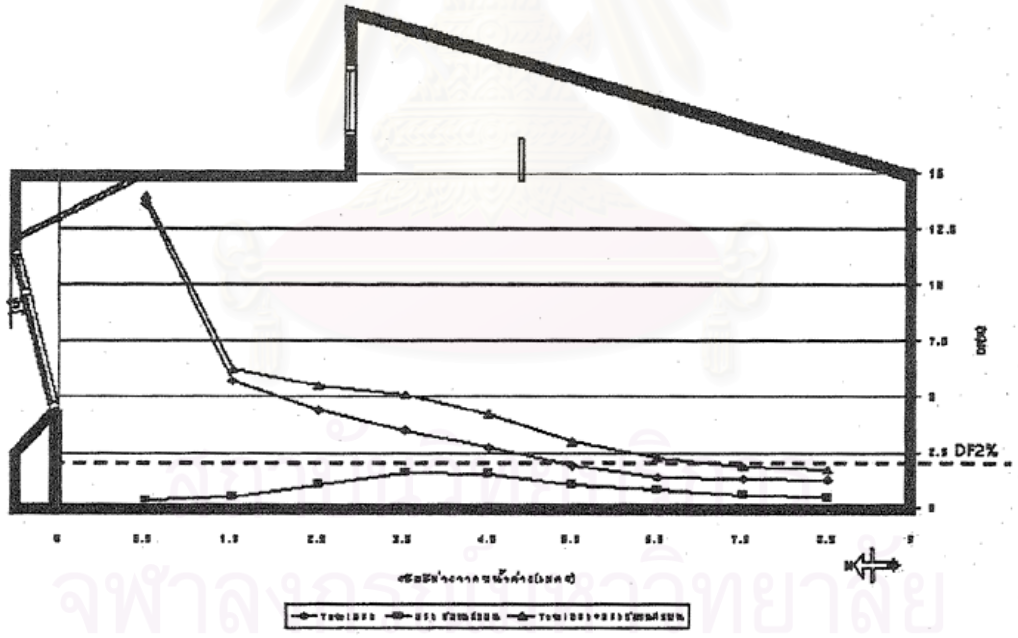
แผนภูมิที่ 4.32 แสดงการค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ



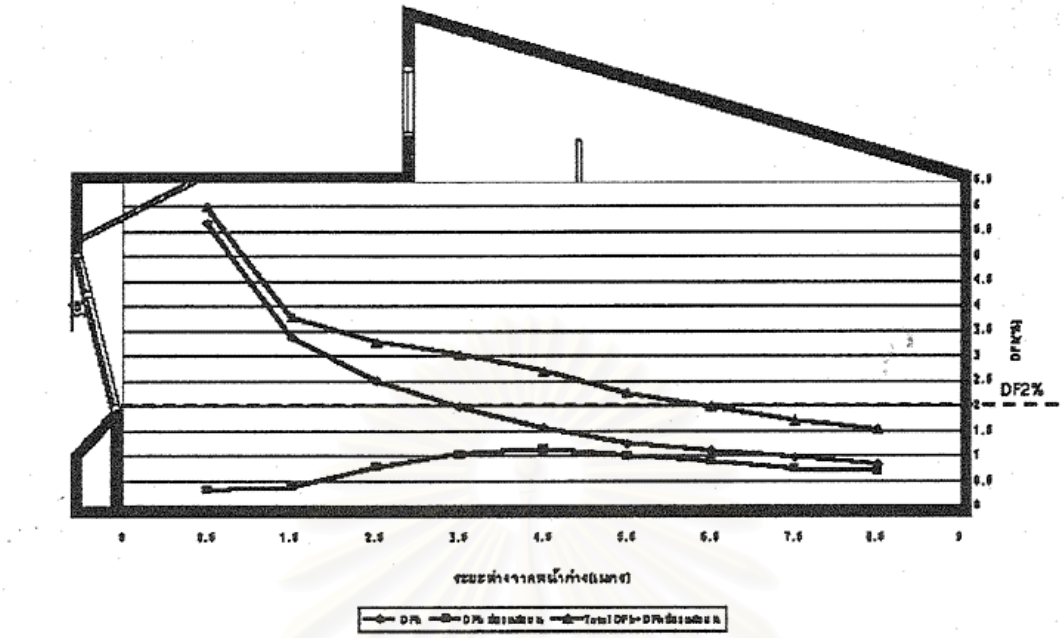
แผนภูมิที่ 4.33 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา 8.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้



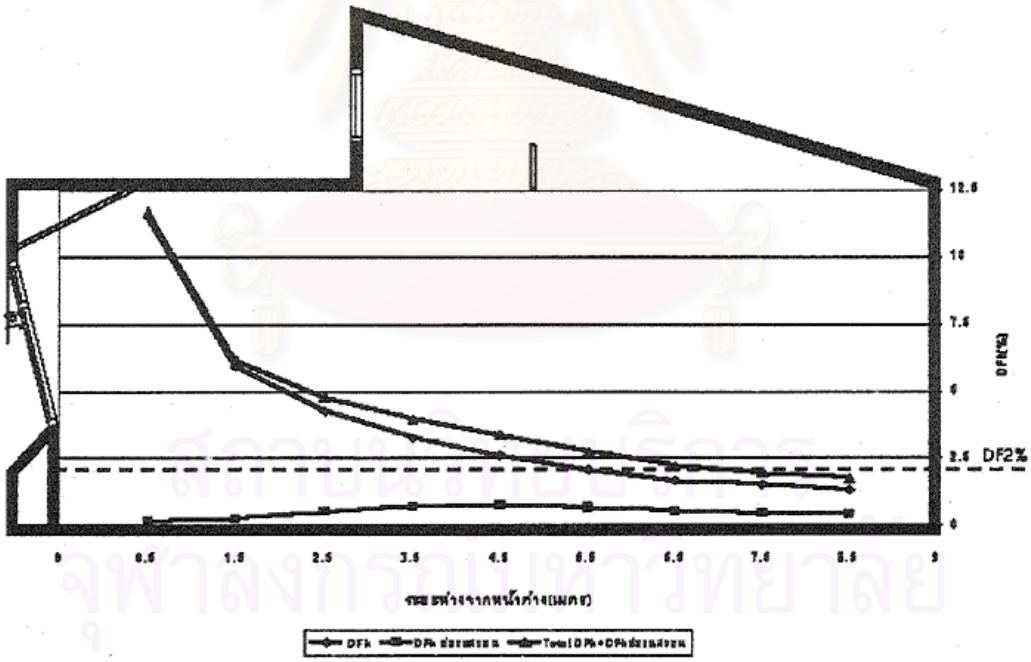
แผนภูมิที่ 4.34 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้



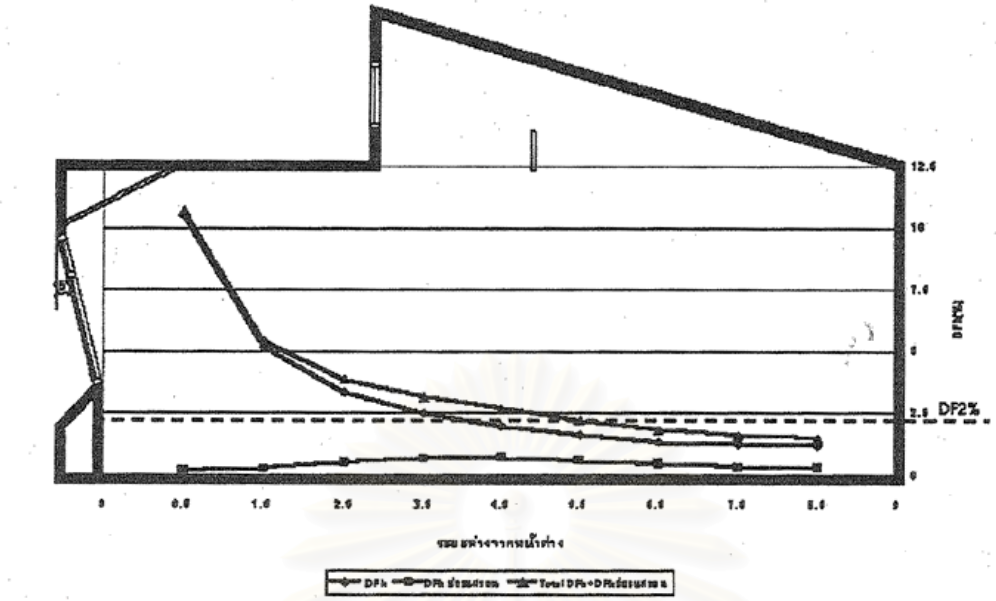
แผนภูมิที่ 4.35 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศใต้



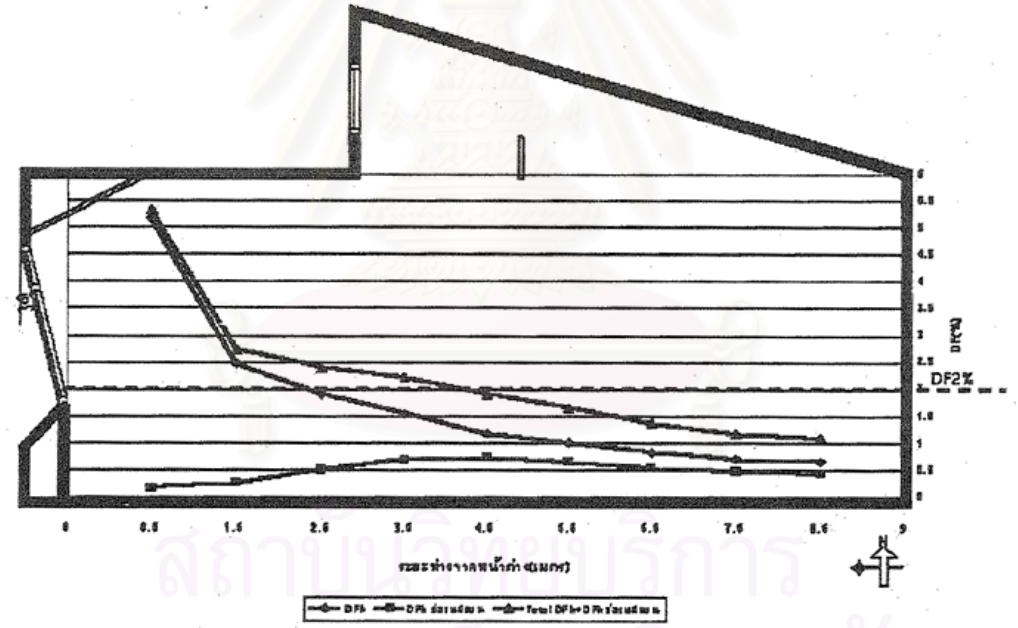
แผนภูมิที่ 4.36 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา 8.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



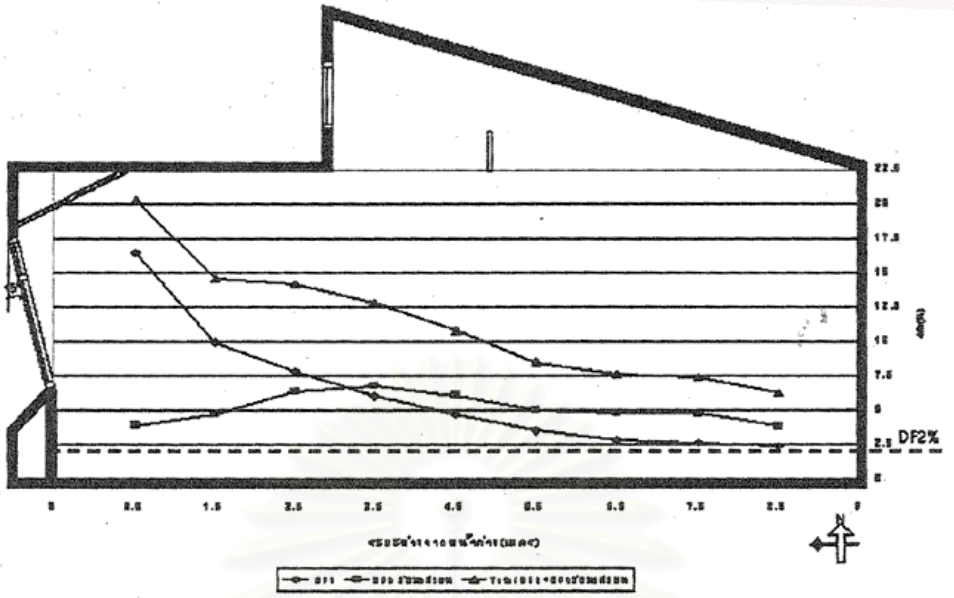
แผนภูมิที่ 4.37 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



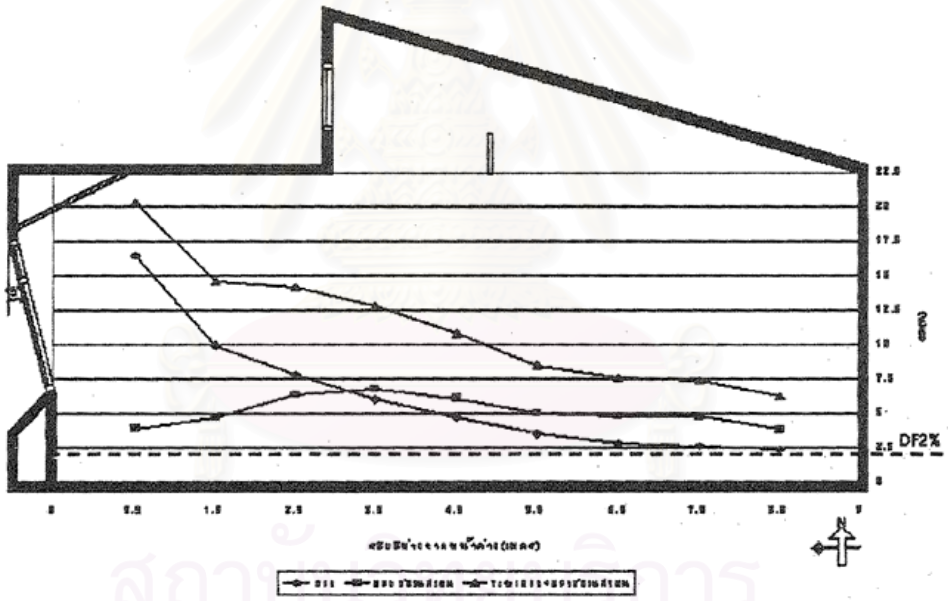
แผนภูมิที่ 4.38 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา 16.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4.39 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา 8.00น. ห้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4.40 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา12.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4.41 แสดงค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ระนาบนอน กรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน เวลา16.00น. ท้องฟ้าโปร่ง ทิศตะวันตก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน ห้องฟ้าโปร่ง ทั้ง 4 ทิศ

ทิศ	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าขั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง (fL)	ค่าDFที่หน้าขั้นเรียน (%)	ระยะEffective Daylight(ม.)
เหนือ	4:1	433	8:00 น. 4.04% 12:00น. 2.86% 16:00 น. 3.10%	8:00 น. 9.00ม. 12:00น. 9.00ม. 16:00น. 9.00ม.
ใต้	17:1	901	8:00 น. 1.21% 12:00น. 1.57% 16:00 น. 1.72%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 7.00ม.
ตะวันออก	5:1	326	8:00 น. 1.53% 12:00น. 1.33% 16:00 น. 1.47%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 5.50ม. 16:00น. 6.00ม.
ตะวันตก	4.7:1	381	8:00 น. 1.08% 12:00น. 2.14% 16:00 น. 6.23%	8:00 น. 4.00ม. 12:00น. 9.00ม. 16:00น. 9.00ม.

จากตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองการจัดวางตำแหน่งหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 กับการประยุกต์ใช้ช่องแสงด้านบน พบว่า ประสิทธิภาพความสว่างของแสงธรรมชาติมีระยะห่างจากหน้าต่างไกลขึ้น โดยเฉพาะการจัดวางหน้าต่างทางทิศเหนือจะเห็นว่าให้ความสว่างห่างจากหน้าต่างจนถึงหน้าขั้นเรียนตลอดช่วงเวลาเรียน คือ 8.00-16.00น และให้ผลทางด้านความสบายตาดีกว่าทิศอื่นๆ เพราะมีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าขั้นเรียนน้อยที่สุด คือ 4:1 ส่วนการจัดวางหน้าต่างทางทิศใต้ควรเลือกใช้กระจกที่มีค่าการส่งผ่านแสงน้อยกว่า 88% มากๆ จะช่วยลดความสว่างของแสงธรรมชาติที่ตกกระทบหน้าต่างทางทิศนี้ได้ อย่างไรก็ตาม การเลือกกระจกที่มีค่าการส่งผ่านน้อยต้องคำนึงถึงปัญหาระดับความส่องสว่างที่จะลดลงรวมทั้งปัญหาการดูดกลืนความร้อนของกระจกชนิดนี้ด้วย

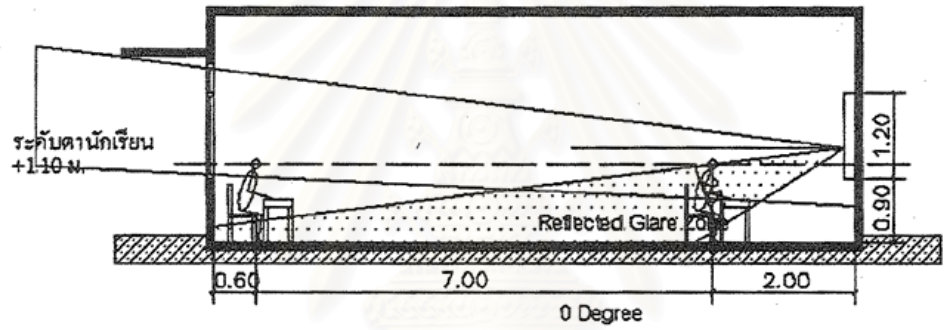
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.6 ผลการทดลองแสงจ้าสะท้อนที่กระดานไวท์บอร์ด

4.3.6.1 การทดลองแสงจ้าสะท้อนที่กระดานไวท์บอร์ดจากช่องแสงด้านข้าง

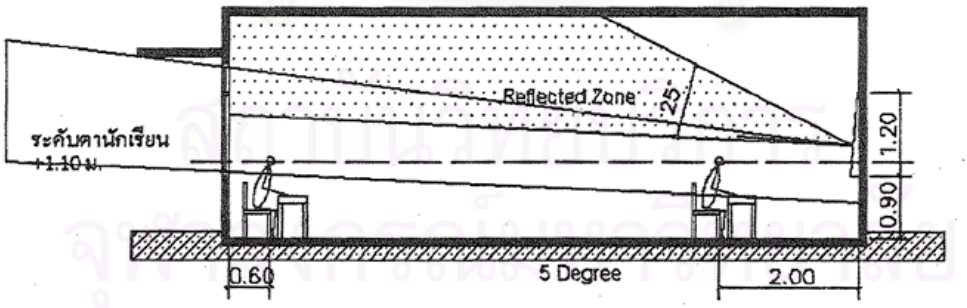
การศึกษาวิจัยห้องเรียนรูปแบบใหม่นี้เลือกกระดานไวท์บอร์ดเป็นกระดานที่ใช้ในห้องเรียน เพราะไม่มีปัญหาเรื่องฝุ่นชอล์ค และเนื่องจากกระดานไวท์บอร์ดมีพื้นผิวที่มีคุณสมบัติกึ่งมันเงา (Specular Diffuse) เมื่อการติดตั้งกระดานตามระนาบของผนังห้อง(ไม่เอียงหรือทำมุมสอบกับผนังในกรณีนี้ขอใช้ชื่อมุม 0 องศา) จึงทำให้เกิดเงาสะท้อนที่กระดานเมื่อมีแหล่งกำเนิดแสงที่ทำมุมกับแสงสะท้อนและสะท้อนเข้าสู่ตาในมุมวิกฤต ดังนั้นการศึกษาทดลองนี้จึงได้เสนอวิธีการปรับเอียงกระดาน 2 ลักษณะ ได้แก่ การเอียงกระดานที่สอบเข้าด้านบน กับการเอียงกระดานที่สอบเข้าด้านล่าง โดยทำการทดลองเพื่อเลือกมุมสอบที่เหมาะสม กำหนดให้มีมุมสอบ 2 มุม คือ 5 องศา และ 7.5 องศา

กรณีไม่ปรับเอียงกระดาน (0 องศา)

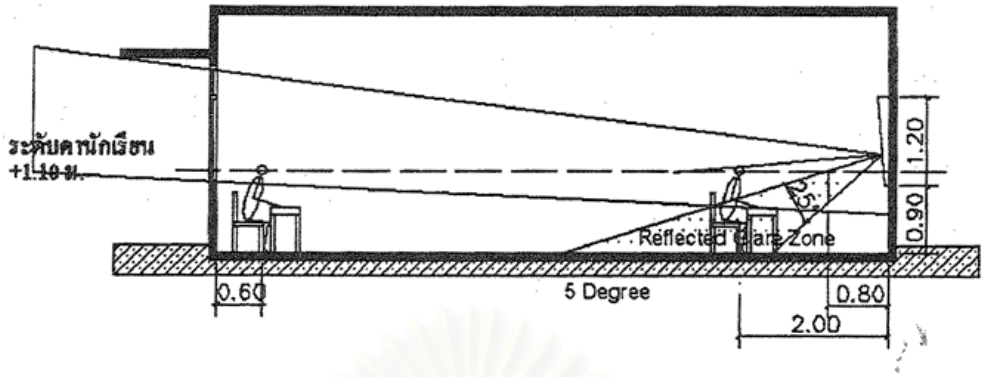


รูปที่ 4.61 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีไม่ปรับเอียงกระดาน

กรณีที่ปรับเอียงกระดาน 5 องศา

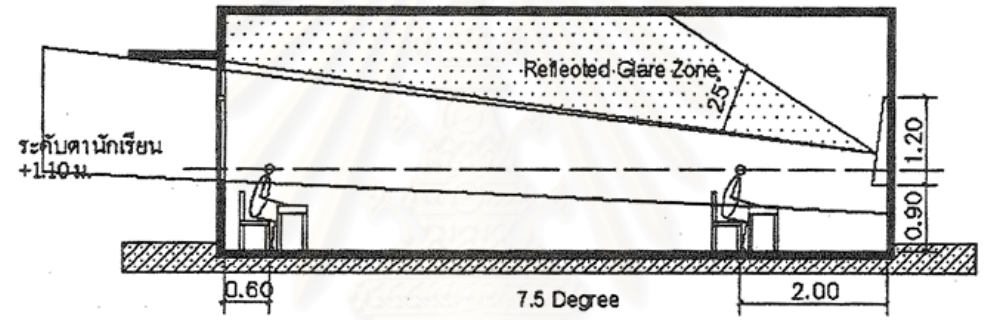


รูปที่ 4.62 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาสอบบน

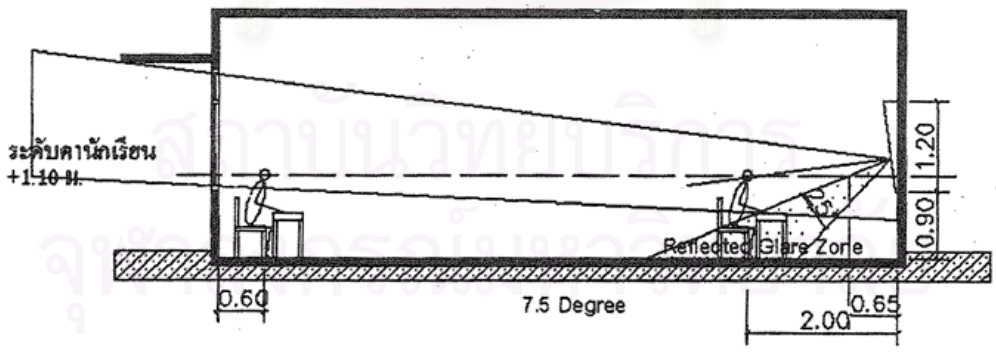


รูปที่ 4.63 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาสอบล่าง

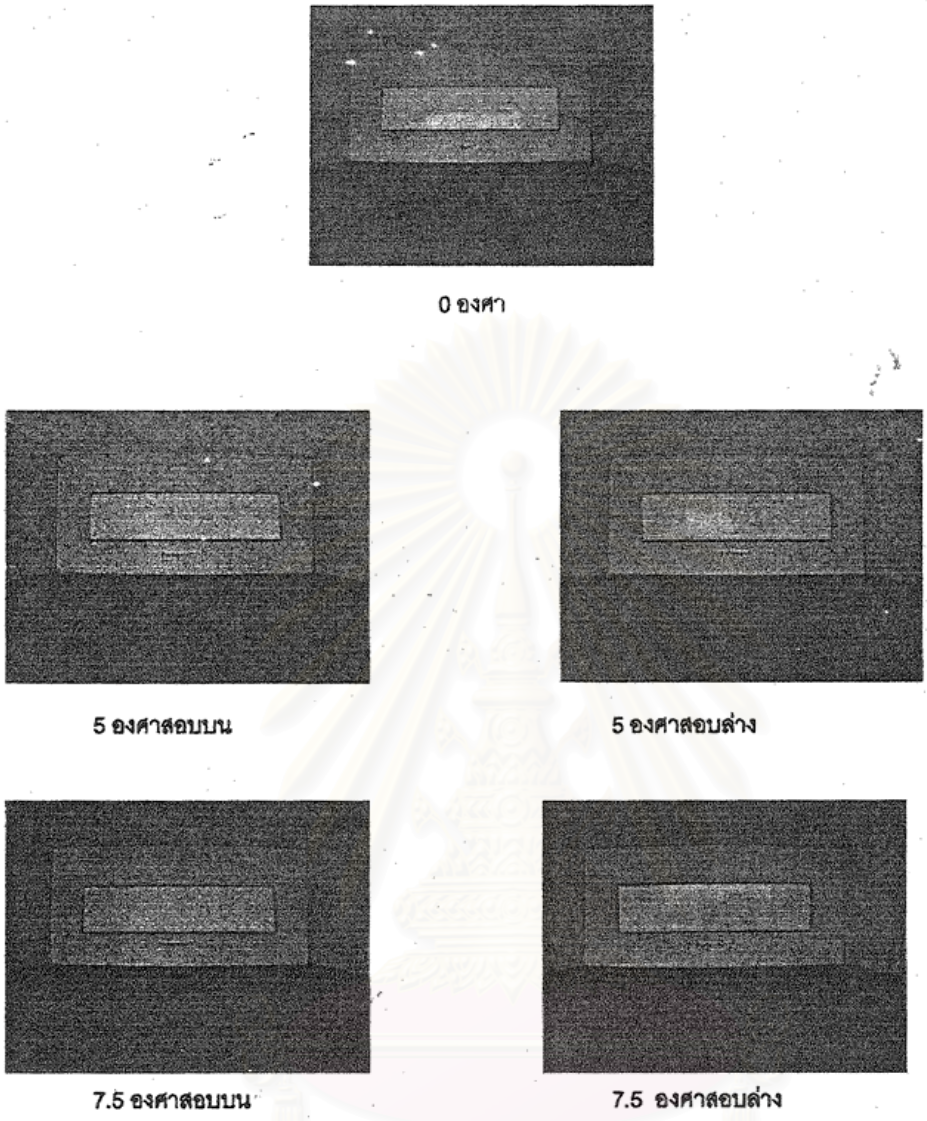
กรณีที่ปรับเอียงกระดาน 7.5 องศา



รูปที่ 4.64 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบบน



รูปที่ 4.65 แสดงช่องแสงด้านข้างกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบล่าง



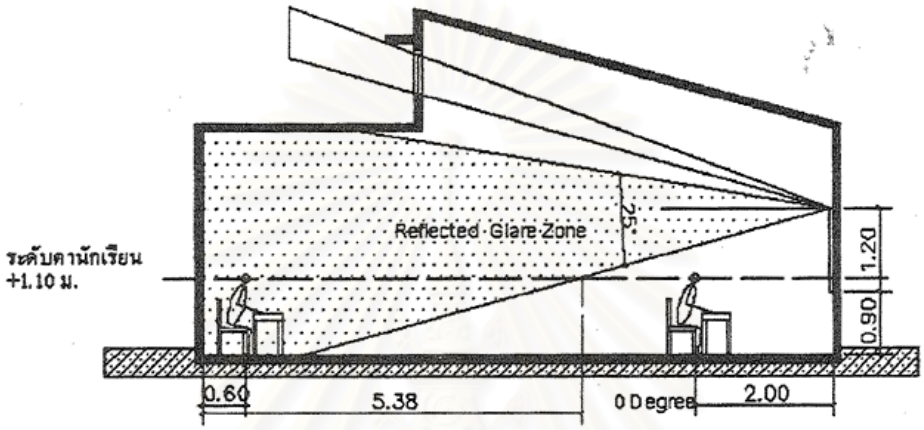
รูปที่ 4.66 แสดงภาพถ่ายกรณีช่องแสงด้านข้างกับการเกิดแสงจ้าสะท้อน

จากผลการศึกษาแสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้างที่ตกกระทบกระดานไวท์บอร์ดและทำให้มีแสงจ้าสะท้อนเข้าตาในมุมวิกฤติที่ 25 องศา กับการติดตั้งกระดานแบบแนบผนังและการติดตั้งแบบเอียงกระดานเป็นมุม 5 และ 7.5 องศา ตามลำดับ รวมทั้งการถ่ายภาพที่หน้ากระดานภายในหุ่นจำลอง เพื่อตรวจสอบสภาพความเป็นจริงของแสงจ้าสะท้อนที่เกิดขึ้นพบว่า การหลีกเลี่ยงปัญหาแสงจ้าสะท้อนในการวิจัยห้องเรียนแบบใหม่นี้จะต้องติดตั้งกระดานโดยเอียงทำมุมสอบเข้าด้านบน และจากการทดลองสรุปว่าควรเอียงกระดานทำมุม 5 องศา เพราะมีระยะยื่นที่ส่วนล่างของกระดานน้อยกว่าการเอียงทำมุม 7.5 องศา คือยื่นห่างจากผนังเพียง 12.50 เซนติเมตร

4.3.6.2 การทดลองแสงจ้าสะท้อนที่กระดานไวท์บอร์ดจากช่องแสงด้านบน

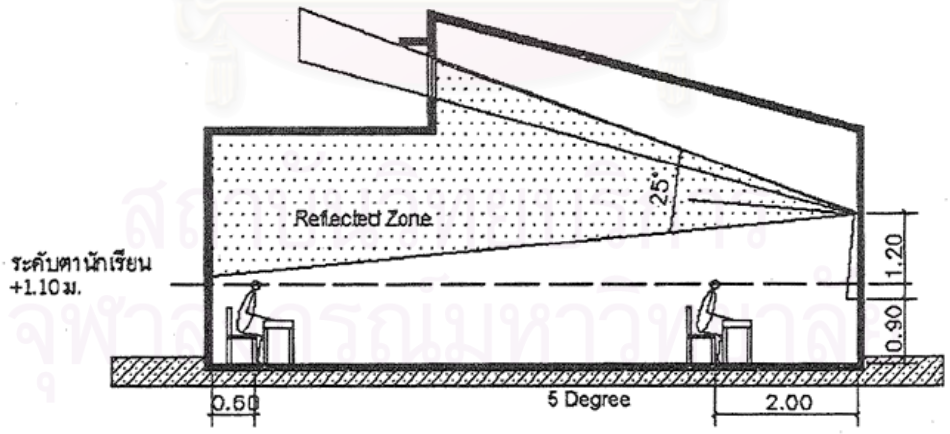
การออกแบบให้จากช่องแสงด้านบนเพื่อเพิ่มความสว่างภายในห้องเรียน มีผลกระทบต่อการติดตั้งกระดานไวท์บอร์ดจึงได้แสดงผลการทดลองช่องแสงด้านบนกับการปรับเอียงกระดานตามมุมต่าง ดังนี้

กรณีไม่ปรับเอียงกระดาน (0)

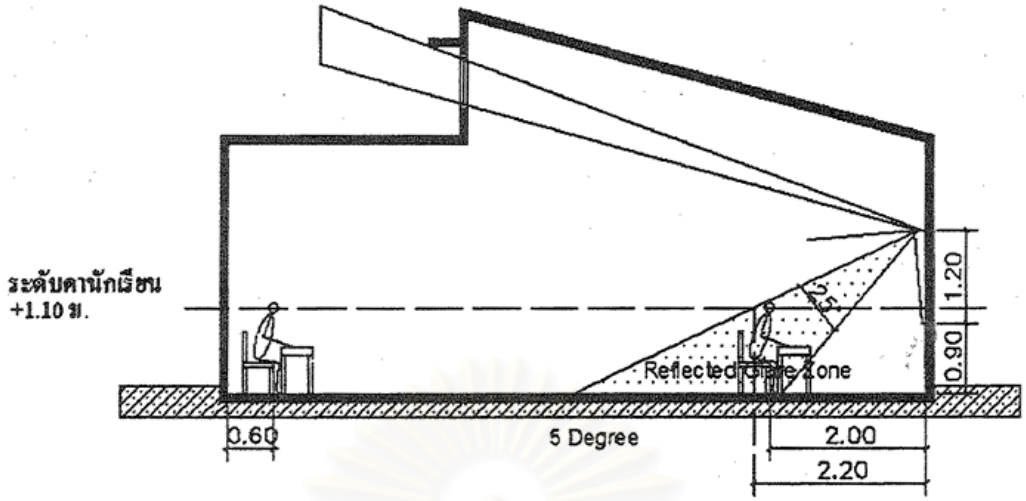


รูปที่ 4.67 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีไม่ปรับเอียงกระดาน

กรณีที่ปรับเอียงกระดาน 5 องศา

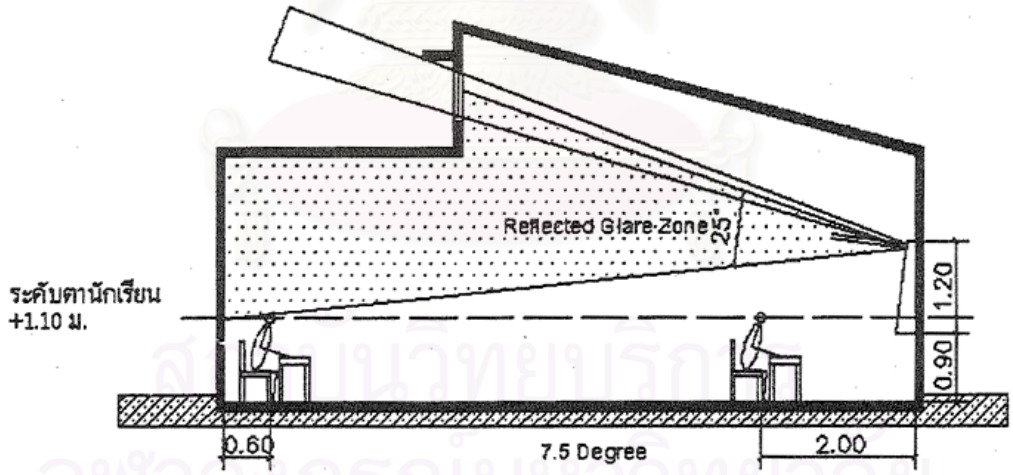


รูปที่ 4.68 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาลอบบน

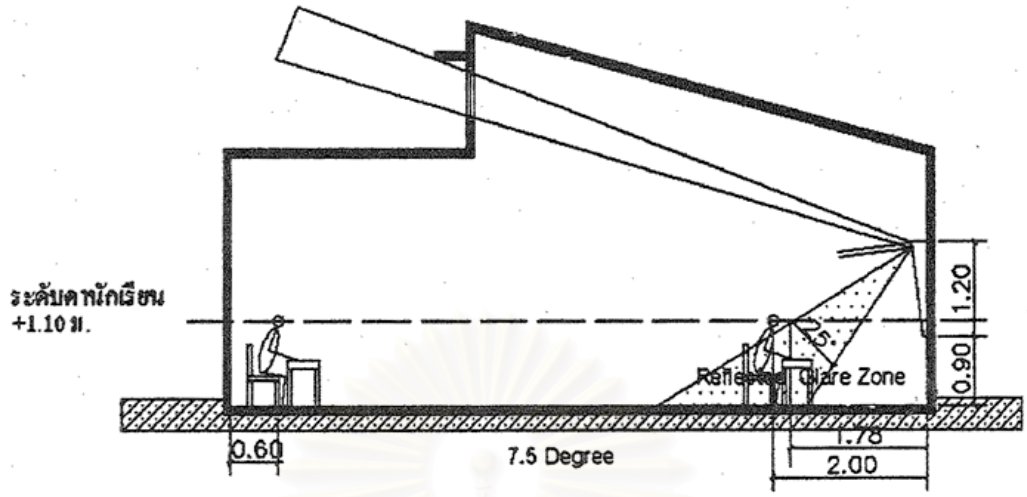


รูปที่ 4.69 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาสอบล่าง

กรณีที่ปรับเอียงกระดาน 7.5 องศา

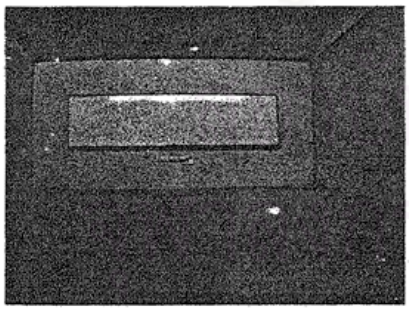


รูปที่ 4.70 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบบน

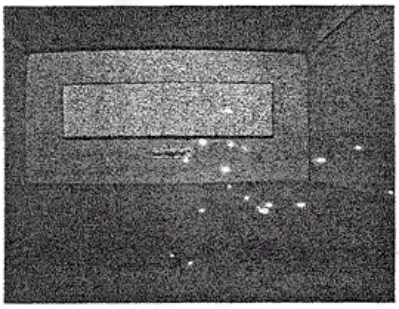


รูปที่ 4.71 แสดงช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 7.5 องศาสอบล่าง

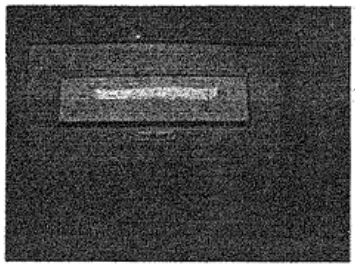
0 องศา



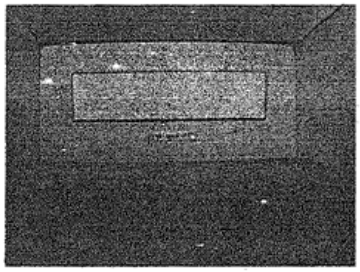
5 องศาสอบบน



5 องศาสอบล่าง



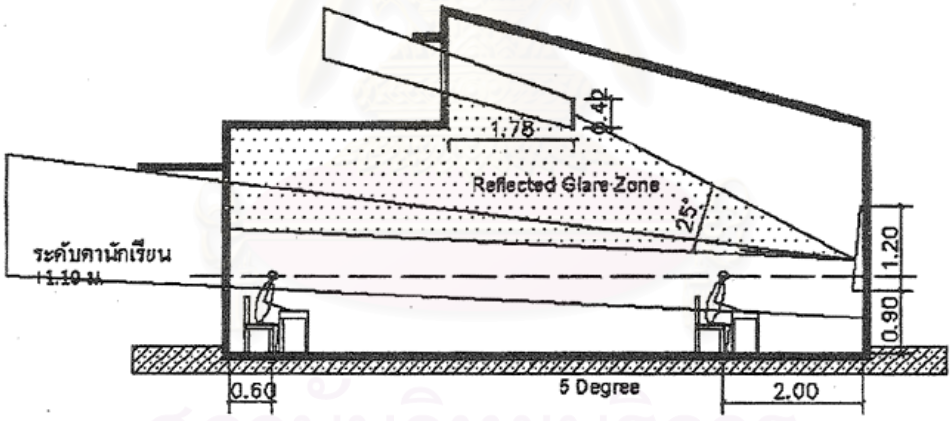
7 องศาสอบบน



7 องศาสอบล่าง

รูปที่ 4.72 แสดงภาพถ่ายกรณีช่องแสงด้านบนกับการเกิดแสงจ้าสะท้อน

จากผลการศึกษาแสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านบนที่ตกกระทบกระดานไวท์บอร์ดและทำให้มีแสงจ้าสะท้อนเข้าตาในมุมวิกฤติที่ 25 องศา กับการติดตั้งกระดานแบบแนบผนังและการติดตั้งแบบเอียงกระดานเป็นมุม 5 และ 7.5 องศา ตามลำดับ รวมทั้งการถ่ายภาพที่หน้ากระดานภายในหุ่นจำลอง เพื่อตรวจสอบสภาพความเป็นจริงของแสงจ้าสะท้อนที่เกิดขึ้นพบว่า การหลีกเลี่ยงปัญหาแสงจ้าสะท้อนในการวิจัยห้องเรียนแบบใหม่นี้จะต้องติดตั้งกระดานโดยเอียงทำมุมสอบเข้าด้านล่าง และจากการทดลองสรุปว่าควรเอียงกระดานทำมุม 5 องศา เพราะมีระยะยื่นที่ส่วนบนของกระดานน้อยกว่าการเอียงทำมุม 7.5 องศา คือยื่นห่างจากผนังเพียง 12.50 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติจริงห้องเรียนต้องมีการให้แสงหลักจากช่องแสงด้านข้าง แต่การเอียงกระดานให้ทำมุมสอบเข้าด้านล่างทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อนจากหน้าต่างด้านข้าง ดังนั้นในการประยุกต์ใช้จึงควรมีอุปกรณ์บังแสงดังรูปที่ 4.73

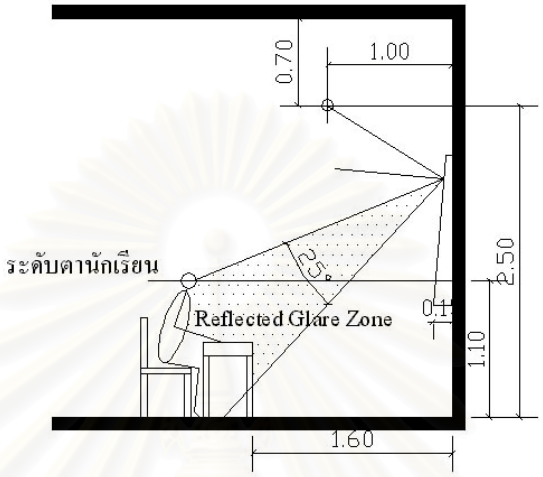


รูปที่ 4.73 แสดงช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านบนกับแสงจ้าสะท้อนกรณีปรับเอียงกระดาน 5 องศาสอบบน

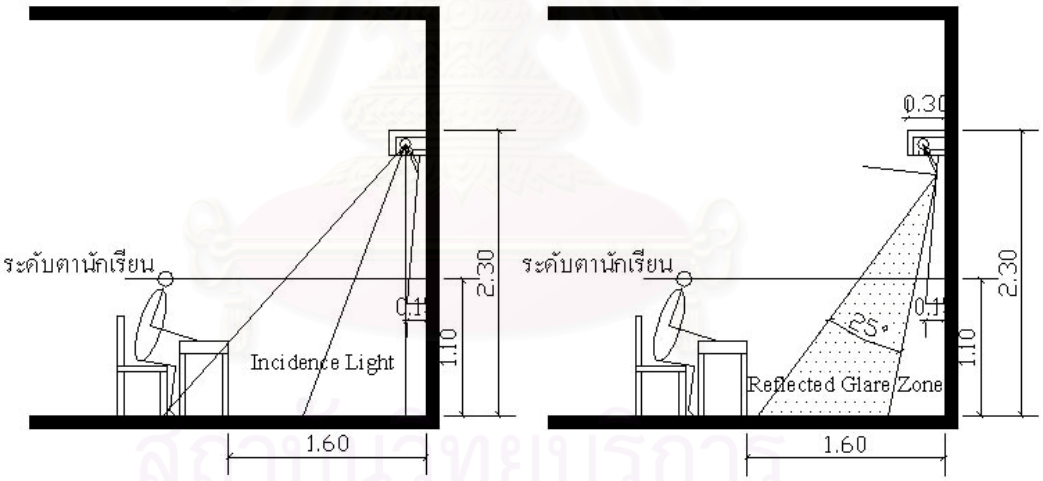
จากผลการศึกษาแสงธรรมชาติจากช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านบนที่ตกกระทบกระดานไวท์บอร์ดและทำให้มีแสงจ้าสะท้อนเข้าตาในมุมวิกฤติที่ 25 องศา กับการติดตั้งกระดานเอียงทำมุม 5 องศาสอบด้านบน เพื่อการหลีกเลี่ยงปัญหาแสงจ้าสะท้อนจึงควรมีอุปกรณ์บังแสงขนาด ความสูงประมาณ 0.42 เมตร และห่างจากช่องแสงด้านบนเป็นระยะประมาณ 1.80 เมตร

4.3.7 การศึกษาตำแหน่งติดตั้งดวงโคมให้แสงที่กระดานไวท์บอร์ด

การวิจัยนี้ศึกษาตำแหน่งที่ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งดวงโคมให้แสงที่กระดาน โดยศึกษาแสงจากดวงโคมที่ตกกระทบกระดานไวท์บอร์ดแล้วทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อนเข้าตานักเรียนในมุมวิกฤติ 25 องศา



รูปที่ 4.74 แสดงการติดตั้งดวงโคมให้แสงที่กระดานแบบห้อยฝ้า



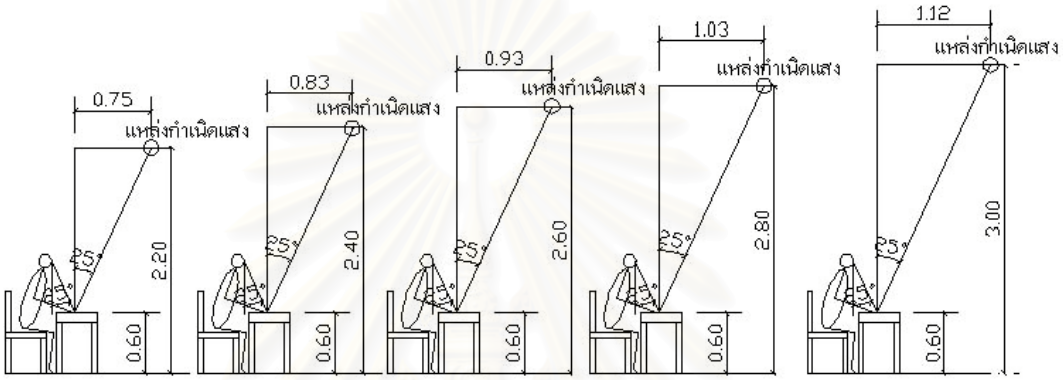
รูปที่ 4.75 แสดงการติดตั้งดวงโคมให้แสงเหนือกระดานโดยใช้เกล็ดบังแสง

จากการศึกษาแสงจ้าสะท้อนที่กระดานจากการติดตั้งดวงโคมให้แสงที่กระดาน พบว่าควรหลีกเลี่ยงไม่ให้แสงจากหลอดไฟในดวงโคมตกกระทบกระดานและเกิดแสงจ้าสะท้อนเข้าตาในมุมวิกฤต จึงควรมีเกล็ดบังแสง (Louver) ที่บังแสงไม่ให้แสงจากหลอดไฟตกกระทบกับกระดานโดยตรง และเกล็ดบังแสงควรเป็นวัสดุช่วยกระจายเพื่อลดความเข้มสว่างของแสงจากหลอดไฟลง ทำให้แสงที่ตกกระทบกระดานไม่สะท้อนแสงจ้ารบกวนการมองเห็น ซึ่งการวิจัยนี้เสนอแนะการติดตั้งดวงโคมแบบเดียวเท่านั้น เพื่อใช้เป็นแนวทางติดตั้งดวงโคมที่ลดปัญหาแสงจ้าสะท้อนที่กระดาน

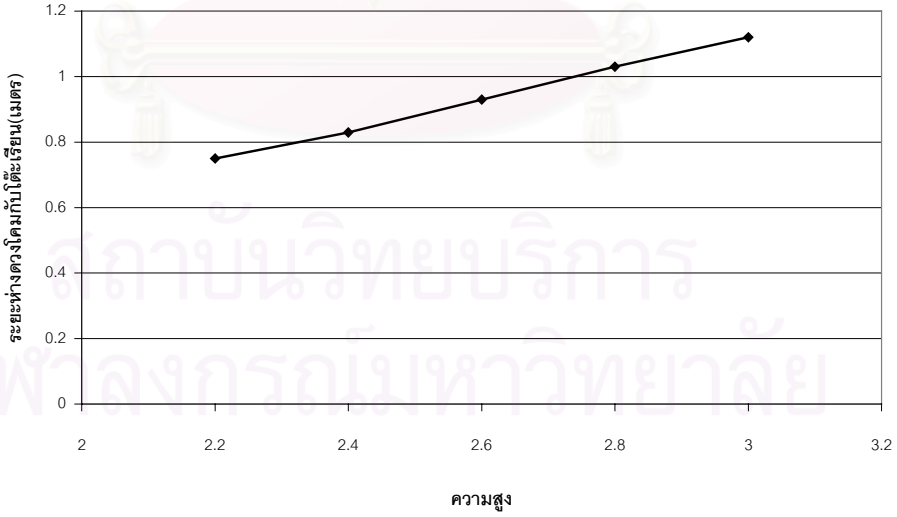
4.3.8 การศึกษาการติดตั้งดวงโคมให้แสงภายในห้องเรียน

การวิจัยนี้ศึกษาตำแหน่งที่ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งดวงโคมให้แสงภายในห้องเรียน โดยศึกษาแสงจากดวงโคมที่ตกกระทบโต๊ะแล้วทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อนเข้าตานักเรียนในมุมวิกฤติ 25 องศาขณะเขียนหรืออ่านหนังสือ

4.3.8.1 กรณีหน้าโต๊ะเรียบ

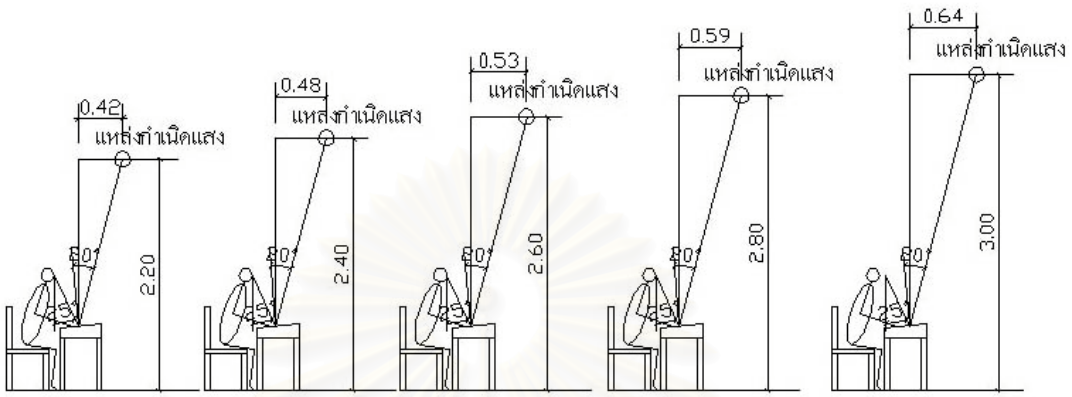


รูปที่ 4.76 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเรียบ

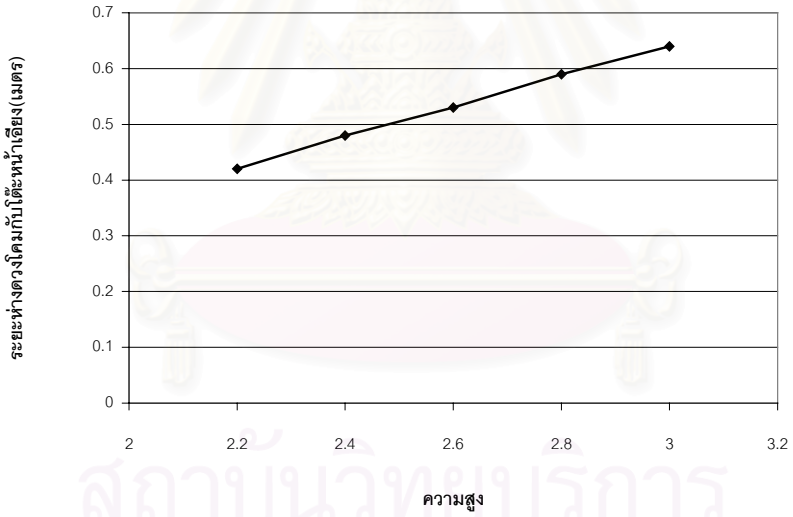


แผนภูมิที่ 4.42 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเรียบ

4.3.8.2 กรณีหน้าโต๊ะเอียง 5 องศา



รูปที่ 4.77 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเรียบ



แผนภูมิที่ 4.43 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงสำหรับหน้าโต๊ะเรียบ

จากการศึกษาตำแหน่งติดตั้งดวงโคมให้แสงภายในห้องเรียนที่ควรหลีกเลี่ยงเพื่อไม่ให้มีแสงจ้าสะท้อนที่ทำให้เกิดเงาสะท้อนเหนือภาพ (Veiling Reflected Glare) พบว่าการเอียงหน้าโต๊ะเรียนทำให้ระยะที่ควรหลีกเลี่ยงแคบลง ซึ่งตามปกติการจัดโต๊ะเรียนจะมีระยะห่างระหว่างโต๊ะประมาณ 0.90-1.20 เมตร ดังนั้นถ้ามีการจัดโต๊ะเรียนที่มีระยะห่างดังกล่าวก็ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งดวงโคมที่มีความสูง 2.60-3.00 เมตรสำหรับหน้าโต๊ะเรียบ หรือควรใช้โต๊ะเรียนที่มีหน้าโต๊ะเอียง เพื่อป้องกันแสงจ้าสะท้อนที่ทำให้เกิดเงาสะท้อนเหนือภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การออกแบบให้แสงภายในห้องเรียนเพื่อความสบายตาในการมองเห็น (Visual Comfort)นี้ สิ่งสำคัญที่ต้องหลีกเลี่ยง คือ แสงจ้า (Glare) โดยจะต้องออกแบบไม่ให้มีแสงจ้าในสนามแห่งการมองเห็น (Visual Field) ซึ่งแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องเรียนมาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ได้แก่

1. ช่องเปิดหรือหน้าต่าง
2. ดวงโคมไฟฟ้า
3. วัสดุผิวมันเงา

และอื่นๆ อีกมาก ซึ่งการวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงจ้าที่เกิดขึ้นภายในห้องเรียนเป็นประจำที่มาจากแหล่งกำเนิด 3 อย่างที่กล่าวมานี้

การศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่เพื่อความสบายตาในการมองเห็นนี้ คำนึงถึงปัญหาและการแก้ไขปัญหาแสงจ้าต่างๆที่เกิดขึ้นภายในห้องเรียน จากแหล่งกำเนิดแสงที่กล่าวมาแล้ว ดังนี้

1. ปัญหาแสงจ้าที่เกิดจากการมองออกไปภายนอกห้องผ่านช่องเปิดหรือหน้าต่างที่เปิดมุมมองท้องฟ้าเข้าสู่ตาทำให้เห็นท้องฟ้า (Skyline)ที่อยู่เหนือเส้นระดับตามาก ในการวิจัยนี้ต้องแก้ไขปัญหานี้โดยลดมุมมองท้องฟ้าเหนือเส้นระดับตาให้น้อยลงแต่ยังคงให้มีระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) ภายในห้องเรียนที่เพียงพอต่อการมองเห็นตลอดทั้งวัน

2. ปัญหาแสงจ้าที่เกิดจากความเปรียบต่างความสว่างมากเกินไปจนเกิดเป็นแหล่งกำเนิดแสงจ้า ในกรณีนี้หมายถึงความเปรียบต่างความสว่างระหว่างช่องเปิดกับผนังรอบช่องเปิดที่อยู่ติดกัน ซึ่งการวิจัยนี้พิจารณาจากผลการคำนวณอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่าง (Contrast Brightness Ratio)ระหว่างช่องเปิดกับผนังรอบช่องเปิดที่มีค่าอัตราส่วนที่สบายตาต้องไม่เกิน 20:1 ตามมาตรฐาน IES กำหนด

3. ปัญหาแสงจ้าที่เกิดจากความเปรียบต่างความสว่างระหว่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ตามองเห็นห่างจากหน้าต่างมากที่สุด โดยพิจารณาจากผลการคำนวณอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับความสว่าง ณ จุดที่ตามองเห็นห่างจากหน้าต่างมากที่สุดที่มีค่าอัตราส่วนที่สบายตาต้องไม่เกิน 10:1 ตามมาตรฐาน IESกำหนด

4. ปัญหาแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ของกระดานไวท์บอร์ดที่เกิดจากความสว่างของช่องเปิดหรือหน้าต่างและที่เกิดจากความสว่างของดวงโคมไฟฟ้า โดยพิจารณามุมแสงตกกระทบและแสงสะท้อนที่เกิดขึ้นจากตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงและแก้ไขไม่ให้มีแสงสะท้อนจากกระดานรบกวนการมองเห็นของนักเรียน

5. ปัญหาแสงจ้าเงาสะท้อนเหนือภาพ (Veiling Reflected Glare)ที่โต๊ะเรียน โดยพิจารณามุมแสงตกกระทบและแสงสะท้อนเข้าสู่ตานักเรียนขณะนั่งเขียนหรืออ่านหนังสือที่โต๊ะเรียน และแก้ไขไม่ให้มีแสงสะท้อนจากโต๊ะเข้าตานักเรียนในมุมวิกฤติ (มุม25 องศา)

เทคนิคที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาแสงจ้าของห้องเรียนรูปแบบใหม่เพื่อให้การมองเห็นมีความสบายตาของการวิจัยนี้ มีดังนี้

1. เทคนิคการแก้ไขปัญหาแสงจ้าที่เกิดจากความเปรียบต่างความสว่างระหว่างช่องเปิดกับผนังรอบช่องเปิด โดยออกแบบช่องเปิดหรือหน้าต่างรูปแบบ (Shape)ใหม่ ที่มีการเอียงกระจกหน้าต่างทำให้สามารถลดความสว่างจ้าของแสงธรรมชาติที่ตกกระทบช่องเปิดหรือหน้าต่างได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ม่าน ไม่ต้องยื่นชายคายาว หรือไม่ต้องปลูกต้นไม้เพื่อกรองแสงจ้าที่ช่องเปิดหรือหน้าต่าง และเป็นเทคนิคที่ลดมุมมองท้องฟ้าเหนือเส้นระดับตาได้ด้วย จึงมองเห็นท้องฟ้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงจ้าน้อยลง

2. เทคนิคการแก้ไขปัญหาแสงจ้าสะท้อนที่กระดานไวท์บอร์ด แบ่งการแก้ปัญหาออกเป็น 2 อย่าง คือ

- การแก้ไขปัญหาแสงจ้าสะท้อนที่เกิดจากแสงธรรมชาติ มีการแก้ไขโดยการเอียงกระดานเพื่อให้แสงจ้าสะท้อนที่เกิดขึ้นมีทิศทางที่ไม่อยู่ในมุมแห่งการมอง
- การแก้ไขปัญหาแสงจ้าสะท้อนที่เกิดจากดวงโคมไฟฟ้า มีการแก้ไขโดยใช้ดวงโคมไฟฟ้าที่มีเกล็ดบังแสงช่วยกระจายแสงจากหลอดไฟ เพื่อกันไม่ให้มีแสงจากหลอดไฟตกกระทบบนกระดานโดยตรง และตำแหน่งที่ติดตั้งดวงโคมที่พิจารณาใช้ในการวิจัยอยู่เหนือกระดานในตำแหน่งที่ไม่ก่อให้เกิดแสงสะท้อนเข้าสู่ตานักเรียน

3. เทคนิคการแก้ไขปัญหาแสงจ้าเงาสะท้อนเหนือภาพที่โต๊ะเรียน โดยพิจารณาตำแหน่งที่ติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าที่มีระยะความสูงต่างๆระหว่างดวงโคมกับโต๊ะ รวมทั้งพิจารณามุมที่แสงตกกระทบกระทำกับโต๊ะเรียน ที่ก่อให้เกิดแสงสะท้อนเข้าตาในมุมวิกฤติ (มุม 25องศา) เพื่อนำผลที่ได้จากการพิจารณานี้ใช้ในทางปฏิบัติโดยหลีกเลี่ยงการจัดโต๊ะเรียนในตำแหน่งที่ก่อให้เกิดแสงจ้าเงาสะท้อน

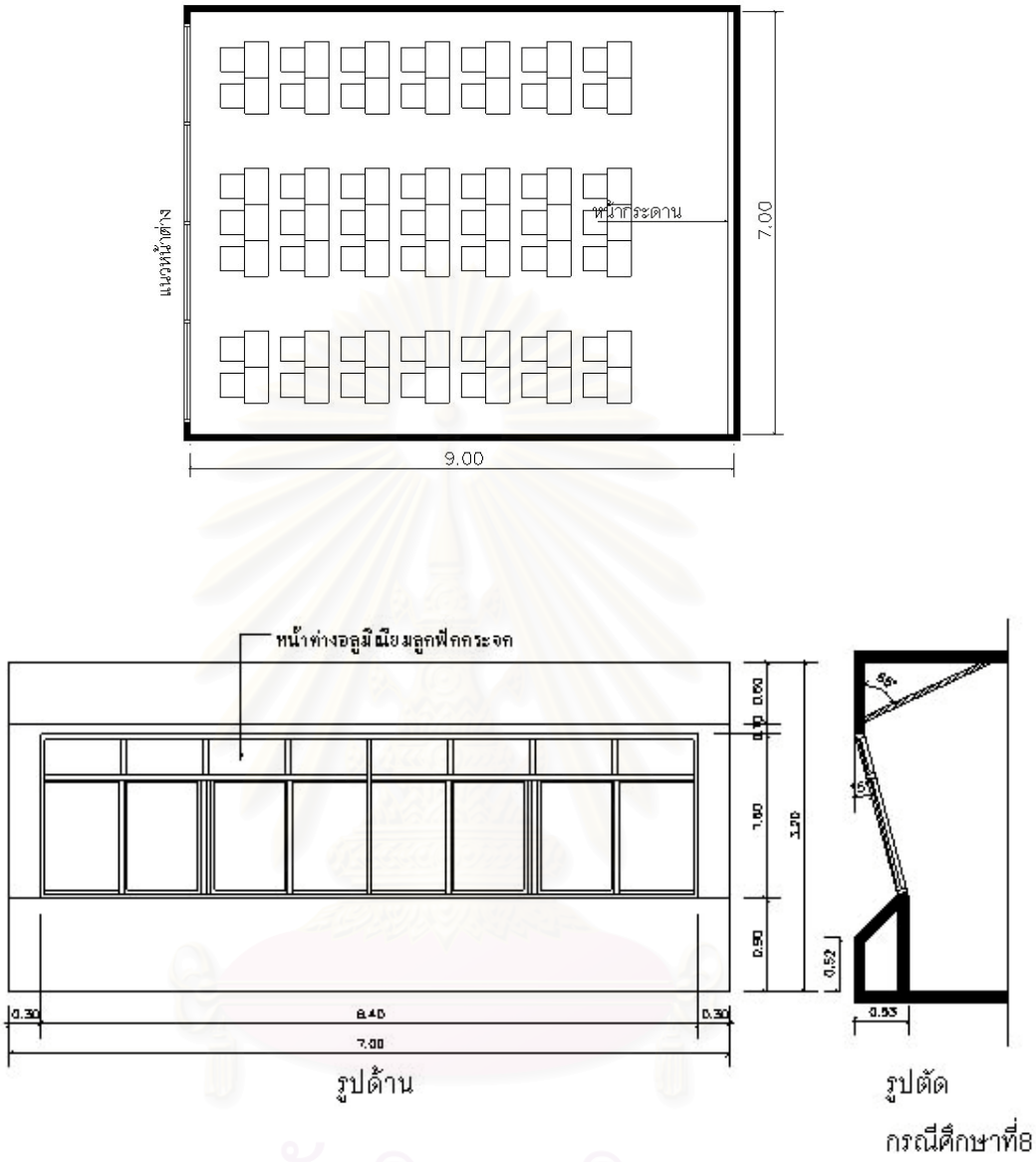
5.1 บทสรุปของการวิจัย

ผลการศึกษาแนวทางการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่เพื่อให้มีความสบายตาในการมองเห็น (Visual Comfort) เพื่อแก้ไขปัญหาแสงจ้าที่เกิดขึ้นสามารถสรุปผลเป็นข้อๆ ดังนี้

5.1.1 สรุปการแก้ไขปัญหาแสงจ้าของช่องแสงด้านข้างเพื่อให้การมองเห็นภายในห้องเรียนมีความสบายตา

1. การจัดวางตำแหน่งช่องแสงด้านข้างใหม่

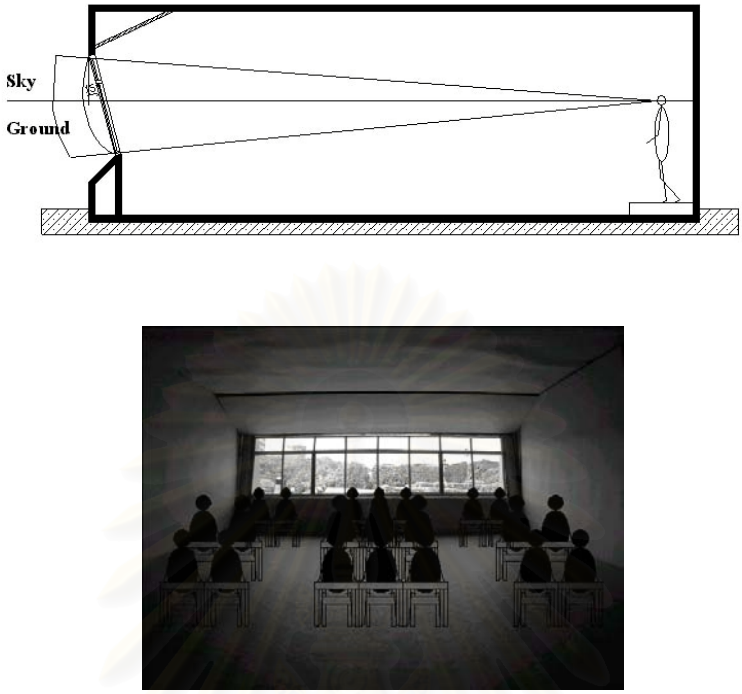
การออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ โดยจัดวางตำแหน่งช่องแสงด้านข้าง (Side Lighting) ตามด้านแคบของห้องดังรูปที่ 5.1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาแสงจ้ารบกวนการมองเห็นและดึงความสนใจของนักเรียนออกไปภายนอกห้องเรียน ดังนั้นนักเรียนจึงมีสมาธิและให้ความสนใจไปยังกระดานที่หน้าชั้นเรียนเท่านั้น



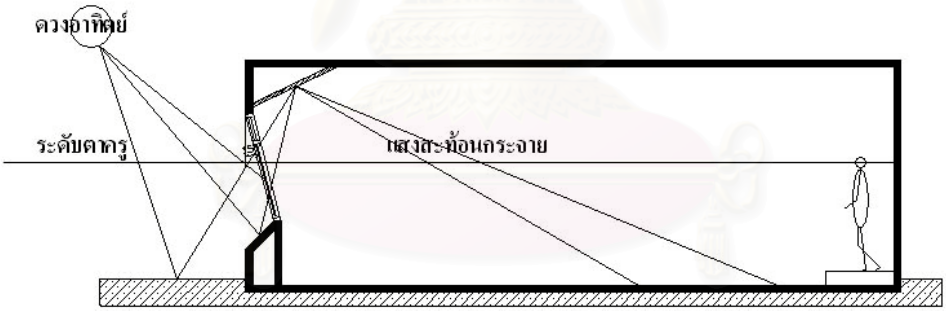
รูปที 5.1 แสดงผังห้องเรียนแบบใหม่และหน้าต่างกรณีศึกษาที 8

2. รูปแบบ (Shape) ช่องเปิดแสงด้านข้างที่มีกระจกหน้าต่างเอียง

ผลการทดลองการวิจัยนี้สรุปรูปแบบช่องแสงด้านข้าง (Side Lighting) กรณีศึกษาที่ 8 มีความเหมาะสม เพราะให้การมองเห็นผ่านช่องแสงออกไปภายนอกห้องมีความสบายตา เนื่องจากเป็นรูปแบบช่องแสงที่สามารถป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ และการเอียงกระจกหน้าต่างยังช่วยลดมุมมองที่มองเห็นท้องฟ้าเหนือระดับสายตาได้ โดยไม่จำเป็นต้องยื่นชายคายาว ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงการมองเห็นและของครูไปยังหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8



รูปที่ 5.3 แสดงการตกกระทบและการสะท้อนของแสงธรรมชาติผ่านหน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8

จากรูปที่ 5.2 และ 5.3 จะเห็นว่าการเอียงหน้าต่างทำให้มีร่มเงาที่เปรียบเสมือนชายคาที่ยื่นเพื่อกันแสงแดดตรง (Direct Sun) และเมื่อพิจารณามุมมองที่มองผ่านช่องหน้าต่างออกไปภายนอกพบว่ามุมมองท้องฟ้าน้อยกว่ามุมมองที่มองเห็นพื้นดิน ดังนั้นจึงมองเห็นความสว่างของแสงที่เกิดจากการสะท้อนแสงที่พื้นดิน ซึ่งในการวิจัยนี้ออกแบบให้พื้นดินโดยรอบห้องเรียนเป็นหญ้าที่มีการสะท้อนแสงเพียง 6% เท่านั้น ซึ่งให้ผลในการสะท้อนแสงต่ำ ถ้าพิจารณาความสว่างของแสงธรรมชาติในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง มีความสว่างท้องฟ้าที่รวมความสว่างของแสงแดดตรงและแสงกระจายจากท้องฟ้าประมาณ 4000 ฟุตแลมเบิร์ต ดังนั้นแสงสะท้อนจากพื้นหญ้าที่ตกกระทบหน้าต่างจึงมีความลด

ลงเหลือเพียง 240 ฟุตแลมเบิร์ต เท่านั้น จึงเป็นการลดปัญหาแสงจ้าได้ช่วยให้การมองออกไปภายนอกห้องเรียนผ่านหน้าต่างมีความสบายตา (Visual Comfort) มากขึ้น

นอกจากนี้การเอียงกระจกหน้าต่างยังทำให้ความเข้มสว่างของแสงธรรมชาติที่ตกกระทบกับหน้าต่างลดลง เนื่องจากความสว่างของท้องฟ้าไม่ได้ตกกระทบตั้งฉากกับกระจกหน้าต่าง ดังนั้นความสว่างจ้า (Brightness)ที่กระจกหน้าต่างเอียงจึงมีความจ้าบาดตาน้อยลงตามกฎของแลมเบิร์ดโคไซน์ (Lambert's Cosine Law) และการลบมุมเอียงผนังที่ขอบล่างหน้าต่างด้านนอกห้องเรียน เพื่อให้แสงธรรมชาติตกกระทบและสะท้อนเข้ามาภายในห้องเรียนในรูปของแสงกระจาย (Diffuse Light) ทำให้แสงแดดตรงเปลี่ยนเป็นแสงจายและสะท้อนไปยังกระจกหน้าต่างมีความเข้มสว่างลดลงอีกด้วย และการออกแบบฝ้าเพดานเอียงจรดวงกบบนของหน้าต่างนอกจากจะช่วยไล่ลำดับความเปรียบต่าง (Contrast Grading) ระหว่างความสว่างของฝ้าเพดานกับความสว่างกระจกหน้าต่างแล้ว และฝ้าเอียงนี้ยังช่วยกระจายภายในห้องเรียนทำให้มีระยะ Effective Daylight เพิ่มขึ้นอีกด้วย ดูตารางที่ 5.1 ส่วนปัญหาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับผนังใต้หน้าต่างจากรูปที่ 5.2 สรุปได้ว่าไม่มีผลกระทบกับการมองเห็น เพราะการจัดโต๊ะเรียนและที่นั่งจะบังผนังส่วนใต้หน้าต่างและมุมมองของครูอยู่สูงกว่าระดับใต้หน้าต่างประมาณ 0.70 เมตร ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาแสงจ้ากับการมองเห็นของครูที่หน้าต่างกรณีศึกษาที่ 8 นี้

ตารางที่ 5.1แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบห้องเรียนตัวอย่างกับกรณีศึกษาที่ 8

ท้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ เวลา 12:00 น.

กรณีศึกษา	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง(fL)	ค่าDFhที่หน้าชั้นเรียน(%)	ระยะEffective Daylight (ม.)
ห้องเรียนตัวอย่าง	บน 27:1 ข้าง 122:1 , 149:1 ล่าง 149:1	29:1	560 fL	8:00 น. 2.69% 12:00น. 0.91% 16:00 น. 0.32%	8:00 น. 6.50ม. 12:00น. 1.00ม. 16:00 น. 0.00ม.
8	ฝ้าเอียง 9:1 ล่าง 33:1	7.7:1	433	8:00 น. 1.61% 12:00น. 1.43% 16:00 น. 1.30%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 5.00ม.

จากตารางที่ 5.1 เป็นผลการเปรียบเทียบห้องเรียนตัวอย่างและห้องเรียนแบบใหม่ที่มีรูปแบบหน้าต่างเอียง พบว่า มีระดับความส่องสว่างที่อยู่ในรูปของค่าเดไลท์แฟคเตอร์มากกว่าห้องเรียนตัวอย่างแสดงว่าห้องเรียนแบบใหม่นี้และเมื่อพิจารณา ระยะ Effective Daylight พบว่าห้องเรียนใหม่มีระยะที่ไกลกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการกระจายแสงภายในห้องเรียนแบบใหม่ดีกว่าห้องเรียนตัวอย่าง ส่วนการพิจารณาอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียนของห้องเรียนรูปแบบใหม่พบว่าอยู่ในเกินไม่เกิน 10:1 และแม้ว่าอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างกับผนังส่วนล่างใต้หน้าต่างเกิน 20:1 ก็ตามแต่ในทางปฏิบัติแล้วนักเรียนจะนั่งบังผนังส่วนนี้อยู่แล้ว และมุมมองของคุณครูที่มองไปยังหน้าต่างอยู่สูงกว่าผนังส่วนล่างนี้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงไม่มีผลกระทบต่อการมองเห็นมากนัก นอกจากนี้ความสว่างที่หน้าต่างของห้องเรียนรูปแบบใหม่ยังอยู่ในเกณฑ์ความสว่างที่ตายอมรับได้ คือมีความสว่างในมุมแห่งการมองไม่เกินค่าความสว่างสูงสุด 495 ฟุตแลมเบิร์ต (Flynn, 1988)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว้าห้องเรียนรูปแแบบใหม่ความสบายในการมองเห็นภายในห้องเรียนมากกว่าและดีกว่าห้องเรียนตัวอย่าง

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 ทั้ง 4 ทิศ

ท้องฟ้าโปร่ง เวลา 12:00 น.

ทิศ	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างหน้าต่างกับผนัง	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง (fL)	ค่า DFh ที่หน้าชั้นเรียน (%)	ระยะEffective Daylight (ม)
เหนือ	ฝ้าเอียง 9:1 ล่าง 33:1	7.7:1	433	8:00น. 1.61% 12:00น. 1.43% 16:00น. 1.30%	8:00น. 6.00 ม. 12:00น. 6.00 ม. 16:00น. 5.00 ม.
ใต้	ฝ้าเอียง 19:1 ล่าง 64:1	21:1	901	8:00น. 0.70% 12:00น. 1.04% 16:00น. 1.26%	8:00น. 2.50 ม. 12:00น. 4.50 ม. 16:00น. 5.00 ม.
ออก	ฝ้าเอียง 9.7:1 ล่าง 22:1	6:1	326	8:00น. 0.83% 12:00น. 0.98% 16:00น. 1.18%	8:00น. 3.00 ม. 12:00น. 4.00 ม. 16:00น. 5.00 ม.
ตก	ฝ้าเอียง 12:1 ล่าง 25:1	6.8:1	381	8:00น. 0.65% 12:00น. 1.25% 16:00น. 2.40%	8:00น. 2.00 ม. 12:00น. 5.00 ม. 16:00น. 9.00 ม.

จากตารางที่ 5.2 แสดงผลสรุปการผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 กับการจัดวางตำแหน่งหน้าต่างทิศทั้ง 4 พบว่า ทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก มีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างกับผนังส่วนล่างใต้หน้าต่างเกิน 20:1 แต่ในทางปฏิบัติแล้ว นักเรียนจะนั่งบังผนังส่วนนี้อยู่แล้ว และมุมมองของคุณครูที่มองไปยังหน้าต่างอยู่สูงกว่าผนังส่วนล่างนี้ จึงไม่มีผลกระทบต่อการมองเห็นมากนัก ซึ่งเมื่อพิจารณาเรื่องอื่นที่มีผลต่อความสบายในการมองเห็นพบว่ารูปแบบช่องแสงในกรณีศึกษาที่ 8พบว่า อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียนไม่เกิน 10:1 และความสว่างที่หน้าต่างมีค่าความสว่างในมุมแห่งการมองไม่เกินค่าความสว่างสูงสุด 495 ฟุตแลมเบิร์ต (Flynn, 1988)

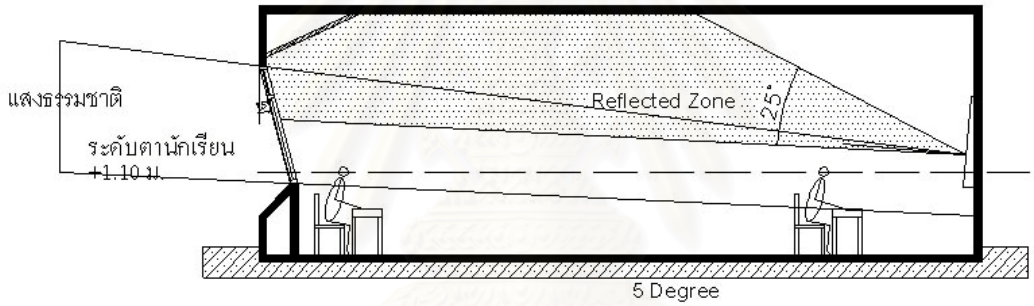
ผลการทดลองการหันหน้าต่างไปทางทิศใต้ พบว่ามีอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างระหว่างหน้าต่างกับผนังหน้าต่างเกิน 20:1 อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียนเกิน 10:1 และมีความสว่างที่หน้าต่างมีค่าความสว่างในมุมแห่งการมองเกินค่าความสว่างสูงสุด 495 ฟุตแลมเบิร์ต (Flynn, 1988)แสดงให้เห็นว่ามีปัญหาแสงจ้าเกิดขึ้นกับทิศใต้ ดังนั้นจึงควรมีการแก้ไขปัญหาแสงจ้า เช่น การเลือกใช้กระจกตัดแสงเพื่อลดความเข้มแสงธรรมชาติ จากผลการคำนวณความสว่างที่ส่องผ่านกระจกตัดแสงที่ยอมให้มีค่าการส่งผ่าน 32% สามารถลดความสว่างที่หน้าต่างให้อยู่ในระดับที่ตายอมรับได้ แต่ควรเลือกใช้อย่างระมัดระวังเนื่องจากการใช้กระจกตัดแสงอาจทำให้ระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียนลดลงได้ จึงควรประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบน (Clerestories) ที่มีกระจกที่ให้ค่าส่งผ่านมากๆ เพื่อให้ระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) ภายในห้องดีขึ้น

ผลการทดลองนี้สรุปว่าการจัดวางหน้าต่างในทิศตะวันออกให้ความเหมาะสมและมีความสบายตาในการมองเห็นมากที่สุด เนื่องจากมีค่าอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียน 6:1และมีความสว่างที่หน้าต่าง 326 ฟุตแลมเบิร์ต ซึ่งเป็นความสว่างน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความสว่างทั้ง 4 ทิศ

5.1.2 สรุปการแก้ไขปัญหาแสงจ้าสะท้อน

1. สรุปการแก้ไขปัญหาแสงจ้าสะท้อนที่กระดานกับช่องแสงด้านข้าง

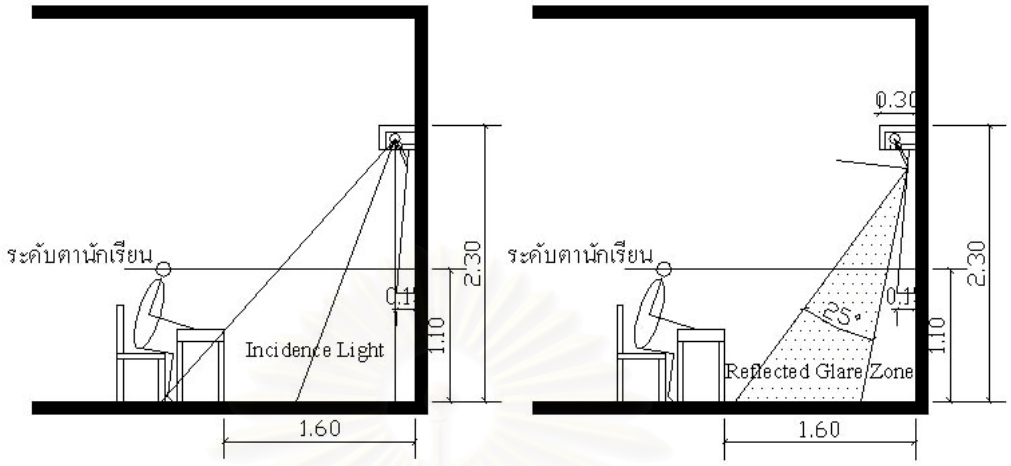
จากผลการทดลองการติดตั้งกระดานที่ปรับเอียงเป็นมุม 5 องศา และ7.5 องศา ตามลำดับ และทดลองเอียงกระดานแบบสอบเอียงด้านบนและสอบเอียงด้านล่าง สรุปว่า การปรับเอียงกระดานให้สอบเอียงด้านบน 5 องศา ดังรูปที่ 5.4 ทำให้ไม่มีแสงจ้าสะท้อนรบกวนการมองเห็นของนักเรียน และการเอียงทำให้มีระยะยื่นของกระดานด้านล่างประมาณ 12.5 เซนติเมตร ซึ่งมีระยะยื่นน้อยมากไม่ขัดกับการเขียนกระดานของครู



รูปที่ 5.4 แสดงการเอียงกระดาน 5 องศา ที่ลดปัญหาแสงจ้าสะท้อนได้

2. สรุปการติดตั้งดวงโคมกับกระดานเพื่อหลีกเลี่ยงแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare)

จากรูปที่ 5.5 สรุปว่าการติดตั้งดวงโคมไฟฟ้าเหนือกระดานช่วยลดแสงตกกระทบจากดวงโคมไฟฟ้าเหนือกระดาน และไม่มีแสงจ้าสะท้อนในมุมวิกฤติ (มุม25 องศา) รบกวนการมองเห็นกระดานของนักเรียน แม้ว่าในทางปฏิบัติจริงยังมีวิธีการติดตั้งอีกมากที่ไม่ทำให้มีแสงตกกระทบที่กระดาน แต่การวิจัยนี้เสนอเพียงแบบเดียวเพื่อให้มองเห็นวิธีการติดตั้งที่หลีกเลี่ยงแสงจากหลอดไฟตกกระทบกับกระดานโดยตรง และสรุปได้ว่าควรติดตั้งดวงโคมห่างจากกระดานประมาณ 0.30 เมตร โดยเลือกใช้ดวงโคมที่มีเกล็ดบังแสง (Louver) จากหลอดไฟเพื่อป้องกันไม่ให้มี เพราะจะทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ที่กระดาน

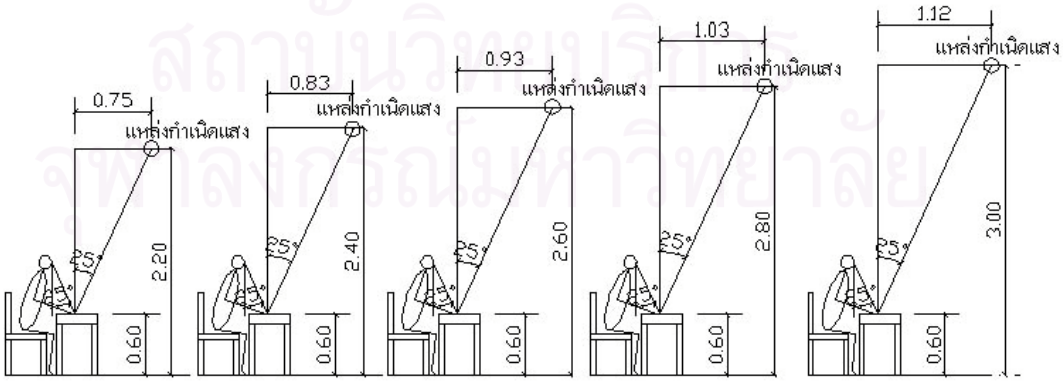


รูปที่ 5.5 แสดงตำแหน่งการติดตั้งดวงโคมที่กระดานเพื่อหลีกเลี่ยงแสงตกกระทบที่กระดาน

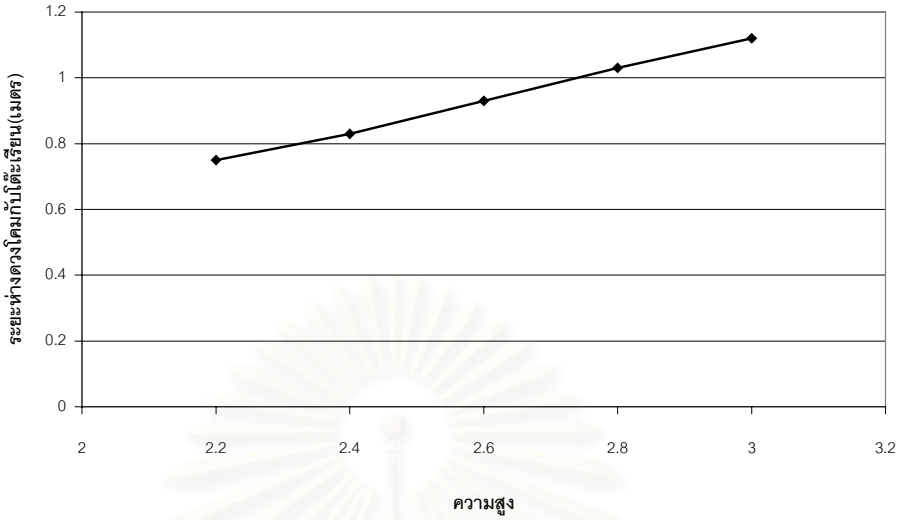
3. สรุปการติดตั้งดวงโคมแสงไฟฟ้าเพื่อหลีกเลี่ยงแสงจ้าสะท้อนที่ทำให้เกิดเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุ (Veiling Reflected Glare)

จากรูปที่ 5.6 และ 5.7 และแผนภูมิที่ 5.1 และ 5.2 สรุปว่าตำแหน่งดวงโคมที่ให้แสงตกกระทบ (Incident Light)กับโต๊ะเรียน ที่ทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อนเข้าสู่ตานักเรียนในมุมวิกฤติ (มุม25 องศา) และมีเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุเกิดขึ้นรบกวนการมองเห็นของนักเรียนเป็นสาเหตุให้ความชัดเจนในการมองเห็นลดลง การวิจัยนี้พิจารณาตำแหน่งดวงโคมไฟฟ้าที่ให้แสงตกกระทบกับโต๊ะผิวหน้าเรียบและโต๊ะผิวหน้าเอียง 5 องศาที่ทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อนเข้าตานักเรียนในมุมวิกฤติขณะนั่งเขียนหรืออ่านหนังสือ ซึ่งโดยปกติการจัดโต๊ะเรียนจะมีระยะห่างประมาณ 0.90-1.20 ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงตำแหน่งการจัดโต๊ะเรียนกรณีโต๊ะผิวหน้าเรียบไม่ควรติดตั้งดวงโคมสูงจากพื้นมากกว่า 2.60 เมตร หรือควรพิจารณาใช้โต๊ะผิวหน้าเอียงเพราะมีระยะห่างของดวงโคมที่ควรหลีกเลี่ยงน้อยลง

- กรณีผิวหน้าโต๊ะเรียนเรียบ

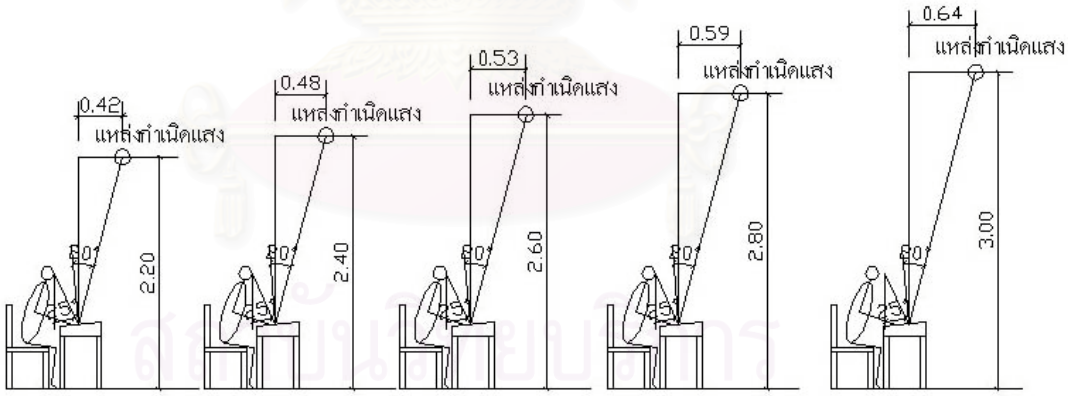


รูปที่ 5.6 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมกับโต๊ะเรียนผิวหน้าเรียบที่ทำให้การเกิดเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุ

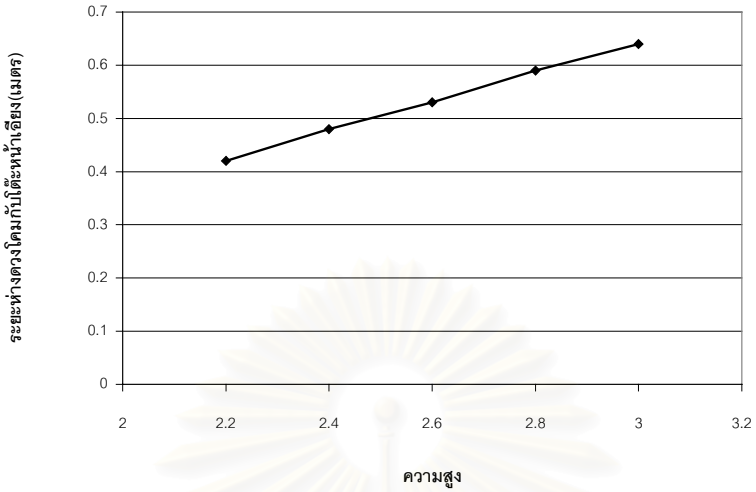


แผนภูมิที่ 5.1 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมกับโต๊ะเรียนผิวหน้าเรียบที่ทำให้การเกิดเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุ

- กรณีผิวหน้าโต๊ะเรียนเอียง 5 องศา



รูปที่ 5.7 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมกับโต๊ะเรียนผิวหน้าเอียง 5 องศาที่ทำให้การเกิดเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุ



แผนภูมิที่ 5.2 แสดงตำแหน่งติดตั้งดวงโคมกับโต๊ะเรียนผิวหน้าเอียงที่ทำให้การเกิดเงาสะท้อนบนพื้นผิววัสดุ

5.2 การประยุกต์ใช้ช่องแสงด้านบนกับช่องแสงกรณีศึกษาที่ 8

ถ้าหากการออกแบบห้องเรียนตามแนวทางการออกแบบห้องเรียนรูปแบบใหม่ที่มีจำนวนชั้นของอาคารเรียนมากกว่า 1 ชั้น ขึ้นไป การจัดวางตำแหน่งช่องแสงด้านข้าง (Side Lighting)ให้อยู่ที่ด้านแคบของห้องเรียนดังรูปที่ 5.1 สามารถประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบน (Clerestory)ได้ง่ายกว่าการจัดวางช่องแสงด้านข้าง (Side Lighting) ตามความยาวของห้องเรียนตัวอย่างทั่วไป และการให้แสงของช่องแสงด้านช่วยเพิ่มระดับความส่องสว่างภายในห้องทำให้ประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าอีกด้วย

5.2.1 การประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบน (Clerestory) เพื่อเพิ่มระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) และการกระจายแสงธรรมชาติภายในห้องเรียน

การประยุกต์ใช้ช่องแสงด้านข้างกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบนทั้ง 4 ทิศ จากการวิจัยให้ผลสรุปว่าช่วยเพิ่มระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ห่างไกลช่องแสงด้านข้างมีระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) ดีขึ้น และช่วยกระจายแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนสม่ำเสมอมากขึ้น และจากตารางที่ 5.2 สรุปได้ว่าระดับความส่องสว่างภายในห้องเรียน โดยเฉพาะที่หน้าชั้นเรียนเพิ่มมากขึ้น และมีระยะประสิทธิภาพแสงธรรมชาติ (Effective Daylight)มากขึ้นจนเกือบไม่ต้องใช้แสงไฟฟ้าประดิษฐ์ตลอดช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน (8.00-16.00น) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียนของตารางที่ 5.1 กับตารางที่ 5.2 ทำให้สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบน (Clerestories) ช่วยลดอัตราความเปรียบต่างลดแสดงว่าการประยุกต์ใช้กับช่องแสงด้านบนช่วยให้การมองเห็นของครูที่หน้าชั้นเรียนไปยังหน้าต่างมีความสบายตามากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองกรณีศึกษาที่ 8 กับช่องแสงด้านบน

ห้องฟ้าโปร่ง ทิศเหนือ เวลา 12:00 น.

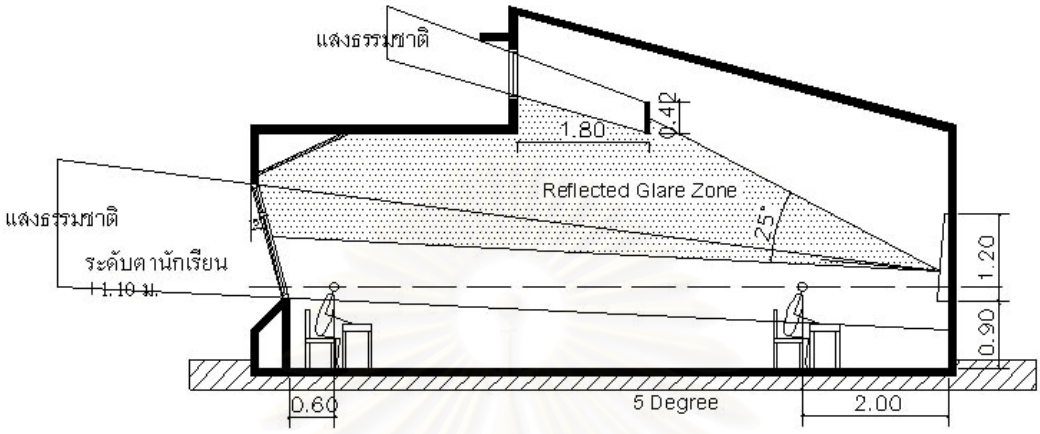
ทิศ	อัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้น	ความสว่างที่หน้าต่าง (fL)	ค่าDFhที่หน้าชั้นเรียน (%)	ระยะEffective Daylight (ม.)
เหนือ	4:1	433	8:00 น. 4.04% 12:00น. 2.86% 16:00 น. 3.10%	8:00 น. 9.00ม. 12:00น. 9.00ม. 16:00น. 9.00ม.
ใต้	17:1	901	8:00 น. 1.21% 12:00น. 1.57% 16:00 น. 1.72%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 6.00ม. 16:00น. 7.00ม.
ตะวันออก	5:1	326	8:00 น. 1.53% 12:00น. 1.33% 16:00 น. 1.47%	8:00 น. 6.00ม. 12:00น. 5.50ม. 16:00น. 6.00ม.
ตะวันตก	4.7:1	381	8:00 น. 1.08% 12:00น. 2.14% 16:00 น. 6.23%	8:00 น. 4.00ม. 12:00น. 9.00ม. 16:00น. 9.00ม.

จากตารางที่ 5.3 สรุปผลการทดลองการประยุกต์ใช้ช่องแสงด้านบน (Clerestories) กับช่องแสงด้านข้างกรณีศึกษาที่ 8 พบว่าการจัดวางหน้าต่างทางทิศใต้ ยังไม่สามารถลดอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นที่เกินเกณฑ์กำหนดได้ ดังนั้นควรพิจารณาเลือกใช้กระจกตัดแสงกับช่องแสงด้านข้าง (Side Lighting)ที่ให้ค่าการส่งผ่านน้อยลง (การทดลองนี้กำหนดใช้กระจกช่องแสงด้านข้างมีค่าการส่งผ่าน 88%) และให้ใช้กระจกช่องแสงด้านบนมีค่าการส่งผ่าน(Transparency) มากๆได้ เนื่องจากความสว่างในมุมมองที่เป็นมุมเงยมากกว่า 25 องศาขึ้นไปสายตาสามารถยอมรับความสว่างได้มากตั้งแต่1125 ถึง 2250 ฟุตแลมเบิร์ต (Flynn, 1988)

และจากตารางที่ 5.3 สรุปว่าการจัดวางหน้าต่างทิศเหนือให้ความเหมาะสมและมีความสบายตาในการมองเห็นมากที่สุด เนื่องจากมีค่าอัตราส่วนความเปรียบต่างความสว่างที่หน้าต่างกับหน้าชั้นเรียน และมีความสว่างที่หน้าต่างน้อยที่สุด และมีระดับความส่องสว่างในรูปของค่าเดไลท์ แฟคเตอร์มากที่สุด รวมทั้งมีระยะ Effective Daylight มีระยะที่ไกลที่สุด แสดงว่ามีการกระจายแสงภายในห้องเรียนทางทิศเหนือดีที่สุด

5.2.2 การแก้ไขปัญหาแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ที่กระดาน

ในกรณีที่มีการประยุกต์ใช้ช่องแสงด้านบนกับช่องแสงด้านข้างกรณีศึกษาที่ 8 สรุปการแก้ไขเพื่อไม่ให้แสงจากช่องแสงด้านบนตกกระทบกระดานโดยตรงจนทำให้เกิดแสงจ้าสะท้อนเข้าตานักเรียนทำให้รบกวนการมองเห็นของนักเรียนที่กระดาน โดยมีการออกแบบใช้อุปกรณ์ทึบแสงเพื่อบังส่วนแสงธรรมชาติที่ช่องแสงด้านบนไม่ให้มีแสงจากช่องแสงด้านบนตกกระทบกระดานโดยตรง ดังรูปที่ 5.8 แสดงระยะห่างอุปกรณ์บังแสงเป็นระยะประมาณ 1.80 เมตร และขนาดของอุปกรณ์มีความลึกไม่น้อย 0.42 เมตร



รูปที่ 5.8 แสดงการใช้อุปกรณ์บังแสงจากช่องแสงด้านบนเพื่อป้องกันการเกิดแสงจ้าสะท้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยห้องเรียนรูปแบบใหม่เพื่อความสบายตาในการมองเห็นนี้ เป็นการนำเสนอรูปแบบ (Shape) หน้าต่างกับการให้แสงธรรมชาติภายในห้องเรียน เพื่อให้การมองผ่านช่องแสงออกไปภายนอกห้องไม่โดนรบกวนจากแสงจ้า (Glare) และการมองที่กระดานของนักเรียนไม่ถูกรบกวนด้วยแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ที่กระดาน การหลีกเลี่ยงแสงจ้าสะท้อน (Reflected Glare) ที่มุมวิกฤติ 25 องศาจากตำแหน่งที่ติดตั้งดวงโคมของแสงไฟฟ้าประดิษฐ์กับโต๊ะเรียนภายในห้องเรียนรูปแบบใหม่ รวมทั้งตำแหน่งติดตั้งดวงโคมและวิธีการแก้ไขปัญหาแสงจ้าสะท้อนจากแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ที่กระดานและเนื่องด้วยเวลาอันจำกัดทำให้มีผลกระทบต่อการศึกษาวิจัยต่างๆดังนี้

5.3.1 การเลือกสภาพท้องฟ้า

ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการทดลองในการเลือกสภาพท้องฟ้าโปร่ง(Clear Sky) ซึ่งโดยความจริงแล้วหาได้ยากมาก ซึ่งทำให้ผลการทดลองที่ได้อาจคลาดเคลื่อนไปบ้าง เพราะจากรายงานกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าสภาพท้องฟ้าในประเทศไทยเกือบตลอดทั้งปีมีสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) ดังนั้นการทดลองวิจัยครั้งนี้จึงเลือกสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆบางส่วนที่มีเมฆปกคลุมในอัตราท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมไม่เกิน 0.3 หรือมีเมฆปกคลุมน้อยที่สุดจนเกือบมีสภาพเป็นท้องฟ้าโปร่ง

5.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ปัญหาการใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลการวิจัยนี้ มีปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านค่าข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแสง แม้ว่าผู้อ่านค่าข้อมูลและจดบันทึกข้อมูลได้พยายามอ่านค่าที่วัดให้ได้ในเวลาเดียวกันทุกครั้งก็ตาม ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ในการทดลองครั้งต่อไปควรพิจารณาเครื่องมือที่มีการอ่านค่าได้พร้อมกันอัตโนมัติ

5.3.3 ข้อจำกัดด้านเวลา

เนื่องจากเวลาทำการทดลองจำกัดจึงทำการศึกษาทดลองเฉพาะ 4 ทิศเท่านั้น ซึ่งไม่อาจตอบปัญหาได้ครบทุกทิศดังนั้นในการศึกษาวิจัยต่อไปควรทำการทดลองให้ครบทั้ง 8 ทิศ เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้ได้จริงและให้ผลถูกต้อง เพราะในสภาพความเป็นจริงสถานที่ก่อสร้างโรงเรียนบางแห่งไม่สามารถกำหนดทิศการหันหน้าต่างให้ได้ตรงตามทั้ง 4 ทิศได้

5.3.4 วัสดุทำหุ่นจำลอง

หุ่นที่ใช้ในการทดลองห้องเรียนที่มีมาตราส่วน 1:20 เท่าของขนาดที่แท้จริง เพื่อสะดวกต่อการทดลองและการขนย้ายไปดังนั้นข้อมูลที่ได้การอาจคลาดเคลื่อนได้ และเนื่องจากสภาพอากาศประเทศไทยมีความชื้นสัมพัทธ์มากจึงทำให้วัสดุกระดาษทำหุ่นจำลองที่เป็นทั้งโครงสร้างของห้องเรียนและกระดาษที่ใช้กรุส่วนต่างๆภายในห้องเรียนจำลองได้รับความชื้นและมีการหดและขยายตัวของวัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลองไม่เท่ากัน ทำให้กระดาษที่ใช้เป็นโครงสร้างเกิดการแอ่นตัว และพื้นผิววัสดุกระดาษที่ใช้กรุภายในห้องเรียนมีสภาพเป็นริ้วคลื่นไม่เรียบเสมอกันโดนตลอด

ทำให้มีผลกับการกระจายแสงภายในห้องเรียนจำลอง (Indirect Component) และอาจทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจึงต้องพยายามเลือกวัสดุในการทำหุ่นจำลองที่ทนความชื้นได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการหดและขยายตัวของวัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลอง

5.3.5 การวิจัยเพิ่มเติมครั้งต่อไป

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเน้นการแก้ไขปัญหาแสงจ้าที่มีผลต่อความสบายตาในการมองเห็นเท่านั้น ดังนั้นผลการทดลองที่แสดงระดับความส่องสว่างในรูปค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ บางทิศไม่เพียงพอ คือน้อยกว่าค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ ต่ำสุด (ค่า DF 2%) ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรเน้นให้มีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอตลอดทั้งวันเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

นอกจากนี้การวิจัยนี้ยังเฉพาะสภาพท้องฟ้าโปร่ง เวลา เที่ยงวัน ที่มีความสว่างท้องฟ้าจ้าบาดตามากที่สุดเท่านั้น ดังนั้นการวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาสภาพท้องฟ้าอื่นๆ ด้วย เพื่อให้แก้ไขปัญหาแสงจ้าได้ทุกสภาพท้องและมีระดับความส่องสว่างที่เพียงพอทุกสภาพท้องฟ้าด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กนกวรรณ อุสันโน. รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน : การให้แสงสว่างธรรมชาติและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

กุลศรี สุริยเดชสกุล. เทคนิคการให้แสงธรรมชาติ อาคารพิพิธภัณฑ์แสดงภาพเขียน เขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

คมกริช ชูเกียรติมั่น. การใช้แสงธรรมชาติเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

เฉลิมพงศ์ นัยวัฒน์.ผลกระทบในการให้แสงโดยการใช้ความจ้าและความเปรียบต่างความเข้มของแสงเพื่อเน้นวัตถุและความน่าสนใจ : กรณีศึกษา การจัดแสดงประติมากรรมในพิพิธภัณฑ์ . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

ชาญศักดิ์ อภัยนิพัฒน์. เทคนิคการออกแบบแสงสว่าง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ส.ส.ท. , 2543.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ: บริษัทอัมรินทร์ พริ้นติ้งแอนด์พลับลิชชิ่งจำกัด(มหาชน),2539.

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2541.

บริษัท เอ็ม แอนด์ อีจำกัด. 70เรื่องน่ารู้เทคนิคไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: บริษัทเอเชียเพรสจำกัด, 2521.

มงคล ทองสงคราม.วิศวกรรมการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : รามาการพิมพ์ , 2536.

มาลินี ศรีสุวรรณ. การใช้แสงสว่างธรรมชาติเพื่อการประหยัดพลังงาน.วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับที่ 5 ปีการศึกษา 2528 : 167 – 185.

วัฒนา ถาวร. การส่องสว่าง . กรุงเทพมหานคร : ส. เอเชียเพรส , 2542.

ศุลี บรรจงจิตร. วิศวกรรมการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2543.

สุนทร บุญญาธิการ. การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติภายในอาคาร. อาษาวารสารสถาปัตยกรรม กรกฎาคม 2541 : 94 –105

ภาษาอังกฤษ

Ander, G.D. Daylighting Performance Design. New York : Van Nostrand Reinhold, 1995.

Benjamin, S. , Reynolds, J.S., and McGuinness, W.J. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 7th ed. New York : John Wiley & Son, 1986.

Budde,F.and Theil,H.W. Schulen . Munchen : Georg D.W. Callwey, 1969.

Egan,D. M. Concepts in Architectural Lighting. NY:McGraw-Hill,1983.

Flynn, J.E.,and Malloy, J.F. Archtectural Interior Systems : Lighting, Air Conditions, Acoustics. New York : Van Nostrand Reinhold, 1970.

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

Hopkinson,R.G. and Collin,J.B. The Ergonomics of Lighting. London : Macdonald Technical and Scientific,1970.

Hopkinson,R.G. and Kay,J.D. The Lighting of Building. . London : Ebenezer Baylis and Son,1972.

Hopkinson,R.G. Lighting. London : Her Majesty's Office,1963.

Kaufman,J.E. . IES: Lighting Handbook. NY:Illuminating Engineering Society,1966.

Leslie,R.P.and others. The Lighting Pattern Book for Home. 2nd ed. NY:McGraw-Hill,1996.

Lynes,J.A. Principle of Natural Lighting. London : Elsevier,1968.

Michel, L. Light : The Shape of space . New York : Van Nostrand Reinhold, 1996.

Moore,F. Concept and Practice of Architectural Daylighting. NY: Van Nostrand Reinhold,1991.

Neufert, E. Architects' Data. 2nd ed. . New York : John Wiley & Son, 1982.

Phillips, D. Lighting in Archtectural Design. . New York : McGraw – Hill, 1964.

Prichard,D.C. Lighting. 2nd ed. London : Longman,1970.

Robbins, C.L. Daylighting design & analysis. New York : Van Nostrand Reinhold, 1986.

Robbins,C.L. Daylighting. NY: Van Nostrand Reinhold,1986.

Scientific and Industrial Research. Department. Principles of Modern Building. 2 Vols. 3rd ed. London : Her Majesty's Stationery office, 1963.

Smith, P. H. K. Upgrading Lecture Rooms. London : Galliard, 1979.

Steven, W.R. Building Physics Lighting. London : Pergarmon,1969.

Turner, J. Design with Light . New York : Watson – Guptill, 1998.

ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 2

วันที่ทำการทดลอง 2 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	11660	10260.8	16930	20519.16	60.00585
2	5420	4769.6	17240	20894.88	22.82664
3	3670	3229.6	17260	20919.12	15.43851
4	2600	2288	17250	20907	10.9437
5	1940	1707.2	17180	20822.16	8.199957
6	1518	1335.84	17060	20676.72	6.460599
7	1193	1049.84	16850	20422.2	5.14066
8	1021	898.48	16710	20252.52	4.436386
9	1057	930.16	16540	20046.48	4.640017

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	13250	11660	15090	18276.96	63.79617
2	1355	1192.4	14780	17913.36	6.656484
3	10050	8844	14750	17877	49.47139
4	10100	8888	14680	17792.16	49.95459
5	1789	1556.72	14790	17925.48	8.684399
6	19500	17160	15110	18313.32	93.70229
7	1906	1677.28	15400	18664.8	8.986327

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1167	1026.96	16130	19549.56	5.253111
2	13000	11440	16460	19949.52	57.34474
3	14590	12839.2	16700	20240.4	63.43363
4	14250	12540	16780	20313.12	61.7335
5	1850	1628	16770	20325.24	8.009746

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1528	1344.64	16150	19573.8	6.869591
2	1598	1406.24	16250	19695	7.140086
3	1679	1477.52	16290	19743.48	7.463584
4	1666	1642.08	16400	19876.8	8.26129
5	1956	1721.28	16390	19864.68	8.665028

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1614	1420.32	16180	19610.16	7.242776
2	1686	1483.68	16110	19525.32	7.599749
3	1789	1574.32	16040	19440.48	8.099154
4	1830	1610.4	15970	19355.64	8.320056
5	1876	1650.88	15930	19307.16	8.55061
6	1873	1648.24	15780	19125.36	8.618088
7	1785	1553.2	15610	18919.32	8.209597

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องเรียนตัวอย่าง

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 100%

วัดแสงระนาบนอน

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFh
1	136	136	10920	13235.04	1.042687
2	75	75	10940	13259.28	0.585642
3	61	61	10940	13259.28	0.460055
4	49	49	10950	13271.4	0.369215
5	44	44	10960	13283.52	0.331238
6	42	42	10970	13295.64	0.315893
7	43	43	10980	13307.76	0.32312

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	29	29	11600	14059.2	0.206271
2	1578	1578	11070	13416.84	11.76134
3	5490	5490	11080	13428.96	40.0818
4	12	12	11080	13428.96	0.089359

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	11	11	11100	13453.2	0.081765
2	5740	5740	11110	13465.32	42.82803
3	19	19	11120	13477.44	0.140976
4	5610	5610	11120	13477.44	41.62512
5	28	28	11120	13477.44	0.162915
6	6240	6240	11130	13489.56	46.258
7	19	19	11120	13477.44	0.140976

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	75	75	11110	13465.32	0.556986
2	79	79	11110	13465.32	0.586692
3	66	66	11110	13465.32	0.490146
4	65	65	11100	13453.2	0.483156
5	82	82	11100	13453.2	0.60952

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	171	171	11010	13344.12	1.281463
2	104	104	10990	13319.88	0.780788
3	78	78	10980	13307.76	0.586124
4	63	63	10970	13295.64	0.47384
5	54	54	10960	13283.52	0.406519
6	55	55	10950	13271.4	0.414426
7	52	52	10940	13259.28	0.392178

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 1.1

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา8.00น ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 63%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	850	535.5	9790	11865.48	4.513092
2	990	623.7	9800	11877.6	5.251061
3	672	423.36	9820	11901.84	3.557097
4	483	304.29	9820	11901.84	2.556864
5	357	224.91	9830	11913.96	1.887785
6	270	170.1	9840	11926.08	1.426286
7	197	124.11	9840	11926.08	1.04066
8	173	108.99	9850	11938.2	0.912952
9	163	102.69	9860	11950.32	0.859308

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	7740	4876.2	9550	11574.6	42.12845
2	258	162.54	9570	11598.84	1.401347

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	189	119.07	9410	11404.92	1.044023
2	242	152.46	9420	11417.04	1.335372
3	315	198.45	9430	11429.16	1.736348
4	336	211.68	9440	11441.28	1.850143
5	353	222.39	9450	11453.4	1.941694

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	144	90.72	9650	11695.8	0.775663
2	10500	6615	9660	11707.92	56.50022
3	10900	6867	9680	11732.16	58.53142
4	9520	5997.6	9710	11768.52	50.96308
5	156	98.28	9720	11780.64	0.83425

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	264	166.32	9140	11077.68	1.501397
2	279	175.77	9170	11114.04	1.581513
3	309	194.67	9180	11126.16	1.74966
4	317	199.71	9190	11138.28	1.793006
5	337	212.31	9210	11162.52	1.90199
6	350	220.5	9230	11186.76	1.97108
7	336	212.04	9250	11211	1.899385

กรณีศึกษาที่ 1.2

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	2320	2041.6	10020	12144.24	16.81128
2	1146	1008.48	10040	12168.48	8.287642
3	744	654.72	10040	12168.48	5.380458
4	351	308.88	10050	12180.6	2.535836
5	413	363.44	10060	12192.72	2.980795
6	329	289.52	10070	12204.84	2.372174
7	276	242.88	10080	12216.96	1.988056
8	237	208.56	10090	12229.08	1.705443
9	225	198	10100	12241.2	1.617488

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	409	359.92	10180	12338.16	2.917129
2	5998	5278.48	10210	12374.52	42.63988
3	7300	6424	10230	12398.76	51.81163
4	557	490.16	10240	12410.88	3.949438
5	252	221.76	10250	12423	1.785076

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	402	353.76	10430	12641.16	2.798477
2	417	366.96	10440	12653.28	2.900118
3	461	405.68	10450	12665.4	3.203057
4	453	398.64	10480	12701.76	3.138463
5	528	464.64	10500	12726	3.651108

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	258	227.04	10270	12447.24	1.824019
2	7540	6635.2	10300	12483.6	53.15133
3	8260	7268.8	10310	12495.72	58.17032
4	9190	8087.2	10390	12592.68	64.22144
5	273	240.24	10350	12544.2	1.915148

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	396	348.48	10600	12847.2	2.712498
2	437	384.56	10610	12859.32	2.990516
3	484	425.92	10620	12871.44	3.309031
4	490	431.2	10640	12895.68	3.343755
5	474	417.12	10650	12907.8	3.231534
6	444	390.72	10660	12919.92	3.024167
7	399	351.12	10680	12944.16	2.712575

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 1.1

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 63%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	2037	1283.31	18040	21864.48	5.869382
2	1677	1056.51	18040	21864.48	4.832084
3	1170	737.1	18040	21864.48	3.371221
4	785	494.55	18040	21864.48	2.261868
5	579	364.77	18040	21864.48	1.668322
6	440	277.2	18040	21864.48	1.26761
7	362	228.06	18060	21878.6	1.042484
8	307	193.41	18060	21878.6	0.884095
9	286	180.18	18060	21883.72	0.823164

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	15170	9557.1	17980	21767.62	43.90532
2	270	170.1	17980	21761.76	0.78057

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	363	228.69	17950	21755.4	1.051187
2	501	315.63	17950	21755.4	1.450812
3	585	368.55	17940	21743.28	1.695008
4	607	382.41	17940	21743.28	1.75876
5	600	378	17940	21743.28	1.736466

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	255	160.65	18030	21852.36	0.735161
2	13180	8303.4	18070	21900.84	37.91361
3	14435	9094.05	18070	21900.84	41.52375
4	14600	9198	18060	21888.72	42.02164
5	256	161.28	18060	21888.72	0.736818

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	560	352.8	17980	21791.76	1.618981
2	612	385.56	17970	21779.64	1.770277
3	623	392.49	17970	21779.64	1.803586
4	610	384.3	17960	21767.52	1.765474
5	609	383.67	17940	21743.28	1.764545
6	597	369.81	17940	21743.28	1.700301
7	553	348.39	17870	21658.44	1.608565

กรณีศึกษาที่ 1.2

T 66%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3840	3379.2	18160	22008.92	15.35308
2	2019	1776.72	18180	22034.16	8.06948
3	1414	1244.32	18180	22034.16	5.647231
4	1069	940.72	18180	22034.16	4.269371
5	830	730.4	18180	22034.16	3.314853
6	676	594.88	18170	22022.04	2.701294
7	560	492.8	18170	22022.04	2.237756
8	494	434.72	18160	22034.16	1.972937
9	458	403.04	18200	22058.4	1.82715

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	425	374	18230	22094.76	1.692709
2	17040	14995.2	18250	22119	67.7933
3	13060	11492.8	18270	22143.24	51.92267
4	1015	893.2	18270	22143.24	4.033737
5	371	326.48	18250	22119	1.475016

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	850	748	18290	22167.48	3.374312
2	859	755.92	18290	22167.48	3.41004
3	846	744.48	18280	22155.36	3.36027
4	987	868.56	18310	22191.72	3.834583
5	1109	975.92	18360	22275.59	4.380826

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	270	237.6	18250	22119	1.07419
2	14500	12760	18220	22082.64	57.78295
3	12770	11237.6	18230	22094.76	50.98093
4	15570	13701.6	18250	22119	61.94493
5	285	250.8	18250	22119	1.133867

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	864	777.92	18510	22434.12	3.467575
2	900	792	18480	22397.76	3.599088
3	919	808.72	18460	22373.52	3.61463
4	920	809.6	18450	22361.4	3.620525
5	903	794.64	18360	22288.68	3.585218
6	855	752.4	18400	22300.8	3.37367
7	777	683.76	18370	22264.44	3.071066

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 1.1

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2548 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 63%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFh
1	478	301.14	10270	12447.24	2.419332
2	666	419.58	10250	12423	3.377445
3	335	211.05	10250	12423	1.700935
4	279	173.88	10240	12410.68	1.401029
5	194	122.22	10230	12398.76	0.985744
6	144	90.72	10220	12386.64	0.732402
7	113	71.19	10210	12374.52	0.575295
8	99	62.37	10210	12374.52	0.50402
9	92	57.96	10200	12362.4	0.468841

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	6350	4000.5	10370	12568.44	31.82973
2	93	58.59	10360	12556.32	0.466618

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	122	76.86	10410	12616.92	0.609182
2	154	97.02	10410	12616.92	0.768967
3	186	117.18	10400	12604.8	0.929648
4	200	126	10390	12592.68	1.000581
5	208	129.78	10390	12592.68	1.030599

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	60	37.8	10350	12544.2	0.301334
2	5080	3200.4	10350	12544.2	25.51299
3	4980	3137.4	10350	12544.2	25.01076
4	5300	3339	10340	12532.08	26.64362
5	88	55.44	10320	12507.84	0.443242

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	166	117.18	10500	12726	0.920792
2	162	120.96	10470	12689.64	0.953219
3	198	124.74	10460	12677.52	0.983945
4	201	125.63	10450	12665.4	0.992655
5	200	126	10450	12665.4	0.994835
6	196	123.48	10450	12665.4	0.97494
7	164	115.92	10440	12653.28	0.916128

กรณีศึกษาที่ 1.2

T 86%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1144	1008.72	10000	12120	8.306271
2	543	477.84	9960	12095.76	3.950475
3	347	305.36	9950	12056.4	2.532133
4	255	224.4	9940	12047.28	1.862981
5	198	174.24	9910	12010.92	1.45068
6	165	145.2	9900	11996.8	1.210121
7	142	124.96	9890	11988.68	1.04249
8	129	113.52	9870	11962.14	0.94897
9	121	106.48	9860	11950.32	0.891022

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	146	130.24	9810	11889.72	1.0954
2	5490	4831.2	9780	11853.36	40.75806
3	4660	4276.8	9770	11841.24	36.11784
4	254	223.62	9740	11804.88	1.893454
5	109	95.92	9730	11792.76	0.81338

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	215	189.2	9520	11538.24	1.639785
2	215	189.2	250	303	62.44224
3	208	183.04	247	299.364	61.14296
4	230	202.4	245	296.94	68.16192
5	252	221.76	243	294.516	75.29642

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	71	62.48	9670	11720.04	0.593104
2	5960	5244.8	9660	11707.92	44.79703
3	5540	4963.2	9650	11695.8	42.43575
4	5160	4540.8	9630	11671.56	38.90483
5	96	84.48	9610	11647.32	0.725317

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E ln*T	Eout	Eout adj	DFv
1	195	171.6	9360	11344.32	1.512851
2	215	189.2	9340	11320.08	1.671366
3	216	190.08	9310	11283.72	1.684551
4	220	193.6	9300	11271.6	1.717501
5	223	196.24	9280	11247.36	1.744765
6	212	186.56	9270	11235.24	1.66046
7	194	170.72	9250	11211	1.52279

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 2

วันที่ทำการทดลอง 2 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	12100	10648	20400	24724.8	43.06607131
2	6260	5508.8	20400	24724.8	22.28048334
3	3930	3458.4	20500	24846	13.91934315
4	2870	2525.6	20500	24846	10.1650165
5	2131	1875.28	20500	24846	7.547613298
6	1657	1458.16	20600	24967.2	5.840302477
7	1386	1221.44	20900	25330.8	4.82195598
8	1254	1103.52	21000	25452	4.335690712
9	1160	1020.8	21000	25452	4.010988783

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	14740	12971.2	20200	24482.4	52.98173
2	1648	1450.24	20400	24724.8	5.865528
3	16370	14405.6	20600	24967.2	57.6981
4	16550	14564	20800	25209.6	57.77164
5	1470	1293.6	20900	25330.8	5.106826
6	15990	14071.2	20900	25330.8	55.54977
7	1124	989.12	21100	25573.2	3.867799

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1196	1052.48	21200	25694.4	4.098145
2	14560	12812.8	21200	25694.4	49.86612
3	14050	12364	20900	25330.8	48.81014
4	14780	13006.4	20800	25209.6	51.59304
5	1274	1121.12	20800	25209.6	4.447195

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1316	1158.08	18600	22543.2	5.137159
2	1512	1330.56	18700	22664.4	5.870705
3	1664	1464.32	18900	22906.8	6.392512
4	2020	1777.6	19000	23028	7.719298
5	2142	1884.96	19200	23270.4	8.100248

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	2017	1774.96	18900	22785.6	7.789832
2	2144	1886.72	18900	22785.6	8.280317
3	2144	1886.72	18700	22664.4	8.324597
4	2094	1842.72	18700	22664.4	8.13046
5	2057	1810.16	18700	22664.4	7.986799
6	1973	1736.24	18600	22543.2	7.701835
7	1650	1628	18500	22422	7.260726

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 2

วันที่ทำการทดลอง 2 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	6650	5852	14040	17016.48	34.39019116
2	4060	3572.8	14000	16968	21.05610561
3	2750	2420	14010	16980.12	14.25196053
4	2010	1768.8	14010	16980.12	10.41688751
5	1599	1407.12	14010	16980.12	8.286867231
6	1261	1109.68	13960	16943.76	6.549195692
7	1024	901.12	13970	16931.64	5.322107014
8	887	780.56	13950	16907.4	4.51258029
9	805	708.4	13950	16907.4	4.189881354

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	9230	8122.4	14030	17004.38	47.76657
2	1044	918.72	13900	16846.8	5.45338
3	10020	8817.6	13970	16931.64	52.07785
4	9500	8360	13970	16931.64	49.37502
5	935	822.8	13960	16919.52	4.863022
6	9540	8395.2	13980	16943.76	49.54744
7	645	567.6	13970	16931.64	3.352304

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	750	660	13950	16907.4	3.903516
2	8950	7876	13980	16943.76	46.48319
3	8950	7876	13960	16919.52	46.54978
4	9150	8052	13940	16895.28	47.65828
5	720	633.6	13990	16955.86	3.736757

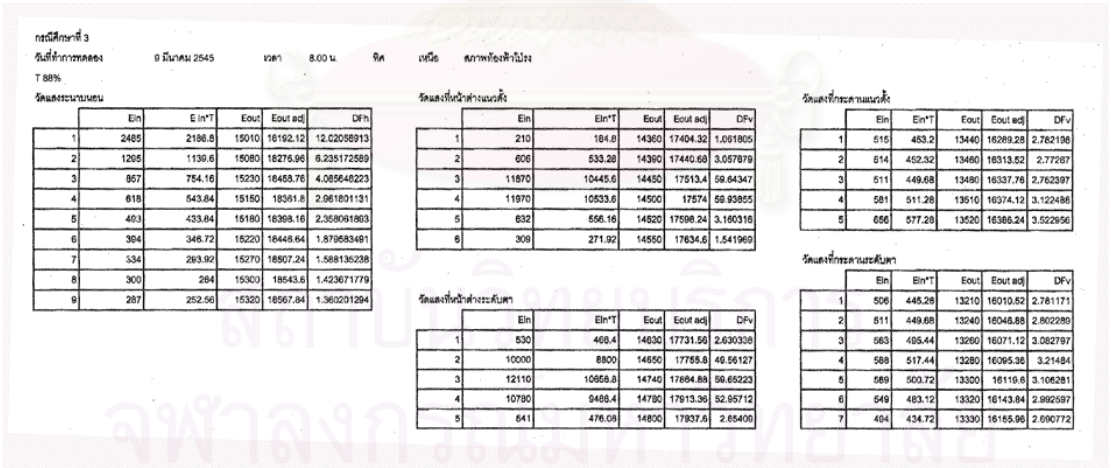
วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1298	1142.24	14350	17392.2	6.567642
2	1414	1244.32	14210	17222.52	7.224959
3	1493	1313.84	14140	17137.68	7.866382
4	1850	1452	14160	17161.92	8.460592
5	1785	1570.8	14100	17089.2	9.19177

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1639	1442.32	14580	17670.96	8.162092
2	1627	1431.76	14510	17585.12	8.141421
3	1696	1492.48	14500	17574	8.492546
4	1673	1472.24	14460	17525.52	8.40055
5	1615	1421.2	14540	17622.48	8.064699
6	1519	1336.72	14400	17452.8	7.659058
7	1360	1196.8	14420	17477.04	6.847842

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กรณีศึกษาที่ 3
วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง
T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFh
1	2485	2186.8	15010	16192.12	12.02058913
2	1295	1139.6	15080	16276.96	6.235172589
3	857	754.16	15230	16458.76	4.085648223
4	618	543.84	15150	16361.8	2.961801131
5	493	433.84	15180	16398.16	2.358091803
6	394	346.72	15220	16446.64	1.879683481
7	534	263.92	15270	16507.24	1.598135238
8	300	264	15300	16543.6	1.423671779
9	287	252.56	15320	16567.84	1.360201294

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	210	184.8	14360	17404.32	1.061805
2	606	533.28	14390	17440.68	3.057879
3	11870	10445.6	14450	17513.4	59.64347
4	11970	10533.6	14500	17574	59.93855
5	632	556.16	14520	17598.24	3.160316
6	309	271.92	14550	17634.6	1.541969

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	530	466.4	14630	17731.56	2.630338
2	10000	8800	14650	17755.8	49.56127
3	12110	10656.8	14740	17864.88	59.65223
4	10790	9495.2	14790	17913.36	52.95712
5	541	476.08	14800	17937.6	2.65406

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	515	453.2	13440	16289.28	2.762196
2	514	452.32	13460	16313.52	2.77267
3	511	449.68	13480	16337.76	2.762397
4	581	511.28	13510	16374.12	3.122486
5	656	577.28	13520	16386.24	3.522956

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	506	445.28	13210	16010.52	2.761171
2	511	449.68	13240	16046.88	2.802289
3	563	495.44	13260	16071.12	3.082797
4	588	517.44	13280	16095.36	3.21484
5	589	500.72	13300	16119.6	3.106281
6	549	483.12	13320	16143.84	2.992597
7	494	434.72	13330	16155.96	2.690772

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 3

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2548 เวลา 12.00 น ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3730	3282.4	19400	23512.8	13.9600656
2	1970	1733.6	19400	23512.8	7.373005342
3	1365	1201.2	19400	23512.8	5.108706747
4	1050	924	19400	23512.8	3.929774421
5	831	731.28	19400	23512.8	3.110135756
6	689	606.32	19400	23512.8	2.578680548
7	585	514.8	19400	23512.8	2.189445749
8	522	459.36	19400	23512.8	1.953659283
9	488	429.44	19400	23512.8	1.826409445

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	321	282.48	19500	23634	1.195227
2	885	778.8	19500	23634	3.295253
3	14250	12540	19400	23512.8	53.33265
4	13220	11633.6	19400	23512.8	49.47773
5	762	670.56	19400	23512.8	2.851693
6	422	371.36	19400	23512.8	1.579395

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	350	308	19500	23634	1.303207
2	12190	10727.2	19400	23512.8	45.62281
3	12970	11413.6	19400	23512.8	48.54207
4	13950	12276	19400	23512.8	52.20986
5	627	551.76	19400	23512.8	2.346637

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	870	765.6	19600	23755.2	3.222873
2	885	778.8	19600	23755.2	3.27844
3	918	807.84	19600	23755.2	3.400667
4	1005	884.4	19600	23755.2	3.722974
5	1121	986.48	19600	23755.2	4.152691

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	918	807.84	19600	23755.2	3.400667
2	999	879.12	19600	23634	3.719726
3	1026	904.64	19600	23755.2	3.808177
4	1023	900.24	19600	23755.2	3.789654
5	1017	894.96	19600	23755.2	3.767428
6	965	849.2	19600	23755.2	3.574796
7	882	776.16	19600	23755.2	3.267327

กรณีศึกษาที่ 3

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าไม่ปิด

T 69%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1208	1063.04	9180	11126.16	9.554416494
2	560	492.8	9190	11138.26	4.424381502
3	361	317.68	9190	11138.26	2.852145933
4	260	228.8	9190	11138.26	2.054177126
5	208	181.26	9190	11138.26	1.627540338
6	171	150.48	9200	11150.4	1.349547998
7	150	132	9200	11150.4	1.183914034
8	134	117.92	9210	11162.52	1.056382284
9	123	108.24	9210	11162.52	0.969973515

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	87	76.56	9110	11041.32	0.693395
2	141	124.08	9120	11053.44	1.122546
3	3090	3611.2	9130	11065.56	31.73088
4	4770	4197.6	9140	11077.68	37.89241
5	201	176.88	9150	11089.8	1.594979
6	78	68.64	9150	11089.8	0.618947

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	73	64.24	9150	11089.8	0.579271
2	4326	3806.88	9160	11101.92	34.29028
3	4990	4391.2	9160	11101.92	39.55362
4	4490	3951.2	9170	11114.04	35.55143
5	131	115.28	9170	11114.04	1.037247

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	227	199.76	9000	10906	1.831316
2	232	204.16	9010	10920.12	1.869577
3	234	205.92	9010	10920.12	1.885694
4	252	221.76	9020	10932.24	2.028496
5	307	270.16	9040	10956.48	2.465755

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	Ein*T	Eout	Eout adj	DFv
1	224	197.12	8930	10823.16	1.82128
2	255	224.4	8940	10835.28	2.071012
3	254	223.52	8940	10835.28	2.062891
4	260	228.8	8950	10847.4	2.109261
5	254	223.52	8950	10847.4	2.060586
6	247	217.36	8950	10847.4	2.003798
7	223	196.24	8950	10847.4	1.808097

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 4

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E lm*T	Eout	Eout adj	DFh
1	2392	2104.96	13300	16119.6	13.05838855
2	1250	1100	13330	16155.96	6.809632651
3	804	707.52	13330	16155.96	4.37931265
4	592	520.96	13440	16289.28	3.198178861
5	469	412.72	13460	16313.52	2.529920098
6	386	339.68	13460	16313.52	2.082199305
7	322	283.36	13510	16374.12	1.730635748
8	280	246.4	13520	16386.24	1.503700666
9	276	242.88	13520	16386.24	1.482219228

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E lm*T	Eout	Eout adj	DFv
1	225	198	14500	17574	1.128664
2	508	447.04	14530	17610.36	2.538506
3	10800	9504	14550	17634.6	53.89405
4	11800	10384	14640	17743.68	58.52225
5	269	236.72	14640	17743.68	1.334109
6	130	114.4	14650	17755.8	0.644297

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E lm*T	Eout	Eout adj	DFv
1	217	190.96	14650	17755.8	1.07548
2	9229	8113.6	14700	17816.4	45.54006
3	10000	8800	14740	17864.88	49.25866
4	10070	8861.6	14780	17913.36	49.46922
5	450	396	14800	17937.6	2.207553

วัดแสงที่กระตามแนวตั้ง

	Ein	E lm*T	Eout	Eout adj	DFv
1	508	447.04	12020	14568.24	3.068593
2	517	454.96	12030	14580.36	3.120362
3	506	445.28	12030	14580.36	3.063971
4	568	499.84	12040	14592.48	3.425326
5	688	605.44	12050	14604.6	4.145543

วัดแสงที่กระตามระดับตา

	Ein	E lm*T	Eout	Eout adj	DFv
1	516	454.08	12480	15125.76	3.002031
2	566	498.08	12480	15125.76	3.292925
3	549	483.12	12480	15125.76	3.194021
4	571	502.48	12480	15125.76	3.322015
5	566	498.08	12500	15150	3.287857
6	552	485.76	12560	15222.72	3.19102
7	490	431.2	12560	15222.72	2.832668

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 4

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพห้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1074	945.12	9290	11260.48	8.393993328
2	501	440.88	9260	11259.48	3.915633758
3	349	307.12	9260	11259.48	2.72765705
4	263	231.44	9260	11259.48	2.055512333
5	209	183.92	9300	11271.6	1.631711556
6	170	149.6	9300	11271.6	1.327229497
7	142	124.96	9300	11271.6	1.108826992
8	130	114.4	9310	11283.72	1.013850042
9	125	110	9310	11283.72	0.97485581

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	90	79.2	9330	11307.96	0.700362
2	308	271.04	9340	11320.08	2.394329
3	5330	4690.4	9340	11320.08	41.43434
4	5270	4637.6	9350	11332.2	40.92409
5	269	236.72	9350	11332.2	2.088915
6	86	75.68	9350	11332.2	0.667831

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	72	63.36	9360	11344.32	0.558517
2	5240	4611.2	9360	11344.32	40.64765
3	5270	4637.6	9360	11344.32	40.88037
4	5140	4523.2	9360	11344.32	39.87164
5	214	188.32	9360	11344.32	1.660038

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	233	205.04	9360	11344.32	1.807424
2	229	201.52	9360	11344.32	1.776396
3	229	201.52	9360	11344.32	1.776396
4	250	220	9360	11344.32	1.939296
5	274	241.12	9360	11344.32	2.125469

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	254	223.52	9340	11320.08	1.974544
2	267	234.96	9340	11320.08	2.075604
3	263	231.44	9330	11307.96	2.0467
4	262	230.56	9330	11307.96	2.038818
5	249	219.12	9330	11307.96	1.93775
6	242	212.96	9320	11295.84	1.885298
7	222	195.36	9320	11295.84	1.729488

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่5

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 86%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3020	2657.6	13010	15768.12	16.85426037
2	1480	1302.4	13030	15792.36	8.247025777
3	977	859.76	13040	15804.48	5.439976513
4	722	635.36	13040	15804.48	4.020125939
5	566	498.08	13040	15804.48	3.15151147
6	469	412.72	13050	15816.6	2.609410366
7	389	342.32	13050	15816.6	2.164308385
8	345	303.6	13050	15816.6	1.919502295
9	332	292.16	13060	15828.72	1.845758848

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	400	352	12930	15671.16	2.246164
2	10470	9213.6	12930	15671.16	58.79335
3	10960	9662.4	12930	15671.16	61.65721
4	626	550.88	12940	15683.28	3.512531
5	300	264	12940	15683.28	1.683321

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	200	176	12950	15695.4	1.121348
2	9510	8368.8	12960	15707.52	53.27894
3	10730	9442.4	12960	15731.76	60.02126
4	11510	10128.8	12960	15731.76	64.3844
5	278	244.64	12990	15743.88	1.563874

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	588	517.44	12860	15622.68	3.312108
2	596	524.48	12860	15622.68	3.35717
3	589	518.32	12900	15634.8	3.315169
4	666	586.08	12910	15646.92	3.745857
5	792	696.96	12920	15659.04	4.450848

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	599	527.12	12800	15513.6	3.397793
2	685	602.8	12800	15513.6	3.885623
3	704	619.52	12810	15525.72	3.990282
4	685	602.8	12820	15537.84	3.879561
5	8777	9963.76	12840	15562.08	38.32238
6	654	575.52	12860	15586.32	3.692469
7	584	513.92	12860	15586.32	3.29725

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่5

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3920	3449.6	20400	24724.8	13.95198343
2	2009	1767.92	20400	24724.8	7.15039151
3	1382	1216.16	20400	24724.8	4.918786996
4	1039	914.32	20400	24724.8	3.697997446
5	826	726.88	20400	24724.8	2.939982224
6	635	558.8	20400	24724.8	2.260078949
7	544	478.72	20400	24724.8	1.936193919
8	493	433.84	20400	24724.8	1.754675468
9	481	423.28	20400	24724.8	1.711965314

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	411	361.68	20400	24724.8	1.462823
2	16000	14080	20400	24724.8	56.94667
3	16450	14476	20400	24724.8	58.5485
4	900	792	20400	24724.8	3.203262
5	270	237.6	20400	24724.8	0.960978

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	237	208.56	20400	24724.8	0.843526
2	14040	12355.2	20400	24724.8	49.97088
3	13850	12188	20400	24724.8	49.29464
4	14140	12443.2	20400	24724.8	50.3268
5	291	256.08	20400	24724.8	1.035721

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	877	771.76	20400	24724.8	3.1214
2	898	786.48	20400	24724.8	3.180025
3	890	783.2	20400	24724.8	3.16787
4	978	860.64	20400	24724.8	3.480877
5	1098	966.24	20400	24724.8	3.907979

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	890	783.2	20400	24724.8	3.16787
2	976	858	20500	24846	3.453272
3	985	866.8	20500	24846	3.48869
4	984	874.72	20500	24846	3.520567
5	976	858	20500	24846	3.453272
6	926	814.88	20500	24846	3.279723
7	827	727.76	20500	24846	2.929063

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 6

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1176	1034.88	8510	10314.12	10.03362381
2	576	506.88	8500	10302	4.926209668
3	360	316.8	8490	10289.88	3.078753105
4	260	228.8	8480	10277.76	2.226166013
5	209	183.92	8480	10277.76	1.789484987
6	167	146.96	8470	10265.64	1.431571729
7	142	124.96	8460	10253.52	1.218703431
8	130	114.4	8460	10253.52	1.115714408
9	120	105.6	8450	10241.4	1.031109028

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	132	116.16	8820	10689.84	1.088639
2	4510	3968.8	8800	10665.6	37.21122
3	4460	3916	8790	10653.48	36.75794
4	168	147.84	8780	10641.36	1.389296
5	69	60.72	8770	10629.24	0.571254

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	56	49.28	8750	10605	0.464688
2	4450	3916	8740	10592.88	36.96823
3	4370	3845.6	8640	10471.68	36.72381
4	4620	4065.6	8630	10459.56	38.8697
5	74	65.12	8610	10435.32	0.624035

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	230	202.4	8950	10847.4	1.865885
2	233	205.04	8940	10835.28	1.892337
3	230	202.4	8920	10811.04	1.87216
4	259	227.92	8900	10786.8	2.112853
5	283	249.04	8890	10774.68	2.311345

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	244	214.72	9130	11065.56	1.940435
2	250	220	9120	11053.44	1.990331
3	258	227.04	9100	11029.2	2.058536
4	258	227.04	9090	11017.08	2.0606
5	256	225.28	9080	11004.96	2.047077
6	248	218.24	9070	10992.84	1.985292
7	227	199.76	9050	10968.6	1.821199

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 6.1

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 83%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	262	165.06	13240	16546.88	1.028611169
2	300	189	13250	16059	1.178910144
3	307	193.41	13250	16059	1.204371381
4	280	176.4	13250	16071.12	1.097821074
5	230	144.9	13270	16063.24	0.900937871
6	187	117.81	13280	16095.36	0.731950078
7	146	91.98	13290	16107.48	0.571038045
8	133	83.79	13300	16119.6	0.51980198
9	212	133.56	13310	16131.72	0.827934033

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	253	159.39	13320	16143.84	0.987312
2	11000	6930	13320	16143.84	42.92859
3	306	192.78	13330	16155.96	1.193244

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	249	159.87	13450	16301.4	0.96231
2	229	144.27	13470	16325.64	0.883702
3	240	151.2	13470	16325.64	0.926151
4	244	153.72	13480	16337.76	0.940888
5	237	149.31	13490	16349.88	0.913218

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	160	100.8	13350	16180.2	0.622984
2	11840	7459.2	13360	16192.32	46.06828
3	13970	8801.1	13370	16204.44	54.31289
4	13290	8372.7	13370	16204.44	51.66917
5	297	187.11	13400	16240.8	1.152098

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	211	132.93	13590	16471.08	0.807051
2	226	143.64	13600	16483.2	0.871433
3	237	149.31	13610	16495.32	0.905186
4	240	151.2	13620	16507.44	0.915951
5	240	151.2	13640	16531.68	0.914608
6	235	148.05	13650	16543.8	0.894697
7	214	134.82	13650	16543.8	0.814926

กรณีศึกษาที่ 6.2

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3690	3247.2	13540	16410.48	19.7873554
2	1892	1488.96	13550	16422.6	9.066530269
3	1089	958.32	13560	16434.72	5.831069833
4	810	712.8	13560	16434.72	4.33715938
5	635	558.8	13560	16434.72	3.400116773
6	514	452.32	13570	16446.84	2.750193956
7	409	359.92	13580	16458.96	2.186772493
8	370	325.6	13580	16458.96	1.97825379
9	352	309.76	13580	16458.96	1.882014416

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	477	419.76	15830	19185.08	2.18765
2	10610	9512.8	15870	19234.44	49.45712
3	11090	9759.2	15930	19307.16	50.54705
4	261	247.26	15890	19258.68	1.283992

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	628	552.64	13940	16895.28	3.270973
2	640	563.2	13960	16943.76	3.323938
3	637	560.56	13960	16943.76	3.308357
4	736	649.44	13990	16955.88	3.830176
5	830	730.4	14000	16968	4.304573

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	189	166.32	13470	16325.64	1.018765
2	12320	10841.6	13470	16325.64	66.40842
3	13050	11484	13480	16337.76	70.29115
4	12640	11123.2	13480	16337.76	68.08277
5	270	237.6	13480	16337.76	1.4543

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	619	544.72	13880	16822.56	3.238033
2	717	630.96	13880	16822.56	3.750678
3	749	659.12	13870	16810.44	3.920897
4	732	644.16	13890	16834.68	3.826387
5	740	651.2	13920	16871.04	3.859859
6	710	624.8	13930	16883.16	3.700729
7	844	668.72	13930	16883.16	3.356718

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 1

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 63%

วัดแสงขนานบนลน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	281	177.03	20400	24724.8	0.716001747
2	362	228.06	20300	24603.6	0.928937521
3	374	235.62	20300	24603.6	0.957664732
4	349	219.87	20300	24603.6	0.89364971
5	307	193.41	20300	24603.6	0.786104473
6	260	163.8	20300	24603.6	0.665760231
7	217	136.71	20300	24603.6	0.555650393
8	187	117.81	20400	24724.8	0.476485149
9	169	106.47	20400	24724.8	0.430620268

วัดแสงที่นำห่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	405	255.15	20300	24603.6	1.037043
2	15440	9727.2	20300	24603.6	39.53568
3	233	146.79	20300	24603.6	0.59682

วัดแสงที่ทะลานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	304	191.52	20200	24482.4	0.782276
2	317	199.71	20200	24482.4	0.815729
3	318	200.34	20200	24482.4	0.818302
4	330	207.9	20200	24482.4	0.849181
5	300	189	20200	24482.4	0.771983

วัดแสงที่นำระยะลับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	139	87.57	20300	24603.6	0.355924
2	13890	8750.7	20300	24603.6	35.56875
3	14420	9084.6	20300	24603.6	36.92386
4	13000	8190	20300	24603.6	33.28781
5	203	127.89	20200	24482.4	0.522375

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	322	202.86	20200	24482.4	0.828595
2	332	209.16	20100	24361.2	0.858578
3	341	214.83	20100	24361.2	0.881853
4	341	214.83	20200	24482.4	0.877486
5	329	207.27	20200	24482.4	0.846606
6	308	192.78	20200	24482.4	0.787423
7	274	172.62	20100	24361.2	0.708586

กรณีศึกษาที่ 2

T 88%

วัดแสงขนานบนลน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	4640	4259.2	20100	24361.2	17.4835394
2	2482	2184.16	20100	24361.2	8.965732394
3	1630	1434.4	20100	24361.2	5.888051492
4	1165	1025.2	20100	24361.2	4.208331281
5	917	806.96	20100	24361.2	3.312480502
6	738	647.68	20100	24361.2	2.658653925
7	617	542.96	20100	24361.2	2.228790043
8	553	486.64	20100	24361.2	1.997602745
9	500	440	20100	24361.2	1.806150784

วัดแสงที่นำห่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	412	362.56	20100	24361.2	1.488268
2	16400	14432	20100	24361.2	59.24175
3	16360	14396.8	20100	24361.2	59.09725
4	458	403.04	20100	24361.2	1.654434

วัดแสงที่ทะลานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	953	838.64	20100	24361.2	3.442523
2	960	844.8	20100	24361.2	3.467809
3	952	846.56	20100	24361.2	3.475034
4	1056	929.28	20100	24361.2	3.81459
5	1177	1035.76	20100	24361.2	4.251579

วัดแสงที่นำระยะลับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	273	240.24	20100	24361.2	0.986158
2	13750	12100	20100	24361.2	49.66915
3	13900	12232	20100	24361.2	50.21099
4	14900	13112	20100	24361.2	53.82329
5	371	326.48	20100	24361.2	1.340164

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	997	877.36	20000	24240	3.619472
2	1048	922.24	20000	24240	3.80462
3	1095	963.6	20000	24240	3.975246
4	1088	957.44	20000	24240	3.949835
5	1069	940.72	20000	24240	3.880856
6	1018	895.84	20000	24240	3.69571
7	905	796.4	20000	24240	3.285479

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 1

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพห้องหลังโปร่ง

T 63%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	109	68.67	8160	9914.16	0.69264567
2	125	78.75	8170	9902.04	0.795290697
3	123	77.49	8160	9869.62	0.785525044
4	109	68.67	8160	9869.62	0.695343331
5	90	56.7	8140	9865.68	0.574719634
6	73	45.99	8140	9865.68	0.466161481
7	59	37.17	8130	9853.56	0.377224069
8	51	32.13	8120	9841.44	0.326476613
9	46	28.98	8110	9829.32	0.294882196

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	150	94.5	8090	9805.08	0.963786
2	4340	2734.2	8060	9792.96	27.92006
3	95	59.85	8070	9780.84	0.611911

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	44	27.72	8060	9768.72	0.283783
2	4540	2860.2	8040	9744.48	29.352
3	4840	3049.2	8040	9744.48	31.29156
4	4760	2998.8	8000	9696	30.92822
5	69	43.47	7980	9671.76	0.449453

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	73	45.99	7910	9586.92	0.479715
2	76	47.88	7900	9574.8	0.500063
3	76	47.88	7880	9526.32	0.502608
4	77	48.51	7890	9562.68	0.507285
5	73	45.99	7880	9550.56	0.481542

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	68	42.84	7850	9514.2	0.450274
2	75	47.25	7850	9514.2	0.496526
3	77	48.51	7840	9502.08	0.51052
4	77	48.51	7840	9502.08	0.51052
5	75	47.25	7840	9502.08	0.49726
6	72	45.36	7830	9489.96	0.477979
7	65	40.95	7830	9489.96	0.431509

กรณีศึกษาที่ 2

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1470	1293.6	7080	8580.96	15.07523634
2	627	551.76	7080	8580.96	6.430049785
3	381	335.28	7070	8568.84	3.91278166
4	274	241.12	7070	8568.84	2.813916469
5	199	175.12	7070	8568.84	2.043683859
6	172	151.36	7060	8556.72	1.768902103
7	143	125.84	7050	8544.6	1.472743019
8	127	111.76	7050	8544.6	1.307905583
9	115	101.2	7050	8544.6	1.184373757

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	125	110	7170	8690.04	1.265817
2	4400	3872	7160	8677.92	44.61899
3	3780	3326.4	7160	8677.92	38.33177
4	100	88	7150	8665.8	1.015486

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	59	51.92	7140	8653.68	0.599976
2	4050	3564	7130	8641.56	41.24255
3	3980	3502.4	7130	8641.56	40.52972
4	3760	3308.8	7120	8629.44	38.34316
5	90	79.2	7120	8629.44	0.917788

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	215	189.2	7260	8798.12	2.150215
2	215	189.2	7250	8787	2.153181
3	212	186.56	7230	8762.76	2.12901
4	234	205.92	7220	8750.64	2.353199
5	259	227.92	7210	8738.52	2.606222

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	214	188.32	7730	9368.76	2.010066
2	229	201.52	7710	9344.52	2.156558
3	240	211.2	7700	9332.4	2.263083
4	237	208.56	7690	9320.28	2.237701
5	237	208.56	7670	9296.04	2.243536
6	230	202.4	7670	9296.04	2.177271
7	213	187.44	7660	9283.92	2.018975

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่7

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2548 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบบน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3770	3317.6	13720	16628.64	19.95112048
2	1742	1532.96	13720	16628.64	9.218793599
3	1167	1026.96	13730	16640.76	6.171352751
4	813	715.44	13740	16652.88	4.296193812
5	641	564.08	13760	16665	3.384818462
6	510	448.8	13760	16677.12	2.691112134
7	427	375.76	13770	16689.24	2.251510554
8	391	344.08	13770	16689.24	2.06188765
9	358	315.04	13780	16701.36	1.88631345

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	414	364.32	13830	16761.96	2.173493
2	10660	9380.4	13850	16786.2	55.88885
3	8200	7216	13860	16798.32	42.95668
4	251	220.88	13850	16786.2	1.315843

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	175	154	13850	16786.2	0.91742
2	8560	7532.8	13880	16822.56	44.77796
3	8460	7444.8	13880	16822.56	44.25486
4	8680	7638.4	13900	16846.8	45.34036
5	266	234.08	13910	16858.92	1.388484

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	658	579.04	13980	16943.76	3.417423
2	667	586.96	13980	16943.76	3.464166
3	676	594.88	14010	16980.12	3.503391
4	757	666.16	14020	16992.24	3.920378
5	872	767.36	14040	17016.48	4.509511

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	680	598.4	14130	17125.56	3.494192
2	712	626.56	14130	17125.56	3.658625
3	804	707.52	14210	17222.52	4.10611
4	766	674.08	14210	17222.52	3.913945
5	795	699.6	14170	17174.04	4.07359
6	732	644.16	14160	17161.92	3.753426
7	677	595.76	14190	17198.28	3.464057

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่7

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	4350	3828	20300	24603.6	15.55869873
2	2135	1878.8	20300	24603.6	7.636280869
3	1473	1296.24	20300	24603.6	5.268497293
4	1059	931.92	20300	24603.6	3.78773838
5	833	733.04	20300	24603.6	2.979401388
6	684	601.92	20300	24603.6	2.446471248
7	544	478.72	20300	24603.6	1.945731519
8	499	439.12	20300	24603.6	1.784779463
9	476	418.88	20300	24603.6	1.702316079

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	644	566.72	20400	24724.8	2.292112
2	12420	10929.6	20400	24724.8	44.20501
3	10550	9284	20400	24724.8	37.54934
4	317	278.96	20400	24724.8	1.12829

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	240	211.2	20400	24724.8	0.854203
2	10690	9407.2	20400	24724.8	38.04763
3	10740	9451.2	20400	24724.8	38.22559
4	8900	7832	20500	24846	31.52218
5	315	277.2	20500	24846	1.116073

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	885	778.8	20500	24846	3.134509
2	887	780.56	20600	24967.2	3.126342
3	861	775.28	20600	24967.2	3.105194
4	960	844.8	20600	24967.2	3.383639
5	1034	909.92	20600	24967.2	3.644462

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	910	800.8	23200	28118.4	2.847957
2	988	867.66	23200	28118.4	3.085809
3	987	868.56	23200	28118.4	3.089038
4	1004	883.52	23200	28118.4	3.142142
5	983	865.04	23200	28118.4	3.07642
6	928	816.64	23200	28118.4	2.90429
7	845	743.6	23200	28118.4	2.644532

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่7

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพห้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบสน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1256	1105.28	6980	8459.76	13.06514606
2	596	524.48	6990	8471.88	6.190639876
3	375	330	6980	8459.76	3.900619881
4	264	232.32	6980	8459.76	2.746177197
5	203	178.64	6980	8459.76	2.111643829
6	166	146.08	6980	8459.76	1.726782934
7	139	122.32	6980	8459.76	1.445803903
8	122	107.36	6980	8459.76	1.269066735
9	112	98.56	6980	8459.76	1.165044871

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	210	184.8	6990	8471.88	2.181334
2	3810	3352.8	6990	8471.88	39.57563
3	3940	3467.2	6990	8471.88	40.92598
4	68	59.84	6990	8471.88	0.706337

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	46	40.48	6990	8471.88	0.477816
2	3220	2833.6	6990	8471.88	33.44712
3	3160	2780.8	6990	8471.88	32.82388
4	2790	2455.2	6990	8471.88	28.99058
5	75	66	6980	8459.76	0.780164

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	206	183.04	6980	8459.76	2.163655
2	206	181.28	6980	8459.76	2.14285
3	204	179.52	6960	8459.76	2.122046
4	225	198	6970	8447.64	2.34365
5	253	222.64	6970	8447.64	2.635529

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	199	175.12	6940	8411.28	2.081966
2	215	189.2	6930	8399.16	2.252606
3	223	196.24	6920	8387.04	2.3398
4	222	195.36	6910	8374.92	2.332679
5	225	198	6910	8374.92	2.364202
6	216	191.84	6900	8362.8	2.293069
7	208	183.04	6890	8350.68	2.191017

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 8

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3590	3159.2	14670	17780.04	17.76823899
2	1655	1456.4	14670	17780.04	8.191207069
3	1067	956.56	14670	17780.04	5.379965399
4	796	700.48	14680	17792.16	3.937014855
5	632	556.16	14690	17804.28	3.12374328
6	510	448.8	14690	17804.28	2.520742204
7	395	347.6	14700	17816.4	1.951011428
8	348	306.24	14710	17828.52	1.717697263
9	326	286.88	14720	17840.64	1.608014062

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	290	255.2	14640	17743.68	1.438269
2	9110	8016.8	14640	17743.68	45.18116
3	8990	7911.2	14630	17731.56	44.61649
4	507	446.16	14640	17743.68	2.514473

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	192	168.96	14640	17743.68	0.952226
2	8770	7717.6	14640	17743.68	43.49492
3	10300	9064	14640	17743.68	51.08298
4	8770	7717.6	14640	17743.68	43.49492
5	322	283.36	14640	17743.68	1.596963

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	600	528	14610	17707.32	2.981618
2	620	545.6	14610	17707.32	3.081212
3	595	523.6	14610	17707.32	2.959969
4	655	576.4	14620	17719.44	3.252924
5	740	651.2	14620	17719.44	3.67506

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	582	512.16	14510	17586.12	2.912297
2	682	600.16	14520	17598.24	3.410341
3	707	622.16	14520	17598.24	3.535354
4	696	612.48	14530	17610.36	3.477953
5	684	601.92	14550	17634.6	3.41329
6	628	552.64	14560	17646.72	3.131687
7	568	499.84	14560	17646.72	2.832481

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 3

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดผลระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3570	3141.6	22500	27270	11.52036204
2	2057	1810.16	22400	27148.8	6.667550884
3	1434	1261.92	22400	27148.8	4.648161245
4	1018	895.84	22400	27148.8	3.299740088
5	801	704.88	22400	27148.8	2.59635786
6	660	580.8	22400	27148.8	2.139321075
7	526	462.88	22400	27148.8	1.704974089
8	476	418.88	22400	27148.8	1.54290429
9	441	388.08	22400	27148.8	1.429455446

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	934	821.92	22700	27512.4	2.987453
2	9470	8333.6	22700	27512.4	30.29034
3	9650	8492	22700	27512.4	30.88608
4	292	256.96	22700	27512.4	0.933979

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	257	226.16	22600	27391.2	0.825667
2	10040	8835.2	22600	27391.2	32.25561
3	10760	9468.8	22600	27391.2	34.56877
4	11070	9741.6	22600	27391.2	35.56471
5	376	330.88	22500	27270	1.213348

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	858	755.04	22800	27633.6	2.732326
2	879	773.52	22800	27633.6	2.799201
3	860	756.8	22800	27633.6	2.738695
4	962	846.56	22800	27633.6	3.063517
5	1088	957.44	22800	27633.6	3.464768

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1016	894.08	23000	27876	3.207347
2	977	859.76	23000	27876	3.08423
3	982	864.16	23000	27876	3.100014
4	993	873.84	23000	27876	3.13474
5	950	836	22900	27754.8	3.012062
6	913	803.44	22900	27754.8	2.894779
7	817	718.96	22900	27754.8	2.590369

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 8

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1132	996.16	6150	7453.8	13.3644584
2	568	491.04	6140	7441.68	6.598510014
3	358	315.04	6130	7429.56	4.240358783
4	255	224.4	6120	7417.44	3.02530263
5	194	170.72	6120	7417.44	2.301602709
6	158	139.04	6110	7405.32	1.877669069
7	132	116.16	6100	7393.2	1.571173511
8	116	102.08	6090	7381.08	1.382995442
9	109	95.92	6060	7368.96	1.30167622

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	136	119.68	6450	7817.4	1.530944
2	2760	2428.8	6410	7768.92	31.26303
3	2579	2269.52	6390	7744.68	29.30424
4	74	65.12	6370	7720.44	0.843475

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	61	53.68	6330	7671.96	0.699691
2	3100	2728	6290	7623.48	35.78418
3	3050	2684	6280	7611.36	35.26308
4	2280	2006.4	6270	7599.24	26.40264
5	72	63.36	6250	7575	0.836436

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	203	178.64	6570	7962.84	2.243421
2	208	183.04	6560	7950.72	2.302181
3	209	183.92	6540	7926.48	2.320324
4	224	197.12	6520	7902.24	2.494483
5	248	218.24	6510	7890.12	2.765991

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	205	180.4	6740	8168.88	2.208381
2	221	194.48	6730	8156.76	2.38428
3	234	205.92	6710	8132.52	2.532056
4	232	204.16	6700	8120.4	2.514162
5	230	202.4	6690	8108.28	2.496214
6	224	197.12	6670	8084.04	2.436385
7	208	183.04	6660	8071.92	2.267614

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 9

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3060	2692.8	14800	17937.6	15.01204174
2	1717	1510.96	14810	17949.72	8.417736784
3	1156	1017.28	14820	17961.84	5.663562308
4	835	734.8	14820	17961.84	4.090894919
5	664	584.32	14830	17973.96	3.250926227
6	527	463.76	14840	17986.08	2.578438437
7	405	356.4	14840	17986.08	1.981532385
8	370	325.6	14840	17986.08	1.810288846
9	357	314.16	14850	17998.2	1.745507884

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	411	361.68	14880	18034.56	2.005483
2	6150	7172	14890	18046.68	39.74138
3	7620	6705.6	14900	18058.8	37.13204
4	224	197.12	14940	18107.28	1.088623

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	625	550	15000	668.6	82.50825
2	641	564.08	15010	683.665	82.50825
3	628	552.64	15010	669.7997	82.50825
4	698	614.24	15000	744.4589	82.50825
5	772	679.36	15000	823.3843	82.50825

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	160	158.4	14960	18131.52	0.873617
2	8610	7576.8	14920	18083.04	41.90003
3	7790	6855.2	14930	18095.16	37.88416
4	8050	7084	14950	18119.4	39.09822
5	276	242.88	14950	18119.4	1.340442

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	610	536.8	14770	17901.24	2.998675
2	6889	6062.32	14780	17913.36	33.84246
3	723	636.24	14780	17913.36	3.551762
4	717	630.96	14800	17937.6	3.517527
5	713	627.44	14810	17949.72	3.496542
6	670	589.6	14800	17937.6	3.28695
7	604	531.52	14810	17949.72	2.96116

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 9

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สนามหลวงฟ้าโปง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3450	3036	24100	29206.2	10.39388546
2	1823	1604.24	24100	29206.2	5.49224217
3	1304	1147.52	24100	29206.2	3.928625228
4	993	873.84	24100	29206.2	2.991660162
5	780	686.4	24100	29206.2	2.349044538
6	639	562.32	24100	29206.2	1.925146972
7	520	457.6	24100	29206.2	1.566629682
8	466	410.08	24100	29206.2	1.403941224
9	437	384.56	24100	29206.2	1.316571491

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	875	770	24200	29330.4	2.625263
2	9390	8263.2	24200	29330.4	28.17282
3	8870	7805.6	24200	29330.4	26.61266
4	275	242	24200	29330.4	0.825083

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	209	183.92	24200	29330.4	0.627063
2	9400	8272	24200	29330.4	28.20282
3	8290	7295.2	24200	29330.4	24.87249
4	7500	6600	24200	29330.4	22.50225
5	310	272.8	24200	29330.4	0.930093

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	826	726.88	24200	29330.4	2.478248
2	838	737.44	24200	29330.4	2.514251
3	841	740.08	24200	29330.4	2.523252
4	977	859.76	24300	29451.6	2.91923
5	1039	914.32	24300	29451.6	3.104483

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	857	754.16	24300	29451.6	2.560676
2	990	871.2	24300	29451.6	2.958074
3	949	835.12	24300	29451.6	2.835668
4	950	836	24300	29451.6	2.838555
5	908	799.04	24400	29572.8	2.701042
6	860	756.8	24400	29572.8	2.559108
7	756	665.28	24400	29572.8	2.249635

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 3

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ที่ เหนือ สถาพร้องฟ้าโปง

T 88%

วัดแสงระนาบกลอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1008	887.04	5910	7162.92	12.38377645
2	504	443.52	5910	7162.92	6.191888224
3	334	293.92	5910	7162.92	4.103354498
4	236	207.68	5910	7162.92	2.899376232
5	184	161.92	5910	7162.92	2.260530022
6	150	132	5910	7162.92	1.842623976
7	125	110	5910	7162.92	1.535666564
8	111	97.68	5910	7162.92	1.363689066
9	104	91.52	5910	7162.92	1.277691221

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	249	219.12	5920	7175.04	3.05392
2	2970	2613.6	5930	7187.16	36.36485
3	2445	2151.6	5930	7187.16	29.93672
4	66	58.08	5930	7187.16	0.808108

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	44	38.72	5940	7199.28	0.537832
2	2550	2244	5940	7199.28	31.16978
3	2310	2032.8	5940	7199.28	28.23616
4	2181	1919.28	5940	7199.28	26.65933
5	62	54.56	5940	7199.28	0.757854

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	177	155.76	5950	7211.4	2.159913
2	180	158.4	5940	7199.28	2.20022
3	179	157.52	5940	7199.28	2.187997
4	202	177.76	5950	7211.4	2.464866
5	230	202.4	5950	7211.4	2.806667

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	178	156.64	5950	7211.4	2.172116
2	192	168.96	5940	7199.28	2.346901
3	200	176	5940	7199.28	2.444689
4	209	183.92	5940	7199.28	2.5547
5	208	183.04	5940	7199.28	2.542478
6	197	173.36	5940	7199.28	2.408019
7	180	158.4	5940	7199.28	2.20022

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่10

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 86%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3640	3203.2	15200	18422.4	17.38752823
2	1910	1680.8	15200	18422.4	9.123675525
3	1300	1144	15200	18422.4	6.209831509
4	997	877.36	15210	18434.52	4.759331948
5	714	628.32	15220	18446.64	3.406148762
6	537	472.56	15240	18470.88	2.558405447
7	450	396	15240	18470.88	2.143915179
8	416	366.08	15240	18470.88	1.981930477
9	383	337.04	15240	18470.88	1.82471003

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	705	620.4	15030	18216.36	3.40573
2	11190	9847.2	15040	18228.48	54.02096
3	10690	9671.2	15040	18228.48	53.05544
4	295	259.6	15050	18240.6	1.423199

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	217	190.96	15060	18252.72	1.0462
2	9750	8580	15070	18264.84	46.9755
3	9580	8430.4	15060	18289.08	46.09527
4	8420	7409.6	15100	18301.2	40.48699
5	300	264	15120	18325.44	1.44062

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	733	645.04	15000	18180	3.548075
2	734	645.92	15010	18192.12	3.550548
3	805	708.4	15010	18192.12	3.893994
4	860	756.8	15010	18192.12	4.160043
5	970	853.6	15020	18204.24	4.689018

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	800	704	14940	18107.28	3.887939
2	970	853.6	14950	18119.4	4.710973
3	941	828.08	14960	18131.52	4.567074
4	966	850.08	14960	18131.52	4.68941
5	918	807.84	14970	18143.64	4.452469
6	832	732.16	14980	18155.76	4.03286
7	709	623.92	14990	18131.52	3.441079

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่ 10

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพห้องฟ้าโปร่ง

T 68%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	4880	4294.4	24500	29694	14.46218091
2	2707	2382.16	24500	29694	8.02236142
3	1663	1463.44	24500	29694	4.928403044
4	1228	1080.64	24400	29572.8	3.654168698
5	992	872.96	24400	29572.8	2.951901748
6	729	641.52	24400	29572.8	2.1692907
7	586	517.44	24400	29572.8	1.749715655
8	531	467.28	24400	29572.8	1.580100633
9	506	447.04	24400	29572.8	1.511659383

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	877	771.76	24600	29815.2	2.588478
2	12820	11281.6	24600	29815.2	37.83842
3	11910	10480.8	24600	29815.2	35.15254
4	423	372.24	24600	29815.2	1.248491

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	282	248.16	24600	29815.2	0.832327
2	11140	9803.2	24600	29815.2	32.87987
3	12080	10630.4	24600	29815.2	35.6543
4	12030	10586.4	24600	29815.2	35.50672
5	368	323.84	24600	29815.2	1.086157

วัดแสงที่กระทบแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	973	856.24	24600	29815.2	2.871824
2	984	865.92	24600	29815.2	2.90429
3	1008	887.04	24600	29815.2	2.975127
4	1090	959.2	24600	29815.2	3.217151
5	1211	1065.68	24600	29815.2	3.574284

วัดแสงที่กระทบระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1086	955.68	24500	29694	3.218428
2	1101	968.88	24500	29694	3.262861
3	1118	983.84	24600	29815.2	3.299793
4	1140	1003.2	24600	29815.2	3.364727
5	1094	962.72	24600	29815.2	3.228957
6	1047	921.36	24600	29815.2	3.090236
7	917	806.96	24600	29815.2	2.706539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่10

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1299	1143.12	5840	7078.08	16.15014241
2	719	632.72	5840	7078.08	8.939147339
3	425	374	5840	7078.08	5.283916803
4	291	256.08	5850	7090.2	3.61174579
5	224	197.12	5850	7090.2	2.780175453
6	182	160.16	5850	7090.2	2.258692556
7	147	129.36	5860	7102.32	1.821376677
8	136	119.68	5860	7102.32	1.686083184
9	123	108.24	5860	7102.32	1.524009056

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	264	232.32	5850	7090.2	3.276635
2	2870	2525.6	5850	7090.2	35.621
3	2850	2508	5850	7090.2	35.37277
4	95	83.6	5850	7090.2	1.179092

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	64	56.32	5850	7090.2	0.794336
2	2970	2613.6	5850	7090.2	36.86215
3	2830	2490.4	5850	7090.2	35.12454
4	2690	2367.2	5850	7090.2	33.38693
5	74	65.12	5850	7090.2	0.918451

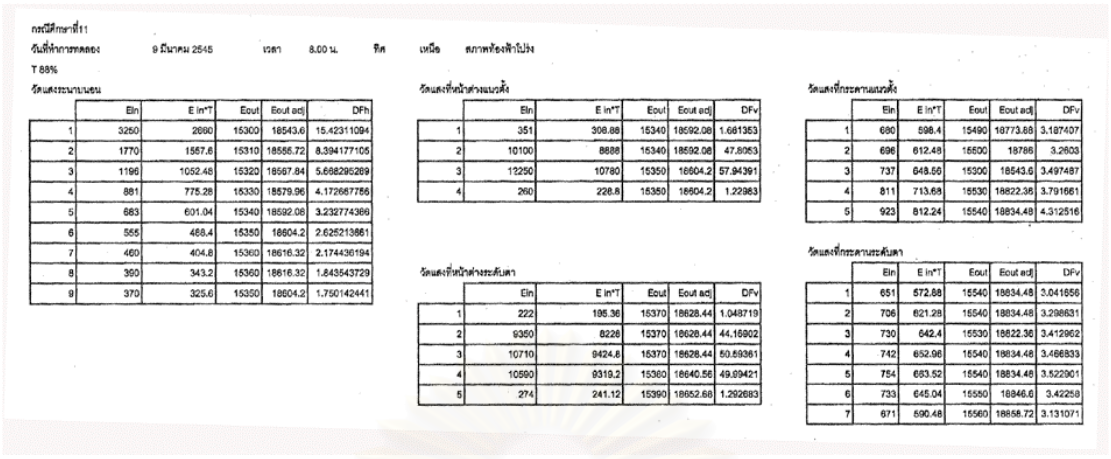
วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	218	191.84	5850	7090.2	2.705706
2	218	191.84	5850	7090.2	2.705706
3	229	201.52	5850	7090.2	2.842233
4	216	190.08	5850	7090.2	2.680833
5	296	259.6	5850	7090.2	3.661392

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	240	211.2	5880	7138.68	2.95853
2	255	224.4	5880	7138.68	3.143438
3	263	231.44	5880	7126.56	3.24757
4	268	235.84	5880	7126.56	3.309311
5	270	237.6	5880	7126.56	3.334007
6	260	228.8	5870	7114.44	3.218996
7	245	215.6	5870	7114.44	3.030456

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กรณีศึกษาที่ 11

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2548 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3250	2860	15300	18543.6	15.42311094
2	1770	1557.6	15310	18555.72	8.394177105
3	1196	1052.48	15320	18567.84	5.668295269
4	881	775.28	15330	18579.96	4.172667786
5	683	601.04	15340	18592.08	3.232774366
6	565	468.4	15350	18604.2	2.625213861
7	460	404.8	15360	18616.32	2.174436194
8	390	343.2	15360	18616.32	1.843543729
9	370	325.6	15350	18604.2	1.750142441

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	351	308.88	15340	18592.08	1.661353
2	10100	8888	15340	18592.08	47.8063
3	12250	10780	15350	18604.2	57.94391
4	260	228.8	15350	18604.2	1.22983

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	222	195.36	15370	18628.44	1.048719
2	9350	8228	15370	18628.44	44.16902
3	10710	9424.8	15370	18628.44	50.59361
4	10590	9319.2	15360	18640.56	49.99421
5	274	241.12	15390	18652.68	1.292683

วัดแสงที่กระจกแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	680	598.4	15490	18773.88	3.187407
2	696	612.48	15600	18786	3.2603
3	737	648.56	15300	18543.6	3.497487
4	811	713.68	15530	18822.36	3.791661
5	923	812.24	15540	18834.48	4.312516

วัดแสงที่กระจกระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	651	572.88	15540	18834.48	3.041656
2	706	621.28	15540	18834.48	3.298631
3	730	642.4	15530	18822.36	3.412962
4	742	652.96	15540	18834.48	3.466833
5	754	663.52	15540	18834.48	3.522901
6	733	645.04	15550	18846.6	3.42258
7	671	590.48	15560	18858.72	3.131071

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่11

วันที่ทำการทดสอบ 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00 น. ที่ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 86%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	4010	3528.8	24100	29209.2	12.08112512
2	1962	1726.56	24100	29209.2	5.911014336
3	1397	1229.36	24100	29209.2	4.208810923
4	995	875.6	24100	29209.2	2.997665661
5	771	678.48	24100	29209.2	2.322829793
6	597	525.36	24100	29209.2	1.798611396
7	498	438.24	24100	29209.2	1.500349205
8	466	410.08	24100	29209.2	1.403941224
9	451	396.88	24100	29209.2	1.358749985

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	901	792.88	24100	29209.2	2.714467
2	12510	11008.8	24100	29209.2	37.6895
3	10700	9416	24100	29209.2	32.23642
4	308	271.04	24100	29209.2	0.927927

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	193	169.84	24100	29209.2	0.581461
2	11190	9847.2	24100	29209.2	33.71267
3	10680	9398.4	24200	29330.4	32.0432
4	11750	10340	24300	29451.6	35.10845
5	331	291.28	24300	29451.6	0.989012

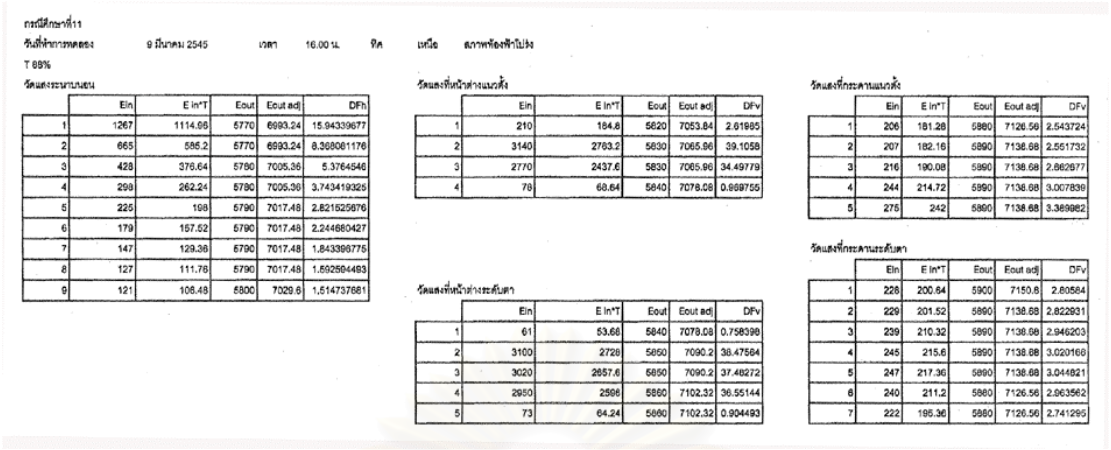
วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	818	719.84	24400	29572.8	2.434129
2	815	717.2	24500	29694	2.415303
3	848	746.24	24500	29694	2.5131
4	938	825.44	24500	29694	2.779821
5	1017	894.96	24500	29694	3.013942

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	876	770.88	24700	29936.4	2.575059
2	934	821.92	24700	29936.4	2.745554
3	977	859.76	24700	29936.4	2.871955
4	964	848.32	24700	29936.4	2.833741
5	926	814.88	24700	29936.4	2.722037
6	885	778.8	24700	29936.4	2.601515
7	811	713.68	24700	29936.4	2.383987

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กรณีศึกษาที่ 11

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพห้องฟ้าโปร่ง

T 69%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	1267	1114.96	5770	6993.24	15.94339677
2	665	585.2	5770	6993.24	8.368061176
3	428	376.64	5750	7005.36	5.3764546
4	299	262.24	5790	7005.36	3.743419325
5	225	198	5790	7017.48	2.821525676
6	179	157.52	5790	7017.48	2.244680427
7	147	129.36	5790	7017.48	1.843396775
8	127	111.76	5790	7017.48	1.592564493
9	121	106.48	5800	7029.6	1.514737681

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	210	184.8	5620	7053.84	2.61985
2	3140	2763.2	5630	7065.96	39.1058
3	2770	2437.6	5630	7065.96	34.49779
4	78	68.64	5840	7078.08	0.969755

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	61	53.68	5840	7078.08	0.758398
2	3100	2728	5650	7090.2	38.47564
3	3020	2657.6	5650	7090.2	37.48272
4	2950	2596	5660	7102.32	36.55144
5	73	64.24	5660	7102.32	0.904493

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	206	181.28	5880	7126.56	2.543724
2	207	182.16	5890	7138.68	2.551732
3	216	190.08	5890	7138.68	2.662677
4	244	214.72	5890	7138.68	3.007839
5	275	242	5890	7138.68	3.389982

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	228	200.64	5900	7150.8	2.80584
2	229	201.52	5890	7138.68	2.822931
3	239	210.32	5890	7138.68	2.946203
4	245	215.6	5890	7138.68	3.020168
5	247	217.36	5890	7138.68	3.044821
6	240	211.2	5880	7126.56	2.963562
7	222	195.36	5880	7126.56	2.741295

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่12

วันที่ทำการทดลอง 2 มีนาคม 2545 เวลา 8.00 น. ทิศ เหนือ สถานที่ห้องพักโปรง

T 86%

วัดแสงระนาบรอบ

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	5030	4426.4	14970	18143.64	24.39642762
2	2870	2525.6	14950	18119.4	13.93865136
3	1932	1700.16	14910	18070.92	9.40826477
4	1348	1187.12	14880	18034.56	6.582472763
5	1071	942.48	14890	18046.68	5.22245643
6	872	767.36	14840	17986.08	4.26610466
7	690	607.2	14870	18022.44	3.36913314?
8	603	530.64	14900	18058.8	2.938401223
9	557	490.16	14890	18046.68	2.716067443

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1678	1476.64	15590	18895.08	7.814944
2	8670	7629.6	15450	18725.4	40.74469
3	8940	7867.2	15520	18810.24	41.82403
4	457	402.16	15360	18616.32	2.160255

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	420	369.6	15210	18434.52	2.004934
2	10060	8870.4	15100	18301.2	48.46895
3	10880	9556.8	15040	18228.48	52.42785
4	10298	9060.48	15000	18180	49.83762
5	810	712.8	14960	18131.52	3.931275

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1032	908.16	15780	19125.36	4.74846
2	1112	978.56	15520	18810.24	5.202273
3	1089	958.32	15920	19931.44	5.092056
4	1173	1032.24	15460	18737.52	5.508947
5	1297	1141.36	15410	18676.92	6.111072

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1047	921.36	16070	19476.84	4.730542
2	1086	955.68	16170	19598.04	4.876408
3	1126	992.04	16270	19719.24	5.033865
4	1132	996.16	16320	19779.84	5.036239
5	1096	964.48	16220	19658.64	4.996138
6	1036	911.68	16120	19537.44	4.668323
7	977	859.76	16160	19585.92	4.389684

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่12

วันที่ทำการทดลอง 2 มีนาคม 2546 เวลา 12.00 น. ทิศ เหนือ สภาพห้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน

T 88%

วัดแสงระนาบนอน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	3120	2745.6	18210	22070.52	12.44012375
2	1904	1675.52	18220	22082.64	7.587496596
3	1306	1149.28	18270	22143.24	5.190207034
4	971	854.48	18300	22179.6	3.852646189
5	747	657.36	18430	22337.16	2.942898739
6	620	545.6	18540	22470.48	2.428074523
7	538	473.44	18560	22494.72	2.104671674
8	482	424.16	18540	22470.48	1.887832129
9	460	404.8	18570	22506.64	1.798564348

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1540	1355.2	18590	22531.08	6.014803
2	7590	6679.2	18500	22422	29.7888
3	7660	6740.8	18520	22446.24	30.03088
4	311	273.68	18500	22422	1.220587

วัดแสงที่กระจายแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	824	725.12	18480	22397.76	3.237467
2	915	805.2	18500	22422	3.591116
3	871	766.48	18490	22409.88	3.420277
4	952	837.76	18500	22422	3.73633
5	1031	907.28	18490	22409.88	4.046571

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	427	375.76	18470	22385.64	1.678576
2	7880	6934.4	18460	22373.52	30.99378
3	7500	6600	18470	22385.64	29.48319
4	6710	5904.8	18410	22312.92	26.46359
5	612	538.56	18370	22264.44	2.418925

วัดแสงที่กระจายระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	922	811.36	18300	22179.6	3.658136
2	956	841.28	18340	22228.08	3.784782
3	960	844.8	18330	22215.96	3.802672
4	959	843.92	18360	22252.32	3.792503
5	930	818.4	18330	22215.96	3.683836
6	884	777.92	18340	22228.08	3.499717
7	810	712.8	18410	22312.92	3.194562

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศึกษาที่12

วันที่ทำการทดลอง 2 มีนาคม 2545 เวลา 16.00 น. ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

T 88%

วัดแสงระนาบบน

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFh
1	4350	3828	13920	16871.04	22.66976696
2	2164	1904.32	13940	16895.28	11.27131364
3	1392	1224.96	13940	16895.28	7.250308962
4	975	858	13960	16919.52	5.071065846
5	775	682	13990	16955.88	4.022203507
6	605	532.4	14000	16968	3.13767091
7	499	439.12	14020	16992.24	2.584238452
8	441	388.08	14040	17016.48	2.280612877
9	415	365.2	14050	17028.6	2.144627274

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	1519	1336.72	13250	16059	8.323606
2	7680	6758.4	13340	16168.08	41.80088
3	8410	7400.8	13290	16107.48	45.94636
4	365	321.2	13290	16107.48	1.994105

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	892	608.96	13410	16252.92	3.746773
2	10400	9152	13410	16252.92	56.30998
3	8660	7620.8	13460	16313.52	46.71463
4	8180	7198.4	13560	16434.72	43.79996
5	333	293.04	13600	16483.2	1.77781

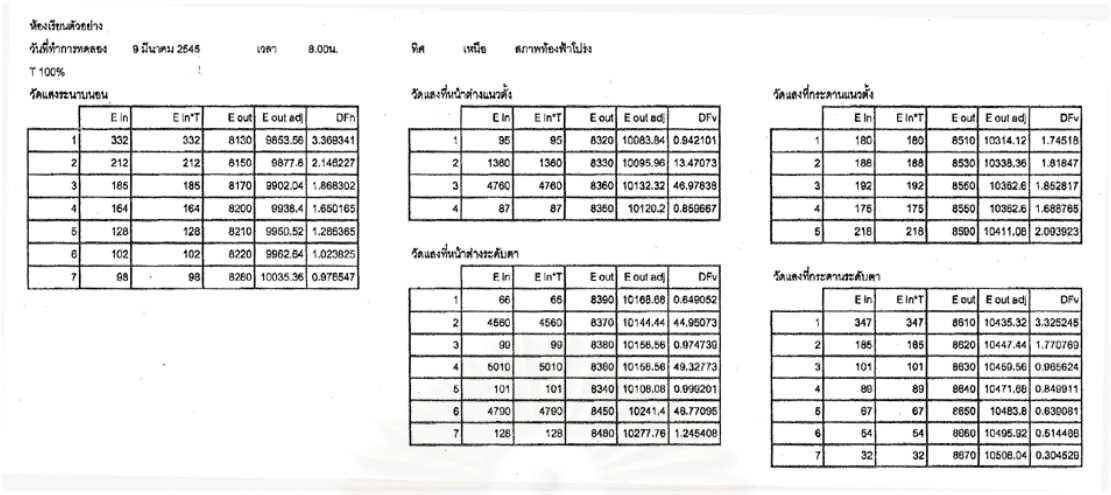
วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	644	566.72	12970	16719.64	3.605172
2	645	567.6	13080	16862.96	3.580404
3	700	616	13160	16966.92	3.862088
4	786	691.68	13270	16083.24	4.300626
5	884	777.92	13290	16107.48	4.829557

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	Ein	E in*T	Eout	Eout adj	DFv
1	740	651.2	12370	14992.44	4.343622
2	738	649.44	12460	15101.52	4.300494
3	751	660.88	12550	15222.72	4.341405
4	744	654.72	12600	15271.2	4.287286
5	719	632.72	12670	15356.04	4.120333
6	884	801.92	12710	15404.52	3.607425
7	622	547.36	12740	15440.88	3.544876

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ห้องเรียนตัวอย่าง

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 8.00น. ทิศ เหนือ สภาพห้องฟ้าโปร่ง

T 100%

วัดแสงระนาบนอน

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFn
1	332	332	8130	9853.56	3.368341
2	212	212	8150	9877.8	2.148227
3	185	185	8170	9902.04	1.868302
4	164	164	8200	9938.4	1.650165
5	128	128	8210	9950.52	1.286385
6	102	102	8220	9962.64	1.023825
7	98	98	8260	10035.36	0.976547

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	95	95	8320	10083.84	0.942101
2	1360	1360	8330	10095.96	13.47073
3	4760	4760	8360	10132.32	46.97838
4	87	87	8350	10120.2	0.859667

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	66	66	8390	10168.68	0.649052
2	4560	4560	8370	10144.44	44.95073
3	99	99	8380	10156.56	0.974739
4	5010	5010	8360	10132.32	49.32773
5	101	101	8340	10108.08	0.999201
6	4790	4790	8450	10241.4	46.77095
7	128	128	8480	10277.76	1.245408

วัดแสงที่กระจกแนวตั้ง

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	180	180	8510	10314.12	1.74518
2	188	188	8530	10338.36	1.81847
3	192	192	8550	10362.6	1.852817
4	176	175	8550	10362.6	1.688765
5	218	218	8590	10411.08	2.093923

วัดแสงที่กระจกระดับตา

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	347	347	8610	10435.32	3.325245
2	185	185	8620	10447.44	1.770769
3	101	101	8630	10459.56	0.965624
4	89	89	8640	10471.68	0.849911
5	67	67	8650	10483.8	0.639081
6	54	54	8660	10495.92	0.514486
7	32	32	8670	10508.04	0.304529

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องเรียนตัวอย่าง

วันที่ทำการทดลอง 9 มีนาคม 2545 เวลา 12.00น. ทิศ เหนือ สภาพห้องเช้าโปร่ง

T 100%

วัดแสงระนาบนอน

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFh
1	623	623	16400	19876.8	3.134307
2	381	381	16340	19804.08	1.923846
3	306	306	16340	19804.08	1.540087
4	251	251	16350	19816.2	1.26664
5	212	212	16340	19804.08	1.070486
6	190	190	16340	19804.08	0.959398
7	180	180	16320	19778.84	0.910017

วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	128	128	16280	19731.36	0.648714
2	3370	3370	16270	19719.24	17.08991
3	10830	10830	16240	19682.88	55.02244
4	88	88	16120	19537.44	0.450417

วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	66	66	16110	19525.32	0.338023
2	11710	11710	16090	19501.08	60.04796
3	100	100	16170	19598.04	0.510255
4	12300	12300	16150	19573.8	62.8391
5	83	83	15930	19307.16	0.429892
6	10400	10400	16080	19488.96	53.36355
7	117	117	16150	19573.8	0.597738

วัดแสงที่กระดานแนวตั้ง

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	283	283	16110	19525.32	1.4494
2	290	290	16090	19501.08	1.487097
3	294	294	16090	19501.08	1.507609
4	270	270	16070	19476.84	1.386262
5	331	331	16070	19476.84	1.699454

วัดแสงที่กระดานระดับตา

	E in	E in*T	E out	E out adj	DFv
1	749	749	16100	19513.2	3.838427
2	477	477	15990	19379.88	2.461316
3	363	363	16070	19476.84	1.863752
4	297	297	16090	19501.08	1.522993
5	243	243	16090	19501.08	1.246085
6	225	225	16110	19525.32	1.15235
7	218	218	16140	19561.68	1.114424

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลสภาพท้องฟ้าโปร่งที่เกิดมากที่สุดของแต่ละช่วงเวลาตลอดทั้งปี

อัตราส่วนของท้องฟ้าโปร่ง(The sky ratio 0 - 0.30)

เวลา	เดือน-วัน	อัตราส่วนท้องฟ้า
08.00-09.00	20-Nov	0.17
09.00-10.00	27-Dec	0.21
10.00-11.00	19-Dec	0.16
11.00-12.00	21-Dec	0.27
12.00-13.00	11-Dec	0.2
13.00-14.00	8-Nov	0.16
14.00-15.00	1-Nov	0.19
15.00-16.00	31-Dec	0.29
16.00-17.00	28-Nov	0.30

ความสว่างท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการในวิทยานิพนธ์ปี2542ของคุณทรพร

เวลา	EdH(lx)	EdH(fc)	EDH(lx)	EDH(fc)	Env(lx)	Env(fc)	Esv(lx)	Esv(fc)	Eev(lx)	Eev(fc)	Ewv(lx)	Ewv(fc)
08.00-09.00	471.68	43.83643123	40215.7	3737.519	5942.26	552.2546	9895.72	919.6766	5325.48	494.9331	3411.4	317.0446
09.00-10.00	9307.03	864.9656134	50499.17	4693.231	7923.73	736.4061	13946	1296.097	7376.42	685.5409	6723.76	624.8848
10.00-11.00	8262.27	767.8689591	66273.01	6159.202	9499.13	882.8188	15915.78	1479.162	8532.64	792.9963	7553.01	701.9526
11.00-12.00	22687.32	2108.486989	81929.58	7614.273	12165.35	1130.609	21154.29	1966.012	11195.39	1040.464	12702.36	1180.517
12.00-13.00	15950.08	1482.349442	77286.47	7182.757	12030.28	1118.056	18846.20	1751.506	10380.15	964.698	10413.20	967.7695
13.00-14.00	11276.88	1048.037175	79155.75	7356.482	12021.05	1117.198	17806.79	1654.906	10018.67	931.1217	9183.12	853.4498
14.00-15.00	11771.09	1093.967472	64816.26	6023.816	10750.83	999.1478	16307.32	1515.55	9113.57	846.9861	8356.37	776.6143
15.00-16.00	13697.63	1273.013941	44973.56	4179.699	8611.24	800.3011	13822.41	1284.811	7605.18	706.8011	7471.05	694.3355
16.00-17.00	3211.29	298.447026	20716.15	1925.293	4638.51	431.0883	6026.54	560.0874	3705.25	344.3541	2485.01	230.9489

สูตรExvg ของท้องฟ้าโปร่ง

Exvg = (Rg * (Ehkg + Ehug))/ 2

กรณีนี้ให้ค่าการสะท้อนแสงของหญ้า = 6%

เวลา	EdH(fc)	EDH(fc)	Exvg
08.00-09.00	43.83643123	3737.518587	113.4406506
09.00-10.00	864.9656134	4693.231413	156.7459108
10.00-11.00	767.8689591	6159.201673	207.812119
11.00-12.00	2108.486989	7614.273234	291.6828067
12.00-13.00	1482.349442	7182.757435	259.9532063
13.00-14.00	1048.037175	7356.482342	252.1355855
14.00-15.00	1093.967472	6023.815965	213.5335037
15.00-16.00	1273.013941	4179.698885	163.5813848
16.00-17.00	298.447026	1925.292751	66.71219331

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

1130.60874 291.682807

		11.00 - 12.00น.						
กรณีศึกษาที่3						88%	72%	58%
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง		DFv	Esv	Exvg	Esv+Exvg	Esv+Exvg*T	Esv+Exvg*T	Esv+Exvg*T
	3	53.33265285	602.658977	155.518016	758.177	667.195754	545.8874349	439.7426559
	4	49.47773128	559.098363	144.277064	703.3754	618.970377	506.4303081	407.9577482
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	45.6228097	515.53775	133.036113	648.5739	570.744999	466.9731812	376.1728404
	3	48.5420707	548.525399	141.548678	690.0741	607.265188	496.8533355	400.2429647
	4	52.20986016	589.97142	152.243952	742.2154	653.149527	534.3950679	430.4849158
กรณีศึกษาที่8			0	0	0	0	0	0
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0	0	0
	2	30.29034181	342.280862	88.3266367	430.6075	378.934599	310.0373994	249.7523495
	3	30.8660822	348.786729	90.0054957	438.7922	386.137158	315.9304017	254.4994903
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	32.25561494	364.488449	94.0573732	458.5458	403.520323	330.1529919	265.9565768
	3	34.56876661	390.627063	100.802523	491.4296	432.458036	353.829302	285.02916
	4	35.56470691	401.881188	103.706685	505.5879	444.917329	364.0232689	293.2409666
กรณีศึกษาที่11			0	0	0	0	0	0
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0	0	0
	2	37.68949509	425.891295	109.902568	535.7939	471.498599	385.7715808	310.7604401
	3	32.23641866	364.271531	94.0013968	458.2729	403.280176	329.9565079	265.7982981
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	33.71266587	380.953124	98.3061337	479.2593	421.748147	345.0666658	277.9703697
	3	32.04320432	362.088209	93.4379838	455.5262	400.86305	327.9788587	264.2051917
	4	35.10844912	396.725475	102.376238	499.1017	439.209507	359.3532331	289.4789933
ช่องแสงด้านบน			0	0	0	0		
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0		
	2	39.4645499	445.949414	115.078628	561.028	493.704676		
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0		
	2	49.11294623	554.976292	143.213351	698.1896	614.406886		
	3	44.26495281	500.193967	129.076602	629.2706	553.758101		
	4	40.14189965	453.603466	117.053779	570.6572	502.178376		

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ เหนือ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

Ecalculateที่ผนังรอบหน้าต่าง CI 22687lx(2108fc) Rf wall 0.65

	11.00 - 12.00 น.		
กรณีศึกษาที่3			
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	DFv	E calculate	Eacl*RF
1	1.195227215	25.19539	16.377
2	3.295252602	69.46392	45.15155
5	2.851893437	60.11791	39.07664
6	1.579395053	33.29365	21.64087
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	1.303207244	27.47161	17.85655
5	2.346636726	49.4671	32.15362
กรณีศึกษาที่8	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	2.98745293	62.97551	40.93408
4	0.93397886	19.68827	12.79738
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	0.825666637	17.40505	11.31328
5	1.213348001	25.57738	16.62529
กรณีศึกษาที่11	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	2.714487216	57.22139	37.1939
4	0.927926818	19.5607	12.71445
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	0.581460636	12.25719	7.967174
5	0.989012481	20.84838	13.55145
ช่องแสงด้านบน	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	1.586719017	33.44804	21.74122
3	1.084394154	22.85903	14.85837
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	0.899698666	18.96565	12.32767
5	1.142354235	24.08083	15.65254

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ ใต้ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

1966.01208 291.682807

		11.00 - 12.00น.						
กรณีศึกษาที่3						88%	72%	58%
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง	DFv	Esv	Exvg	Esv+Exvg	Esv+Exvg*T	Esv+Exvg*T	Esv+Exvg*T	
3	42.1476294	828.622394	122.902487	951.5249	837.341896	685.0979145	551.8844311	
4	29.21913551	574.448204	85.2029991	659.6512	580.493059	474.9488663	382.5976978	
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา		0	0	0	0	0	0	
2	40.77340417	801.605126	118.895247	920.5004	810.040328	662.7602682	533.8902161	
3	40.29880061	792.27442	117.511303	909.7857	800.611436	655.0457203	527.6757191	
4	44.94953379	883.707834	131.072841	1014.781	893.006994	730.6420859	588.5727914	
กรณีศึกษาที่8		0	0	0	0	0	0	
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง		0	0	0	0	0	0	
2	42.92370414	843.880023	125.165521	969.0455	852.760079	697.7127921	562.0464158	
3	45.35944369	891.766663	132.268138	1024.035	901.150625	737.3050566	593.9401845	
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา		0	0	0	0	0	0	
2	44.85995068	881.94663	130.811616	1012.758	891.227257	729.1859375	587.399783	
3	45.35244569	891.629082	132.247732	1023.877	901.011596	737.191306	593.8485521	
4	47.45500965	932.96549	138.378808	1071.344	942.782982	771.3678945	621.3796928	
กรณีศึกษาที่11		0	0	0	0	0	0	
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง		0	0	0	0	0	0	
2	52.8533825	1039.0975	154.120463	1193.218	1050.03181	859.1169337	692.0664188	
3	49.1562866	966.412594	143.339732	1109.752	976.582047	799.0216749	643.6563492	
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา		0	0	0	0	0	0	
2	46.72247713	918.5639	136.242743	1054.807	928.229846	759.4607834	611.7878533	
3	46.87005286	921.465239	136.673074	1058.138	931.161716	761.8595856	613.7202217	
4	40.18589614	790.054718	117.182073	907.2368	798.368376	653.2104897	526.1973389	
ช่องแสงด้านบน		0	0	0	0			
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง		0	0	0	0			
2	39.4645499	775.873051	115.078628	890.9517	784.037477			
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา		0	0	0	0			
2	49.11294623	965.560523	143.213351	1108.774	975.721009			
3	44.26495281	870.248972	129.076602	999.3256	879.406506			
4	40.14189965	789.189747	117.053779	906.2435	797.494303			

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ ใต้ สภาพท้องฟ้าโปร่ง

Ecalculateที่ผนังรอบหน้าต่าง Cl 22687lx(2108fc) Rf wall 0.65

	11.00 - 12.00 น.		
กรณีศึกษาที่3			
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	DFv	E calculate	Eacl*RF
1	1.006680378	21.22062	13.79353
2	2.2910058	48.2944	31.39136
5	1.692988811	35.6862	23.19733
6	0.899621669	18.96402	12.32662
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	0	0	0
1	1.34993111	28.45655	18.49676
5	1.917395623	40.4187	26.27215
กรณีศึกษาที่8	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	0	0	0
1	3.201079232	67.47875	43.86119
4	1.018109191	21.46174	13.95013
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	0	0	0
1	0.798679868	16.83617	10.94351
5	1.705216165	35.94596	23.36487
กรณีศึกษาที่11	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	0	0	0
1	3.651023639	76.96358	50.02633
4	0.477217077	10.05974	6.538826
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	0	0	0
1	0.84025338	17.71254	11.51315
5	0.952778822	20.08458	13.05498
ช่องแสงด้านบน	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	0	0	0
1	2.268976898	47.83003	31.08952
3	2.33407634	49.20233	31.98151
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่า	0	0	0
1	1.953933613	41.18892	26.7728
5	1.775266532	37.42262	24.3247

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ ตะวันออก สภาพท้องฟ้าโปร่ง

1040.46375 291.682807

		11.00 - 12.00น.						
กรณีศึกษาที่3						88%	72%	58%
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง		DFv	Eev	Exvg	Eev+Exvg	Eev+Exvg*T	Eev+Exvg*T	Eev+Exvg*T
	3	26.44728241	275.173395	77.1202755	352.2937	310.01843	253.6514424	204.3303286
	4	31.52132521	327.96678	91.9161843	419.883	369.497009	302.3157345	243.5321195
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	30.04557599	312.6122	87.6128996	400.2251	352.198088	288.1620716	232.1305577
	3	26.62266227	276.998152	77.6316832	354.6298	312.074255	255.3334812	205.6853043
	4	23.97409552	249.440874	69.9084625	319.3493	281.027416	229.9315225	185.2226154
กรณีศึกษาที่8			0	0	0	0	0	0
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0	0	0
	2	24.09240924	250.671881	70.2534653	320.9253	282.414305	231.0662495	186.136701
	3	23.90362493	248.707656	69.7029703	318.4106	280.201351	229.2556509	184.6781632
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	28.03116377	291.653047	81.7388736	373.3919	328.58489	268.8421825	216.5673137
	3	27.85262133	289.795384	81.2182438	371.0136	326.491992	267.1298119	215.187904
	4	27.82286425	289.485773	81.1314722	370.6172	326.143176	266.8444168	214.9580024
กรณีศึกษาที่11			0	0	0	0	0	0
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0	0	0
	2	32.41064532	337.2198	94.5094418	431.7292	379.921733	310.8450543	250.4029604
	3	30.61449002	318.531523	89.2718529	407.8034	358.866971	293.6184306	236.5259579
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	29.10604104	302.836715	84.8732157	387.7099	341.184739	279.1511498	224.8717596
	3	23.04491319	239.773104	67.1989669	306.9721	270.135422	221.0198908	178.0438009
	4	23.55000717	245.028405	68.6718209	313.7002	276.056199	225.8641624	181.9461308
ช่องแสงด้านบน			0	0	0	0		
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0		
	2	30.07605108	312.929281	87.701765	400.631	352.555321		
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0		
	2	32.75835396	340.83757	95.5233601	436.3609	383.997618		
	3	31.56714109	328.443476	92.0497834	420.4933	370.034068		
	4	32.48963029	338.041607	94.7397619	432.7814	380.847605		

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ ตะวันออก ฉากพห้องห้าโปร่ง

Ecalculateที่ผนังรอบหน้าต่าง CI 22687lx(2108fc) Rf wall 0.65

	11.00 - 12.00 น.		
กรณีศึกษาที่3			
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	DFv	E calculate	Eacl*RF
1	1.218266057	25.68105	16.69268
2	1.630172633	34.36404	22.33663
5	1.50772972	31.78294	20.65891
6	0.885878061	18.67431	12.1383
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	0.944936599	19.91926	12.94752
5	3.106357806	65.48202	42.56331
กรณีศึกษาที่8	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	2.100210021	44.27243	28.77708
4	1.063711309	22.42303	14.57497
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	0.914313654	19.27373	12.52793
5	1.684250392	35.504	23.0776
กรณีศึกษาที่11	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	1.850712731	39.01302	25.35847
4	0.829321464	17.4821	11.36336
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	0.942951438	19.87742	12.92032
5	0.89094499	18.78112	12.20773
ช่องแสงด้านบน	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	1.994866153	42.05178	27.33366
3	1.724883148	36.36054	23.63435
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	1.706454909	35.97207	23.38185
5	1.017998707	21.45941	13.94862

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ ตะวันตก สภาพท้องฟ้าโปร่ง

1180.51673 291.682807

		11.00 - 12.00น.						
กรณีศึกษาที่3						88%	72%	58%
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง		DFv	Ewv	Exvg	Ewv+Exvg	Ewv+Exvg*T	Ewv+Exvg*T	Ewv+Exvg*T
	3	35.01283462	413.31951	102.097426	515.4169	453.566904	371.1001938	298.9418228
	4	44.3675341	523.749867	129.375729	653.1256	574.750524	470.2504291	378.8128457
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	56.05280528	661.692156	163.44998	825.1421	726.12508	594.1023379	478.5824389
	3	60.41961339	713.241452	176.183593	889.425	782.694039	640.3860322	515.866526
	4	61.43941748	725.280036	179.157341	904.4374	795.904892	651.1949114	524.5736786
กรณีศึกษาที่8			0	0	0	0	0	0
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0	0	0
	2	27.1369637	320.346429	79.1313861	399.4778	351.540477	287.6240269	231.6971328
	3	30.16226623	356.05952	87.9531683	444.0127	390.731166	319.6891358	257.5273594
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	29.37568757	346.774117	85.659505	432.4336	380.541587	311.3522075	250.8115005
	3	29.43619362	347.488378	85.8359406	433.3243	381.325401	311.9935097	251.328105
	4	29.25467547	345.345593	85.3066337	430.6522	378.973959	310.0696032	249.7782914
กรณีศึกษาที่11			0	0	0	0	0	0
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0	0	0
	2	27.98197628	330.321634	81.5954428	411.9171	362.487027	296.580295	238.9119043
	3	32.49092032	383.548816	94.7435237	478.2923	420.897259	344.3704847	277.4095572
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0	0	0
	2	27.54413056	325.152952	80.3186847	405.4716	356.815041	291.9395787	235.1735495
	3	29.07605829	343.237053	84.785786	428.0228	376.660098	308.176444	248.2532466
	4	28.87713429	340.888795	84.2057236	425.0945	374.083176	306.0680533	246.5548207
ช่องแสงด้านบน			0	0	0	0		
วัดแสงที่หน้าต่างแนวตั้ง			0	0	0	0		
	2	38.19444444	450.877778	111.375	562.2528	494.782444		
วัดแสงที่หน้าต่างระดับตา			0	0	0	0		
	2	46.13586359	544.624642	134.532178	679.1568	597.658002		
	3	47.64851485	562.481188	138.943069	701.4243	617.253347		
	4	45.9089659	541.946161	133.870545	675.8167	594.718701		

วันที่ทำการทดลอง 16 มีนาคม 2545 ทิศ ตะวันตก สภาพท้องฟ้าโปร่ง

Ecalculateที่ผนังรอบหน้าต่าง Cl 22687b(2108fc) Rf wall 0.65

11.00 - 12.00 น.			
กรณีศึกษาที่3			
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	DFv	E calculate	Eacl*RF
1	1.308884252	27.59128	17.93433
2	1.710304364	36.05322	23.43459
5	1.648120564	34.74238	22.58255
6	0.722859897	15.23789	9.904626
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	1.210121012	25.50935	16.58108
5	1.779204948	37.50564	24.37867
กรณีศึกษาที่8	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	1.870917382	39.43894	25.63531
4	1.080033003	22.7671	14.79861
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	1.285753575	27.10369	17.6174
5	0.913641364	19.25956	12.51871
กรณีศึกษาที่11	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	1.462091415	30.82089	20.03358
4	0.905104209	19.0796	12.40174
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	1.03248857	21.76486	14.14716
5	0.97804301	20.61715	13.40115
ช่องแสงด้านบน	0	0	0
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่	0	0	0
1	2.577367684	54.33091	35.31509
3	2.560162266	53.96822	35.07934
วัดแสงที่ผนังรอบหน้าต่างระดับตา		0	0
1	1.191212871	25.11077	16.322
5	1.809538467	38.14507	24.7943

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค. แสดงการพิจารณาหาความสัมพันธ์ของเครื่องวัดแสงมินอลต้ากับเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์เครื่อง F

การพิจารณาหาความสัมพันธ์ของเครื่องวัดแสงทั้ง 2 โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน(Multiple Regression) โดยอาศัยฟังก์ชั่นของโปรแกรม Excel 7.0 หมวด Data Analysis เป็นตัววิเคราะห์ การวิเคราะห์กำหนดให้ค่าปริมาณแสงจากเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์เครื่องF เป็นตัวแปรตาม(Dependent Variable หรือ Y) มีหน่วยเป็น Lux (ลักซ์) และค่าปริมาณแสงจากเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์เครื่อง B เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable หรือ X) จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุดคือชุดตัวอย่างในตารางแสดงค่าปริมาณแสงของเครื่องวัดแสงทั้ง 2 ตัว ดังตาราง ค1. และแผนภูมิ ค1. พบว่า Multiple R(Correlation) ของตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ของตัวแปรตามถึง 0.99 (ค่า Multiple R มีค่าระหว่าง-1 ถึง 1) โดยสมการถดถอยที่ได้จากตัวแปรอิสระจะลดความผิดพลาดในการทำนายได้ 0.99 (ค่า R Square Adjust R Square มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1) และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการประมาณเท่ากับ 8.69 ลักซ์ สมการที่ได้คือ

$$Y = 17.263 + (1.167 * X)$$

โดยที่ Y = ค่าความสว่างจากเครื่องวัดแสงมินอลต้าเครื่อง t10

X = ค่าความสว่างจากเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์เครื่อง F

เมื่อพิจารณาจากสมการดังกล่าว จะเห็นว่า ถ้าให้ค่าความสว่างจากเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์เครื่อง B มีค่าเป็น 0 (ไม่มีแสง) แล้วค่าความสว่างจากเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์เครื่อง F จะมีค่าเท่ากับ 17.263 ลักซ์ ซึ่งไม่มีความเป็นไปได้ถึงแม้ว่าค่า P-Value ของสมการจะมีค่าต่ำ หมายถึงยอมรับในค่าที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ(Significant) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดให้ค่าของจุดตัด(Intercept ที่ตัดแกนY) มีค่าเป็น 0 (force of Zero) เมื่อเป็นเช่น สมการที่ได้คือ

$$Y = 1.2118 * X$$

ซึ่งมีค่า Multiple R เท่ากับ 0.997 ค่าR Square เท่ากับ 0.994 และความผิดพลาดมาตรฐานในการประมาณเท่ากับ16.33 ลักซ์ ดังตาราง ค2. และแผนภูมิ ค2.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค1. แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความสว่างของเครื่องวัดแสงมินอลต้าt10กับเครื่องวัดแสงลักซ์มิเตอร์เครื่อง F

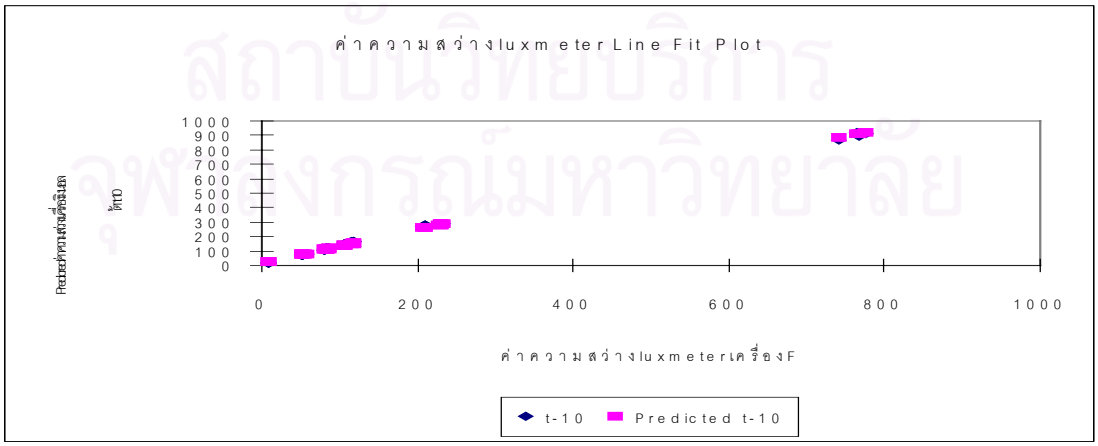
SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.999156
R Square	0.998314
Adjusted R Square	0.998279
Standard Error	9.335084
Observations	50

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	2476307	2476307	28416.33	3.21E-68
Residual	48	4182.902	87.1438		
Total	49	2480490			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	17.26357	1.709544	10.09835	1.84E-13	13.82631	20.70084	13.826	20.700
luxmeter	1.167394	0.006925	168.5714	3.21E-68	1.15347	1.181318	1.1534	1.1813



แผนภูมิ ค1. แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความสว่างของมินอลต้าt10กับลักซ์มิเตอร์เครื่อง F

ตาราง ค2. แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความสว่างของเครื่องวัดแสงมินอลต้าt10กับลักซ์มิเตอร์เครื่อง F

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.997362
R Square	0.994731
Adjusted R Square	0.974323
Standard Error	16.33173
Observations	50

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*
Regression	1	2467421	2467421	9250.795	1.47E-56
Residual	49	13069.54	266.7252		
Total	50	2480490			

	Coefficients	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
Intercept	0	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
luxmeter	1.211825	0.009356	129.5208	8.5E-64	1.193023	1.230627	1.193023	1.230627

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิ ค2. แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อทำนายค่าความสว่างมินอลต้า t10กับของลักซ์มิเตอร์เครื่อง F

ตารางข้อมูลค่าความสว่างเครื่องวัดแสงมินอลต้า t10กับเครื่องลักซ์มิเตอร์เครื่อง F

ลำดับที่	ความสว่างเครื่องมินอลต้าt-10	ความสว่างเครื่องluxmeter
1	119.9	84.7
2	120.1	84.4
3	120.7	85.6
4	277.1	209
5	276.6	209
6	276.1	208
7	293.1	231
8	293.5	232
9	291.1	229
10	289.7	230
11	289	228
12	289.2	229
13	289.5	229
14	114	87.1
15	109.8	82.8
16	108.7	80.9
17	109.1	80.2
18	110.9	81
19	111	83.5
20	111.2	83.8
21	111.2	83.1
22	147.4	106
23	147.5	105.8
24	147.6	106.1
25	147.8	105.9
26	150.4	107.4
27	150.9	107.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

28	165.3	116.7
29	165.6	116.3
30	165.8	116.9
31	165.4	116.8
32	71.8	52.4
33	72.6	53.1
34	74	52.1
35	74	52.1
36	74.1	51.9
37	74.1	51.9
38	78.2	56.1
39	77.9	55.9
40	77.9	55.8
41	14.06	9.6
42	14.03	9.5
43	14	9.5
44	13.89	9.4
45	13.98	9.5
46	13.89	9.4
47	920	764
48	865	742
49	912	775
50	897	766

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ทิพวัลย์ ตั้งพูนทรัพย์ศิริ เกิดวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2508 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2531 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย