

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แนวทางการปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่าง
สำหรับห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรม
กรณีศึกษา : การออกแบบปรับปรุงห้องปฏิบัติการเขียนแบบ
สถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร

THE ILLUMINATION QUALITY
IMPROVEMENT FOR ARCHITECTURAL STUDIO
: A CASE STUDY OF THE RENOVATION DESIGN FOR THE
ARCHITECTURAL STUDIO
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY CHAOKHUNTHAHAN
LADKRABANG BANGKOK



ไกรทอง โชติวุฒิปัตตนา
KRAITHONG CHOTIVUTPATTANA

๖๖.
๖๖๖๖
๖๖๖๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 47612
วัน, เดือน, ปี 21 ส.ค. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974 - 324 - 685 - 1

THE ILLUMINATION QUALITY
IMPROVEMENT FOR ARCHITECTURAL STUDIO
: A CASE STUDY OF THE RENOVATION DESIGN FOR THE
ARCHITECTURAL STUDIO
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY CHAOKHUNTHAHAN
LADKRABANG BANGKOK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2003

ISBN 974 – 324 – 685 - 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แนวทางการปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่างสำหรับ

ห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรม

กรณีศึกษา : การออกแบบปรับปรุงห้องปฏิบัติการเขียน

แบบสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร

นักศึกษา

นาย ไกรทอง โชติวุฒิปพัฒนา

รหัสประจำตัว

39063104

ปริญญา

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรมเซตרון

พ.ศ.

2546

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รองศาสตราจารย์ ชีรมน ไวโรจนกิจ

บทคัดย่อ

การแก้ไขปัญหาระบบการส่องสว่างที่ไม่เพียงพอในพื้นที่เขียนแบบสถาปัตยกรรม ด้วยแสงสว่างธรรมชาติสามารถทำได้ด้วยการออกแบบให้แสงสว่างธรรมชาติเข้าจากกระนาบหลังคาทั้งในรูปแบบหลังคา ฟันเลื่อย (Saw tooth) และแบบ มอนิเตอร์ (Monitor) เพื่อให้พื้นที่เขียนแบบมีค่าปริมาณการส่องสว่าง หรืออิลูมินแนนซ์ (I luminance) ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสง (Uniformity Ratio) อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมและยอมรับได้ ซึ่งในการออกแบบปรับปรุงสภาพการส่องสว่างของพื้นที่กรณีศึกษาที่ระนาบทำงาน 80 เซนติเมตรจากพื้น (Working Plane) ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้เกณฑ์ค่าปริมาณการส่องสว่างที่ 500 ลักซ์ (lux) ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ DF (Daylight Factor) ที่ร้อยละ 1.5 และค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสงที่ร้อยละ 70 และมีค่าความต่างไม่เกินที่ร้อยละ 30 เนื่องจากสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Intermediate Sky)

จากการพิจารณาปรับปรุงออกแบบโดยให้กระทบกระเทือนโครงสร้างหลักเดิมของอาคารที่ทำการศึกษาน้อยที่สุดเพื่อการนำแสงเข้าทางช่องเปิดจากกระนาบหลังคาด้วยหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth) และมอนิเตอร์ (Monitor) โดยการหันช่องเปิดไปยังทิศเหนือ และใช้อัตราส่วนของห้องจากพื้นถึงยอดช่องเปิดต่อความสูงของช่องเปิด ที่อัตรา 3.5 : 1 และอัตราส่วนช่องเปิดต่อระยะความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว้างหลังคาที่ 1 : 1 โดยมีการสลับการเลือกใช้วัสดุผนังหลังคาและกรุฝ้าเพดานบริเวณใกล้ช่องเปิดนั้น ได้ทำการทดสอบการออกแบบดังกล่าวด้วยหุ่นจำลองกายภาพภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง โดยทำการทดลองใกล้กับพิกัดที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาพบว่าหลังคาทั้งสองแบบสามารถแก้ปัญหาเรื่องปริมาณการส่องสว่างที่ไม่เพียงพอได้ และสามารถให้ความสว่างในช่วง 500 - 1,000 ลักซ์ (lux) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด มีค่า เดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ในช่วงร้อยละ 1.2 – 1.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด มีค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงที่ร้อยละ 25 – 30 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเช่นกัน จากการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยภาพถ่ายนั้น หลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor) จะให้ความนุ่มนวลทางสายตาน้อยกว่าหลังคาแบบ ฟันเลื่อย (Saw tooth) เนื่องจากหลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw tooth) เปิดช่องรับแสงต่อเนื่องกัน แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัสดุกรุฝ้าเพดานที่สะท้อนแสงได้มากกว่า จะให้ปริมาณการส่องสว่างและความสม่ำเสมอของการกระจายแสงได้ดีกว่า แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัสดุผนังหลังคาที่สะท้อนแสงน้อยกว่า

แต่อย่างไรก็ดี หากต้องการปรับเปลี่ยนรูปทรงหลังคาของพื้นที่ศึกษาที่มีอยู่เดิมให้เป็นไปตามรูปแบบจากการวิจัยครั้งนี้ จะต้องศึกษาและคำนึงถึงเรื่องความเป็นไปได้ทางโครงสร้างงบประมาณ การระบายอากาศ และเทคนิคการก่อสร้างต่อไป

Thesis Title The Illumination Quality Improvement for Architectural Studio
: A Case Study of The Renovation Design for the Architectural
Studio, Department of Architecture , Faculty of Architecture
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

Student Mr. Kraithong Chotivutpattana

Student ID. 39063104

Degree Master of Architecture

Programme Master of Architecture in Tropical Architecture

Year 2003

Thesis Advisor Assistant Professor Dr. Somchai Srisompong

Thesis Co-Advisor Associate Professor. Teeramon Vairojkit

ABSTRACT

The illumination improvement design for the architectural studio area by natural lighting could be designed by the natural top lighting in the typical term of "Saw tooth and Monitor Roof". It can be able to increased the quantity of illumination , Daylight Factor (DF) value and the Uniformity ratio of illumination to meet the standard points and its criteria which are generally accepted. The design of illumination improvement is considered on the working plane which is 80 cms. above the floor . The criteria figures are considered in term of 500 lux. of the I luminance, Daylight Factor (DF) 1.5 % and the difference of the Uniformity ratio at 30% under the condition of Intermediate Sky or Partly Cloudy Sky condition.

All the daylight openings of Saw tooth and Monitor roofs , which main existing structure shall be impacted minimally, are designed to be oriented to the north and decided to use the ratio between room height and the room opening height is considered to 3.5 : 1 , while the ratio between roof span and opening height is considered to 1 : 1 , the materials of the roof and its ceiling to be the alternative. By the

physical model experiment under the real sky condition and location, it has been found that , the design of top opening in Saw tooth and Monitor roof can solve the under standard of illumination problem which has been mentioned. By the design, the luminance is increased to 500 -1,000 lux , Daylight Factor (DF) value is between 1.2 - 1.8% while the difference value of uniformity ration is 25 - 30%, that is enough and meet the criteria figure. The quality of daylighting ,which is proved by the physical photo and the general visualization, under Saw tooth roof is softer than Monitor roof because the Saw tooth roof can be designed continuously. The diffusion of daylight will be more better when the more reflexible material is considered to install as the ceiling.

Finally, the architectural design in this case, its structural , budget , ventilation and construction technics condition shall be considered.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตาและความอนุเคราะห์จากบรรดา คณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านของภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ซึ่งนำมาใช้ ประกอบเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ธีรมน ไวโรจนกิจ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ รองศาสตราจารย์ กุสุมา ธรรมธำรง และอาจารย์ ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ แก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์และเป็นกรรมการตรวจสอบ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูง

ผู้ทำวิทยานิพนธ์มีความซาบซึ้งในความกรุณาและความเชื่อเพื่อข้อมูลต่างๆรวมทั้ง กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และได้ทำสำเร็จลุล่วงอย่างราบรื่นด้วยความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ธีระศักดิ์ อินทรประสงค์ หัวหน้าภาควิชาสถาปัตยกรรม รองศาสตราจารย์วิวัฒน์ เตมียพันธ์ คุณครูสุดจิตต์ ดุริยะประณีต ศิลปินแห่งชาติ รองศาสตราจารย์ เอกพงศ์ จุลเสนีย์ อดีตคณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ รองศาสตราจารย์ ปรีชญา รังสิรักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงธนิศร์ พิมลเสถียร หัวหน้าภาควิชาการวางแผนภาคและผังเมือง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สกฤต น่อโนทยาน ผู้อำนวยการสำนักทะเบียนและประมวลผล อาจารย์วิวัฒน์ อุดมปิณฑทรัพย์ รองผู้อำนวยการฝ่ายวางแผนและพัฒนา สำนักทะเบียนและประมวลผล อาจารย์วรวรรณ โจน ไพบูลย์ รองหัวหน้าภาควิชาสถาปัตยกรรม อาจารย์โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล อาจารย์สุพัฒน์ บุญยฤทธิกิจ อาจารย์ธิตี ตริตรระการ อาจารย์วันสสุตา ไชยมนตรี อาจารย์ประจำภาควิชา สถาปัตยกรรม และอาจารย์ประชา แสงสายัณห์ อาจารย์ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่ สละเวลา ร่วมแรงร่วมใจ ช่วยเหลือในการทำการศึกษาทดลองโดยมีรายนามผู้ช่วยวิจัยดังต่อไปนี้ นายพรเทพ ตริวิบูลย์ นางสาวกนกวลัย บติการ และ นายวสันต์ ศรีทัศนีย์ เป็นผู้ช่วยวิจัยในการจัดทำหุ่นจำลอง และติดตั้งเครื่องมือทดลอง นายวรพงศ์ รัตนถาวร เป็นผู้ช่วยในการ ตรวจสอบและเตรียมเครื่องมือในการทดลอง และนายสุนัย มนต์ชัยตระกูล บริษัท อี ฟอร์ เอ็ม อินเตอร์เนชั่นแนลจำกัด เป็นผู้สาธิตวิธีการใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) และการตั้งค่า ต่างๆในโปรแกรมบันทึกผล Smart Control 1.23

ผู้ทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ห้องสมุดคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นแหล่งตำราความรู้ทั้งหมดที่นำมาประกอบในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณภาควิชาสถาปัตยกรรมเพื่อในเรื่องเครื่องมือการทดลองซึ่งได้รับงบประมาณสนับสนุน จากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาการวางแผนภาคและผังเมืองทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บเครื่องมือทดลอง

กุศลผลบุญและความดีทั้งหลายอันเกิดจากวิชาความรู้จากเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขออุทิศให้ บิดามารดาและพี่น้องเครือญาติ บุรพคุณอาจารย์ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ผู้มีบุญคุณต่อแผ่นดิน คุณครูจลวย จิยะจันทร์ คุณครูระตี วิเศษสุรการ คุณอากร สุนตะภูทคุณจรรยา วงศ์หาญเซาห์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ไกรทอง โชติวุฒิปัทธนา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย ขั้นตอนการศึกษาและกรอบแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์.....	6
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1 ความนำ.....	19
2.2 ทบทวนวรรณกรรม.....	20
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง.....	24
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ.....	40
2.5 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ.....	57
2.6 การใช้แสงสว่างธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรม.....	77
บทที่ 3 ข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่กรณีศึกษา เครื่องมืออุปกรณ์และหุ่นจำลอง ในการวิจัย.....	87
3.1 สภาพปัจจุบันของพื้นที่กรณีศึกษา.....	87
3.2 วิธีการเก็บข้อมูลสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษา.....	90
3.3 การตั้งค่าวัดในโปรแกรมการเก็บข้อมูล.....	99
3.4 ผลการทดสอบพื้นที่ศึกษา.....	101
3.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบพื้นที่ศึกษา.....	103

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การตั้งสมมติฐานในเรื่องการปรับปรุงสภาพการส่องสว่าง.....	105
3.7 เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการบ่งชี้การปรับปรุงสภาพการส่องสว่าง.....	110
3.8 การออกแบบทดลอง.....	113
บทที่ 4 การทดสอบแนวทางเลือกในการปรับปรุงสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษา	120
4.1 แนวความคิดในการออกแบบร่างและหลักเกณฑ์การกำหนดแนวทางการปรับปรุง ช่องเปิดบนระนาบหลังคา.....	121
4.2 แบบร่างทางสถาปัตยกรรม.....	131
4.3 ผลการการทดสอบแบบร่างทางสถาปัตยกรรม.....	139
4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบแบบร่างทางสถาปัตยกรรม.....	181
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	183
5.1 สรุปผลการให้ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ศึกษา.....	183
5.2 สรุปผลเรื่องเดไลท์แฟคเตอร์และความสม่ำเสมอในการกระจายแสง.....	184
5.3 สรุปผลเรื่องการมองเห็นและภาพรวมของสัดส่วนอาคาร.....	185
5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	186
บรรณานุกรม	193
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงค่าที่ได้จากการทดลอง	195
ภาคผนวก ข. กราฟแสดงผลการทดลอง	221
ภาคผนวก ค. รายละเอียดเครื่องมือทดลอง	250
ประวัติผู้เขียน	253

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่ zenith (Sky Zenith Illuminance) สำหรับ ท้องฟ้าในลักษณะ Overcast Sky, ZL = 0.409 ในแต่ละมุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์.....	52
2.2 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) ตามประเภท การใช้งาน.....	58
2.3 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA)และมาตรฐาน การกำหนดค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน).....	59
2.4 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ.....	63
3.1 แสดงค่ามาตรฐานปริมาณการส่องสว่างสำหรับการเขียนแบบที่ CIE กำหนด.....	110
3.2 แสดงปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกเมื่อคำนวณด้วยค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่ ต้องการทดลอง.....	112
3.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุที่จะเลือกใช้ในการทดลอง.....	116
4.1 แสดงแบบที่จะใช้ในการทดลอง เมื่อเพิ่มข้อกำหนดเรื่องสัดส่วนความสูงในแบบ.....	129
4.2 แสดงการเรียงอันดับและจัดหมู่ของแบบหลังคาทั้งแบบฟันเลื่อย(Saw tooth)และมอนิเตอร์ (Monitor) ที่ใช้ในการทดลอง.....	132
4.2 ตารางวิเคราะห์เปรียบเทียบการปรับปรุงสภาพการส่องสว่างห้องเขียนแบบ สถาปัตยกรรม.....	182
ก.1 แสดงค่าเฉลี่ยแสงที่ตกกระทบแนวนอนทั้งหมดรายเดือน พ.ศ. 2542 กรุงเทพฯ.....	196
ก.2 แสดงค่าเฉลี่ยแสงกระจายจากท้องฟ้าตกกระทบแนวนอนทั้งหมดรายเดือน พ.ศ. 2542 กรุงเทพฯ.....	197
ก.3 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ศึกษา (Existing).....	198
ก.4 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา ฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1.....	199
ก.5 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา ฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2.....	200

สารบัญญัตราสาร (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.6 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา พินเลื่อย Saw tooth 1.1.3.....	201
ก.7 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา พินเลื่อย Saw tooth 1.2.1.....	202
ก.8 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา พินเลื่อย Saw tooth 1.2.2.....	203
ก.9 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา พินเลื่อย Saw tooth 1.2.3.....	204
ก.10 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา มอนิเตอร์ Monitor 1.1.1.....	205
ก.11 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา มอนิเตอร์ Monitor 1.1.2.....	206
ก.12 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา มอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	207
ก.13 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคา มอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	208
ก.14 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)ของพื้นที่ศึกษา (Existing).....	209
ก.15 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคาพินเลื่อย Saw tooth 1.1.1....	210
ก.16 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคาพินเลื่อย Saw tooth 1.1.2....	211
ก.17 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคาพินเลื่อย Saw tooth 1.1.3....	212
ก.18 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคาพินเลื่อย Saw tooth 1.2.1....	213

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.19 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2....	214
ก.20 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3....	215
ก.21 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1.....	216
ก.22 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2.....	217
ก.23 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	218
ก.24 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) เดไลท์แฟคเตอร์ (DF)และค่า ความสม่ำเสมอการกระจายแสง (Uniformity)ของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	219
ก.25 แสดงการเปรียบเทียบวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแต่ละแบบ.....	220
ก.26 แสดงการเปรียบเทียบวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแต่ละแบบ.....	220
ก.27 แสดงการเปรียบเทียบวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (%) ของหลังคาแต่ละแบบ.....	220

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอและมีความจ้าของแสงจากการสะท้อนของวัสดุภายในห้องปฏิบัติการเขียนแบบที่จำการศึกษา.....	1
1.2 แสดงรูปทรงหลังคาภายนอก และช่องเปิดด้านข้างของอาคารที่จะทำการศึกษา.....	2
1.3 แสดงผังกรอบแนวคิดในการศึกษาด้วยกระบวนการวิทยาศาสตร์และการออกแบบ.....	14
1.4 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยภายใต้กรอบแนวคิดในการศึกษา.....	15
1.5 แผนภาพแสดงการกำหนดกรอบปัญหาและแนวทางแก้ไขของหัวข้อวิทยานิพนธ์.....	17
1.6 แผนภาพแสดงการสร้างสมมติฐานเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์.....	18
2.1 แสดงเทคนิคการให้แสงสว่างธรรมชาติด้วยวิธี ระบายสะท้อนแสง.....	21
2.2 แสดงเทคนิคการให้แสงสว่างธรรมชาติด้วยวิธี ท่อนำแสง.....	21
2.3 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็น.....	24
2.4 แสดงสเปกตรัมของแสงอันเกิดจากการหักเหของแสง.....	25
2.5 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุตัวกลาง.....	26
2.6 แสดงการสะท้อนของแสงแบบกระจกเงา (Specular Reflection).....	27
2.7 แสดงการสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffused Reflection).....	27
2.8 แสดงการสะท้อนแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงาและแบบกระจาย....	28
2.9 แสดงแสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน.....	29
2.10 แสดงแสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย.....	29
2.11 แสดงความเข้าใจเรื่องลูมินันซ์ ฟลักซ์ (Luminous Flux).....	30
2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แคนเดลา ลักซ์ และฟุตแคนเดล.....	31
2.13 แสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 แคนเดลา ที่ระยะต่างจากแหล่งกำเนิดแสง.....	32
2.14 แสดงขอบเขตการมองเห็นของสายตา.....	34
2.15 แสดงความเปรียบเทียบต่าง ลูมิแนนซ์ของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม.....	35
2.16 แสดงมุมของแสงบาดตาที่วัดที่มุมมากกว่า 45 เป็นต้นไป.....	36
2.17 แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ.....	38
2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่องสว่างที่ดีและปัจจัยที่ทำให้เกิดการส่องสว่างที่ดี.....	39
2.19 แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ จากมุมอัลติจูด(Solar Altitude) , a_s และมุมอะซิมุท.....	41
2.20 แสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่วันและเวลาต่างๆกัน.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 แสดงท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมหนาที่บ (Overcast Sky).....	54
2.22 แสดงท้องฟ้าแบบโปร่ง(Clear sky) และมุมแบร์ริง.....	55
2.23 แสดงองค์ประกอบของแสงธรรมชาติทั้งหมด (Daylight Factor).....	62
2.24 แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามแบบวิธีลูเมน (Lumen Method).....	66
2.25 แสดงตัวอย่างการใช้แผนภาพด้วยวิธีกรุน (Grun Method).....	72
2.26 แสดงตัวอย่างการหาค่าองค์ประกอบท้องฟ้าภายนอก.....	72
2.27 แสดงการใช้แผนภาพแบบ วาลแดรม (Waldram Diagramme)	73
2.28 แสดงแผนภาพแบบเปเปอร์พลอท (Paper-plot).....	74
2.29 แสดง การสร้างแผนภาพแบบ ดานิลุก (Daniluk Method).....	75
2.30 แสดงการหาค่าองค์ประกอบภายใน (IRC) ด้วยแผนภาพ โนโมแกรม.....	76
2.31 แสดงช่องแสงด้านบนต่อเนื่อง (Linear Toplights).....	80
2.32 ช่องแสงด้านบนเฉพาะจุด (Localized or spot Toplights).....	81
2.33 แสดงช่องแสงในระนาบด้านบนหลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw tooth).....	81
2.34 แสดงช่องแสงในระนาบด้านบนหลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor)	82
2.35 แสดงช่องเปิดด้านบนแบบสกายไลท์ (Skylight).....	83
3.1 แสดงแผนผังที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา ห้อง 324 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.	87
3.2 แสดงสภาพเดิมของวัสดุปิดผิวในพื้นที่ศึกษาและระยะในรูปตัด.....	89
3.3 แสดงแผนผังแสดงการวางแนวคิดและแผนการเก็บข้อมูลจากพื้นที่ศึกษา.....	91
3.4 แสดงวิธีการจัดวางตำแหน่งจุดการวัดปริมาณการส่องสว่างเพื่อเก็บบันทึกข้อมูล บนพื้นที่ศึกษา.....	92
3.5 แสดงผัง (Plan) ของอาคารและพื้นที่ศึกษา ที่เข้าทำการเก็บข้อมูล.....	93
3.6 แสดงรูปด้านของอาคารพื้นที่ศึกษา ด้านทิศใต้ และทิศเหนือตามอันดับ.....	94
3.7 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณแสงในพื้นที่ศึกษา.....	95
3.8 แสดงวิธีการติดตั้งวงจรของเครื่องมืออุปกรณ์วัดความส่องสว่างในพื้นที่ศึกษา.....	96
3.9 แสดงการจัดวางเครื่องวัดแสง(Photometric Sensor) เพื่อเปรียบเทียบค่าให้ตรงกัน.....	97
3.10 แสดงการติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) แบบ 2 ช่องสัญญาณ.....	97
3.11 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดแสง (Photometric Sensor) ตามตำแหน่งระดับทำงาน (Working Plane)	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 แสดงแผนภาพแนวคิดในการเลือกใช้รูปทรงหลังคาในการออกแบบ.....	110
3.13 แสดงแผนภาพในการจัดอันดับและการจัดหมู่จำนวนแบบร่างที่จะใช้ทำการทดลอง.....	115
3.14 แสดงลักษณะหุ่นจำลองโดยสามารถออกแบบหุ่นจำลองให้เปลี่ยนหลังคาได้.....	117
3.15 แสดงการทดสอบหุ่นจำลองในที่มืด เพื่อหารอยรั่วของแสงในหุ่นจำลอง.....	118
3.16 แสดงการซ่อมบำรุง หลังจากการใช้งานในการทดลองแต่ละครั้ง.....	118
3.17 แสดงแผนภาพแสดงรายละเอียดขั้นตอนการทดลอง.....	119
4.1 แสดงภาคตัดโครงสร้างของอาคารพื้นที่ศึกษา.....	120
4.2 แสดงแบบหลังคาฟันเลื่อย Sawtooth # 1.....	122
4.3 แสดงแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth# 2.....	123
4.4 แสดงแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth # 3.....	123
4.5 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #1.....	124
4.6 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #2.....	125
4.7 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #3.....	125
4.8 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #4.....	126
4.9 แสดงหลังคาทรงจั่วซ้อนชั้น (Gable).....	126
4.10 แบบหลังคาฟันเลื่อย Sawtooth #1 มีค่าสัดส่วนความสูง H อยู่ในเกณฑ์ 3:5:1 สัดส่วน ความกว้าง S = 1: 1 และสัดส่วนความยาว M = ∞ : 1.....	128
4.11 แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #4 มีค่าสัดส่วนความสูง H อยู่ในเกณฑ์ 3:5:1 สัดส่วน ความกว้าง S = 1: 1 สัดส่วนความยาว M = ∞ : 1 และสัดส่วนระยะห่าง W = 1:1... 128	128
4.12 แสดงแบบภาคตัดของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1 Saw tooth 1.1.2 และแบบ Saw tooth 1.1.3.....	133
4.13 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1.....	133
4.14 แสดงหุ่นจำลองแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2.....	134
4.15 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3.....	134
4.16 แสดงแบบภาคตัดของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 Saw tooth 1.2.2 และแบบ Saw tooth 1.2.3.....	135
4.17 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1.....	135
4.18 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2.....	136

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 แสดงหุ่นจำลองแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3.....	136
4.20 แสดงแบบภาคตัดของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 และ Monitor 1.1.2.....	137
4.21 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1.....	137
4.22 แสดงหุ่นจำลองแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2.....	138
4.23 แสดงแบบภาคตัดของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 และ Monitor 1.2.2.....	138
4.24 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	139
4.25 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	140
4.26 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1 ด้วย กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23	140
4.27 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1.....	141
4.28 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 ด้วย กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	141
4.29 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2.....	142
4.30 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3 ด้วย กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	142
4.31 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3.....	143
4.32 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 ด้วย กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	143
4.33 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1.....	144
4.34 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 ด้วย กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	144
4.35 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2.....	145

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.36 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.2.3 ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	145
4.37 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบพื้นเลื่อย Saw tooth 1.2.3.....	146
4.38 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	146
4.39 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.1.....	147
4.40 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	147
4.41 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.2.....	148
4.42 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	148
4.43 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	149
4.44 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23.....	149
4.45 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	150
4.46 แสดงสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาเดิม ก่อนทำการออกแบบปรับปรุง ซึ่งมีสภาพการส่องสว่างไม่เพียงพอ.....	153
4.47 แสดงสภาพการส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในขณะที่ทำการทดลองภายใต้หลังคาแบบพื้นเลื่อย (Saw tooth) ทั้งหมด เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่ามีสภาพการส่องสว่างที่ดีขึ้น.....	154
4.48 แสดงสภาพการส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในขณะที่ทำการทดลองภายใต้หลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor) ทั้งหมด เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่ามีสภาพการส่องสว่างที่ดีขึ้นแต่จะมีความสม่ำเสมอของการกระจายความสว่างน้อยกว่าหลังคาแบบพื้นเลื่อย Saw tooth...	155
4.49 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของพื้นที่ศึกษา (Existing).....	156

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.50	กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของพื้นที่ศึกษา (Existing).....	156
4.51	กราฟแสดงค่า ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity(%)ของพื้นที่ศึกษา (Existing).....	157
4.52	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของพื้นที่ศึกษา(Existing).....	157
4.53	กราฟแสดงค่า เดไลท์แฟคเตอร์(DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1...	158
4.54	กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อยSaw tooth 1.1.1 ..	158
4.55	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1.....	159
4.56	กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth1.1.1.....	159
4.57	กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2....	160
4.58	กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 ..	160
4.59	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2.....	161
4.60	กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2.....	161
4.61	กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3....	162
4.62	กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3...	162
4.63	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3.....	163
4.64	กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3.....	163
4.65	กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1....	164
4.66	กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1...	164
4.67	กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth1.2.1.....	165
4.68	กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1.....	165

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.69 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth1.2.2.....	166
4.70 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2....	166
4.71 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth1.2.2.....	167
4.72 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.2.2.....	167
4.73 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2....	167
4.74 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3	168
4.75 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth1.2.3.....	169
4.76 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3.....	169
4.77 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.1.....	170
4.78 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.1...	170
4.79 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.1.....	171
4.80 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.1.1.....	171
4.81 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.2.....	172
4.82 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์Monitor 1.1.2.....	172
4.83 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.2.....	173
4.84 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.1.2.....	173
4.85 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	174
4.86 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	174

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.87 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดโไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	175
4.88 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.1.....	175
4.89 กราฟแสดงค่าเดโไลท์แฟคเตอร์ (DF) (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	176
4.90 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	176
4.91 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดโไลท์แฟคเตอร์ (Avg.DF) (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	177
4.92 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.2.....	177
4.93 กราฟแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าปริมาณการส่องสว่างของทุกจุดที่ทำการวัด โดยเปรียบเทียบผลจากหลังคาแต่ละแบบ.....	178
4.94 กราฟแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเดโไลท์แฟคเตอร์ (DF) ของหลังคาแต่ละแบบ.....	179
4.95 กราฟแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง (Uniformity) ของหลังคาแต่ละแบบ.....	180
5.1 แสดงแบบช่องแสงประเภทต่างๆที่ได้ออกแบบไว้เป็นทางเลือก.....	188
5.2 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบพื้นเลื่อย ทางเลือกที่ 1 (Alternative 1).....	189
5.3 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบพื้นเลื่อย ทางเลือกที่ 2(Alternative 2).....	189
5.4 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบพื้นเลื่อย ทางเลือกที่ 3(Alternative 3).....	190
5.5 แสดงรายละเอียดการติดตั้งหลังคาแบบพื้นเลื่อย(Saw tooth) ด้วยภาพสามมิติ.....	190
5.6 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบมอนิเตอร์ ทางเลือกที่ 4(Alternative 4).....	191
5.7 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบมอนิเตอร์ ทางเลือกที่ 5(Alternative 5).....	191
5.8 แสดงรายละเอียดการติดตั้งหลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor) ด้วยภาพสามมิติ.....	192
ข.1 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา(Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	222
ข.2 แสดงค่าเดโไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา(Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	222

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.3	แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย (DF) ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา(Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	223
ข.4	แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา(Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	223
ข.5	แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	224
ข.6	แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	224
ข.7	แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	225
ข.8	แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	225
ข.9	แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	226
ข.10	แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	226
ข.11	แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	227
ข.12	แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	227
ข.13	แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	228
ข.14	แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	228
ข.15	แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	228
ข.16	แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth 1.1.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	229

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.17 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 0
ข.18 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 0
ข.19 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 1
ข.20 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 1
ข.21 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 2
ข.22 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 2
ข.23 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 3
ข.24 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 3
ข.25 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 4
ข.26 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 4
ข.27 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 5
ข.28 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	23 5
ข.29 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	236
ข.30 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	236

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.31 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	237
ข.32 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	237
ข.33 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	238
ข.34 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	238
ข.35 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	239
ข.36 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	239
ข.37 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	240
ข.38 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	240
ข.39 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	241
ข.40 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	241
ข.41 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	242
ข.42 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	242
ข.43 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	243

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.44 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน.....	243
ข.45 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของพื้นที่ศึกษา (Existing).....	244
ข.46 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.1.1.....	244
ข.47 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.1.2.....	245
ข.48 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.1.3.....	245
ข.49 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.2.1.....	246
ข.50 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.2.2.....	246
ข.51 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.2.3.....	247
ข.52 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.1.1.....	247
ข.53 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.1.2.....	248
ข.54 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.2.1.....	248
ข.55 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.2.2.....	249
ค.1 แสดงรายละเอียดเครื่องวัดแสง (Photometric sensor) ที่ใช้ในการทดลอง.....	251
ค.2 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์ประกอบเครื่องวัดแสง (Photometric sensor).....	252

บทที่ 1

บทนำ

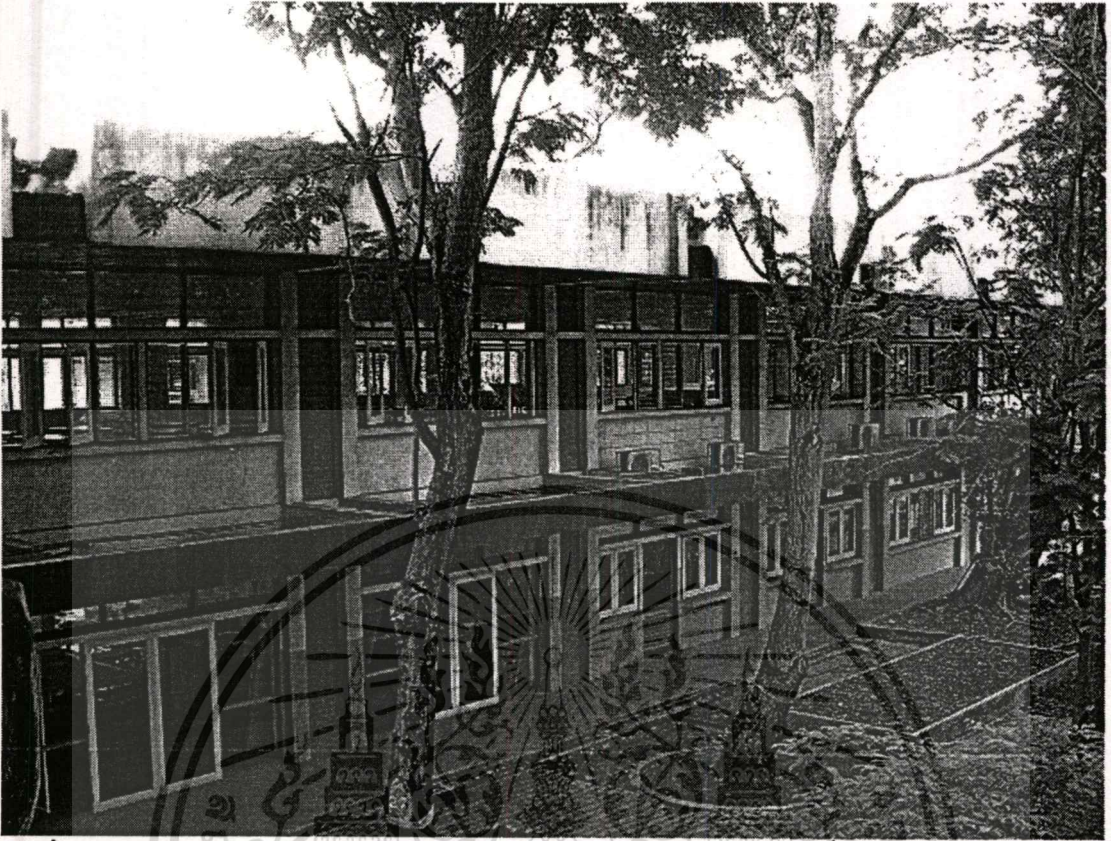
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แสงสว่างธรรมชาติที่เพียงพอ นั้น มีความสำคัญและมีผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สำหรับในการทำงานที่ต้องใช้ฝีมืออย่างละเอียด เช่นงานเขียนแบบสถาปัตยกรรมในห้องปฏิบัติการเขียนแบบเพื่อให้การมองเห็นดีขึ้น ทำให้เขียนแบบได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ยังมีผลต่อสุขภาพทางสายตาของผู้เขียนแบบรวมถึงมีผลต่ออารมณ์และจิตใจของผู้ใช้ห้องเขียนแบบอีกด้วย



รูปที่ 1.1 แสดงปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอและมีความจ้าของแสงจากการสะท้อนของวัสดุภายในห้องปฏิบัติการเขียนแบบที่จำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงรูปทรงหลังคาภายนอก และช่องเปิดด้านข้างของอาคารที่จะทำการศึกษา

สภาพปัจจุบันของห้องปฏิบัติการเขียนแบบทางสถาปัตยกรรมของ ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีปัญหาในเรื่องการให้แสงสว่างและการส่องสว่างในพื้นที่ปฏิบัติการ ซึ่งพบว่ามีความเข้มของการส่องสว่างไม่เพียงพอต่ำกว่ามาตรฐานสากลที่หน่วยงาน CIE (International Commission on Illumination)¹ กำหนด

จากการสำรวจเบื้องต้นด้วยการวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ที่จะทำการศึกษาโดยใช้เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Illumination Meter) Digicon LX-50 ในหน่วย ลักซ์ (lux) เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2545 เวลา 13.00 น. ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky) พบว่าที่จุดกึ่งกลางห้องปฏิบัติการเขียนแบบในระดับที่ทำการทดลองวัดสูงจากพื้น 75 เซนติเมตร เมื่อปิดไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมด เหลือแต่แสงสว่างจากธรรมชาติอย่างเดียว โดยเลื่อนโต๊ะเขียนแบบออกจากพื้นที่วัดเพื่อลดค่าการสะท้อนของแสงพบว่ามีค่าการส่องสว่างที่ 24 ลักซ์ และเมื่อเปิดไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมดพบว่ามีค่าการส่องสว่างที่ 300 ลักซ์ ซึ่งในขณะที่ค่าการส่องสว่างภายนอก

¹ ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2540. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 1-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารบริเวณที่โล่งแจ้งมีค่ากับ 74,500 ลักซ์ ซึ่งมีค่าความต่างถึง 250 เท่า และเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานการส่องสว่างของห้องเขียนแบบทางสถาปัตยกรรมที่ CIE กำหนดในช่วง 500-750-1,000 ลักซ์ ดังนั้นจะพบว่าจุดกึ่งกลางห้องที่ทดลองวัดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอยู่มากถึงแม้จะเปิดไฟฟ้าส่องสว่างช่วยแล้วก็ตาม

จากการสังเกตสภาพอาคารและภายในห้องเขียนแบบที่ทำการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้สภาพภายในห้องมีค่าการส่องสว่างต่ำกว่าปกตินั้นมีสาเหตุมาจากการนำแสงสว่างธรรมชาติในระนาบหลังคา ไม่เพียงพอ เนื่องจากการให้แสงสว่างจากธรรมชาติด้านผนังนั้น ได้เปิดช่องไว้เต็มที่แล้ว ตั้งแต่ฝ้าเพดานจนถึงระดับทำงาน (Working Plane) และเปิดกว้างระหว่างเสาดังเสาก็แล้ว แต่แสงสว่างธรรมชาติก็ยังไม่เพียงพอ ดังนั้น สิ่งที่ควรศึกษาจึงเป็นเรื่องของการให้แสงสว่างจากด้านข้างผ่านระนาบหลังคา

สรุปความสำคัญของปัญหาที่กล่าวมาคือ คุณภาพและปริมาณของการส่องสว่างทางธรรมชาติของพื้นที่ปฏิบัติการเขียนแบบมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดและไม่เพียงพอต่อกิจกรรมการใช้งาน ทั้งนี้โดยมีสาเหตุมาจากการให้แสงสว่างในระนาบหลังคาไม่เพียงพอ ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในเรื่องของการหาแนวทางการออกแบบปรับปรุงวิธีการให้แสงสว่างธรรมชาติด้านข้างในระนาบหลังคา เพื่อให้เกิดความเพียงพอต่อผู้ใช้งาน ภายใต้มาตรฐานการส่องสว่างที่กำหนด ซึ่งสามารถสรุปกรอบปัญหาและแนวทางแก้ไขตามแผนภาพที่ 1.5 หน้า 17

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษารูปแบบช่องเปิดในระนาบหลังคาของอาคารเรียนห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรมที่สามารถใช้ในการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาใช้ในพื้นที่ที่ต้องการ

1.2.2 ศึกษาตัวแปรและปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการนำปริมาณแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดในระนาบหลังคา ของอาคารเรียนห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรม

1.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำปริมาณแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดในระนาบหลังคาของกรณีศึกษาในเชิงปริมาณโดยใช้ค่าเกณฑ์ค่าความส่องสว่างมาตรฐานประเมินผลการให้แสงสว่างธรรมชาติรายปี โดยศึกษาจากตารางแสดงค่าเฉลี่ยแสงที่ตกกระทบในแนวนอนทั้งหมดรายเดือน พ.ศ. 2542 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ดังตารางที่ ผ-ก 1 และ ผ-ก 2 หน้า 196-197

1.2.4 เสนอแนวทางการออกแบบรูปแบบช่องเปิดในระนาบหลังคา เพื่อนำปริมาณแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารอย่างเพียงพอแก่ความต้องการตามค่ามาตรฐานที่กำหนด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาปริมาณแสงธรรมชาติของกรณีศึกษารูปแบบช่องเปิดด้านข้างในระนาบหลังคาของอาคารเรียนห้องปฏิบัติการเขียนแบบทางสถาปัตยกรรม จากอิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสงทางตรง คือ แสงอาทิตย์ตรง (Direct Sunlight) และแสงกระจาย (Diffuse Light or Daylight) เมื่อสามารถป้องกันแสงแดดได้ในระยะเวลาที่กำหนด

1.3.2 ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเปิดช่องแสงด้านข้างในระนาบหลังคา ที่มีสัดส่วนช่องเปิดเท่ากันแต่มีรูปทรงหลังคาต่างกันเพื่อนำปริมาณแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร

1.3.3 ศึกษาแนวทางการออกแบบช่องเปิดด้านข้างในระนาบหลังคา เพื่อนำปริมาณแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารอย่างเหมาะสม

1.3.4 ประเมินการให้แสงสว่างในเชิงปริมาณโดยใช้เกณฑ์ค่าความสว่างมาตรฐานในอาคาร

ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการกำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

1. ค่าความสว่างภายในบนพื้นผิวระนาบทำงาน (Working Plane)
2. ค่าความสว่างภายนอกตามสภาพท้องฟ้า
3. รูปแบบของช่องเปิดในระนาบหลังคา ของอาคารที่หันสู่ทิศเหนือและทิศใต้
4. อุปกรณ์บังแดดที่มีรูปแบบทั่วไป
5. รูปทรงหลังคา

ส่วนตัวแปรที่จะไม่ทำการศึกษา ได้แก่

1. ชนิดของกระจก ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของกระจก (Solar Co-efficient) และค่าการส่องผ่านแสงธรรมชาติ (Daylight Transmission) โดยกำหนดให้มีค่าคงที่
2. องค์ประกอบภายใน เช่น ฝ้าเพดานและค่าการสะท้อนแสงภายใน โดยกำหนดให้มีค่าคงที่
3. ค่าการสะท้อนแสงจากสิ่งแวดล้อมภายนอก กำหนดให้มีค่าคงที่
4. อุปกรณ์บังแดดที่มีรูปแบบซับซ้อน
5. ผลกระทบทางด้านอื่นๆ เช่น ภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ (Thermal Comfort)

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินผลของรูปแบบ แบบช่องเปิดด้านข้างในระนาบด้านบน(หลังคา)เพื่อนำปริมาณแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในอาคารเมื่อสามารถป้องกันแดดได้ในช่วงเวลาที่กำหนดตามแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้ ด้วยการทดสอบจากหุ่นจำลองสภาพการให้แสงสว่างโดยใช้ แผนภาพแบบ โมโนกราฟ เพื่อแสดงปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในพื้นที่ที่กำลังศึกษา และวัดค่าความสว่างบนพื้นผิวอ้างอิงภายในห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรม อาคารเรียน 3 ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2545 และ 2546 ในการวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดข้อจำกัดของการวิจัยไว้ดังนี้

1. การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติกับอาคารที่อยู่ในเขตละติจูดที่ 14 องศาเหนือ ในเขตร้อนชื้น

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลจากหุ่นจำลองกายภาพ ที่ทำการทดสอบวัดค่าความสว่างภายใน โดยใช้การทดสอบกับสภาพท้องฟ้าจริงโดยใช้เครื่องมือต่างๆเป็นหลัก การทดสอบนั้นให้ใช้วันและเวลาที่ได้ทำการกำหนดให้ตรงตามความต้องการของการใช้พื้นที่ ทั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ เครื่องวัดแสง (Photometric Sensor) และเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) พร้อมโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของชุดอุปกรณ์วัดปริมาณการส่องสว่างของแสง

3. การเก็บข้อมูลจากพื้นที่ศึกษาจริง ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2544 เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากต้องการวันและเวลาที่พื้นที่ว่างจากการใช้งาน และเพื่อมิให้เกิดค่าความผิดพลาดอันเกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น กรณีมีการใช้ห้องในเวลาเรียนหรือการเดินทางไปมาของผู้ใช้อาคาร เป็นต้น

4. พิจารณาปริมาณแสงธรรมชาติที่ตกกระทบพื้นที่ใช้งานในแนวระนาบ(Working Plane) ที่ระดับความสูงของพื้นที่อาคารที่พิจารณา ที่ความสูง 0.80 เมตร (ขนาดความสูงของโต๊ะปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรมทั่วไป)

5. เนื่องจากระยะเวลาและความต้องการของพื้นที่อาคารมีข้อจำกัดอยู่มาก ในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นในเรื่องของการให้ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติจากทางระนาบหลังคาเท่านั้น ไม่พิจารณาในเรื่องปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารและภาระการทำความเย็นของอาคาร

6. แนวทางในการหาปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่พื้นที่ที่พิจารณานั้น จะพิจารณาเฉพาะกับแสงธรรมชาติแบบแสงกระจาย (Diffused Illumination) ที่ไม่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sunlight Illumination) หรือแสงประดิษฐ์

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ปริมาณการส่องสว่าง หรือ อิลูมิแนนซ์² (I luminance) คือปริมาณความส่องสว่างที่กระทบลงบนวัตถุมีหน่วยเป็น ลักซ์ (lux)

ค่าความสว่างภายใน (Interior I luminance) คือ ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวบนระนาบทำงาน (Working Plane) ภายในอาคาร

ค่าความสว่างภายนอก (Exterior I luminance) คือ ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวภายนอกอาคาร

ช่องเปิดด้านข้างในระนาบหลังคา (Top Aperture) คือ ช่องเปิดที่เปิดในแนวตั้งบนผนังที่เป็นส่วนประกอบของระนาบด้านบนหรือหลังคาที่พิจารณา

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

การปรับปรุงสภาพการส่องสว่างในห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรมด้วยการให้แสงสว่างจากธรรมชาติจากช่องเปิดในระนาบหลังคานั้น แนวคิดที่สำคัญและเป็นแนวคิดหลักในการวิจัย เพื่อให้เกิดประสิทธิผลการใช้งานด้วยแสงสว่างธรรมชาติสูงสุด ทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพ ดังนี้

- หลีกเลี่ยงการใช้รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (No Direct Sunlight) ในช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอนหรือใช้งานโดยเป็นช่วงเวลาที่มีการนำแสงธรรมชาติมาใช้ ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. เนื่องจากแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์จะมีความแปรปรวนที่สูง รวมทั้งมีปริมาณความเข้มที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น และมีความร้อนสูงจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยตรง โดยมีการใช้แผงกันแดด (Shading Device) ที่สัมพันธ์กับรูปทรงหลังคา
- นำเฉพาะแสงกระจายจากท้องฟ้ามาใช้ภายในอาคาร (Diffused Skylight to Aperture) โดยการสะท้อนแสงผ่านช่องเปิดมายังพื้นที่ใช้งาน เนื่องจากแสงกระจายจะมีความแปรปรวนและปริมาณความร้อนน้อย เมื่อเทียบกับแสงตรงจากดวงอาทิตย์และมีความส่องสว่าง 140 ลูเมนต่อวัตต์ ซึ่งสูงกว่าปริมาณความส่องสว่างของแสงสว่างประดิษฐ์ทั่วไป
- หาวีธีเปิดช่องในการนำแสงธรรมชาติจากระนาบด้านบนเข้ามาใช้ภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Minimum Aperture Size but Maximum Illumination) คือ หาวีธี

² ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2540, เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 1-5

เพื่อให้ได้ปริมาณความส่องสว่างสูงสุดต่อพื้นที่ของเปิด เพื่อหลีกเลี่ยงปริมาณความร้อนที่จะผ่านเข้ามาภายในกับแสงธรรมชาติที่ได้รับความร้อนดังกล่าวอาจก่อให้เกิดปัญหาสภาวะไม่สบายแก่ผู้ใช้งานในพื้นที่ได้

ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงสภาพการส่องสว่างในพื้นที่เป้าหมายนั้นเป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการออกแบบที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในห้องปฏิบัติการเขียนแบบทางสถาปัตยกรรม เพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบและเทคนิคการควบคุมแสงธรรมชาติจากช่องเปิดในระนาบหลังคาโดยแยกพิจารณาเป็นส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

1.4.1 องค์ประกอบทางกายภาพภายนอก (Externally Physical Component) วิธีการรวบรวมแสงสว่างธรรมชาติจากภายนอกเข้าสู่อาคาร เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการให้ความสว่างกับพื้นที่ภายในอาคาร วิธีการควบคุมองค์ประกอบจากภายนอกต่างๆสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.4.1.1 รูปแบบการให้แสงสว่างธรรมชาติผ่านช่องเปิดในระนาบด้านบน (หลังคา) จากการศึกษาลักษณะการออกแบบช่องเปิดในระนาบหลังคา โดยทั่วไป สามารถจำแนกออกได้เป็นรูปแบบต่างๆคือหลังคาฟันเลื่อย (Saw Tooth) หลังคามอนิเตอร์ (Monitor) , ช่องแสงในแนวระนาบ หรือสกายไลท์ (Horizontal Skylight) และ โถงช่องแสง (Light Well) ซึ่งรูปแบบของหลังคาเหล่านี้จะสัมพันธ์กันกับลักษณะของการติดตั้งวัสดุกระจก (Glazing) โดยทั่วไปจะยึดติดในแนวตั้ง (Vertical Plane) หรือแนวเอียง (Sloping Plane) ยกเว้นรูปแบบช่องแสงในแนวระนาบ หรือสกายไลท์ (Horizontal Skylight) ซึ่งติดตั้งในแนวนอน (Horizontal Plane) สำหรับความคงที่สม่ำเสมอของปริมาณแสงสว่างจากรูปแบบต่างๆมีความสัมพันธ์กับระยะห่าง (Spacing) ของช่องเปิด ส่วนปริมาณความส่องสว่างก็จะมีผลสัมพันธ์กับสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดและตำแหน่งการเปิดและการติดตั้งวัสดุกระจก (Glazing) ของช่องเปิด

1.4.1.2 ประสิทธิภาพในการป้องกันแสงอาทิตย์โดยตรง จากรูปแบบที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว พบว่ารูปแบบที่สามารถให้ศักยภาพในการป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์โดยการใช้องค์ประกอบบังแดด (Shading Devices) หรือใช้การปรับเอียงกระจกเพื่อให้เกิดการบังเงาให้กับช่องเปิดโดยกำหนดระยะยื่นตามมุมโปรไฟล์ (Profile) ให้สามารถบังแดดได้ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงานและแสงธรรมชาติมีประสิทธิภาพสูงในการนำมาใช้ เพื่อลดความแปรปรวนของแสงที่จะเกิดขึ้นภายในอาคาร และปริมาณความร้อนจากการรับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ดังนั้นแนวทางหลักในการให้แสงธรรมชาติกับอาคารที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ คือ แสงกระจาย (Diffuse Light) ซึ่งเป็นแสงที่ได้จากการสะท้อนขององค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในห้องฟ้าในทุกทิศทาง และมีความสม่ำเสมอมากกว่าแสงธรรมชาติรูปแบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์รูปแบบช่องเปิดข้างต้น ในด้านประสิทธิภาพการสะท้อนแสงเพื่อนำแสงเข้ามาสู่พื้นที่ภายในอาคาร จากการสะท้อนแสงทุกครั้งสิ่งที่เกิดขึ้นคือ ปริมาณความส่องสว่างจะลดลงตามความสามารถของการสะท้อนแสงของพื้นผิวที่ตกกระทบนั้นๆ โดยปริมาณแสงส่วนใหญ่ที่หายไปจะถูกดูดกลืนไปกับพื้นผิวนั้นๆบางส่วน และอีกส่วนจะเปลี่ยนแปลงไปในรูปพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น (Heat Gain) ในอาคาร ดังนั้นในการพิจารณาความเหมาะสมของรูปแบบช่องเปิดต่างๆมีดังนี้

หลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth) และหลังคาอินเตอร์ (Monitor) เป็นช่องเปิดรับแสงในแนวตั้ง (Vertical Plane) โดยส่วนใหญ่มีการยื่นชายคาของหลังคาออกไปคลุมเพื่อบังแสงแดดโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการนำแสงเข้าสู่ตัวอาคารโดยอาศัยหลักการสะท้อนแสง การเปิดช่องรับแสงในแนวตั้งจะมีข้อดี คือ ง่ายต่อการติดตั้ง ง่ายการดูแลรักษา และทำความสะอาด รวมไปถึงการป้องกันรังสีความร้อนจากแสงแดดโดยตรงของดวงอาทิตย์สำหรับในเขตร้อนชื้นซึ่งไม่ต้องการให้ความร้อนผ่านเข้ามาภายในอาคาร การเปิดช่องรับแสงรูปแบบนี้จึงมีความเหมาะสมมากกว่าการเปิดช่องแบบช่องแสงในแนวระนาบ หรือสกายไลท์ (Horizontal Skylight) หรือ โถงช่องแสง (Light Well) ในการนำมาพิจารณาหาแนวทางสำหรับการออกแบบต่อไป

ช่องแสงในแนวระนาบ หรือสกายไลท์ (Horizontal Skylight) และโถงช่องแสง (Light Well) ช่องเปิดรับแสงจะอยู่ในแนวนอน ซึ่งยากต่อการควบคุมและป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ การเปิดช่องเปิดแบบนี้นิยมกันในประเทศหนาว เนื่องจากความต้องการใช้ความร้อนที่มากับแสงแดด ในการสร้างความอบอุ่นให้กับอาคาร สำหรับประเทศไทยและประเทศในเขตร้อนชื้น การเปิดรับแสงในรูปแบบนี้อาจจะนำมาซึ่งปัญหาด้านความร้อนที่สะสมในอาคารได้

1.4.1.3 ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงท้องฟ้า การใช้แสงสะท้อนจากท้องฟ้า (Diffused Skylight) เป็นแสงที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ เนื่องจากมีความแปรปรวนน้อยและมีปริมาณความเข้มแสง 140 ลูเมนต่อวัตต์ ซึ่งให้ประสิทธิภาพดีกว่าการให้แสงสว่างด้วยแสงประดิษฐ์ แต่แสงสะท้อนมีลักษณะการสะท้อนแบบไร้ทิศทาง จึงเป็นการยากต่อการควบคุมการสะท้อนแสงเข้าสู่อาคารเพื่อให้ได้ปริมาณความส่องสว่างตามที่ต้องการสำหรับการใช้งานภายใน ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของช่องเปิด ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น หากมีการควบคุมแนวการสะท้อนแสงของแสงธรรมชาติ ให้สามารถสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารได้มากขึ้น ก็จะส่งผลโดยตรงกับขนาดช่องเปิดของอาคาร กล่าวคือ เมื่อประสิทธิภาพการสะท้อนแสงเข้าสู่อาคารเพิ่มมากขึ้น ขนาดของช่องเปิดก็จะมีขนาดเล็กลง ปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ก็จะลดลงไปด้วย ดังนั้นการควบคุมการสะท้อนแสงจากท้องฟ้าจึงเป็นแนวทางที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากการให้แสงธรรมชาติจากทางด้านบน

1.4.2 องค์ประกอบทางกายภาพภายใน (Internally Physical Component) องค์ประกอบภายในอาคารไม่ว่าจะเป็น รูปปร่าง รูปทรง สัดส่วน ความสูงค่าสะท้อนแสง และวัสดุ ฯลฯ ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการทำให้แสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในสามารถกระจายไปสู่บริเวณพื้นที่ใช้งานในส่วนต่างๆของอาคาร ให้ได้ประสิทธิภาพของปริมาณแสงต่อพื้นที่ในการใช้งานที่เหมาะสม โดยมีการควบคุมองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.4.2.1 ประสิทธิภาพในการนำพาแสง การนำแสงธรรมชาติไปยังพื้นที่ส่วนต่างๆภายในอาคารได้อย่างสม่ำเสมอ และเกิดการสูญเสียปริมาณความส่องสว่างน้อยที่สุด และสามารถสร้างความสบายต่อสายตาให้กับผู้ใช้อาคารได้ รวมถึงประสิทธิภาพสูงสุดของการให้แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดอาคารในหนึ่งหน่วยพื้นที่ของช่องเปิด ต่อ พื้นที่ใช้งานสูงสุด ดังนั้น เทคนิคการกระจายแสงจึงเป็นส่วนประกอบสำคัญในการออกแบบแนวทางการให้แสงธรรมชาติจากทางด้านบนที่เหมาะสม นำมาทำการวิเคราะห์ และสรุปหาแนวทางที่จะนำไปทดสอบกับการควบคุมแสงในลักษณะต่างๆและพัฒนาเป็นแนวทางของแบบสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมต่อไป

1.4.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย การศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาโดยการทดสอบวัดสภาพการส่องสว่างของหุ่นจำลองซึ่งได้รับการออกแบบเป็นทางเลือกไว้ด้วยวิธีการให้แสงสว่างจากธรรมชาติจากระนาบหลังคาซึ่งใช้รูปแบบหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth) และมอนิเตอร์ (Monitor) โดยทำการทดลองหุ่นจำลองทั้งหมดทดสอบภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงและสถานที่จริง รวมถึงการเก็บวัดค่าการส่องสว่างของกรณีศึกษาห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรมปัจจุบัน ก็ใช้การเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง โดยกำหนดรายละเอียดขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1.4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาค้นคว้าและเก็บข้อมูลพื้นฐานของการวิจัย พิจารณาและศึกษาลักษณะการให้แสงธรรมชาติจากทางช่องเปิดในระนาบหลังคา โดยทำการศึกษาจาก

- ศึกษาจากทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆที่มีอยู่ในประเทศและต่างประเทศ เกี่ยวกับการใช้ช่องเปิดหลังคาด้านบน การนำแสงธรรมชาติที่มีลักษณะเหมาะสมกับการใช้งานในเขตร้อนชื้นและปัญหาต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ ทั้งในด้านการป้องกันแก้ไข เช่น การป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น โดยทำการศึกษาจากแหล่งข้อมูลดังนี้
 - การศึกษาค้นคว้าจากหนังสือหนังสือเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติ
 - การศึกษาค้นคว้าจากบทความต่างๆที่เกี่ยวข้อง จากวารสารและสิ่งตีพิมพ์ต่างๆ
 - การศึกษาค้นคว้าจากงานวิจัยเกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางการศึกษา
 - การศึกษาค้นคว้าจากตัวอาคารที่มีอยู่จริงเพื่อตั้งเป็นข้อกำหนดเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศึกษาและค้นคว้าตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการควบคุมปริมาณและคุณภาพของแสงที่จะเข้ามาภายในอาคาร วิเคราะห์ทฤษฎีแสงธรรมชาติและพฤติกรรมของแสงที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนและการส่องผ่าน การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมของแสงธรรมชาติ โดยแยกพิจารณาการศึกษาออกเป็นสองส่วนตามขั้นตอนการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร โดยกำหนดให้ตัวแปรที่ไม่ได้ทำการศึกษาเป็นตัวแปรคงที่ และมีตัวแปรที่ทำการศึกษา มีดังนี้

การศึกษาปัจจัยภายนอก ตัวแปรที่ศึกษา คือ

1. รูปแบบหลังคาและลักษณะช่องเปิดในระนาบด้านบน
2. ขนาดของพื้นที่ช่องเปิด (Aperture Size) และอัตราส่วนความสูงจากพื้นถึงยอดช่องเปิดต่อความสูงของช่องเปิด
3. ค่าสะท้อนแสงภายนอก (External Reflectance)

การศึกษาปัจจัยภายใน ตัวแปรที่ศึกษาคือ

1. ค่าการสะท้อนแสงภายใน (Internal Reflectance)

- ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- การโคจรของดวงอาทิตย์และมุมของแสงอาทิตย์โดยตรง (Sun Chart)
- การคำนวณแสงธรรมชาติจากการให้แสงทางด้านบน (Daylight Calculation for Top Lighting)

- ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยในแนวทางเดียวกัน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างสมมติฐานของการวิจัย

1.4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดรายละเอียดของการวิจัย เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลและแนวทางที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา มากำหนดรูปแบบของช่องเปิดในระนาบหลังคา (Top Aperture) ที่ชัดเจนของการวิจัย เพื่อกำหนดขอบเขตแนวทางการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคนิคการออกแบบ เพื่อควบคุมการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติจากช่องเปิดในระนาบหลังคาพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลและตัวแปรต่างๆในขั้นตอนที่ 1 ดังนี้

- กำหนดสมมติฐานแนวทางที่เหมาะสม และดำเนินการออกแบบการควบคุมการให้แสงธรรมชาติจากช่องเปิดในระนาบด้านบน สำหรับภูมิอากาศเขตร้อน ในด้านทิศเหนือ ได้ ตะวันออก และตะวันตก เพื่อทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบในแต่ละแนวทาง โดยการสร้างหุ่นจำลอง (Model) วัดค่าปริมาณการส่องสว่างที่เกิดขึ้นภายในภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง เพื่อควบคุมปัจจัยเรื่องอุณหภูมิของสี (Color Temperature) ให้คงที่เนื่องจากเป็นปัจจัยหนึ่งของการส่องสว่างที่ดี

1.4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาแนวทางในการควบคุมการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารโดยนำแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดในระนาบด้านบน (Top Aperture) ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งทางด้านปริมาณความส่องสว่าง คุณภาพของแสง ดังนั้น จึงต้องทราบค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในอาคาร และพื้นที่ห้องปฏิบัติการเขียนแบบ สถาปัตยกรรม โดยวัดจากหุ่นจำลอง (Model) สภาพเหมือนจริง และใช้แสงธรรมชาติแบบกระจาย (Diffuse Light) ในการทดสอบลักษณะแสงที่เกิดขึ้นและเก็บข้อมูลต่าง ๆ มีดังนี้

- ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในอาคาร มีความสัมพันธ์กับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร ทำการทดสอบโดยปราศจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น ต้นไม้ อาคารข้างเคียง เป็นต้น การดำเนินการวัดค่าการส่องสว่างจากหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ณ เวลา 8.00 น., 9.00 น., 10.00 น., 11.00 น., 12.00 น., 13.00 น., 14.00 น., 15.00 น., และ 16.00 น.ตามอันดับ โดยกำหนดวันที่ที่เหมาะสมเป็นตัวแทนทำการวัด เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความส่องสว่างและลักษณะพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบช่องเปิดในมุมแสงต่างๆตลอดช่วงเวลาทำงาน โดยใช้เครื่องมือวัดแสง (Photometric Sensor "Licor") และเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) โดยเริ่มวัดจากระยะ 1.00 , 2.00 , 3.00 , 4.00 , 5.00 , 6.00 , 7.00 และ 8.00 เมตร จากผนังอาคาร ตามอันดับ คือวัดทุกๆระยะ 1 เมตร ในสัดส่วนของหุ่นจำลองที่ระดับความสูงของการใช้งานเขียนแบบที่ 0.80 เมตร ทำการวัดในแนวตัดขวาง (Grid Line) โดยกำหนดจากตัวอย่างหนึ่งช่วงเสาอาคาร ทำการทดสอบกับหุ่นจำลองที่มีการออกแบบการควบคุมการให้แสงจากช่องเปิดด้านบนในรูปแบบต่าง โดยทำการจำลองให้มีช่องเปิดตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยช่องเปิดจะหันไปในทิศเหนือ โดยหลีกเลี่ยงการหันสู่ทิศทางอื่นเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร จากนั้นทดสอบวัดแสงและบันทึกข้อมูลค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง โดยทำการวัดเก็บผลการทดลองในรูปแบบของการส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง (Internal Illumination in Model) หน่วยเป็นลักซ์ (lux) เปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างภายนอก ณ ช่วงเวลาดังกล่าว
- หาค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) โดยแสดงในรูปแบบของกราฟ " Daylight Distribution Contour " เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแสงจากช่องเปิดในระนาบด้านบน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity) แล้วนำมาจัดทำเป็นแผนภูมิเชิงเส้น ในรูปของโมโนกราฟ (Monograph)

- นำผลการเก็บข้อมูลปริมาณแสงที่ได้มาแปรผลออกมาในรูปของแผนภูมิ (Graph) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Smart Control 1.23 เพื่อทำการวิเคราะห์และสรุปผล ทางด้าน ปริมาณและคุณภาพ ของแสงธรรมชาติที่ได้จากทุกแนวทางเลือกนำมาเปรียบเทียบกัน
- วิเคราะห์และสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต่างๆข้างต้น เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการ สร้างเทคนิคการออกแบบช่องเปิดด้านบน ในรูปแบบของแผนภูมิเชิงเส้นในรูปของโมโน กราฟ (Monograph) เพื่อสรุปหาแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการออกแบบควบคุมการ นำแสงธรรมชาติจากระนาบด้านบนมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งทางด้านปริมาณ และคุณภาพของแสงที่ได้
- หาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติของท้องฟ้าตลอดทั้งปี ที่เกิดจากปริมาณรังสีดวง อาทิตย์ ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศสู่พื้นโลก ในช่วงคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) ระดับความส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของท้องฟ้า เช่น เมฆ ฯลฯ ซึ่งจะมี ผลในการเพิ่มหรือลดความส่องสว่างภายนอก โดยใช้ข้อมูลความส่องสว่างของท้องฟ้าตลอด ทั้งปีในการนำมาคาดการณ์ปริมาณแสงที่เกิดขึ้นภายในตลอดปี โดยใช้ตารางแสดง ค่าเฉลี่ยแสงที่ตกกระทบในแนวนอนทั้งหมดรายเดือน พ.ศ.2542 ของสถาบันเทคโนโลยี แห่งเอเชีย ในภาคผนวก ค.

จากเทคนิคในการออกแบบดังกล่าว สามารถนำผลที่ได้มาพิจารณา เพื่อหาแนวทางเลือก ในการออกแบบการให้แสงสว่างธรรมชาติจากช่องเปิดในระนาบหลังคาสำหรับห้องปฏิบัติการ เขียนแบบสถาปัตยกรรม และสรุปผลข้อมูลดังกล่าว

1.4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 การประเมินผล ในการประเมินผลของการวิจัย จะทำการประเมินผล ในด้านต่างๆ เพื่อเป็นเกณฑ์กำหนดในการเลือกใช้แนวทางการออกแบบ โดยพิจารณาดังนี้

- การวิเคราะห์และประเมินผลด้านการมองเห็น (Visual Performance) โดยเปรียบเทียบ ค่าความส่องสว่างภายใน จากเส้นกราฟแสดงสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ศึกษาและปริมาณ การส่องสว่างบนพื้นที่ทำงาน (Internal Illumination Curve and Illumination on Working Plane) ในรูปของแผนภูมิ โดยมีรายละเอียดดังนี้
 - ระดับความส่องสว่าง (Illumination Level) ระดับความส่องสว่างภายในจะต้อง อยู่ในระดับเพียงพอต่อการใช้งานตามลักษณะของกิจกรรมการเขียนแบบ สถาปัตยกรรม ที่ CIE กำหนด
 - เดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) จะต้องอยู่ในระดับตามที่มาตรฐานกำหนด และเหมาะสมกับกิจกรรมการเขียนแบบ

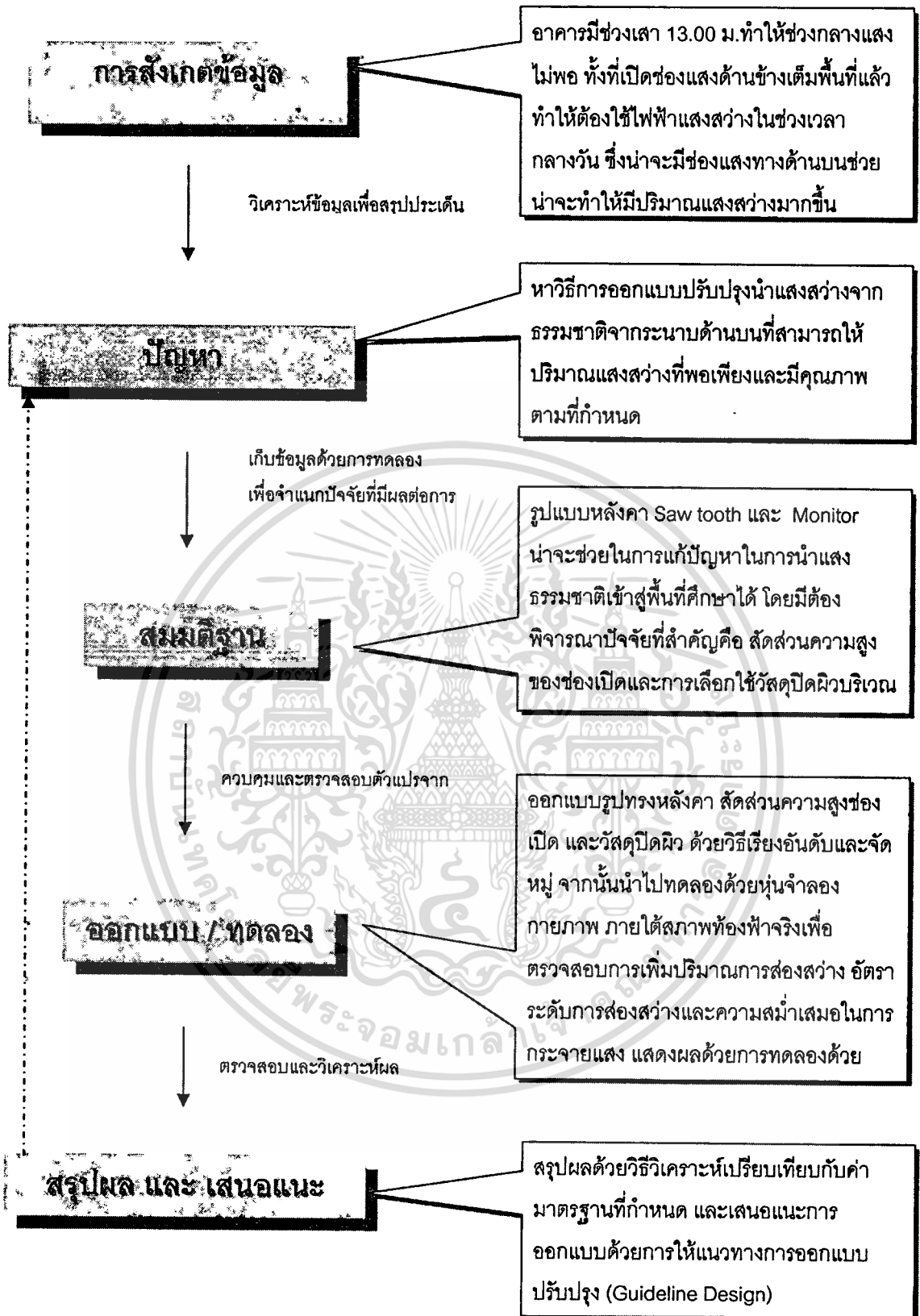
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสม่ำเสมอของระดับความส่องสว่าง (Uniformity of Illumination) ระดับความส่องสว่างต่ำสุดและสูงสุดภายในอาคาร โดยพิจารณาที่ระดับความแตกต่างความเข้มของค่าระดับความส่องสว่างภายในอาคารสูงสุดไม่เกิน 3 เท่าของค่าต่ำสุด
- การประเมินผลการทำงานของโมโนกราฟ (Monograph) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญ โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์และตรวจสอบ เพื่อหาข้อผิดพลาดของการใช้โมโนกราฟ แล้วนำมาปรับปรุง โดยมีรายละเอียดการตรวจสอบคือ ทดสอบค่าความส่องสว่างภายในตัวหุ่นจำลอง ที่มีขนาดและมาตราส่วนที่สัมพันธ์กับข้อมูลที่ใช้หาค่าจากโมโนกราฟ และนำผลที่ได้จากการหาค่าด้วยโมโนกราฟมาตรวจสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้วยหุ่นจำลอง และศึกษาถึงผลลัพธ์ที่แตกต่างหรือเหมือนกัน เพื่อประเมินถึงความแม่นยำในการใช้เทคนิคการออกแบบในรูปแบบของโมโนกราฟ

1.4.3.5 ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลการวิจัย การสรุปและการประมวลผลข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบและปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการควบคุมการให้แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดในระนาบหลังคา ในรูปแบบของแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและปัจจัยแวดล้อมต่างกับค่าสัดส่วน ความส่องสว่างภายในกับภายนอก (Daylight Factor Monograph) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำการศึกษากับปริมาณความส่องสว่างธรรมชาติ ณ ระดับพื้นที่ทำงาน รวมทั้งข้อดี ข้อเสีย และข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นเทคนิคในการออกแบบควบคุมการให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดในระนาบหลังคาที่มีความเหมาะสม สำหรับอาคารกรณีศึกษา หอปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่พิกัด ละติจูดที่ 14 องศาเหนือ สรุปผลเป็นเทคนิคการออกแบบ และรูปแบบช่องเปิดในระนาบด้านบน รวมถึงรูปทรงของหลังคา ที่เลือกใช้ เพื่อนำไปพัฒนาสู่การออกแบบรายละเอียดต่อไป

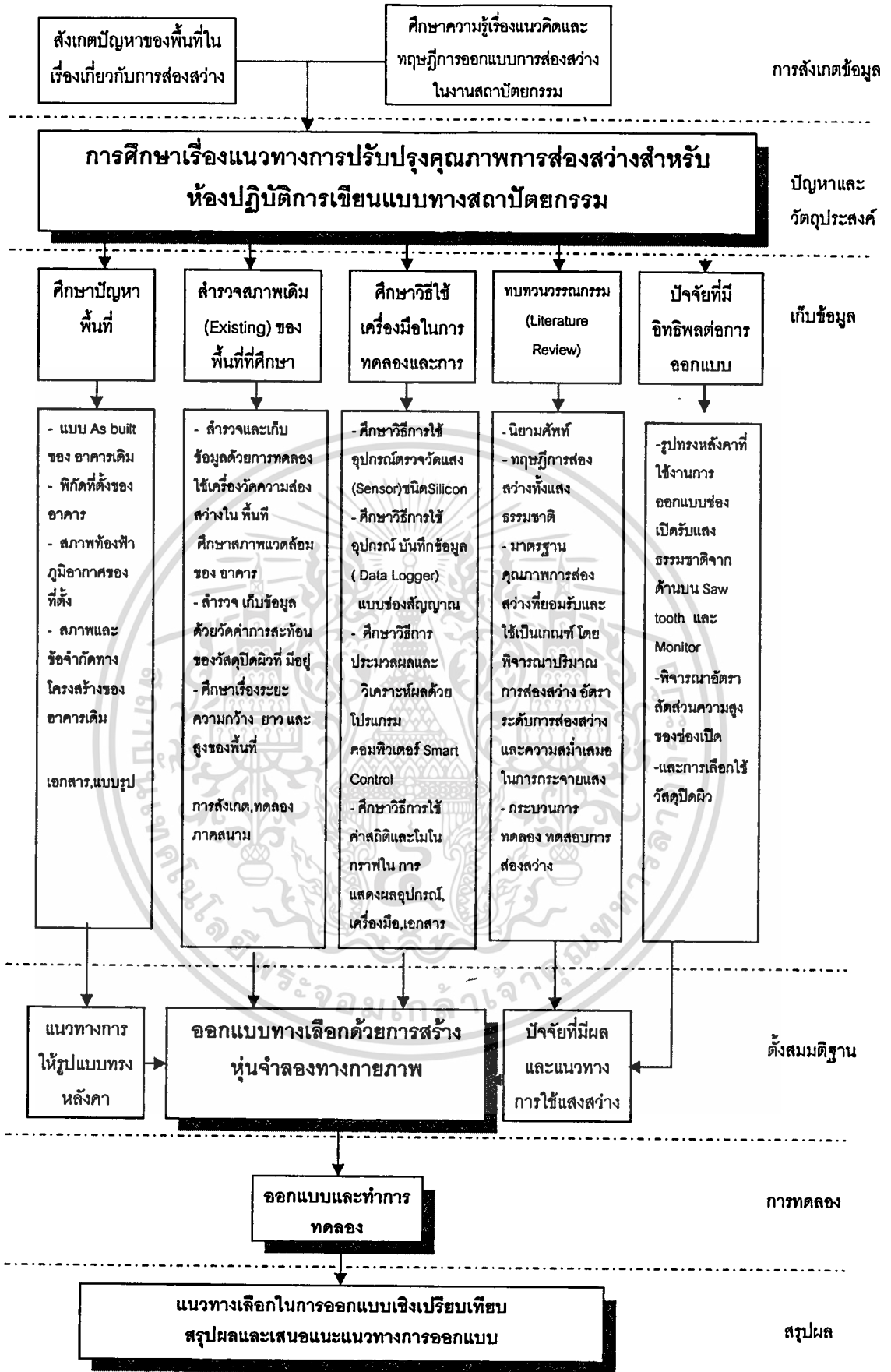
- สรุปรายละเอียดวิธีการใช้โมโนกราฟ และผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งานอย่างชัดเจน
- สรุปถึงเงื่อนไขในการใช้โมโนกราฟและข้อจำกัดในการใช้งาน
- เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ค่าปริมาณความส่องสว่างที่ได้จากโมโนกราฟ และแนวทางในการประยุกต์ใช้รูปแบบช่องเปิดในระนาบหลังคา อาคารกรณีศึกษา
- เสนอแนะแนวทางและชี้แจงข้อจำกัดที่ควรแก้ไขในการพัฒนาสำหรับการทำวิจัยต่อไป

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจภาพรวมของการทำวิจัย จึงได้แสดงกรอบแนวคิดของการศึกษา และขั้นตอนการศึกษาภายใต้กรอบแนวคิด ตามรูปที่ 1.3 หน้าที่ 14 และรูปที่ 1.4 หน้าที่ 15



รูปที่ 1.3 แสดงผังกรอบแนวคิดในการศึกษาด้วยกระบวนการวิทยาศาสตร์และการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



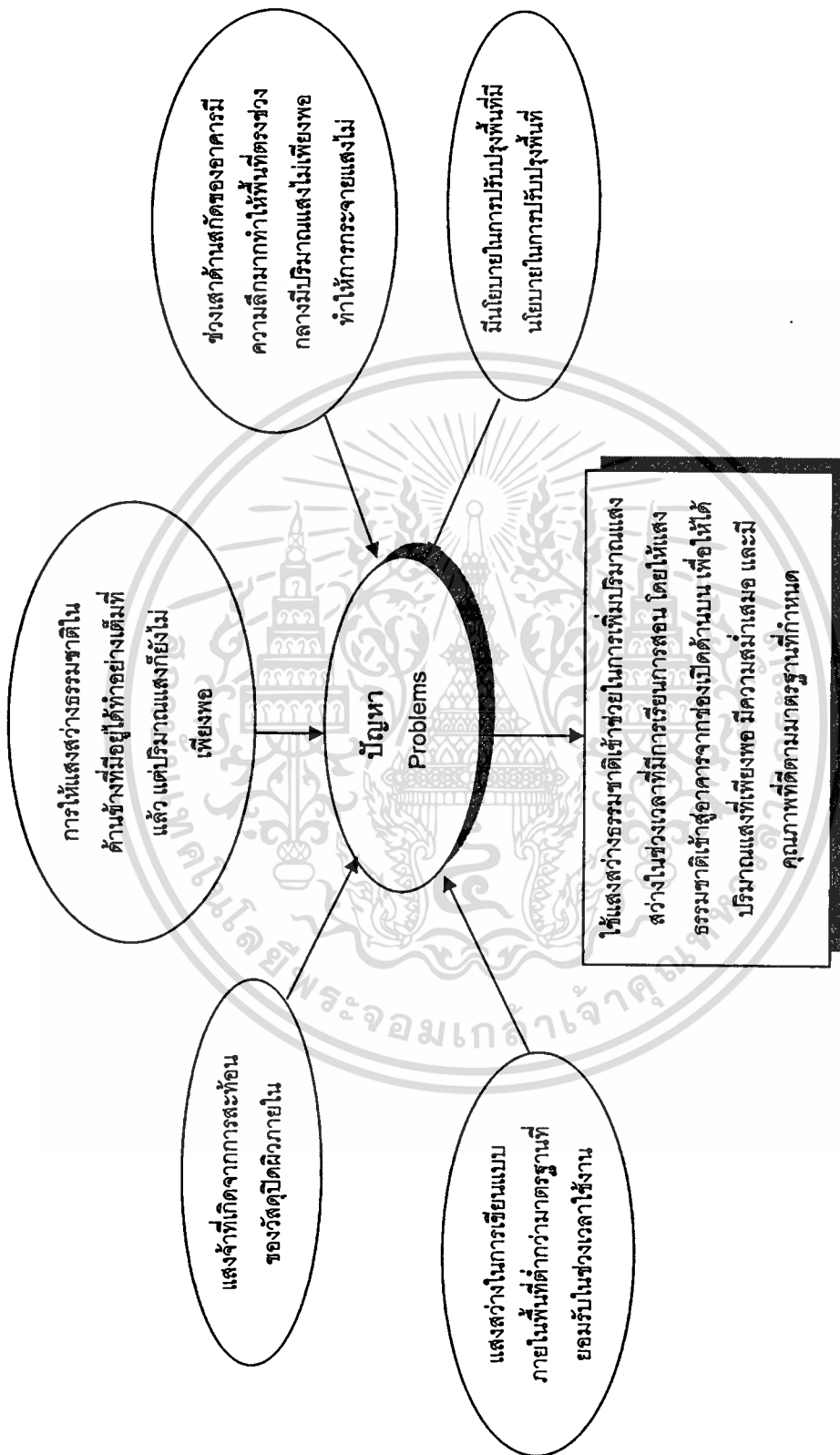
รูปที่ 1.4 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยภายใต้กรอบแนวคิดในการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

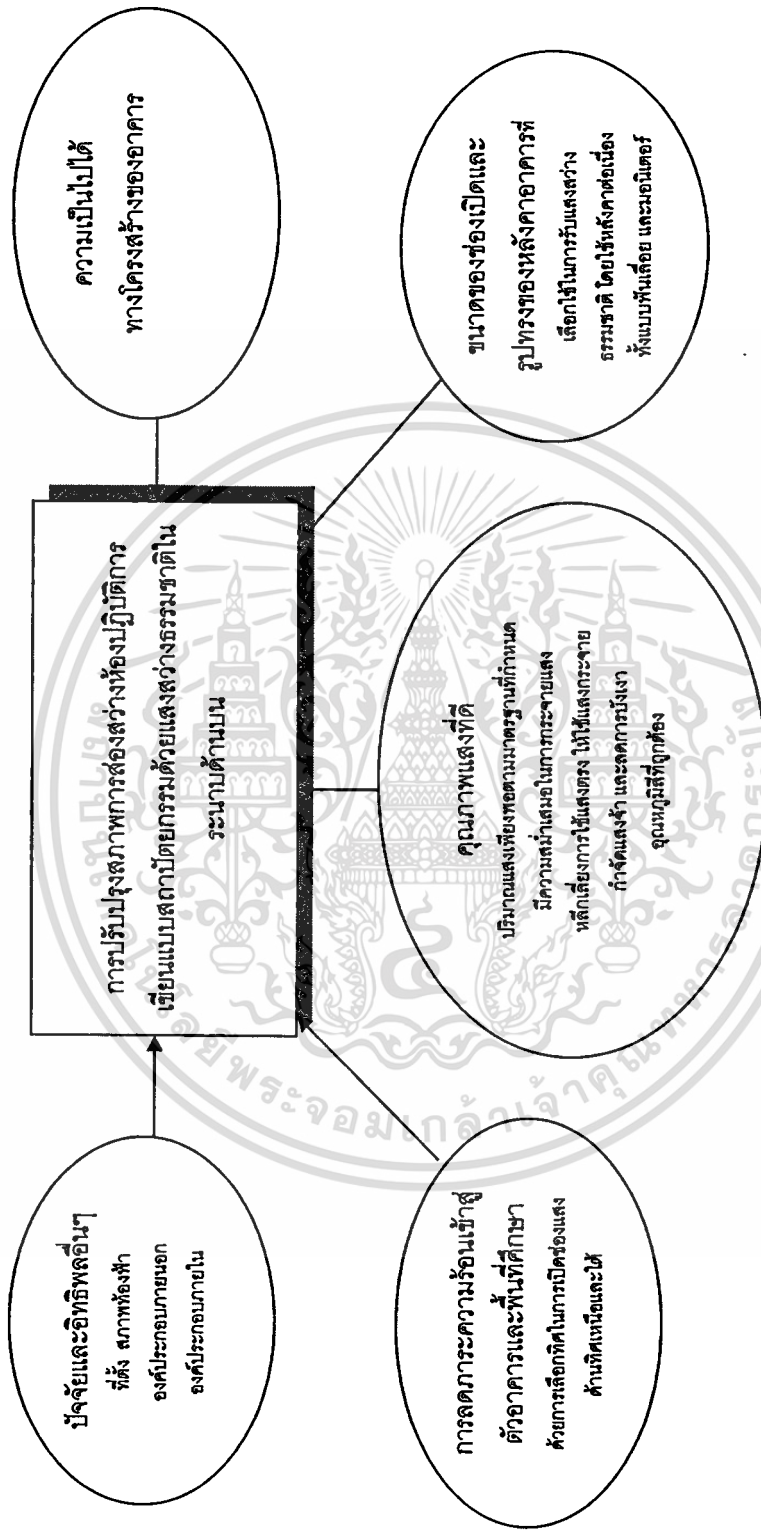
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงสภาพการส่องสว่างในห้องปฏิบัติการเขียนแบบทางสถาปัตยกรรม โดยออกแบบให้แสงสว่างธรรมชาติผ่านเข้าทางช่องเปิดในระนาบหลังคาในแบบทางเลือกต่างๆ โดยแสงสว่างธรรมชาติที่เข้ามาพื้นที่ภายในอาคารแสดงในรูปของโมโนกราฟ (Monograph) ซึ่งจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถทราบถึงปริมาณแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคารก่อนการตัดสินใจก่อสร้างจริง และปรับปรุงรูปทรงอาคาร โดยเฉพาะหลังคา เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจในการเลือกรูปแบบการให้แสงสว่างธรรมชาติกับพื้นที่ห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรมได้อย่างเหมาะสม

- ทราบถึงแนวทางการควบคุมปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่จะเข้าสู่อาคารทางช่องเปิดในระนาบด้านบนหลังคา ให้มีปริมาณแสงที่อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการต่อกิจกรรมของพื้นที่ศึกษา
- ทราบลักษณะและรูปแบบของช่องเปิดรับแสงธรรมชาติในระนาบหลังคา ที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพของแสงที่เหมาะสม มีความสม่ำเสมอของระดับความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในพื้นที่ใช้งานที่กำลังศึกษา
- เป็นแนวทางในการศึกษาออกแบบอาคารโดยใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งในการประหยัดพลังงานให้กับอาคาร
- เป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบ ที่ต้องการออกแบบการให้แสงสว่างธรรมชาติจากช่องเปิดในระนาบหลังคาและควบคุมแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในอาคารที่มีกิจกรรมที่ต้องการการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติในลักษณะใกล้เคียงกัน



รูปที่ 1.5 แผนภาพแสดงการกำหนดกรอบปัญหาและแนวทางแก้ไขของหัวข้อวิทยานิพนธ์



รูปที่ 1.6 แผนภาพแสดงการสร้างสมมติฐานเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความนำ

การให้ความสว่างจากแสงธรรมชาติแก่อาคาร ในปัจจุบันมีผู้สนใจและนำมาใช้ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมมากขึ้น เนื่องจากแสงธรรมชาติเป็นพลังงานที่มีเองอยู่แล้วตามธรรมชาติ และมีประสิทธิภาพในการส่องสว่างมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่น และเหมาะกับสายตาและการมองเห็นของมนุษย์มากที่สุด เนื่องจากสายตาและการมองเห็นของมนุษย์ได้พัฒนาภายใต้แสงธรรมชาติ³ ดังนั้นการนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ในการให้ความสว่างกับพื้นที่อาคารที่มีการใช้งานในช่วงกลางวัน นอกจากจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างแล้ว ยังเป็นการลดมลพิษสายตาและสุขภาพทางสายตาซึ่งมีผลต่อสุขภาพจิตของผู้ใช้พื้นที่ให้ดีขึ้นไปด้วย ทำให้เกิดการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นที่มีปริมาณการส่องสว่างที่ระดับเดียวกันแล้ว แสงธรรมชาติจะก่อให้เกิดความร้อนเข้าสู่อาคารน้อยที่สุด

แม้ปัจจุบันสถาปนิกจะเข้าใจและเห็นประโยชน์ในการให้ความสว่างด้วยแสงธรรมชาติกันอย่างกว้างขวางแล้วก็ตาม แต่สถาปนิกผู้ออกแบบยังคงพบปัญหาเรื่องเทคนิคและกรรมวิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารทั้งในเรื่องของการควบคุมปริมาณความสว่าง ทิศทางการส่องสว่าง ตลอดจนควบคุมความสม่ำเสมอของการกระจายปริมาณแสง(Uniformity)ให้เป็นไปตามความต้องการได้ ในบางครั้งจะต้องมีการควบคุมปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลกระทบต่อ การได้รับรังสีความร้อนที่มาพร้อมกับแสงธรรมชาติ และการที่แสงสว่างธรรมชาติที่เกิดจากการแผ่รังสีโดยตรง (Direct Sunlight) จะมีค่าการส่องสว่างมากเกินไปจนความต้องการใช้งานภายในอาคาร และมักจะเป็นปัญหาต่อการปรับสายตา(Eye Adaptation) ของผู้ใช้อาคาร ดังนั้นในการพิจารณานำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างประสบความสำเร็จนั้น คือการนำเอาแสงสว่างแบบกระจาย

³ Andras Majoros. 1998. Daylighting , Brisbane : The University of Queensland Printery. หน้า 3

(Diffused Illumination) มาใช้โดยให้มีปริมาณการส่องสว่างตามความต้องการที่กำหนด เพียงพอต่อการใช้งานของพื้นที่

วิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารนั้น โดยมากผู้ออกแบบมักจะนึกถึงหน้าต่าง และการให้แสงจากทางช่องเปิดด้านข้าง(Side Lighting) ทั้งนี้เนื่องจากหน้าต่างและช่องเปิดด้านข้างนั้นจะได้ทัศนวิสัยในการมองออกไปนอกอาคาร และเป็นช่องทางในการระบายอากาศ แต่ปัญหาของการให้แสงสว่างธรรมชาติด้วยวิธีนี้กลับพบปัญหาว่า พื้นที่ตรงกลางของอาคารเมื่อมีระยะห่างจากหน้าต่างมากขึ้นนั้น ความสว่างจากแสงธรรมชาติก็ลดลงและมีความสม่ำเสมอของการส่องสว่างที่มีค่าแตกต่างกันมาก อีกทั้งยังทำให้เกิดเงา (Shade) ของวัตถุในทิศทางที่ไม่ต้องการ ในขณะที่การให้แสงสว่างทางธรรมชาติในระนาบหลังคา(Top Lighting) นั้นมีศักยภาพในการให้ความสม่ำเสมอในการส่องสว่างที่ดีกว่าและสามารถความสว่างในพื้นที่เป้าหมายได้และลดการเกิดเงาที่ไม่ต้องการได้ดีกว่า ดังนั้นการพิจารณาการให้แสงสว่างในระนาบหลังคา จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรมเป็นอย่างยิ่ง

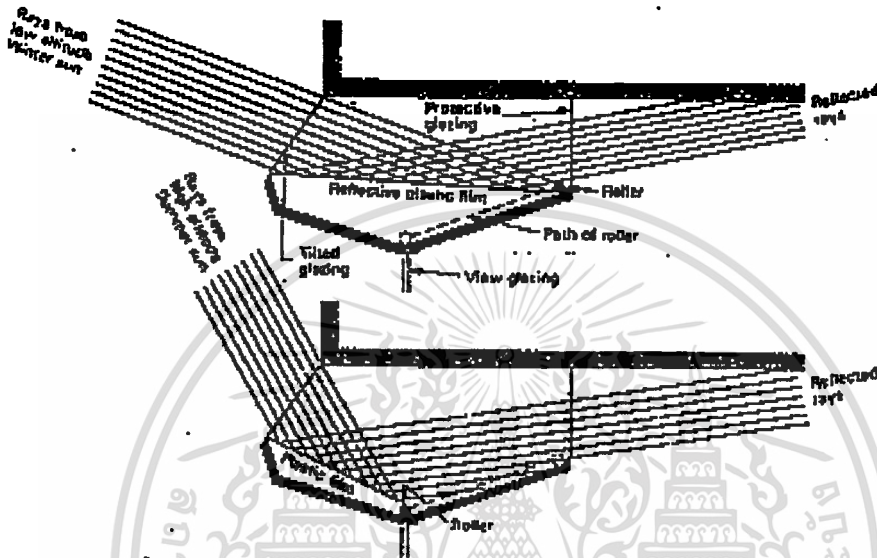
ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้ทำได้ตระหนักและเล็งเห็นประโยชน์ของการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติจากระนาบหลังคา (Top Lighting) ทั้งนี้นอกจากประโยชน์ที่ได้กล่าวมาแล้วจากข้อความข้างต้นนั้น ผู้ทำวิทยานิพนธ์เห็นว่าโดยส่วนมากพื้นที่ใช้งานห้องการเขียนแบบสถาปัตยกรรมโดยทั่วไปมักเป็นเนื้อที่ขนาดใหญ่และกว้าง การรับแสงสว่างจากทางด้านข้าง(Side Lighting) แต่เพียงอย่างเดียว นั้นจะทำให้สภาพการส่องสว่างในพื้นที่ใช้งานทั้งในเรื่องของปริมาณแสง ความสม่ำเสมอการกระจายตัวของแสงของแสง นั้นไม่เพียงพอ หากพื้นที่ดังกล่าวสามารถนำแสงสว่างมาในพื้นที่ได้จากทางระนาบด้านบนได้แล้วก็เป็นเรื่องที่น่าสนใจทำการศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการออกแบบการให้แสงสว่างจากระนาบด้านบนหลังคาในงานสถาปัตยกรรมกับอาคารชนิดอื่นๆต่อไป

2.2 ทบทวนวรรณกรรม

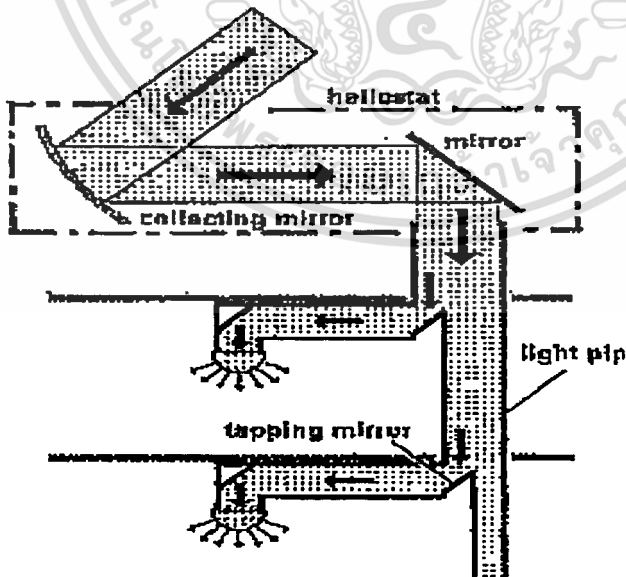
ในอดีตที่ผ่านมาการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรมนั้น มีผู้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อนำแสงสว่างจากธรรมชาติมาใช้ในการออกแบบอาคารในหลายๆด้าน ทั้งในแง่ของการให้ปริมาณความสว่างที่เพียงพอต่อความต้องการ ระดับความเข้มของการส่องสว่างที่เหมาะสมกับกิจกรรมต่างๆในแต่ละพื้นที่ ประสิทธิภาพการกระจายแสง การป้องกันความร้อนเข้าสู่พื้นที่และสะสมในอาคารเนื่องจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งมาพร้อมกับการนำแสงสว่างจากธรรมชาติ การศึกษาเรื่องประสิทธิภาพในการกระจายแสงผ่านรูปแบบช่องเปิดต่างๆ ทั้งในระนาบด้านข้าง (Side Lighting)จากหน้าต่าง และการให้แสงสว่างจากธรรมชาติจากระนาบหลังคา (Top

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lighting) รูปแบบของช่องเปิดและอุปกรณ์กันแดด (Shading Devices) ที่เหมาะสมในการนำและกระจายแสงเข้าสู่ภายในอาคาร ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการส่องสว่างจากแสงธรรมชาติภายในอาคารกับภาระการทำความเย็นในอาคาร (Cooling Load) และรวมไปถึงการใช้เทคนิคการให้แสงสว่างจากธรรมชาติด้วยวิธีต่างๆ เช่น การใช้ระนาบสะท้อนแสง (Light Shelves) การใช้ท่อนำแสง (Light Pipe System) และการใช้วัสดุอื่นๆมาช่วยในการให้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร



รูปที่ 2.1 แสดงเทคนิคการให้แสงสว่างธรรมชาติด้วยวิธี ระนาบสะท้อนแสง (Light Shelves)
ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 70



รูปที่ 2.2 แสดงเทคนิคการให้แสงสว่างธรรมชาติด้วยวิธี ท่อนำแสง (Light Pipe)
ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้งานวิจัยส่วนใหญ่ผู้ทำวิจัยมักเลือกทำการศึกษาเพียงทิศทางใดทิศทางหนึ่ง สำหรับในประเทศไทยแนวการโคจรของดวงอาทิตย์จะอ้อมไปทางทิศใต้ส่วนใหญ่ในรอบปี ผู้วิจัยมักเลือกนำแสงธรรมชาติจากทางทิศเหนือ เพราะไม่มีผลกระทบจากการแผ่รังสีโดยตรงของดวงอาทิตย์ (Direct Radiation) เข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์จะมีผลทำให้ระดับความเข้มของการส่องสว่างภายในอาคารไม่สม่ำเสมอ (Nonuniform) . เกิดแสงจ้า (Glare) และมีผลทำให้เกิดความร้อนสะสมในอาคาร ยกแก่การศึกษาวิเคราะห์ ในบางงานวิจัยก็ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปทรงของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (External Shading Devices) พิจารณาไปควบคู่การระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation) ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร (Daylighting Transmission) และภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร ทำการศึกษาในเขตอากาศแบบร้อนชื้นแถบเส้นศูนย์สูตร (Hot Humid Climate) โดยใช้แผงบังแดด (Shading Devices) 30 รูปแบบ โดยในเรื่องแสงธรรมชาติได้ทำการศึกษาในภาวะต่างๆ ได้แก่ ท้องฟ้าเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky) และท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ว่ามีผลต่อช่องเปิดที่ใช้แผงบังแดด ในรูปแบบต่างๆอย่างไรบ้าง ผลงานวิจัยเป็นข้อมูลพื้นฐานช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจนำรูปแบบแผงบังแดด ที่เหมาะสมมาใช้กับช่องเปิดของอาคารในสภาวะต่างๆ

มีการศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของการนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ผ่านปล่องนำแสง (Daylight Core) หรือผ่านช่องโถง (Atrium) กลางอาคาร ที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นในอาคาร ทำการศึกษาในเขตอากาศแบบร้อนแห้ง (Hot Arid Climate) ซึ่งในเขตอากาศแบบนี้การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร จะต้องพิจารณาถึงผลของการถ่ายเทความร้อนและผลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การแก้ปัญหาโดยทั่วไปมักจะออกแบบช่องเปิดให้มีพื้นที่น้อยลงหรือนำแผงแดด (Shading Devices) มาใช้ อย่างไรก็ตามด้วยวิธีนี้จะเป็นการลดปริมาณแสงสว่างจากธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารด้วย ทำให้มีการใช้แสงประดิษฐ์ในอาคารเพิ่มมากขึ้น การใช้ปล่องนำแสง (Beam Core) เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร เป็นความพยายามที่จะแก้ปัญหาในจุดนี้ ในงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงรูปแบบของปล่องนำแสง (Beam Core) ที่มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดการใช้พลังงานในการใช้แสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็นแก่อาคาร ทำการทดสอบในสภาวะอากาศแบบร้อนแห้ง มีการวิเคราะห์กับอาคารที่มีผู้ใช้งานอยู่จริงที่มีค่าการส่องสว่างไม่เพียงพอ และต้องอาศัยการส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์ในปริมาณสูง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกับหุ่นจำลอง ผลการทดสอบเป็นแนวทางให้ผู้ออกแบบมีทางเลือกในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร โดยใช้รูปแบบของปล่องนำแสง (Beam Core) ที่เหมาะสม โดยพิจารณาควบคู่ไปกับราคา การก่อสร้าง ความสะดวกในการใช้งาน และการบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยเหล่านี้ถือเป็นแนวทางที่สำคัญในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ดี การศึกษาเรื่องของแสงสว่างธรรมชาติ จะมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆอีกหลายประการ เช่น การวางทิศทางอาคาร (Orientation) และทิศทางของช่องเปิด ตำแหน่งของช่องเปิดที่สำคัญกับพื้นที่ใช้งาน (Working Plane) ลักษณะของแผงบังแดด (Shading Devices) ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Radiation) การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงธรรมชาติกับค่าการใช้พลังงานในอาคาร

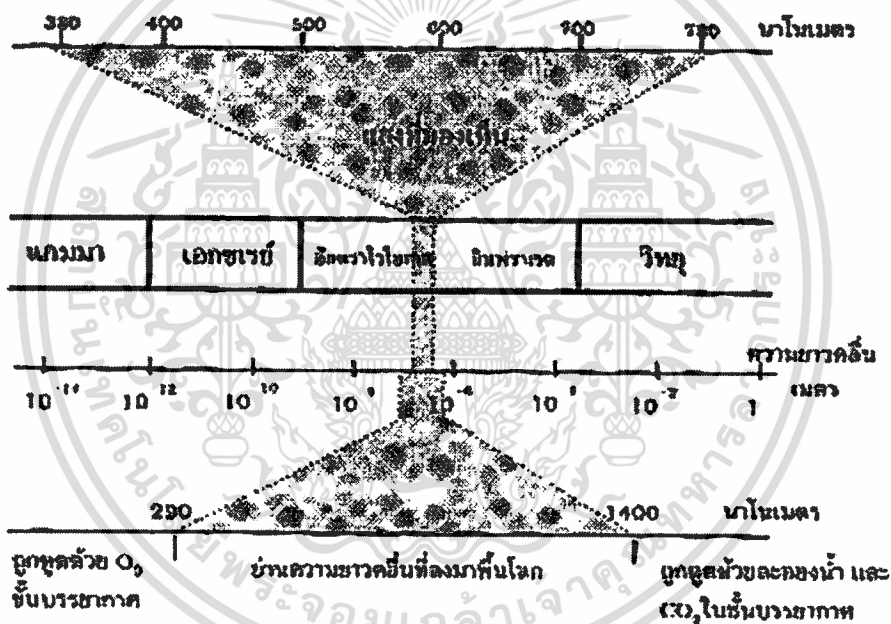
ดังนั้นงานวิจัยที่เป็นประโยชน์แก่ผู้ศึกษา หรือแนวทางสำหรับผู้ออกแบบอาคารควรเป็นงานวิจัยที่มุ่งถึงการศึกษาปัจจัยเหล่านี้ประกอบกัน เพื่อให้ผลงานวิจัยที่ได้ สามารถแก้ไขปัญหการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้อย่างสมบูรณ์

ความเข้าใจเกี่ยวกับการกระจายแสงธรรมชาติโดยทั่วไปของการให้แสงจากระนาบด้านบนหลังคา ทำให้สามารถพัฒนาการออกแบบแสงสว่างให้มีค่าความสว่าง และมีการกระจายแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารที่เหมาะสมแก่การใช้งาน ในการออกแบบให้มีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารที่มีประโยชน์ใช้สอยเฉพาะ เช่น อาคารสำนักงาน อาคารกีฬา โรงงานอุตสาหกรรม หรือแม้แต่อาคารเรียนห้องปฏิบัติการเขียนแบบ นั้น รูปแบบของช่องเปิดบนระนาบหลังคา อาจจะถูกกำหนดด้วยขนาดพื้นที่ใช้สอย ความสัมพันธ์ของระยะความกว้าง ยาว หรือสูง รูปแบบของโครงสร้างที่เป็นไปได้และมีความเหมาะสม ตลอดจนประโยชน์ใช้สอยที่ต้องการ ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารจากระนาบด้านบน ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยเหล่านี้ประกอบกัน

การวิจัยส่วนใหญ่ที่พบในประเทศไทยซึ่งเป็นเขตร้อนชื้น ผู้วิจัยมักมีความสนใจในการเลือกทำการให้แสงสว่างจากธรรมชาติในระนาบด้านข้าง (Side Lighting) มากกว่า ผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการค้นคว้าจากเอกสารที่เกี่ยวข้องรวมไปถึงวิทยานิพนธ์ที่ได้เคยมีผู้ทำไว้ พบว่ามีผู้วิจัยเรื่องการให้แสงสว่างในระนาบหลังคา (Top Lighting) นั้นยังมีอยู่น้อย และทิศทางการทำวิจัยนั้นโดยมากเป็นวิจัยเพื่อเป็นพื้นฐานข้อมูลในการออกแบบในเชิงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงสว่าง การกระจายแสงสว่างเข้าสู่อาคารกับขนาดและรูปแบบของช่องเปิดด้านบน กับพื้นที่การใช้งานแต่ละประเภท เป็นส่วนมาก สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้จัดทำ การวิจัยในระนาบด้านบนโดยเป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ใช้ในการออกแบบทางสถาปัตยกรรมเขตร้อน

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความยาวของคลื่นเฉพาะตัวที่มีค่าแตกต่างกันออกไป กล่าวคือ ความถี่หรือความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน หากเราพิจารณา แสงสว่างในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) ในคุณสมบัติของคลื่น แสงจะมีคุณสมบัติของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงานที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (Micron) หรือ 380 – 760 นาโนเมตร (Nanometre) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าวเมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา จะมีการกระตุ้นของพลังงานกับประสาทตาปกติ ทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา



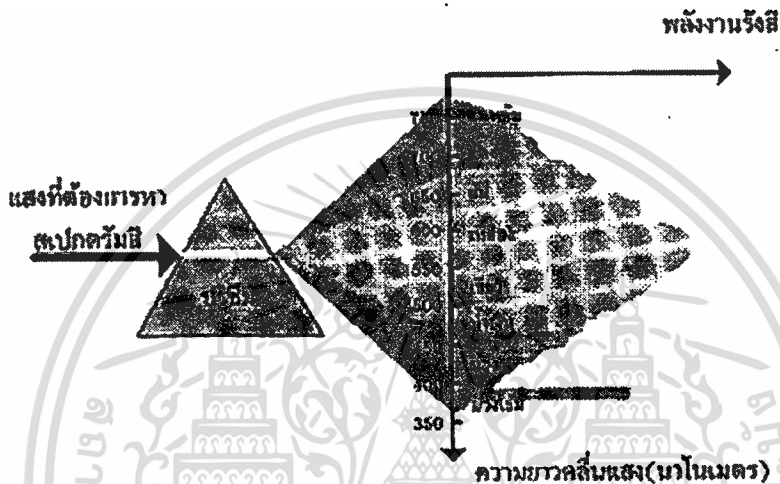
รูปที่ 2.3 แสดงความถี่และความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็น (Visible Light)

ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, เทคนิคการส่องสว่าง, หน้า 1-3

แสงที่อยู่ในช่วงคลื่นที่กล่าวมาประกอบด้วยสเปกตรัม (Spectrum) ของสีหลายๆสีจาก ความถี่ และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกันออกไป ทดลองได้จากการผ่านแสงในช่วงที่ต้องการผ่านปริซึม เพื่อให้เกิดการหักเหแสงของความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะทราบว่าแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ประกอบไปด้วยคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นแสงอะไรบ้าง แต่ละความยาวคลื่นของแสงมีความเข้มที่แตกต่างกันอย่างไร แสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะหักเหเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสง จะเป็นตัวแสดงว่าแสงสีไหนมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่ากัน เช่น ถ้าแสงมีสีน้ำเงินมาก เมื่อส่องไปกระทบวัตถุที่มีสีน้ำเงินก็จะทำให้วัตถุสีน้ำเงินนั้นไม่เด่น แต่ถ้าวัตถุนั้นมีสีแดง และแสงที่ตกกระทบวัตถุนั้นมีสีแดงเข้ม วัตถุสีแดงก็จะเด่นขึ้นมาทันที เนื่องจากสีแดงมีความเข้มของแสงมาก ดังนั้นถ้าต้องการให้แสงที่ส่องวัตถุสีแดงก็จะต้องมีสเปกตรัมของแสงที่มีความเข้มแสงมาก แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มหมด เมื่อนำไปส่องวัตถุใดๆวัตถุนั้นก็จะเด่นทั้งหมด สีม่วงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด และแสงสีแดงเป็นคลื่นที่มีความยาวมากที่สุด ช่วงความยาวคลื่นที่มากกว่าสีแดง คือรังสีอินฟราเรด (Infrared) และคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าสีม่วงคือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีแกมมา (Gamma) และรังสีเอกซ์ (X-ray)



รูปที่ 2.4 แสดงสเปกตรัมของแสงอันเกิดจากการหักเหของแสง
ที่มา: ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, เทคนิคการส่องสว่าง, หน้า 1-20

2.3.1 แหล่งกำเนิดแสง

เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านอนุภาคของชั้นบรรยากาศโลก จะเกิดการหักเหและสะท้อนก่อนที่จะส่องลงมายังผิวโลก และเมื่อกระทบกับผิววัตถุใดๆจะก่อให้เกิดลักษณะ 3 ประการคือ การดูดซึม (Absorption) การสะท้อน (Reflection) และการส่องผ่าน (Transmission) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุและพื้นผิวแต่ละชนิด ดังนั้นหากพิจารณาในแง่แหล่งกำเนิดแสงอาจจะพิจารณาได้เป็น 2 กรณี คือ แหล่งกำเนิดแสงทางตรง (Direct) และแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (Indirect)

แหล่งกำเนิดแสงทางตรงได้แก่ แสงแดด หรือ Sunlight และแสงซึ่งเกิดจากการส่องกระทบอนุภาคในชั้นบรรยากาศของโลกทำให้สะท้อน หักเห และให้แสงในลักษณะกระจายทั่วพื้นที่ (Diffused Sunlight)

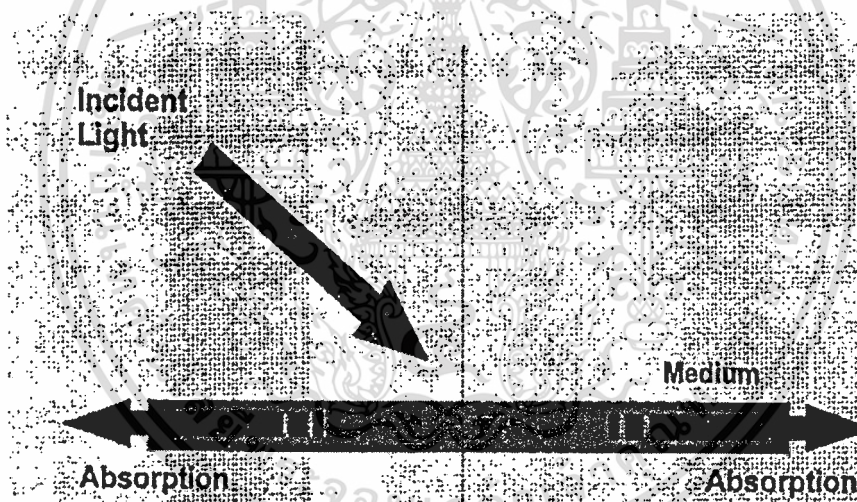
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม ได้แก่ แสงที่เกิดจากการสะท้อน หรือการส่องผ่านวัตถุใดๆ และทำให้วัตถุนั้นๆเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง (Secondary Source) ซึ่งก็อาจให้แสงในลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นกับคุณสมบัติการสะท้อน หรือ ยอมให้แสงส่องผ่าน ตลอดจนลักษณะของพื้นผิวของวัตถุที่แสงตกกระทบว่าเป็นเช่นใด

2.3.2 พฤติกรรมของแสง

เมื่อแสงเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดผ่านตัวกลาง (medium) ชนิดต่างๆ เช่น อากาศ ของเหลว วัตถุทึบแสง ฯลฯ ทางเดิน หรือพฤติกรรมของแสงจะเปลี่ยนไปเมื่อกระทบกับตัวกลางเหล่านั้น พฤติกรรมของแสงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางใดๆมีลักษณะที่สามารถจำแนกได้ดังนี้

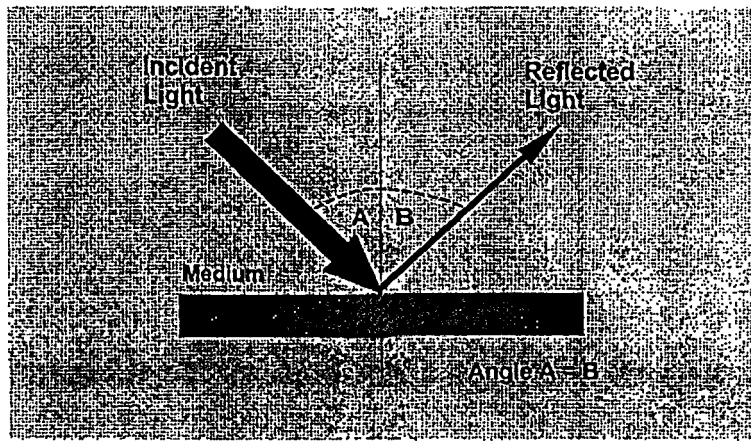
2.3.2.1 การดูดกลืน (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง (Medium) และเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงาน โดยทั่วไปเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนจะเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานความร้อน (Heat)



รูปที่ 2.5 แสดงการดูดกลืนของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุตัวกลาง

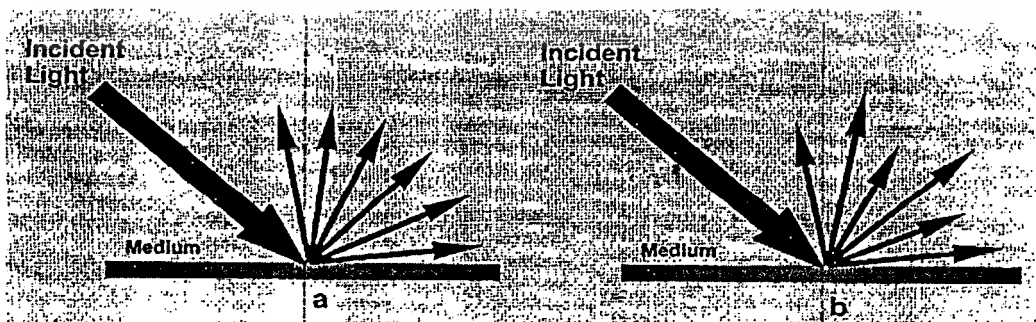
2.3.2.2 การสะท้อน(Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนแปลง ลักษณะของการสะท้อนสามารถพิจารณาออกได้เป็นดังนี้

- การสะท้อนแบบกระจกเงา (Specular Reflection) เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงกระทบตัวกลางแล้วสะท้อนตัวออก ถ้าแผ่นตัวกลางมีผิวเรียบขัดมัน (Specular) มุมตกกระทบ (Incident Angle) จะเท่ากับมุมสะท้อน (Reflect Angle)



รูปที่ 2.6 รูปแสดงการสะท้อนของแสงแบบกรกเงา (Specula Reflection)

- การสะท้อนแบบกระจาย (Diffused Reflection) เป็นลักษณะ ที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบบ วัตถุที่บแสงที่มีผิวหยาบไม่เรียบสม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะถูกสะท้อนออกไปในหลายๆ ทิศทาง ซึ่งส่วนมากมุมของแสงที่สะท้อนกระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่มาตกกระทบบ หากผิวของวัตถุมีลักษณะไม่เรียบอย่างสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (Perfectly Diffusing Surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการกระจายแสงแบบสมบูรณ์ (Perfectly Diffused Reflection) แสงสะท้อนที่ออกจากวัตถุมีการกระจายแสงให้ความสว่างเท่าๆกันในทุกมุมสะท้อน ดูรูปที่ 2.7 แต่หากวัตถุผิวไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอ (Semi Diffused Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะ เป็นการสะท้อนแบบกระจาย (Semi Diffused Reflection or Spread Reflection) แสงที่ สะท้อนออกจากวัตถุจะมีการกระจายแสงที่ให้ความสว่างแบบกระจาย (Semi Diffused Reflection) แต่ โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเหมือน กรกเงา (Specula Reflection) และการสะท้อนแบบกระจาย (Diffused Reflection) ซึ่งเรียกว่า การสะท้อนของแสงผสม (Combined Specula and Diffused Reflection) แสงที่สะท้อนออกจาก วัตถุจะมีการกระจายของแสงที่ผสม ดูรูปที่ 2.8



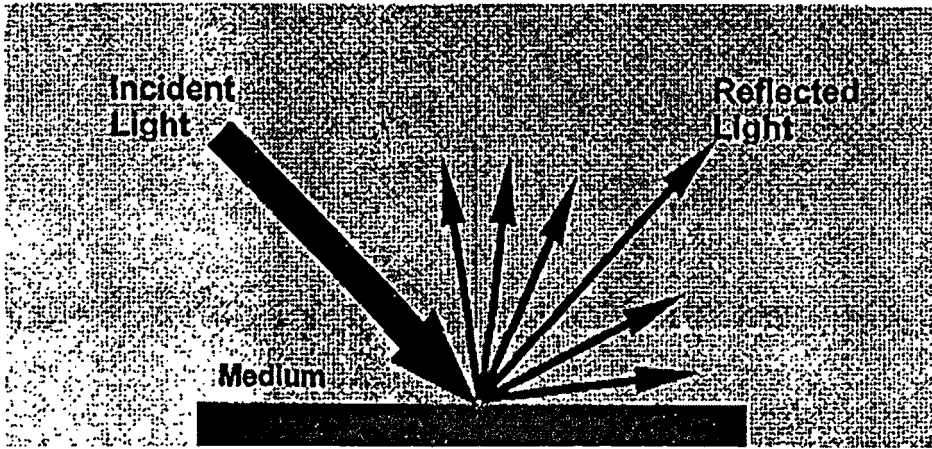
รูปที่ 2.7 รูปแสดงการสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffused Reflection)

(a) แสดงการสะท้อนแบบกรกเงา (Perfect Diffused Reflection

(b) แสดงการสะท้อนแบบกึ่งกระจาย (Semi Diffused Reflection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการสะท้อนแสงแบบผสม ระหว่างการสะท้อนแบบกระจกเงาและแบบกระจาย

2.3.2.3 การส่องผ่าน (Transmission) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลาง (Medium) แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติหรือลักษณะของตัวกลางที่แสงผ่านแล้ว มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่าน และแสงที่ทะลุผ่านจะมีปริมาณแสงคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงตกกระทบตัวกลางที่แสงสามารถส่องผ่านได้ใดๆ แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ และส่วนที่เหลือจะทะลุผ่าน หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับ ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนรวมกับปริมาณแสงที่สะท้อนกลับ รวมกับปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

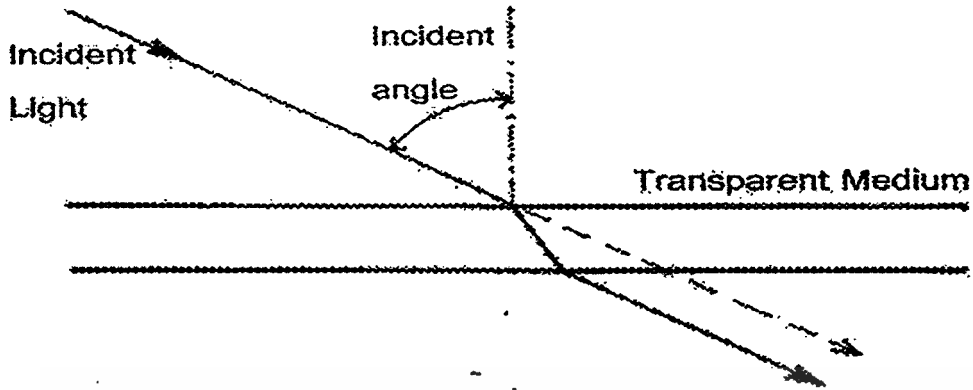
$$\text{ปริมาณแสงทั้งหมด} = \text{ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืน} + \text{ปริมาณแสงที่สะท้อนกลับ} + \text{ปริมาณแสงที่ทะลุผ่าน}$$

$$\text{(Absorbance)} + \text{(Reflectance)} + \text{(Transmittance)}$$

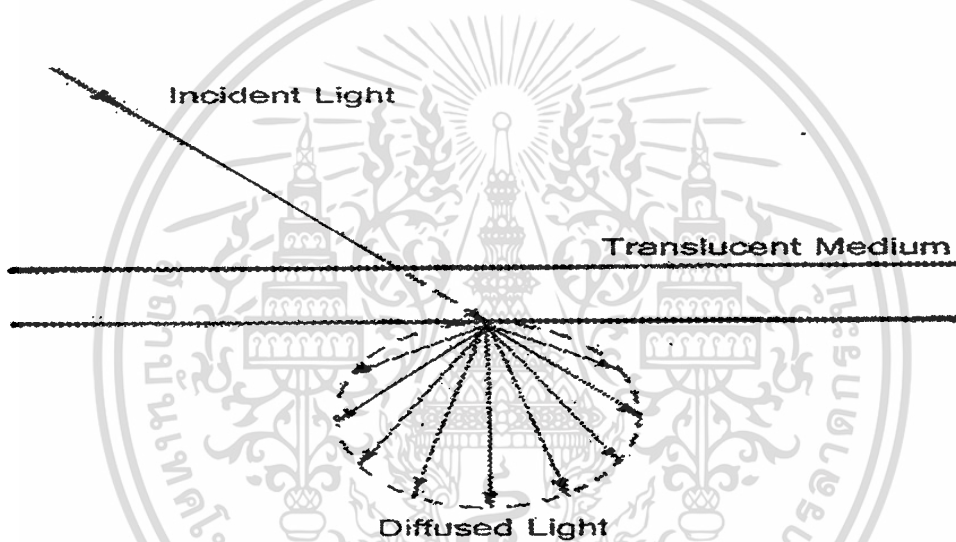
เมื่อปริมาณแสงทั้งหมดเท่ากับ 1 ลักษณะการส่องผ่านของแสงสามารถจำแนกได้ตามลักษณะของตัวกลางได้ดังนี้

- ตัวกลางโปร่งใส (Transparent Medium) การส่องผ่านลักษณะนี้แสงจะเกิดการหักเห (Refracted) หรือเปลี่ยนทิศทาง (Bent) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลาง และทะลุผ่านในลักษณะเดิมของลำแสงที่ตกกระทบ โดยยังสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดที่อีกด้านหนึ่งของตัวกลางได้อย่างชัดเจน เช่นกระจกใส เป็นต้น รูปที่ 2.9

- ตัวกลางโปร่งแสง (Translucent Medium) การส่องผ่านของแสงในลักษณะนี้แสงที่ส่องผ่านจะมีลักษณะเป็นแสงแบบกระจาย (Diffused Transmission) และในกรณีนี้จะไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงที่อีกด้านของตัวกลางได้อย่างชัดเจน รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 รูปแสดงแสงตกกระทบบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน

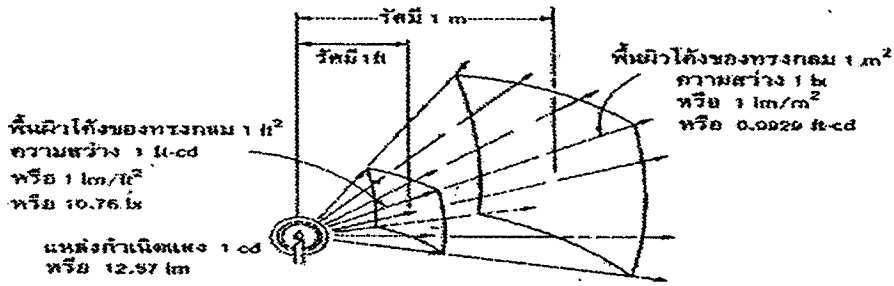


รูปที่ 2.10 แสดงแสงตกกระทบบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย

2.3.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบบหรือพื้นที่ใดๆเป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าตาทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบบวัตถุหรือพื้นที่นั้นๆเราเรียกว่า การส่องสว่าง หรือ ความสว่าง (luminance) ซึ่งมีนิยามที่เกี่ยวข้องกับการส่องสว่างดังนี้

2.3.3.1 ปริมาณแสงหรือลูมินันซ์ ฟลักซ์ (Luminous Flux) คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิด (Light Output) ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงาน หรือกำลังงานของแหล่งกำเนิดแสง (Power of light source) ใดๆในรูปของเส้นแรงปริมาณแสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นมีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen)



รูปที่ 2.11 แสดงความเข้าใจเรื่องลูมินันซ์ ฟลักซ์ (Luminous Flux)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , page 915

2.3.3.2 ค่ามุมเชิงแข็งของแสง (Solid angle) เป็นการวัดพื้นที่ผิวทรงกลม ที่ถูกครอบคลุมด้วยพื้นที่หนึ่งหน่วยที่สมมติเป็นทรงกรวย โดยมีส่วนแหลมสุดหรือโคนกรวยที่จุดกำเนิดแสงหรือศูนย์กลางของวงกลมนั้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมนั้นๆ ยกกำลังสองมีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian)

" Solid angle is a measure of that portion of space about a point bounded by a conic surface whose vertex is at the point. It can be measured by the ratio of intercepted surface area of a sphere centered on that point to the square of the sphere's radius" (IES Light Handbook, 1981)

$$\text{Solid Angle (W)} = A / R^2 \text{ Steradian(2.2)}$$

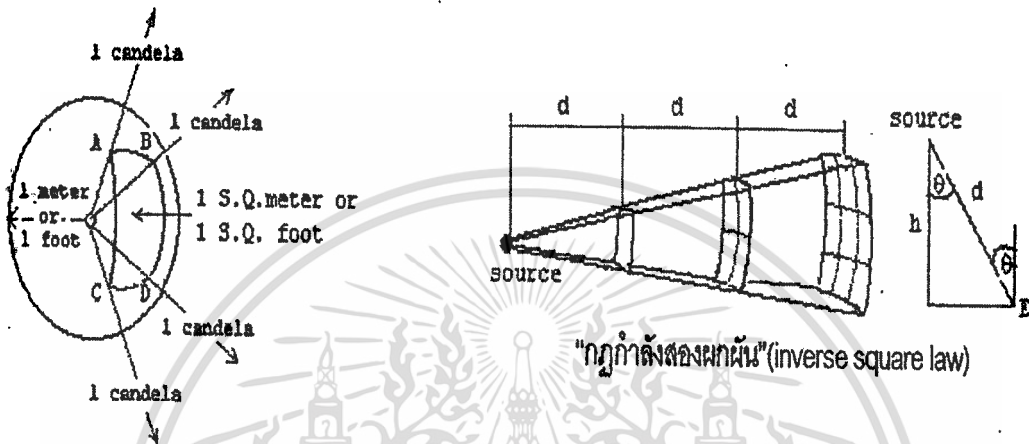
เมื่อ A เป็นพื้นที่ผิวพิจารณาของทรงกลม

R เป็นรัศมีของทรงกลม

2.3.3.3 ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) การที่แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยแสง (Luminous Flux) ออกมาทุกทิศทาง ปริมาณของแสงที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดในมุมเชิงแข็ง (Solid Angle) ใดๆในทิศทางใดทางหนึ่ง นั่นคือความเข้มแห่งการส่องสว่าง หรือกำลังส่องสว่าง (Candle Power) มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อสเตอเรเดียน (Lumen per Steradian) หรือ แคนเดลา (Candela, Cd) ค่านี้เป็นการบอกความมากน้อยของปริมาณแสงในทิศทางต่างๆ ของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่เล็กมากจนถือว่าเป็นเสมือนจุด (Point Source) และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งออกมาและตกกระทบบนทุกๆหนึ่งตารางหน่วยของพื้นที่ทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน พื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย มีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งแสงออกมาได้เป็นปริมาณเท่ากับ 12.57 ลูเมน



"กฎกำลังสองผกผัน" (inverse square law)

รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แคนเดลา ลักซ์ และฟุตแคนเดิล

ที่มา : IESNA, Lighting Handbook, 1993 page 29

ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบนพื้นผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลทตินัม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุม ที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

2.3.3.4 ความส่องสว่าง (Illuminance) หมายถึง ความสว่างของปริมาณแสง 1 หน่วยที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใดๆ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (Lumen per Unit Area) หรือลูเมนต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร (หรือ ต่อ 1 ลักซ์) ซึ่งเป็นการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงภายในวงกลม เมื่อทรงกลมนั้นมีรัศมี 1 ฟุต หรือ 1 เมตร ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งตกกระทบลงบนพื้นที่หนึ่งตารางของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่ได้จะเท่ากับหนึ่งลูเมนต่อตารางฟุต (1 foot-candle) หรือ หนึ่งฟุตแคนเดิล (1 foot-candle) ทำนองเดียวกัน หากทรงกลมนั้นมีขนาดรัศมีเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ 1 ลักซ์ โดยที่

$$1 \text{ lux} = 10.76 \text{ foot-candles (หรือประมาณ 10 foot-candle)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าความส่องสว่างสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า ลักซ์มิเตอร์ (lux Meter)

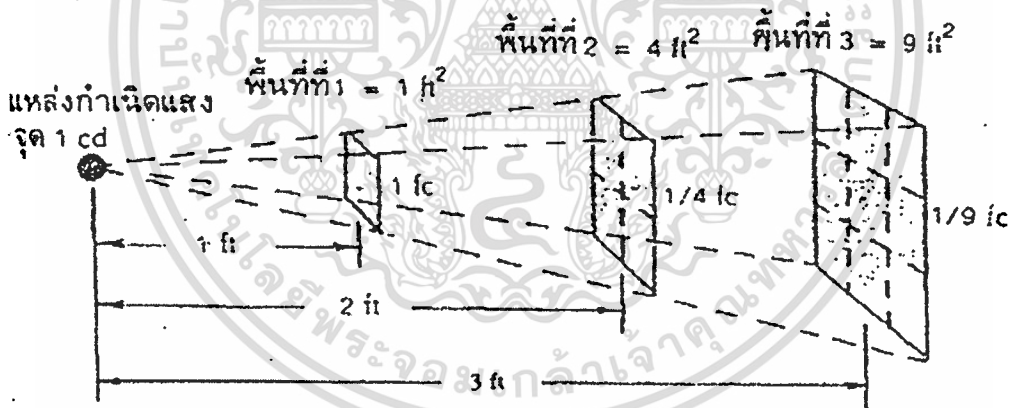
2.3.3.5 การส่องสว่าง (Illumination) เป็นค่าการส่องสว่างของแสงบนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงและจะผกผันกับระยะทางกำลังสอง ที่เกิดจากระยะทางระหว่างผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (foot-candle) มีสมการดังนี้

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

เมื่อ E เป็นปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc)

I เป็นความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)

d เป็นระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณา กับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นเมตร หรือฟุต



รูปที่ 2.13 รูปแสดงปริมาณการส่องสว่าง 1 แคนเดลา ที่ระยะต่างจากแหล่งกำเนิดแสง

2.3.3.6 ความสว่าง หรือความจ้า (Luminance or Brightness) เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุแล้วเกิดการสะท้อน หรือส่องผ่านของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตา ทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นแล้ว สายตายังรับรู้ถึงความสว่างหรือที่เรียกว่าความจ้าของวัตถุอีกด้วย ความจ้าหรือความสว่างของวัตถุที่สายตารับรู้ขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบหลักคือ ความสามารถในการสะท้อนหรือส่องผ่านแสงของวัตถุทำให้วัตถุนั้นๆเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 (Secondary Light Source) และความสามารถในการปรับตัวของสายตา หากพิจารณาในเชิงปริมาณ ความสว่างที่เกิดขึ้นของวัตถุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดๆจะพิจารณาในรูปของ ปริมาณความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิววัตถุต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต (Foot-lambert) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$FL = F_c \times P \dots\dots\dots (2.4)$$

หรือ $FL = F_c \times t \dots\dots\dots (2.5)$

เมื่อ FL คือ ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต

F_c คือ ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล

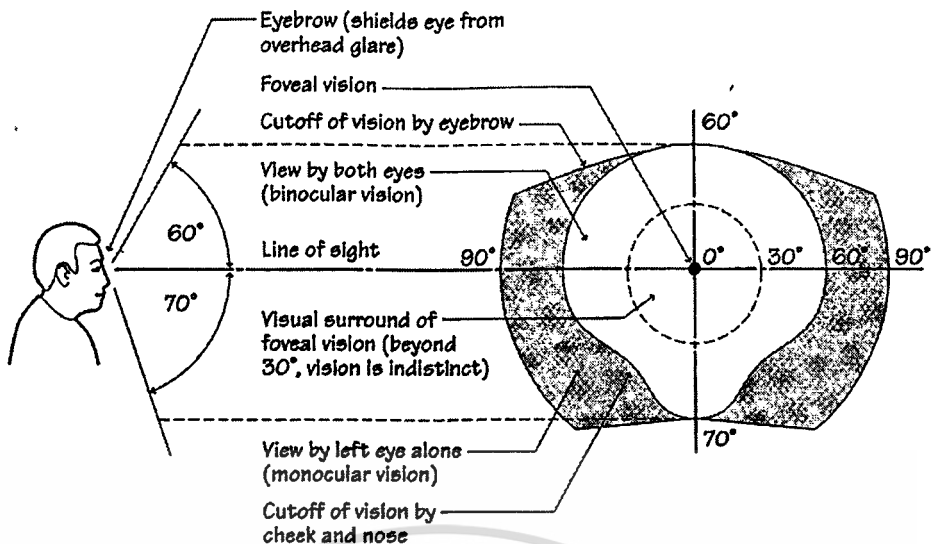
P คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ หน่วยเป็นร้อยละ

t คือ ค่าการส่องผ่านของวัตถุ หน่วยเป็นร้อยละ

2.3.4 คุณสมบัติอื่นๆของแสง

เมื่อแสงตกกระทบที่วัตถุใดๆ ก็จะสะท้อนเข้าสู่กระจกตา ผ่านแก้วตา (Comea) ลูกตา (Lens) เรตินา (Retina) ประสาทตา (Nerve) และสมอง ตามอันดับ กล้ามเนื้อตาจะขยาย หรือหดตัว เมื่อมีแสงผ่านเข้ามา เพื่อโฟกัสให้คลื่นแสงที่มากกระทบแก้วตา ผ่านลูกตาไปตกลงบนบริเวณเรตินา และยังมีม่านตา (iris) ช่วย ปิดและเปิดกระจกตา เพื่อควบคุมปริมาณแสงให้ผ่านเข้ามาได้ตามความเหมาะสม ในบริเวณเรตินาประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทจำนวนมากโดยแบ่งออกๆ ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ส่วนหนึ่งเรียกว่าโคน(Cones) อยู่กลางเรตินา มีจำนวนประมาณ เจ็ดล้านเซลล์ ในกระจกตาข้างหนึ่ง ทำหน้าที่รับความรู้สึกทางด้านสี และช่วยแยกแยะรายละเอียดของสิ่งต่างๆที่เรามองเห็น โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน เซลล์อีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า ร็อด (Rod) ที่มีอยู่ประมาณ 130 ล้านเซลล์ในกระจกตาข้างหนึ่ง ช่วยทำให้เห็นภาพต่างๆได้อย่างหยาบๆในช่วงเวลากลางคืน แต่ ร็อด (Rod) ไม่สามารถตอบสนองทางด้านสีได้ ด้วยเหตุนี้เราจึงไม่สามารถแยกแยะสีได้อย่างชัดเจนในที่ที่มีแสงสลัวหรือค่อนข้างมืด ดังนั้นในการมองเห็นของคน จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแวดล้อมดังนี้

2.3.4.1 ขอบเขตการมองเห็น (Human Field of View) โดยปกติดวงตาของมนุษย์มีขอบเขตการมองเห็นได้ถึง 90 องศา จากจุดโฟกัสของสายตา ขยายออกไปในทิศทางเป็นรูปทรงกรวย แต่โครงสร้างบางส่วนบนใบหน้า เช่น จมูก ขอบตา หรือแก้ม จะเป็นส่วนที่บังมุมมองการมองเห็นบางส่วน



รูปที่ 2.14 แสดงขอบเขตการมองเห็นของสายตา

ที่มา : M. David Egan, Victor Olgyay, 1983, page 40

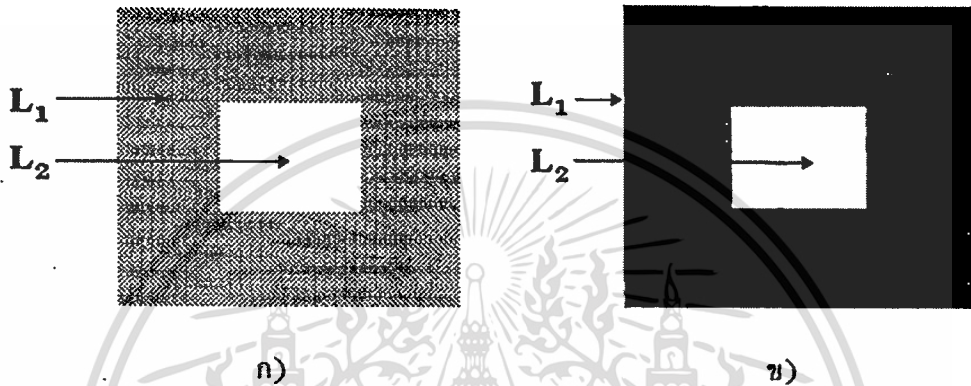
2.3.4.2 การปรับสายตาต่อแสง (Eye Adaptation) การปรับสายตาต่อการรับรู้ความจ้าของแสงที่เกิดขึ้น โดยการปรับลดหรือขยายม่านตา ซึ่งความสามารถในการปรับสายตาจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของผู้มอง ดังนั้นในการออกแบบควรหลีกเลี่ยงสิ่งที่จะทำให้เกิดการปรับสายตา (Eye Adaptation) ที่เร็ว หรือมากเกินไปในการมองเห็น เพื่อช่วยลดการทำงานของดวงตา ดังนั้นในการออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งาน จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆมากมาย เช่นระยะห่างระหว่างชิ้นงาน (Task) กับผู้ปฏิบัติงาน ขนาดของชิ้นงาน ความแตกต่างของความสามารถในการสะท้อนแสงระหว่างชิ้นงานกับสิ่งแวดล้อม อายุ เพศ และสุขภาพตา ของผู้ใช้งานจากนี้เราต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบอื่นๆที่มีผลต่อการมองเห็นให้ครบถ้วน

2.3.4.3 ขนาดของชิ้นงาน (Task Size) ปกติตามนุษย์จะเห็นวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุที่มีขนาดเล็ก และจะเห็นวัตถุชิ้นเดียวกันมีขนาดเล็กลงในเวลากลางคืน วัตถุที่มีขนาดเล็กและมีรายละเอียดมากย่อมต้องการ ปริมาณแสงมากเป็นพิเศษ เช่นงานเขียนแบบ งานประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

2.3.4.4. เวลา (Time) ปกติตาของมนุษย์ต้องการช่วงเวลาหนึ่งในการปรับกล้ามเนื้อตาให้ขยายหรือหดตัวเพื่อตอบรับกับปริมาณแสง (Eye Adaptation) ในการเห็นวัตถุปริมาณแสงยิ่งน้อยยิ่งต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น ในขณะที่หากปริมาณแสงมากก็จะใช้เวลาน้อยลงจนถึงค่าหนึ่ง เวลาที่ใช้ในการมองเห็นจะคงที่ เนื่องจากขีดจำกัดของกล้ามเนื้อตานั่นเอง

2.3.4.5 ความเปรียบเทียบต่างหรือคอนทราสต์ (Contrast) ความแตกต่างของจุดสังเกตกับสิ่งที่อยู่รอบข้าง ยิ่งมีความเปรียบเทียบต่างกันมากก็จะเห็นได้ง่ายขึ้น ในขณะที่ความต้องการปริมาณแสงและเวลาในการรับภาพมีน้อยลง เช่นตัวหนังสือดำบนกระดาษขาว ย่อมเห็นง่ายกว่าตัวหนังสือดำบนกระดาษเทา อย่างไรก็ตามความเปรียบเทียบแตกต่างที่มากเกินไปจนสายตาเกิดการปรับตัวเป็นผลให้สายตาไม่สามารถมองเห็นได้อย่างอิสระ หรือเกิดการระคายเคืองของสายตา นั่นคือเกิดภาวะแสงบาดตา (Glare)

L_2 - ลูมิแนนซ์ของวัตถุ



รูปที่ 2.15 รูปแสดงความเปรียบเทียบต่าง ลูมิแนนซ์ของวัตถุเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม

(ก) ลูมิแนนซ์ของวัตถุและสภาพรอบข้างใกล้เคียงทำให้มองเห็นได้ยาก

(ข) ลูมิแนนซ์ของวัตถุและสภาพรอบข้างต่างกันทำให้มองเห็นได้ง่าย

ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร., เทคนิคการส่องสว่าง, 2540, หน้า 1-11

ความเปรียบเทียบต่างสามารถกำหนดได้ด้วยอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุ หรือจุดสังเกต และความสว่างของสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้าง อัตราส่วนยังมีค่ามากก็ทำให้การมองเห็นชัดเจนขึ้น แต่หากมากเกินไปก็จะทำให้เกิดแสงบาดตา สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{CONTRAST} = (L_B - L_T) / L_T \dots \dots \dots (2.6)$$

โดย L_B คือ ความสว่างของสภาพแวดล้อม

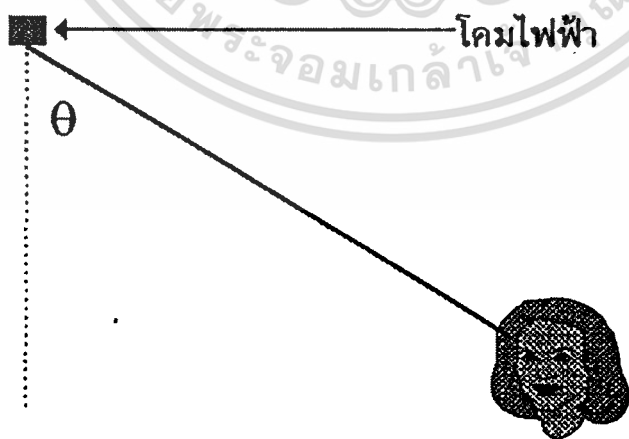
L_T คือ ความสว่างของวัตถุ

2.3.4.6 แสงบาดตา หรือ แสงจ้า (Glare) หมายถึง แสงที่เข้าตาทำให้มองเห็นวัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็นเลย ซึ่งเกิดจากระดับความแตกต่างของการส่องสว่าง จนเป็นแสงที่ไม่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการให้อยู่ในมุมมอง เนื่องมาจากความจ้าที่มากเกินไปของแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งจุดหรือมากกว่า เทียบกับความจ้าของสภาพแวดล้อมทั่วไปที่อยู่ในขอบเขตของมุมมอง ก่อให้เกิดความไม่สบายตา เนื่องจากสายตาปรับตัวอย่างรวดเร็ว เกิดอาการตาพร่าจากปริมาณความส่องสว่างที่มากเกินไป จนไปถึงการสูญเสียการมองเห็นของสายตาชั่วคราว การเกิดแสงจ้าขึ้นอยู่กับ ความสว่างที่สัมพันธ์กับความสว่างของวัตถุ (Relationship of Brightness) ขนาดของแหล่งกำเนิดแสง (Size of source) ตำแหน่งของวัตถุในบริเวณขอบเขตแห่งการมองเห็น (Position of the Objects in the View of Field) และขึ้นกับสมรรถภาพในการปรับสายตาของผู้มองด้วย (The Eyes Adaptation of the Viewers)

แสงบาดตา มีด้วยกันสองประเภทคือ แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้ (Disability Glare) และแสงบาดตาแบบไม่สบายตา (Discomfort Glare) แสงบาดตาแบบไม่สามารถมองเห็นได้เป็นแสงบาดตาที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้ทำให้เกิดการสูญเสียการมองเห็นชั่วคราว ตัวอย่างเช่น การมองแสงจากดวงอาทิตย์หรือท้องฟ้าโดยตรง เมื่อมองกลับไปในระดับปกติจะทำให้เกิดอาการตาพร่าและมองไม่เห็นชั่วคราว ส่วนแสงบาดตาแบบไม่สบายตาเป็นแสงบาดตาประเภทที่ยังมองเห็นวัตถุได้บ้างแต่เป็นไปด้วยความลำบากและไม่สบายตาเพราะมีแสงย้อนเข้าตาในมุมที่ไม่ต้องการเช่น แสงที่ส่องขึ้นจากพื้น หรือด้านข้างหรือแสงที่สะท้อนจากวัสดุผิวมันที่มีความส่องสว่างมากเกินไป

แหล่งกำเนิดแสงบาดตาวัดกันด้วยมุมที่ทำกับแนวตั้งจากแหล่งกำเนิดมายังดวงตาใน ส่วนที่เกินกว่า 45 องศาขึ้นไป แสงบาดตาจะมีมากน้อยเพียงใดจะขึ้นกับตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงด้วย แหล่งกำเนิดแสงด้านข้างจะมีแสงบาดตามากกว่าในแนวตั้ง การวางทิศทางช่องเปิดของอาคารที่เหมาะสมจะช่วยลดแสงบาดตาลงได้



รูปที่ 2.16 มุมของแสงบาดตาที่วัดที่มุมมากกว่า 45 เป็นต้นไป

ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร., เทคนิคการส่องสว่าง, 2540, หน้า 1-12

2.3.4.7 อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) สีของแสงมักบอกกันด้วยอุณหภูมิของสีทำให้สามารถเข้าใจได้ชัดเจนกว่าการบอกด้วยสีต่างๆไปที่ทำกัน สีที่บอกด้วยอุณหภูมิสีเช่น 3500 เคลวิน หมายถึง สีที่เห็นเมื่อเผาวัตถุดำ (วัตถุที่มีการดูดซึมความร้อนได้ทั้งหมด เป็นวัตถุในอุดมคติ เนื่องจากหาได้ยากที่จะสามารถดูดซึมความร้อนได้ทั้งหมด) หรือวัตถุอุดมคติ (Black body) ที่อุณหภูมิ 3500 เคลวิน ในการวัดอุณหภูมิสีของแสงทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "Colorimeter" หรือ "Chromameter" ซึ่งจะอ่านค่าเป็นหน่วยองศาเคลวิน วิธีใช้เหมือนลักซ์มิเตอร์ทั่วไป

ปกติแสงสว่างธรรมชาติ ในช่วงเวลากลางวัน จะมีอุณหภูมิสีประมาณ 5760 ถึง 5800 เคลวิน ซึ่งเป็นโทนสีขาวปนฟ้าสว่าง (Daylight & Cool White) ซึ่งเป็นอุณหภูมิสีที่สามารถใช้งานได้ดี และในช่วงที่พระอาทิตย์ขึ้น หรือตก จะมีค่าประมาณ 3000 เคลวิน ซึ่งเป็นโทนสีขาวปนเหลือง (Warm White) อุณหภูมิสีจากแสงธรรมชาติเป็นสีที่สายตาราคันเคย และความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสี กับความส่องสว่าง ของแสงธรรมชาติ จะเหมาะกับการใช้งานโดยทั่วไป เนื่องจากต้องการความส่องสว่างสูง เทคนิคการให้อุณหภูมิสีและความส่องสว่างให้สัมพันธ์กันนั้น หากอุณหภูมิสีสูงแต่ความส่องสว่างต่ำ บรรยากาศจะแลดูทึม และหากอุณหภูมิสีต่ำและความส่องสว่างสูงจะเกิดความจ้า ความส่องสว่างที่เหมาะสมกับอุณหภูมิของสีคือย่านตรงกลางในรูปประมาณ ที่ 3000-4000 เคลวินกับ 500-1000 ลักซ์ ซึ่งไม่จ้าและไม่ทึมเกินไป

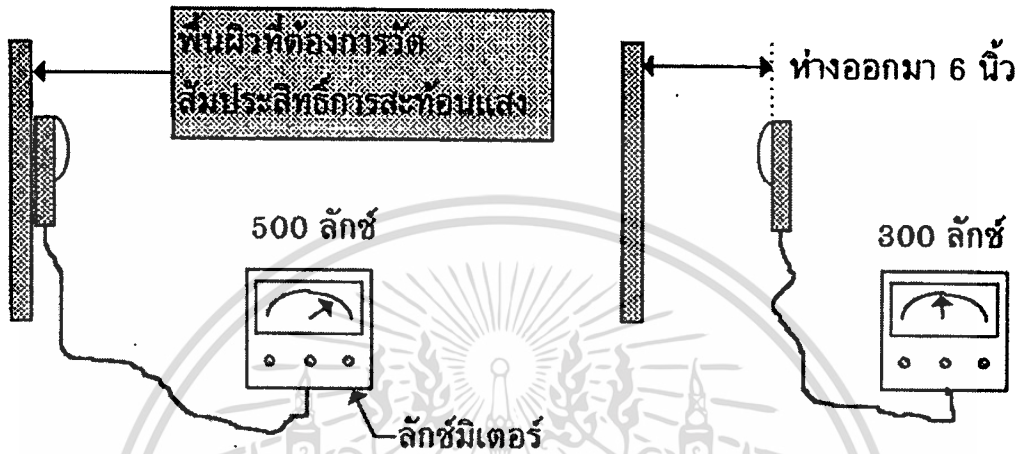
2.3.4.8 ดัชนีความถูกต้องของสี (Color Rendering Index - CRI) ดัชนีความถูกต้องของสีเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าสีที่เห็นเมื่อแสงส่องกระทบวัตถุจะมีสีที่ถูกต้องมากหรือน้อยเพียงไร ดัชนีความถูกต้องของสีจะมีผลต่อการมองเห็น โดยเฉพาะต่อพื้นที่การทำงาน และกิจกรรมในการทำงาน ปกติค่าดัชนีดังกล่าวจะเปรียบเทียบเป็นอัตราร้อยละ เช่น "CRI = 20%" หมายถึงเมื่อแสงส่องกระทบวัตถุจะให้ความถูกต้องของสีเพียงร้อยละ 20 แสงสว่างจากธรรมชาติจะให้ค่า "CRI = 100%" ซึ่งเหมาะกับการทำงานมากที่สุด

2.3.4.9 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ วัตถุจะดูต่างกัน จะมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน เมื่อถูกส่องด้วยปริมาณแสงจำนวนหนึ่งที่เท่ากัน สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุคือ ค่าความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบบนผิววัตถุนั้น มีหน่วยเป็นอัตราร้อยละ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง} = \frac{\text{ความส่องสว่างที่สะท้อนออกจากผิววัตถุ}}{\text{ความส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนผิววัตถุ}} \times 100 \dots \dots \dots (2.7)$$

⁴ ขำนำญ น้อยเกียรติ. 2540. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 13
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุสามารถหาได้โดยใช้ลักซ์มิเตอร์ โดยนำลักซ์มิเตอร์มาวัดความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุ จากนั้นจึงหันลักซ์มิเตอร์เข้าหาวัตถุเพื่อวัดความส่องสว่างที่สะท้อนออกจากวัตถุโดยให้มีระยะห่างประมาณ 15 เซนติเมตร หรือ 6 นิ้ว แต่ทั้งนี้ต้องระวังไม่ให้นิ้วหรือวัตถุอื่นใดมาบังแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 รูปแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ
ที่มา : ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร., เทคนิคการส่องสว่าง, 2540, หน้า 1-10

2.3.4.10 ประสิทธิภาพของความส่องสว่าง (Luminous Efficacy) หมายถึง ปริมาณแสงที่ได้ในหนึ่งหน่วยพลังงานที่เท่ากัน นั่นหมายถึง แสงที่มีประสิทธิภาพมากกว่า จะมีปริมาณแสงสว่างมากโดยใช้พลังงานที่เท่ากัน มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อวัตต์ (Lumen per Watt) ปกติแสงสว่างจากธรรมชาติจะมีค่าประสิทธิภาพสูงมาก ประมาณ 105 ลูเมนต่อวัตต์ เมื่อมุมการส่องแสงของดวงอาทิตย์ในแนวตั้ง (Altitude) มีค่าตั้งแต่ 20 องศาและจะมีค่าต่างไปเมื่อมุมของการส่องสว่างของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป และจะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อดวงอาทิตย์ลับฟ้า

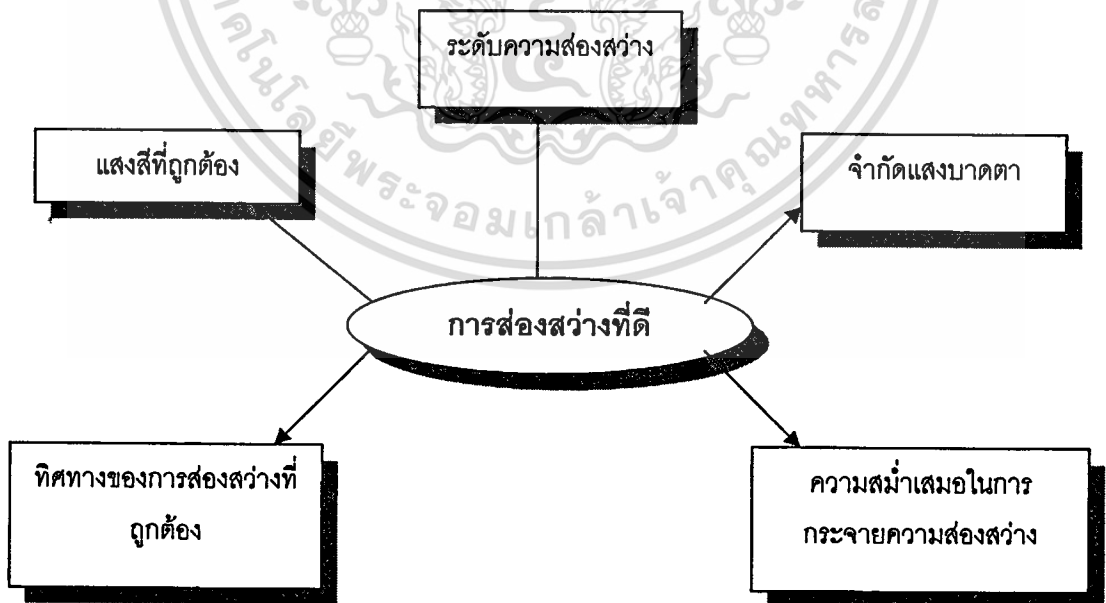
2.3.5 การส่องสว่างที่ดี

การให้แสงสว่างธรรมชาติที่ดี นอกจากจะให้ปริมาณแสงและ มีค่าความส่องสว่างที่เพียงพอบนพื้นที่ทำงานแล้ว แสงสี อุณหภูมิสี และความถูกต้องของสีของวัตถุ รวมไปถึงการให้บรรยากาศโดยรวมของการให้แสงต่อกิจกรรมของพื้นที่นั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง นอกจากนี้ยังต้องลดแสงจ้าแสงบาดตา มีค่าเปรียบเทียบต่างที่เหมาะสมทำให้มองเห็นวัตถุได้ชัดเจน และที่สำคัญที่สุด

คือ ต้องมีความสบายตาในการมองเห็น (Visual Comfort) ดังนั้นการจัดการในการใช้แสงสว่างธรรมชาติให้ได้ความสบายตาจึงขึ้นกับปัจจัยและองค์ประกอบหลายประการที่สำคัญๆ เช่น

- ระดับปริมาณความส่องสว่างที่ต้องการต่อกิจกรรม
- ความสม่ำเสมอในการกระจายความส่องสว่าง
- ทิศทางการให้แสงสว่าง
- แสงสีที่ถูกต้อง

การจัดการใช้แสงธรรมชาติให้มีคุณภาพการส่องสว่างที่ดี ต้องมีความส่องสว่างมากพอ มีความสม่ำเสมอของการส่องสว่างเพื่อจะทำให้มองเห็นวัตถุได้ชัด ไม่ต้องเพ่ง ลดค่าเปรียบเทียบกับค่าที่ไม่จำเป็น มีทิศทางการส่องสว่างที่เหมาะสมมองเห็นวัตถุหรือชิ้นงานได้ชัดเจน เพราะถ้าความส่องสว่างถึงแม้จะมากพอ แต่มีทิศทางการส่องสว่างไม่ถูกต้องก็จะมองเห็นวัตถุได้ไม่ชัด การส่องสว่างที่ดีต้องไม่ให้เกิดแสงบาดตาโดยเฉพาะการส่องสว่างจากด้านข้างเพราะจะทำให้การสามารถในการมองนั้นลดลง เมื่อได้คุณภาพเกือบทุกข้อแล้ว สิ่งที่สำคัญอีกประการก็คือแสงสีที่สวยงาม ถ้าหากการส่องสว่างมองเห็นวัตถุได้ชัดเจนแต่ขาดความสวยงามหรือสีไม่ถูกต้อง ความสบายตาก็ไม่เกิด การที่จะออกแบบแสงธรรมชาติให้เกิดภาวะสบายทางสายตาดังนี้ไม่ใช่เรื่องง่าย ซึ่งต้องพิจารณาเรื่องดังกล่าวข้างต้นมาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งเขียนเป็นภาพความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการส่องสว่างที่ดีและปัจจัยที่ทำให้เกิดการส่องสว่างที่ดี

ที่มา ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร., เทคนิคการส่องสว่าง, 2540 หน้า 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติเป็นรูปแบบของพลังงานชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทาง และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยปริมาณของแสงธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา และฤดูกาลที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ด้วย ซึ่งเกิดจากสภาพภูมิศาสตร์ อากาศ อุณหภูมิ และปริมาณมลภาวะ ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก เมื่อแสงธรรมชาติตกกระทบพื้นผิวต่างๆ ก็จะถูกดูดซับและแปรเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนในทันที ซึ่งจะมากหรือน้อยตามความยาวและความถี่ของ คลื่นแสงและสภาพบรรยากาศของโลกที่แสงส่องผ่าน เนื่องจากแสงจะเกิดการกระจายตัวและแปรเปลี่ยนเมื่อกระทบกับบรรยากาศในชั้นต่างๆ

เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยทั่วไปอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 28 – 29 องศาเซลเซียส เฉพาะในเวลากลางวันมีค่าประมาณ 30 – 31 องศาเซลเซียส สภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก มีแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี จะเห็นว่าดัชนีเมฆ ของประเทศไทยมีค่าตั้งแต่ 5.9 ถึง 9.0 (เมื่อค่าสูงสุดเท่ากับ 10) และค่าระดับความสว่างสำหรับกรุงเทพฯมีค่าความสว่างในระดับ 10,000 ลักซ์ ขึ้นไป มีความถี่ถึงกว่าร้อยละ 99 ของเวลากลางวัน

2.4.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ

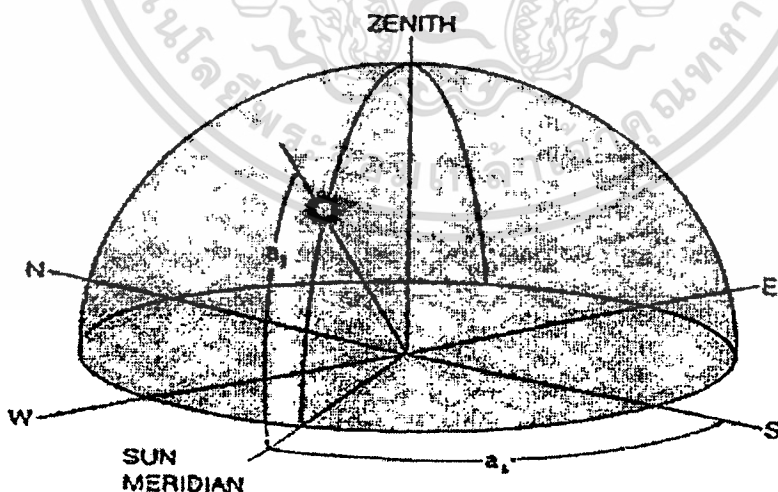
จากการที่องค์ประกอบของท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ดังนั้น CIE (International Commission on Illumination) ได้มีการแบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติออกเป็นประเภทต่างๆตามแหล่งกำเนิดแสงได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

2.4.1.1 แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ (The Sun) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สำคัญที่สุด ในภูมิภาคต่างๆ ของโลกจะได้รับความแตกต่างของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยขึ้นอยู่กับองศาของรังสีที่กระทำกับพื้นโลก โดยที่แกนของโลกที่เอียงทำมุม 23.50 องศาทำให้ความเข้มของรังสีตกกระทบพื้นผิวโลกมีค่าเท่ากับความเข้มของรังสีปกติคูณด้วยค่าโคไซน์ (Cosine) ของมุมที่รังสีตกกระทบตามกฎของโคไซน์ (Cosine Law) ซึ่งจะทำให้ค่าความเข้มของรังสี ต่อหน่วยพื้นที่โลกที่มีความเข้มมากที่สุด เมื่อทิศทางของรังสีทำมุม 90 องศา กับพื้นผิวที่ตกกระทบ และค่าจะลดลงเมื่อมุมตกกระทบเบี่ยงเบนออกจากแนวตั้งฉากกับพื้นผิวในส่วนของชั้นบรรยากาศที่ปกคลุมโลกก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าลดลงก่อนที่จะเดินทางมาถึงพื้นผิวโลก โคนรังสีบางส่วนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศที่ปกคลุมโลกก็เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุที่ทำให้ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์มีค่าลดลงก่อนที่จะเดินทางมาถึงพื้นผิวโลก โดยรังสีบางส่วนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศจะถูกดูดกลืนในชั้นโอโซน ฝุ่นละออง และไอน้ำ บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับโดยเมฆ และบางส่วนจะถูกกระจายออกโดยโมเลกุลในบรรยากาศรังสีที่ตกกระทบผิวโลก แล้วก็จะสะท้อนกลับสู่ชั้นบรรยากาศ และมีส่วนหนึ่งที่ตกลงสู่ผิวโลก แล้วถูกดูดกลืนไว้ รังสีในส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมบนโลกสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของชั้นบรรยากาศในช่วงเวลาต่างๆที่มีปริมาณความแตกต่างของไอน้ำ หมอกควัน และองค์ประกอบอื่นๆด้วยปรากฏการณ์ต่างๆ เหล่านี้ ทำให้ปริมาณของรังสีความเข้มของดวงอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคของโลกมีความแตกต่างกันไปตาม วัน เวลา และฤดูกาล ซึ่งไม่เท่ากัน และมีลักษณะเฉพาะใน แต่ละฤดูกาล

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และการหมุนของโลกนั้น จะมีความสำคัญต่อปริมาณของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งต่างๆบนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้นโลก เราจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากพื้นโลกได้จาก

- มุมอัลติจูด (Solar Altitude) , a_1 เป็นมุมในแนวตั้ง ที่จะบอกมุมเงยของดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับระดับพื้นราบ
- มุมอะซิมุมท (Solar Azimuth), a_2 เป็นมุมในแนวราบ ที่จะบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์เมื่อวัดจากแกนในแนวทิศใต้ เป็นทิศเริ่มต้นที่ 0 องศา เรียงไปจนถึงทิศเหนือ 180 องศา และ -180 องศา



รูปที่ 2.19 รูปแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ จากมุมอัลติจูด(Solar Altitude) , a_1 และมุมอะซิมุมท (Solar Azimuth), a_2

ที่มา : Daylighting, Daylight Sources and Available

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า การส่องผ่านของแสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศในชั้นต่างๆ จะเกิดการกระจายตัวของแสงไปทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่นละออง ไอน้ำ และสารแขวนลอยต่างๆ ในแต่ละชั้นบรรยากาศ การกระจายตัวของแสงในท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ทำให้เกิดเป็นลักษณะต่างๆของสภาพท้องฟ้า (Sky Condition) ได้ดังนี้

- ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)
- ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly and Cloudy Sky)
- ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky)

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly and Cloudy Sky) จะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงสว่างในท้องฟ้าอย่างรวดเร็ว ประเทศไทยมีท้องฟ้าในลักษณะแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly and Cloudy Sky)

2.4.1.3 แสงธรรมชาติจากพื้นดิน การสะท้อนของแสงจากพื้นดินนับว่ามีความสำคัญสำหรับการออกแบบอาคารด้วยแสงธรรมชาติ สงที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดอาคารนั้น จะมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10-15 ของปริมาณแสงทั้งหมดที่ผ่านช่องเปิดอาคาร ซึ่งปริมาณแสงสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดอาคารจะมากหรือน้อยตามลักษณะของผิวที่สะท้อนแสง หากผิวเป็นหิมะหรือทราย หรือพื้นผิวที่เป็นสีขาวหรือสีอ่อน ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคารก็จะมากขึ้นกว่าค่าเฉลี่ยปกตินอกจากนี้ปริมาณแสงธรรมชาตินี้ยังมาจากการสะท้อนแสงของต้นไม้ หรืออาคารข้างเคียง

หากปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร มีมากเกินไปจนความจำเป็นต่อการใช้งานก็อาจจะควบคุมปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้าสู่อาคารด้วยอุปกรณ์บังแดดชนิดต่างๆตามความจำเป็น

การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน การนำแสงธรรมชาติไปใช้กับอาคาร นอกจากจะต้องคำนึงถึงเรื่องปริมาณความร้อนที่จะมากับแสงธรรมชาติเป็นสำคัญแล้ว อีกประการที่ต้องคำนึง คือเรื่องความแปรปรวนของปริมาณแสงธรรมชาติ เนื่องจากสภาพท้องฟ้าซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาตินั้น มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงยากต่อการคาดคะเนปริมาณแสงที่จะเกิดขึ้นจริง

อย่างไรก็ตาม การคาดคะเนปริมาณแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของ วัน เวลา และสภาพท้องฟ้า ในขณะนั้นๆซึ่งการศึกษาทางด้านแสงธรรมชาติ ได้มีการศึกษาและเก็บเป็นข้อมูลอย่างจริงจังมานานกว่า 60 ปีแล้ว และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ก็สามารถนำมาพยากรณ์และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆเพื่ออธิบายถึงความสว่างจากแสงธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

2.4.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์

การคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งานในแต่ละบริเวณนั้น จะเริ่มต้นจากหาทิศทางและตำแหน่งเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์และองค์ประกอบอื่นๆ ดังนี้

- ที่ตั้งตามตำแหน่งเส้นรุ้งและเส้นแวง (Latitude and Longitude of the Site)
- วันตามปฏิทิน (Day of the Year, Julian Date)
- เวลาท้องถิ่น (Local Time)

โดยที่เวลาท้องถิ่น (Local Time) จะแปรเปลี่ยนมากจากเวลาที่แท้จริงของดวงอาทิตย์ (Solar Time) และมุมต่างๆที่ใช้ในการจุดคำนวณ จะเป็นมุมเรเดียน (Radian) ที่อธิบายถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์

2.4.2.1 ตำแหน่งที่ตั้ง ตำแหน่งที่ตั้งของบริเวณที่จะศึกษานั้น จะถูกกำหนดขึ้นจากเส้นแวง (Longitude , l) และเส้นรุ้ง (Latitude, L) ที่มีอยู่ และตำแหน่งของเส้นรุ้งและเส้นแวงของกรุงเทพฯ ตั้งอยู่ที่ 13 องศา 44 ลิปดา เหนือ และลองจิจูด ที่ 100 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก

เส้นรุ้ง หรือ เส้นละติจูด (Latitude) จะกำหนดให้ด้านเหนือของทรง(Hemisphere) มีค่าเป็นบวก และด้านใต้ของทรงกลม มีค่าเป็นลบ

เส้นแวง หรือ เส้นลองจิจูด (Longitude) จะกำหนดให้ด้านตะวันตก ของเส้นแบ่งเวลาเมริเดียน (Meridian,Greenich,UK) เป็นลบ และด้านตะวันออกของเส้นแบ่งเวลา(Meridian) เป็นบวก

2.4.2.2 การบอกเวลา ในปัจจุบันนี้ การบอกเวลาจะแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง ซึ่งการบอกเวลาแบบปกติตามแต่ละท้องถิ่น แต่การบอกเวลาตามดวงอาทิตย์ (Solar Time) จะสามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐานโดยเริ่มนับจากเส้นแวง (Longitude) ของเส้นแบ่งเวลาในช่วงต่างๆ และจากเส้นสมการของเส้นบอกเวลา (Equation of Time) โดยเวลาเทียบเท่า(Equation of Time) จะมีความแตกต่างจากเวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และเวลานาฬิกา (Clock Time) เนื่องจากตำแหน่งการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (Elliptical Orbit of the Earth)

- ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามแนวแกนที่พิจารณา (Solar Declination of the Axis) การบอกเวลาแบบ Equation of time จะอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$ET = 0.170 \sin (4\pi (J-80)/373) - 0.129 \sin(2\pi (J-80)/355).....(2.8)$$

เมื่อ ET เป็นเวลาเทียบเท่า (Equation of Time) ในหน่วยของเวลาแบบทศนิยม (เช่น เวลา 13.30 น. จะเป็น 13.50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- J เป็นวันที่ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี (Julian date) โดยไม่สนใจเดือนต่างๆซึ่ง จะเริ่มตั้งแต่ วันที่ 1 ถึงวันที่ 365 ของปี

ค่าที่ได้จากสมการข้างต้น จะเป็นค่าที่น้อยที่สุดของสมการกำลังสอง (Prof.Lamm,1970) ซึ่งจะไม่มีคามแม่นยำนักในการนำมาใช้ในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้นในแต่ละบริเวณที่จะอ้างถึง เส้นรุ้ง ที่พาดผ่าน เพื่อนำมาคำนวณเวลาของเวลาดวงอาทิตย์ (Solar time) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐาน (Standard time) จะสามารถกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$t_s = t_d - 1 \dots \dots \dots (2.9)$$

เมื่อ t_s เป็นเวลามาตรฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard Time in Decimal Hours)

t_d เป็นเวลามาตรฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Daylight Time in Decimal Hours)

เวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) จะสามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐาน (Standard Time) ได้ดังนี้

$$t = t_s + ET + (12 (SM - L)) / \pi \dots \dots \dots (2.10)$$

เมื่อ t เป็นเวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar Time in Decimal Hours)

t_s เป็นเวลามาตรฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard Time in Decimal Hours)

ET เป็นเวลาที่ใช้ในการคำนวณหน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Time in Decimal Hours)

SM เป็นระยะจากเส้นแบ่งเวลามาตรฐานเมริเดียน (Standard Meridian) หน่วย เรเดียน

L เป็นตำแหน่งตามเส้นแวง หน่วย เรเดียน

2.4.2.3 ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Solar Position) ตำแหน่งและทิศทางต่างๆของดวงอาทิตย์จะถูกกำหนดโดยมุม อลติจูด และมุมอะซิมุส ของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude & Solar Azimuth) ซึ่งจากลักษณะของมุมทั้งสองอ้างอิงกับเส้นแวง ณ บริเวณนั้น เวลาดวงอาทิตย์ (solar Time) และแนวเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar Declination) โดยแนวการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์จะประมาณค่าได้จากสมการที่ 2.11

$$\delta = 0.4093 \sin (2\pi (J - 81) / 368) \dots\dots\dots(2.11)$$

- เมื่อ δ เป็นมุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วย เรเดียน (Solar Declination in rad)
 J เป็นวันที่ ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี (Julian date) โดยไม่สนใจเดือนต่างๆซึ่ง
 จะเริ่มตั้งแต่ วันที่ 1 ถึงวันที่ 365 ของปี

สมการของมุมละติจูดอธิบายได้ดังนี้คือ

$$a_s = \arcsin (\sin l . \sin \delta - \cos l . \cos \delta . \cos (\pi t / 12)) \dots\dots\dots(2.12)$$

- เมื่อ a_s เป็น มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Altitude in rad)
 l เป็น ตำแหน่งละติจูด หน่วย เรเดียน (Site Latitude in rad)
 δ เป็นมุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วย เรเดียน (Solar Declination in rad)
 t เป็นเวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar Time in Decimal Hours)

มุมของ Solar Altitude จะมีค่าของมุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง $\pi/2$ ถ้าทิศทางของดวง
 อาทิตย์อยู่ต่ำกว่าแนวระดับหรือ เกินกว่า $\pi/2$ จะให้ค่าเป็นลบ สมการของมุมอะซิมุส ดวงอาทิตย์
 อธิบายได้ดังนี้คือ

$$a_z = \arctan \left\{ \frac{ - (\cos \delta . \sin (\pi t / 12)) }{ - \{ \cos l . \sin \delta + \sin l . \cos \delta . \cos (\pi t / 12) \} } \right\} \dots\dots\dots(2.13)$$

- เมื่อ a_z เป็นระดับมุมอะซิมุสดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Azimuth in rad)
 l เป็น ตำแหน่งละติจูด หน่วย เรเดียน (Site Latitude in rad)
 δ เป็นมุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วย เรเดียน (Solar Declination in rad)
 t เป็นเวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar Time in Decimal Hours)

มุม อะซิมุส (Azimuth) จะเริ่มจากศูนย์องศาในแนวของทิศใต้ และหมุนตามเข็มนาฬิกาเรื่อยไปจนถึงทิศเหนือ เป็นระยะทาง π และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงข้าม เมื่อเริ่มศูนย์องศาไปในแนวทิศใต้ หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางทิศเหนือผ่านทิศตะวันออกเป็นระยะทาง π จะทำให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่างๆ นั้น จะต้องมีการคำนวณถึงแสงธรรมชาติบนพื้นผิวในแนวตั้งเสมอ เช่น หน้าต่าง หรือผนังอาคาร

ดังนั้นมุมอะซิมุมที่จะเกิดขึ้นเป็นมุมในแนวนอน ระหว่างมุมที่อ้างอิงถึง (ศูนย์องศาทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดจริงของผนังที่ตั้งจากนั้นๆ

มุมอะซิมุม ของดวงอาทิตย์เมื่อตกกระทบกับผนัง หรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ จะพิจารณามุม อะซิมุม ได้จากสมการดังนี้

$$a_2 = a_s - a_0 \dots \dots \dots (2.14)$$

เมื่อ a_2 เป็นระดับอะซิมุมของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Elevation Azimuth in rad)

a_s เป็นระดับมุมอะซิมุมดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Azimuth in rad)

a_0 เป็นความสูงมุมอะซิมุม หน่วยเรเดียน (Elevation Azimuth in rad)

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ จะเป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างแนวระนาบปกติ กับมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ คำนวณจากสูตรดังนี้

$$a_i = \arccos . (\cos a_i / \cos a_2) \dots \dots \dots (2.15)$$

เมื่อ a_i เป็นมุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident Angle in rad)

a_s เป็น มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Altitude in rad)

a_2 เป็นระดับอะซิมุมของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Elevation Azimuth in rad)

มุม Profile Angle เป็นมุมที่เกิดขึ้นจริงของมุมอัลติจูด ในแนวตั้ง และพิจารณาได้จากสมการดังนี้

$$a_p = \arctan . (\sin a_i / \cos a_2) \dots \dots \dots (2.16)$$

$$a_i = \arctan . (\tan a_s / \cos a_2) \dots \dots \dots (2.17)$$

เมื่อ a_p เป็นมุม Profile Angle หน่วยเรเดียน (Profile Angle in rad)

a_s เป็น มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Altitude in rad)

a_i เป็นมุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident Angle in rad)

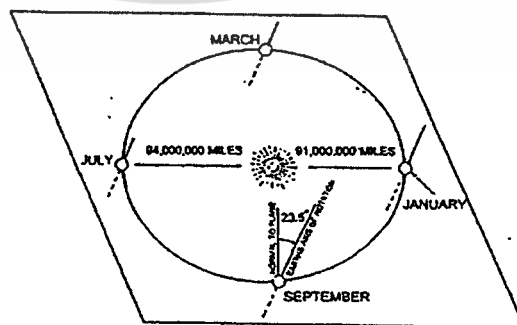
a_2 เป็นระดับอะซิมุมของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar Elevation Azimuth in rad)

2.4.3 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นการแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่นอกบรรยากาศโลก Solar Radiation (Short-wave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงต่างๆดังนี้

- รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) หรือ UV เป็นตัวการที่ทำให้สีของวัตถุซีด การไหม้เกรียมของผิวหนัง ฯลฯ มีความยาวคลื่น 290 - 380 นาโนเมตร
- แสงสว่างที่มนุษย์มองเห็น (Vision Light) มีความยาวคลื่น 380 - 700 นาโนเมตร
- รังสีอินฟราเรด คลื่นสั้น (Short Infra-red) มีความยาวคลื่น 700 - 2,300 นาโนเมตร

2.4.3.1 การแผ่รังสีจากนอกชั้นบรรยากาศ ในหนึ่งหน่วยเวลาบนพื้นหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 93,000,000 ไมล์ และอยู่ในแนวตั้งฉากกับรังสีถือเป็นค่าคงที่ (Solar Constant) มีค่าประมาณ 1,395 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูง โดยที่อุณหภูมิของพื้นผิวสูงมีค่าสูงสุดประมาณ 10,000 องศาฟาเรนไฮด์ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สูงสุดประมาณ 0.5 ไมโครเมตร การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของอาคารอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะเป็นไปตามฤดูกาลโดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแต่ละวันจะทำให้ปริมาณของพลังงานที่ผ่านเข้าไปในพื้นที่ผิวของอาคารนั้นแตกต่างกัน ซึ่งผลดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะ และคุณสมบัติของพื้นผิวนั้น เช่น ค่าการดูดพลังงานของพื้นผิว (Absorptance) การสะท้อนของพื้นผิว (Reflection) และค่าการส่งผ่านพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ (Transmitted Radiant Energy at the Wavelength) และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากแกนโลกที่เอียงและ วงโคจรของโลกที่มีลักษณะเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าสูงสุดประมาณ 1,418 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม (ASHRAE, 19๐๖)



รูปที่ 2.20 แสดงตำแหน่งและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่วันและเวลาต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 การแผ่รังสีจากผิวโลก (Terrain or Longwave Radiation) การแผ่ในลักษณะนี้คือ การถ่ายเทพลังงานระหว่างพื้นผิวโลก ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างกับลักษณะแรก (Solar Radiation) ก็คืออุณหภูมิของพื้นผิวที่มีการแผ่รังสีจะต่ำกว่า โดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 0 - 150 องศาฟาเรนไฮด์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีขนาดการแผ่รังสีของคลื่นที่แตกต่างกัน โดยมีความแตกต่างของความยาวคลื่นที่ความเข้มที่มากที่สุดประมาณ 10 ไมโครเมตร การแผ่รังสีบนพื้นผิวโลกจะถูกเรียกว่า Long Wave Infra-red Radiation ซึ่งการแผ่ลักษณะนี้จะมีความเข้มของพลังงานแสงน้อยกว่าแบบรังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) ประมาณ 1 / 160,000 ณ แหล่งกำเนิด ซึ่งจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากในการถ่ายเทความร้อนลักษณะของการแผ่รังสีของคลื่นทั้งสองลักษณะนี้ เป็นการแผ่รังสีในรูปแบบของพลังงานชนิดเดียวกัน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันที่ความเข้มของพลังงาน (Intensity) และขนาดความยาวคลื่น (Wavelength)

เมื่อพิจารณาการแผ่รังสีที่ตกกระทบลงบนวัตถุที่ตั้งอยู่บนพื้นโลกตามลักษณะของทิศทางของรังสี สามารถพิจารณาออกได้เป็น

- รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Direct solar Radiation, I_D) คือ รังสีดวงอาทิตย์โดยตรงในทิศทางของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ ถึงพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมาถึงชั้นบรรยากาศของโลกมีค่าประมาณ 429 BTU/H.SQ.FT (เป็นค่า Solar Constant) เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในแนวที่รังสีตกลงมาตั้งฉากกับผิวโลก โดยผ่านชั้นบรรยากาศที่บางที่สุด และถ้าแนวรังสีเบนออกจาก 90 องศา ค่าความเข้มของพลังงานก็จะลดลง ถ้ามุม อัลติจูด เท่ากับ 30 องศา ค่ารังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) จะเสมือนกับผ่านชั้นบรรยากาศที่มีความหนาขึ้นสองเท่า และที่มุมอัลติจูด เท่ากับ 19 องศา ค่ารังสีตรงของดวงอาทิตย์ จะเสมือนผ่านชั้นบรรยากาศเท่ากับสามเท่า ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น เมฆ หมอก ฝุ่นละออง และไอน้ำ

- รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ (Diffused Solar Radiation, I_D) คือรังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมาถึงชั้นบรรยากาศ และถูกทำให้กระจัดกระจายโดยไอน้ำและฝุ่นละอองต่างๆ ในอากาศจะไม่กระจัดกระจายสม่ำเสมอในท้องฟ้าแต่จะมีความเข้มสูงบริเวณโดยรอบดวงอาทิตย์และที่ใกล้กับเส้นขอบฟ้า รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ (Diffused Radiation) จะมีค่าประมาณร้อยละ 10-90 ของปริมาณพลังงานดวงอาทิตย์โดยรวมที่เข้าสู่ในอาคาร

- รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์ (Reflected Solar Radiation , I_R) คือรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวต่างๆ มีค่าขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของ Reflectance ของผิวนั้นๆ ปริมาณพลังงานความร้อนที่สะท้อนลงบนผิวอาคาร มีอิทธิพลมาจากลักษณะของพื้นผิวละทิศทางของวัตถุที่อยู่โดยรอบอาคาร ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย สภาพท้องฟ้ามีปริมาณละอองไอน้ำและ เมฆที่สูงทำให้รังสีกระจายของดวงอาทิตย์ มีอิทธิพลสูงแก่ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคาร แม้ว่าผนังภายนอกอาคารจะไม่ได้ถูกแสงแดดโดยตรงก็ตาม นอกจากนี้รังสีกระจายของ

ดวงอาทิตย์และรังสีสะท้อน (Diffused Solar Radiation & Reflected Solar Radiation) ที่สะท้อนมาจากสภาพแวดล้อมรอบอาคารจะมีผลต่อภาระการทำความเย็นของอาคาร

- รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (Total or Global Solar radiation , I_T) คือ พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_T = I_D + I_d + I_R \quad \text{BTU/Hr.Sq.ft.....(2.18)}$$

จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการส่องสว่างต่อพลังงานที่ตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ในแนวราบรังสีกระจายของดวงอาทิตย์มีค่า 14 ลูเมนต่อวัตต์ รังสีตรงของดวงอาทิตย์มีค่า 105 ลูเมนต่อวัตต์ และรังสีรวมของดวงอาทิตย์มีค่า 119 ลูเมนต่อวัตต์ (Treado and Gillete,1983)

2.4.3.3 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ (Solar Geometry) ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นผิวโลกหรืออาคารเสมือนกับการโคจรขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปีในช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งจะสามารถทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับทิศทางการวางตัวอาคาร เพื่อให้สามารถออกแบบอาคารที่จะลดอิทธิพลจากแสงแดดโดยการหลีกเลี่ยงทิศทางที่ได้รับแดด หรือการให้มีอุปกรณ์บังแดดในรูปแบบที่เหมาะสมกับแต่ละทิศทางเป็นการลดอุณหภูมิพื้นผิวที่เกิดจากการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ หรือได้รับผลจากแสงแดดโดยตรง (Sol Air Effect)

2.4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแสงสว่างธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (The Relationship between Daylight and Solar Radiation)จากการวิจัย (Hopkinson,1996) พบความสัมพันธ์ว่า

- ปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 ลูเมนต่อวัตต์ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25 องศา และจะเท่ากับ 90 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์ที่อยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 25 ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังจะต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆอีก เช่น ลักษณะช่องท้องฟ้าและสภาพของบรรยากาศ เป็นต้น

- หาความสัมพันธ์โดยวิธีสหสัมพันธ์ (Regression Equation) จากปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดบนระนาบ (RAD : BTU/Sq.ft) กับปริมาณความสว่างจากแสงสว่างดวงอาทิตย์ (ILLUM : FOOTCANDLES) ดังนี้

$$E = 104.8 + 31.007 \times L \quad \text{.....(2.19)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความสัมพันธ์นี้ครอบคลุมในทุกๆสภาพของลักษณะท้องฟ้าที่ท้องฟ้าเดียวกัน โดยมี "R-Square" เท่ากับ 0.97 และ "Standard Error = 9.7 Foot-candles"

2.4.4 การแผ่รังสีของแสงจากท้องฟ้า

ปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติ นอกจากจะได้รับอิทธิพลของดวงอาทิตย์แล้ว สภาพท้องฟ้าก็ยังถือเป็นแหล่งกำเนิดของแสงธรรมชาติเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของท้องฟ้าแยกตามวิธีการได้ 2 วิธีการ คือ

2.4.4.1 การจำแนกท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของท้องฟ้า (The Sky Ratio Method) เป็นการแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณรังสีตกกระทบของท้องฟ้าบนพื้นราบ (Horizontal Sky Irradiance) ต่อปริมาณรังสีตกกระทบบนพื้นราบทั้งหมด (Global Horizontal Irradiance) ดังนั้นหากอัตราส่วนของการจำแนกท้องฟ้าเท่ากับ 1.0 แสดงว่า มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์จะเท่ากับ ศูนย์ แต่การแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธีการนี้จะมีความคลาดเคลื่อน ถ้ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์มีค่าต่ำมากๆ การจำแนกประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนท้องฟ้า "Sky Ratio Method" จะแบ่งลักษณะท้องฟ้าออกตามอัตราส่วนต่างๆได้ 3 ลักษณะคือ

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : Sky Ratio \leq 0.3

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy) : $0.3 < \text{Sky Ratio} < 0.8$

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast) : Sky Ratio \geq 0.8

2.4.4.2 การจำแนกท้องฟ้าด้วยองค์ประกอบที่ปกคลุมท้องฟ้า (The Sky Covered Method) เป็นวิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า โดยการประมาณปริมาณก้อนเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า มีมาตราส่วนในการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 10 (0 หมายถึง ท้องฟ้าปราศจากเมฆปกคลุม ส่วน 10 หมายถึง ท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมมาก) และการจำแนกลักษณะของท้องฟ้า(กองภูมิอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา) ออกมาเป็นลักษณะตามปริมาณของก้อนเมฆได้ดังนี้

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear) : 0 - 3

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy) : 4 - 7

ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast) : 8 - 10

ค่าความสว่างในแนวราบของท้องฟ้าและมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ จะแสดงความสัมพันธ์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกันในรูปแบบของสมการ ได้ดังนี้

$$E_{kh} = A + B \cdot \sin^c \cdot a_i \dots\dots\dots(2.20)$$

- เมื่อ E_{kh} เป็นค่าความส่องสว่างในแนวราบของท้องฟ้าที่ปราศจากสิ่งปกคลุม หน่วยเป็นกิโวลักซ์ (klux)
- A เป็นค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ขณะดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ตก หน่วยเป็นกิโวลักซ์ (klux)
- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโวลักซ์ (klux)
- C เป็นค่าเอกซโปเนนท์ที่เชื่อมความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ตามมุมละติจูด หน่วยเป็นกิโวลักซ์ (klux)
- a_i เป็นมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

โดยรูปแบบของสมการในข้างต้นจะใช้ได้กับลักษณะของท้องฟ้าทั้งสามประเภท แต่จะมีความแตกต่างกันบ้าง ตามตัวแปรคงที่บางตัวที่จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของท้องฟ้า ซึ่งจะทำให้สมการและค่าความส่องสว่างที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีข้อพิจารณาดังนี้

- ค่าความส่องสว่างของแสงจะมีความกระจายมากหรือน้อย ตามค่าความส่องสว่างที่มุมเซนิท (Zenith Illuminance) ของท้องฟ้า
- ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท

วิธีการที่ใช้ในการคำนวณค่าความสว่างที่เซนิทจากความส่องสว่างของท้องฟ้าแนวราบจะขึ้นกับค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท ตามสมการ

$$L_z = E_{kh} \cdot ZL \dots\dots\dots(2.22)$$

- เมื่อ L_z เป็นค่าความส่องสว่างที่เซนิท หน่วยเป็นกิโวลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)
- E_{kh} เป็นค่าความส่องสว่างในแนวราบของท้องฟ้าที่ปราศจากสิ่งปกคลุม หน่วยเป็นกิโวลักซ์ (klux) จากสมการที่ 2.20
- ZL เป็นค่าความสว่างที่เซนิท (Zenith Illuminance Factor) ในตำแหน่งที่ละติจูดเดียวกับ E_{kh} หน่วยเป็นกิโวลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)

ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิทที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับลักษณะของชั้นบรรยากาศ และแสดงรายละเอียดต่างๆของค่าความสว่างที่เซนิท ได้จากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท (Sky Zenith Illuminance) สำหรับท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมหนาที่บ Overcast Sky, ZL = 0.409 ในแต่ละมุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์
ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

ค่าความสว่างของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลาเป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น คาร์บอน หรือไอน้ำ โดยทั่วไปสภาพของท้องฟ้าแยกพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะคือ

2.4.5.1 สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆที่บจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือ ดวงอาทิตย์ (Overcast Sky หรือเรียกว่า CIE Sky) ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบมีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบ (Horizontal Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่า มีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องด้วยค่าความสว่างของท้องฟ้าที่จุดใดๆจะพิจารณาจากมุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์เหนือระดับแนวระนาบ ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

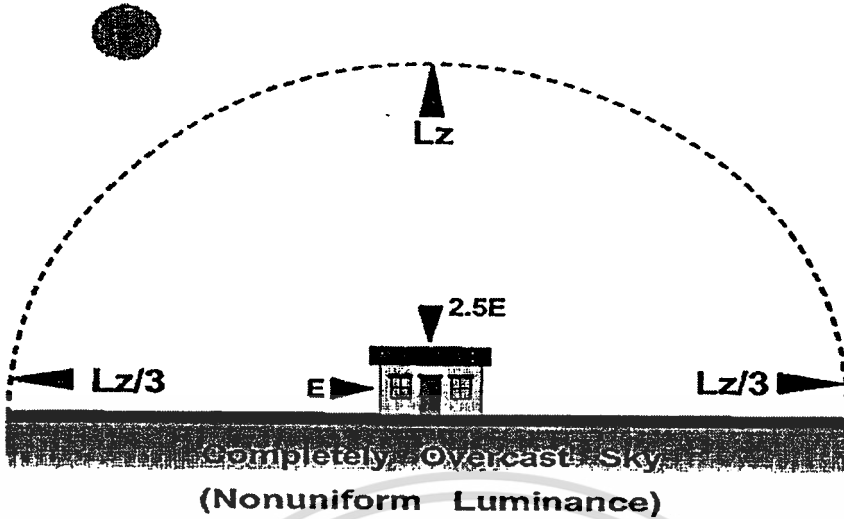
$$L_A = L_Z (1 + 2 \sin A) / 3 \dots\dots\dots(2.22)$$

เมื่อ L_A เป็นความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศาเหนือแนวระนาบของดวงอาทิตย์
 L_Z เป็นความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุด
 ความสว่างที่ตำแหน่งมุม $A = 0$ องศา จะมีค่าเท่ากับ $L_Z / 3$

ส่วนค่าความสว่างที่ระดับสูงสุด (Zenith Illuminance) จากการศึกษาของ (Krochman and Side) พบว่า

$$L_Z = 123 + 8600 \sin A \text{ (cd/sqm).....(2.23)}$$

โดย A คือ "Solar Altitude"



รูปที่ 2.21 แสดงท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky)

ที่มา : Mechanical and Electrical equipment for Building, Page 974

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณีคือมีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอ (Uniform Brightness) ความสว่างในระดับสูงสุด (Zenith Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าเท่ากับ ความสว่างในแนวระนาบ (Horizontal Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง แต่ก็มีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง จากการวิจัย (Krochman,1963) พบว่า ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมทึบ Overcast Sky จะแปรผันตามมุมอัลติจูด สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21,000 \sin A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.24)$$

โดย E_H เป็นค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบ (Overcast Sky) มีหน่วยเป็นลักซ์

A คือ มุมอัลติจูด

2.4.5.2 สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจากสององค์ประกอบ คือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Illumination) และแสงจากดวงอาทิตย์ (Direct Sun) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้งสององค์ประกอบขึ้นอยู่กับตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) เป็นหลัก โดยมีความส่องสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับ

สูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง ประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความส่องสว่างของพื้นผิวแนวระนาบเนื่องจากแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนท้องฟ้า (Half Sky) จะมีความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล และมีค่าเฉลี่ย 1,000 ฟุตแคนเดิล

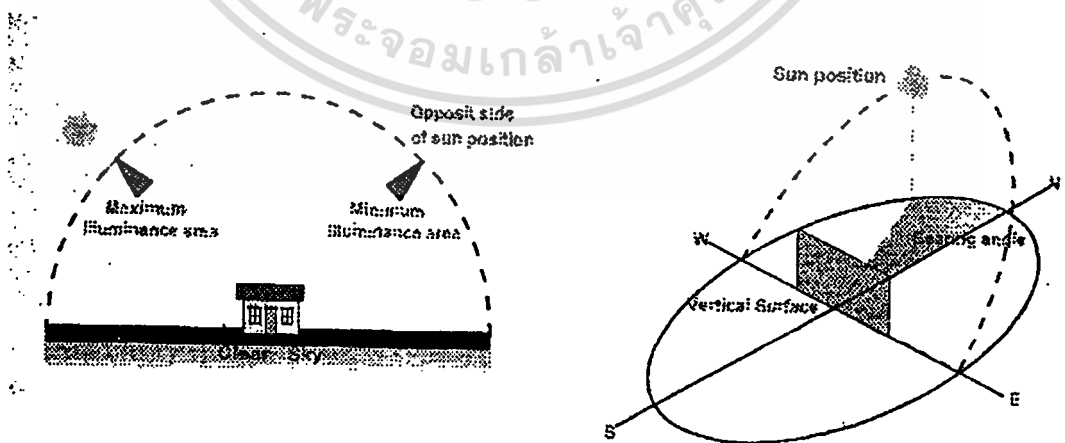
จากการวิจัย (Moon, R.C. Hopkinson, 1968) พบว่าค่าความสว่างของสภาพท้องฟ้าแบบโปร่งสามารถเขียนเป็นสมการแยกออกได้ 2 กรณีคือ
กรณีเกิดจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว สมการคือ

$$E_h = 1,345 + 14,795 \sin A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.25)$$

กรณีที่เกิดจากรังสีตรงเพียงอย่างเดียว

$$\text{Log } E_h = 4,466 + 0.31 \log A \text{ (lux)} \dots\dots\dots(2.26)$$

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้งขึ้นอยู่กับมุมอะสิมุต และมุมอัลติจูด หรือ มุมแบริง (Bearing Angle) ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้ จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่าง หรือด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุมแบริง มีค่ามากกว่า 90 องศา (ดวงอาทิตย์ในตำแหน่งด้านหลังของช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุหรือ พื้นผิวใดๆที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย



รูปที่ 2.22 รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear sky และมุมแบริง

ที่มา : Mechanical and Electrical equipment for Building, Page 974

2.4.5.3 สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเมฆอยู่ตลอดเวลา โดยทั่วไปการพิจารณาค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มีค่ามากกว่าค่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่งร้อยละ 10 – 15 เนื่องจากการสะท้อนแสงของเมฆ (Nakamura and Oki, 1983) ในขณะ ที่การวิจัย (Krochman, 1968) พบว่าค่าความสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570 A \dots\dots\dots(2.27)$$

เมื่อ E_{HP} เป็นความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมที่บ หน่วยเป็นกิโวลักซ์ (klux)
 A เป็นมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude)

อย่างไรก็ตามหากเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามีลักษณะเป็นกลุ่มหนาที่บหรือมีสีดำ เช่น เมฆ ฝน ก็อาจจะทำให้แสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้า และปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ถูกกั้น นั้นคือ แสงจะถูกดูดกลืนมากกว่าการสะท้อนอันเป็นผลให้ค่าความสว่างจากท้องฟ้ามีค่าลดลง หากพิจารณาค่าความส่องสว่างในระดับระนาบแนวนอนและระนาบแนวตั้ง ซึ่งมีอิทธิพลในการ พิจารณาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ จากการศึกษา (The Gillete Prediction Model, 1985) อาศัย ดัชนีเมฆ (Cloud Ratio) หากความสัมพันธ์ของความส่องสว่างอันเกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงกระจายจากท้องฟ้า (Elvegard and Sjosted, 1940) พบความสัมพันธ์เพื่อหาค่าระดับ ความส่องสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบแนวนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$E_H = 0.35 E_s + 0.89 E_c \dots\dots\dots(2.28)$$

เมื่อ E_s เป็นค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงตรงของดวงอาทิตย์
 E_c เป็นค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงกระจายใต้ท้องฟ้าโปร่ง

2.5 ทฤษฎีการให้แสงสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

ในการให้แสงสว่างธรรมชาติกับงานสถาปัตยกรรม สถาปนิกจำเป็นต้องเข้าใจในทฤษฎีการให้แสงสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ และวิธีการประเมินค่าของแสงสว่างธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาในการออกแบบ โดยทำความเข้าใจในเรื่องของมาตรฐานระดับการส่องสว่างที่ต้องการให้เหมาะกับงานแต่ละประเภท ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยองค์กรที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล เช่น CIE (International Commission on Illumination) , IES (Illuminating Engineering Society) ของแต่ละประเทศที่กำหนดใช้มาตรฐานของตนเองทั้งนี้ขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ สภาพการใช้ชีวิตและกิจกรรมของประเทศนั้นๆ นอกจากนี้ยังต้องทำความเข้าใจหลักการและวิธีการประเมินด้วยการคำนวณด้วยวิธีต่างๆที่เหมาะสมเพื่อนำไปกำหนดการออกแบบแสงสว่างภายในงานสถาปัตยกรรม

2.5.1 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง

ความต้องการแสงธรรมชาติภายในอาคาร ก็คือการได้รับแสงที่เพียงพอตลอดเวลาการทำงานในตอนกลางวัน โดยมีปริมาณความส่องสว่างที่เหมาะสมกับการมองเห็น "Visual Task" และภาวะสบายทางสายตา "Visual Comfort" ในกรณีที่อาคารภายในมีลักษณะหรือประเภทของกิจกรรมที่ต้องการปริมาณความส่องสว่างต่างกัน ก็อาจจะพิจารณาการแบ่งพื้นที่ (Zone) ของประเภทกิจกรรมหรือหากพิจารณาถึงวิธีการใช้ การให้แสงสว่างกับที่ (Local Lighting)ตามประเภทงานนั้นๆ มีการกำหนดโดยองค์กรต่างๆ เช่น IES (USA), IES(BS) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นอยู่กับประเทศได้ประเทศหนึ่ง คือ CIE (International Commission on Illumination) องค์กรนี้ได้กำหนดค่าความส่องสว่างออกเป็นค่า 3 ช่วง โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ช่วงใช้ในกรณีอื่นๆ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแวดล้อม เช่น

- ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิวหรือคอนทราสต์ (Contrast) ต่ำกว่าปกติให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองเห็นทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงหรือเสียหายมากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างในตารางมากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ก็ให้ใช้ค่าส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าพื้นที่บริเวณที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่าง ให้ใช้ค่าส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าผู้ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) ตามประเภทการใช้งาน

ที่มา : (ก) ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร. ,เทคนิคการส่องสว่าง, หน้า 1-6

(ข) IES, Illuminating Engineering Society : Reference Volume, 1983, page A3

พื้นที่การใช้งาน (ก)	CIE (lux)	IES(lux)	พื้นที่ใช้งาน(ข)
ทางเดิน พื้นที่ทำงานภายนอก	20-30-50	20-30-50(a)	Public space with dark surrounding
ทางเดินภายใน และการแหวะผ่านระยะสั้น	50-75-100	50-70-100 (a)	Simple orientation for short temporary visits
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานต่อเนื่อง เป็นเวลานาน	100-150-200	100-150- 200 (a)	Working place where visual task are occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่นโรงงาน งานชิ้นใหญ่	200-300-500	200-300-500 (b)	Performed of visual tasks of high contrast or large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่นสำนักงาน	300-500-750		
งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000 (b)	Performance of visual tasks of low or small size
งานที่ใช้สายตาหลายๆ เช่นการประกอบชิ้นส่วน	750-1000-1500		
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000-1500-2000	1000-1500- 2000 (b)	Performance of visual tasks of low contrast or very small size
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่นการผ่าตัด	มากกว่า 2000	2000-3000-5000 (x)	Performance of visual task of low contrast and very small size Prolonged period
		5000-7500-10000 (x)	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
		10000 up (x)	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างด้วยหน่วย ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิลแล้ว การกำหนดระดับการส่องสว่าง โดยทั่วไปความคงที่ของปริมาณความส่องสว่างภายในทั่วไปจะวัดจากค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ซึ่งมีค่าร้อยละสำหรับแต่ละกิจกรรม ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง ระหว่าง CIE และ IES(USA) และ
มาตรฐานการกำหนดค่าเดโไลท์แฟคเตอร์ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)
ที่มา : (ก) ชำนาญ ห่อเกียรติ, ดร. ,เทคนิคการส่องสว่าง, หน้า 1-6

(ข) IES, Illuminating Engineering Society : Reference Volume, 1983

(ค) BSI Draft for Development , page 73 : Referenced, Application Manual
window design, page 31

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง(lux) ตามมาตรฐาน CIE (ก)	ค่าการส่องสว่าง(lux) ตามมาตรฐาน IES (ข)	ค่าเดโไลท์แฟคเตอร์ (ร้อยละ) (ค)		
			เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
อาคารทั่วไป					
ทางเดิน	50-100-150	50-75-100	2	0.6	พื้น
บันได บันไดเลื่อน	100-150-200	100-150-200	2	0.6	ลูกนอน
ที่เก็บของ ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	Working Plane
ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	Working Plane
สำนักงาน					
พื้นที่ทั่วไป พิมพ์ดีด	300-500-750	500-750-1000	5	2.5	Working Plane
คอมพิวเตอร์					
เขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	5	2.5	Working Plane
ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500			
โถงทางเข้า		100-150-200	2	0.6	Working Plane
ห้องสมุด					
ที่นั่งหนังสือ	150-200-300	200-300-500	5	1.5	Vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300-500-750	200-300-500	5	1.5	Working Plane
เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	5	2	Working Plane
ห้องประชุม					
อเนกประสงค์	150-200-300	200-300-500	5	2.5	Working Plane

2.5.2 การประเมินค่าแสงสว่างภายในอาคาร

การพิจารณาจากปริมาณค่าความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายในอาคารในตำแหน่งต่างๆพื้นที่ในความสูงที่กำหนดจากระดับพื้นห้องนั้นๆโดยวัดค่าความส่องสว่างออกมาเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (Foot-candle) หรือ ลักซ์ (lux) ซึ่งค่าของความสว่างที่เกิดภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับเวลา

ทิศทางการเปิดช่องแสง หรือ สภาพของท้องฟ้า การให้แสงสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงธรรมชาติ ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติสามารถแยกพิจารณาออกได้เป็น 2 แนวทางคือ

วิธีการประเมินค่าด้วยการคำนวณ (Calculation Method)

วิธีการประเมินค่าด้วยวิธีกราฟฟิค (Graphic Method)

2.5.2.1 วิธีการประเมินค่าด้วยการคำนวณ (Calculation Method) การพิจารณาโดยอาศัยอัตราส่วนของระดับความส่องสว่างของภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance) ภายใต้สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบ (Overcast Sky) ค่าที่ได้เป็นร้อยละซึ่งมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาหรือทิศทางการเปิดของช่องแสง หากแยกการพิจารณาออกเป็นวิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงธรรมชาติโดยทั่วไปแยกออกหลายวิธี แต่โดยหลักและเป็นที่ยอมรับนั้นมี 2 วิธีคือ

- วิธีเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor Method (Sky Factor or Split Flux Method)
- วิธีลูเมน Lumen Method (Lumen Input Method or Total Flux Method)

การคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor Method เป็นวิธีการคำนวณระดับการส่องสว่างภายในอาคารที่นิยมแพร่หลายในประเทศอังกฤษและประเทศแถบยุโรป แต่ละประเทศได้มีการกำหนดกฎหมายในการคำนวณที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้อ้างอิงในการคำนวณ วิธีนี้ได้รับการพัฒนาในหลายประเทศทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยองค์ประกอบสภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกันทำให้มีการพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อการคำนวณแตกต่างกันออกไปเพื่อให้ใช้งานได้เหมาะสม สะดวกต่อการใช้งานโดยมีการพัฒนาการต่อเนื่องมาตามอันดับและหน่วยงาน CIE (International Commission on Illumination) ใช้วิธีนี้เป็นมาตรฐานในการคำนวณ

หลักการของการคำนวณด้วยวิธีเดไลท์แฟคเตอร์จะเป็นวิธีการที่กำหนดขึ้นจากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคารในระนาบพื้นผิว (Illuminance at Point of a Surface of the Interior , E_i) หน่วยเป็น ลักซ์ ต่อค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร (External Illuminance, E_e) หน่วยเป็น ลักซ์ ในระนาบเดียวกัน โดยความสว่างที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามวันเวลา โดยมีสมการมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$DF_o = (E_i / E_e) \times 100 \dots\dots\dots(2.29)$$

$$DF (\%) = \frac{\text{ค่าความส่องสว่างภายในอาคาร} \times 100}{\text{ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดดตรง)}} \dots\dots\dots(2.30)$$

ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคาร (ไม่คิดแสงแดดตรง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลักษณะท้องฟ้า ใกล้เคียงลักษณะท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน

หากเดลท์แฟคเตอร์มีค่าเท่ากับร้อยละ 10 จะหมายความว่า พื้นที่ภายในอาคารมีความส่องสว่างภายใน (E_i) ณ จุดอ้างอิง (Station Point) เพียงร้อยละ 10 ของปริมาณแสงภายนอก (E_e) ที่ได้รับภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งที่ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ

การพิจารณหาปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติด้วยวิธีเดไลท์แฟคเตอร์ จะเป็นวิธีการคำนวณที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นกับสภาพท้องฟ้าเป็นหลักซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่างและปริมาณความเข้มของแสง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นที่ (มุมอัลติจูดและ มุมอะซิมุส) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญมีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ

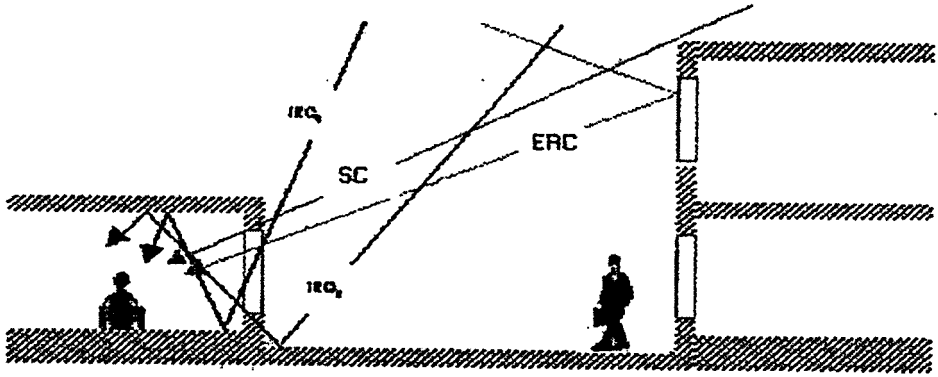
- องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky Component , SC) เป็นแสงธรรมชาติภายนอกที่เข้าสู่อาคารโดยตรง โดยแสงธรรมชาติจะมีปริมาณความส่องสว่างที่มากหรือน้อย ตามสภาพของท้องฟ้าที่แตกต่างกัน เช่นท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (Clear Sky) หรือท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (Completely Overcast Sky)

- องค์ประกอบภายนอก (Externally Reflected Component , ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายนอกหรือบริเวณข้างเคียงอาคาร และสะท้อนวัตถุดังกล่าวเข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงที่เกิดจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้น

- องค์ประกอบภายใน (Internally Reflected Component , IRC) เป็นแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุที่อยู่ในอาคาร จากแสงที่มาจากองค์ประกอบท้องฟ้าและองค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่สะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนแสงนั้นๆ เช่นเดียวกับองค์ประกอบจากแสงภายนอกอาคาร

สมการมาตรฐานค่าเดไลท์แฟคเตอร์ จากตัวแปรขององค์ประกอบข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

$$DF_o = SC_o + ERC_o + IRC_o \dots\dots\dots(2.31)$$



รูปที่ 2.23 แสดงองค์ประกอบของแสงธรรมชาติทั้งหมด (Daylight Factor)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, page 980 .

องค์ประกอบทั้งหมดจะมีค่าสัมประสิทธิ์อันเกิดจากปัจจัยอื่นๆเช่น หากผนังหรือฝ้าเพดานภายในอาคารเป็นบริเวณที่มีการใช้งานมานาน อาจจะมี ความสกปรก ฝุ่น เป็นตัวทำให้ค่าการสะท้อนความสว่างลดลง หรือกรณีของการเพิ่มปริมาณของก๊อนเมฆบนท้องฟ้า หรือกรณีฝุ่นควันอันเกิดจากมลพิษในบริเวณที่ตั้งอาคาร จะทำให้การคำนวณต้องมีการคูณค่าการบำรุงรักษา (Maintenance Factor , MF) เกิดขึ้น ตามสมการดังนี้

$$DF_o = SC_o + ERC_o + \{ (MF) \cdot (IRC_o) \} \dots \dots \dots (2.32)$$

เมื่อ DF_o เป็นค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่ต้องการ

SC_o เป็นค่าองค์ประกอบของท้องฟ้า ซึ่งมาจากค่าความส่องสว่างของแสงบนท้องฟ้า (Incident Skylight) เมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง เช่น แสงที่ตกกระทบในแนวนอนทั้งหมด (Global Illuminance) แสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffused Illuminance) ลบด้วยค่าประสิทธิภาพการส่องผ่านช่องเปิด (Efficiency of Void) เช่น วัสดุที่ใช้ทำช่องเปิด ชนิดสารเคลือบวัสดุช่อง เปิด ความหนาของวัสดุ คุณภาพของวัสดุ ความสะอาด และตำแหน่งและทิศทางการติดตั้ง

ERC_o เป็นค่าองค์ประกอบภายนอก (Externally Reflected Component) ได้แก่ค่าระดับความเข้มของแสงสว่างท้องฟ้า (Skylight Illuminance) คูณกับค่าการสะท้อนของอาคารข้างเคียง สิ่งแวดล้อม พื้นที่ตั้ง (Reflection of the Obstruction)

IRC_o เป็นค่าองค์ประกอบภายใน (Internally Reflected Component) ได้แก่ค่าสะท้อนความสว่างจากส่วนต่างๆภายในอาคาร ทั้งผนัง ฝ้าเพดาน ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าค่า Daylight Factor, DF นั้นไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของแสงที่แน่นอน แต่ก็เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่หรือการทำงานใดๆมีความเหมาะสมเพียงใด เพียงพอหรือไม่ มีการกำหนดช่วงค่า DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ ตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่ต่างๆ

ที่มา : Millet and Bedric (1980) ,referenced Mechanical and Electrical Equipment for Building 8th Edition,page197

การใช้งาน	ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (ร้อยละ)
การอ่านหนังสือ การทำงานในช่วงเวลาปกติที่ไม่ได้มีการใช้สายตาในกิจกรรมหนึ่งๆนานเกินไป	1.5 – 2.5
การอ่านหนังสือ หรือการใช้สายตาในการทำงานในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย	2.5 – 4.0
การทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้	4.0 – 8.0

นอกจากนี้ในการคำนวณแสงธรรมชาติที่มาจากด้านบนอีก โดยทั่วไปสำหรับการเปิดช่องรับแสงที่มีขนาดใหญ่ยอมให้ปริมาณแสงสว่างที่มาก ดังนั้นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเดไลท์แฟคเตอร์กับขนาดช่องแสงรวมทั้งปริมาณพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการให้แสง เพราะจะทำให้ได้รับปริมาณแสงที่สม่ำเสมอซึ่ง สำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ของการให้แสงจากทางด้านบนหรือจากหลังคามีดังนี้ (R.G.Hopkinson,1996) คือ

$$\text{Aver. DF (\%)} = \frac{F * Cu * Ag}{\text{Floor Area}} * 100 \dots\dots\dots(2.33)$$

- เมื่อ Aver. DF เป็นค่าเฉลี่ยของเดไลท์แฟคเตอร์
- F เป็นค่า "Window Factor" ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงสว่างผ่านช่องแสงกระทบกับสิ่งกีดขวางขึ้นภายในอาคาร
- Cu เป็นค่า "Coefficient of Utilization" คือ อัตราส่วนระหว่างแสงที่ตกกระทบลงสู่บริเวณที่ได้อ้างอิงเทียบกับแสงที่เข้ามาทางช่องแสงทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ag	เป็นปริมาณเนื้อที่ของกระจกบริเวณช่องแสง หน่วยตารางฟุต
Floor Area	เป็นปริมาณเนื้อที่ของพื้นที่อ้างอิงทั้งหมด หน่วยตารางฟุต

สำหรับหลังคาที่ไม่มีสิ่งกีดขวางภายใน ค่า F จะมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนค่า Cu จะขึ้นกับชนิดของช่องเปิดหลังคาและค่าการสะท้อนแสงภายในของวัสดุ

ในการคำนวณหาปริมาณแสงนั้นยังต้องหาค่าความสม่ำเสมอกระจายแสง (Uniformity Ratio) ซึ่งเป็นค่าแสดงผลการกระจายความสม่ำเสมอของแสง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความแตกต่างของความสว่างให้น้อยที่สุดเพื่อช่วยในการปรับสายตาของผู้ใช้พื้นที่ และลดแสงบาดตา นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการควบคุมอุณหภูมิสีของแสง และการมองเห็นที่ชัดเจน อัตราความสม่ำเสมอของการกระจายแสงนั้นสามารถคำนวณได้โดย การใช้ค่า DF (DF_{min}) ค่าต่ำที่สุดของพื้นที่ที่ได้รับแสงหารด้วย ค่า DF (DF_{av}) เฉลี่ย จะเป็นอัตราความสม่ำเสมอการกระจายของแสงตามสมการดังนี้

$$\text{UR} = \text{DF}_{\min} / \text{DF}_{\text{av}} \dots\dots\dots(2.34)$$

การคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีลูเมน Lumen Method เป็นการพิจารณาค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่งในระดับที่กำหนดภายในอาคารอันเนื่องมาจากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องเปิด หรือช่องแสงเข้ามาในขณะนั้น เป็นวิธีที่ IES (USA) นิยมใช้กันมากและประเทศในแถบทวีปอเมริกา การพิจารณานั้นแตกต่างจากวิธีเดโกลท์แฟคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือห้องขนาดใหญ่ เช่น โรงงาน (Biesele, 1953) ซึ่งปริมาณของแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคารและพื้นผิวภายในอาคารมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารน้อยมาก หมายถึงระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้วิธีนี้ได้ หากห้องที่พิจารณามีพื้นที่ขนาดเล็ก ปริมาณแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร เช่น พื้นดินและแสงสะท้อนจากพื้นผิวภายในเช่น ฝ้าเพดานจะมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในห้องนั้นๆ จึงต้องพิจารณาด้วยวิธีลูเมน รวมไปถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติเข้าไว้ด้วย

การพิจารณาด้วยวิธีลูเมน ไม่จำเป็นต้องทราบค่าความส่องสว่างที่ทุกตำแหน่งภายในอาคารโดยทั่วไปสามารถพิจารณาเพียง 3 จุด (Station Point, SP.) ซึ่งอยู่กลางห้องในแนวตั้งฉากกับช่องเปิด ตามรูปที่ ๒ และกำหนด SP_{max}, SP_{mid} และ SP_{min} โดยที่

SP_{max} เป็นตำแหน่งที่ห่างจากช่องเปิดระยะ 5 ฟุต ที่ระดับความสูง 0.75 เมตร
ระดับพื้นที่ทำงาน (Working Plane)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SP_{.mid} เป็นตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของห้อง ที่ระดับพื้นที่ทำงาน (Working Plane)
- SP_{.min} เป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากผนังด้านตรงข้ามกับช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุตที่ระดับพื้นที่ทำงาน (Working Plane)

ซึ่งจะหาค่าความส่องสว่างที่ได้กำหนดให้เป็น E_{max} , E_{mid} และ E_{min} โดยที่

- E_{max} เป็นค่าความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP_{.max}
- E_{mid} เป็นค่าความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP_{.mid}
- E_{min} เป็นค่าความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) ที่วัดค่าได้ที่ SP_{.min}

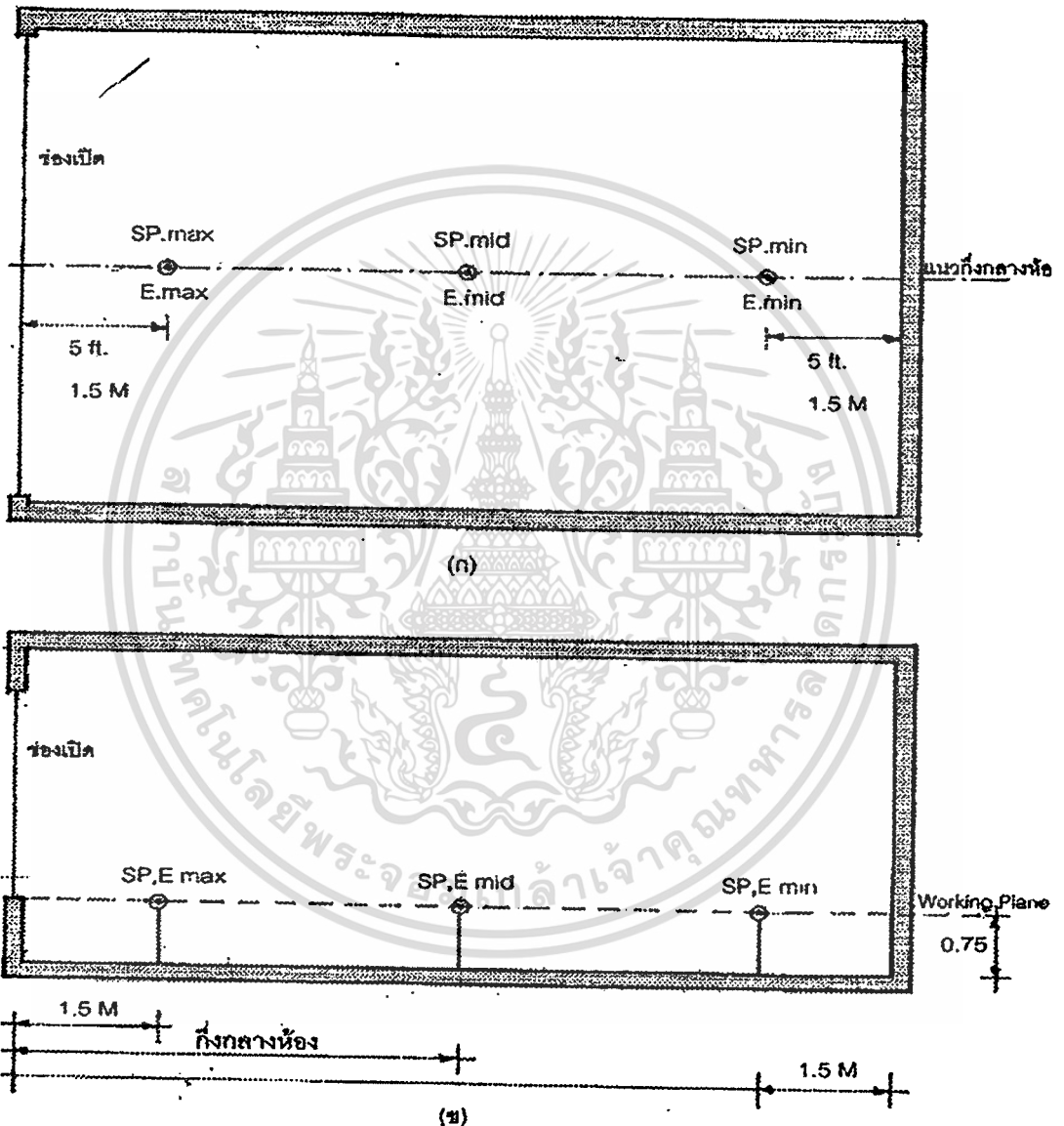
และมีการพิจารณาปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคุณภาพการส่องสว่างดังนี้

- ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดเหนือระนาบที่พิจารณา โดยที่พิจารณาตัวแปรของแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติคือ ดวงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงได้แก่
 - ค่าความสว่างและสภาพของท้องฟ้า
 - มุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิด
 - ปริมาณความเข้มของแสงแดด (Intensity of Sunlight) โดยไม่รวมแสงแดดที่ส่องเข้าสู่ภายในห้อง
- ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดต่ำกว่าระนาบพิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้
 - ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) หรือท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky) โดยที่กำหนดให้ EGH,c คือค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง EGH,o คือค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้ท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบ
 - ค่าการสะท้อนแสงของดิน (Pgr.)
- ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้
 - พื้นที่ของกระจกของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านได้ (Ag)
 - ค่าการส่งผ่านแสงของวัสดุที่เป็นช่องแสง (Tg)
 - อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ช่องแสงสามารถส่องผ่านได้ต่อพื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด
 - ความสกปรกของช่องแสงซึ่งมีผลต่อการส่องผ่านแสงอันเนื่องมาจากการสะสมของฝุ่น หรือ Dirt Collection (Dg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปริมาณแสงที่สามารถนำมาใช้งานและการกระจายของแสงในระดับพื้นที่ทำงาน (Working Plane) โดยพิจารณาดังนี้

- การกระจายตัวของแสงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของผิววัสดุภายในห้อง
- อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องเปิด
- อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว ต่อความสูงห้อง



รูปที่ 2.24 แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามแบบวิธีลูเมน (Lumen Method)

ก. ผังพื้นแสดงตำแหน่ง SP และ E ข. รูปตัดแสดงตำแหน่ง SP และ E

การพิจารณาด้วยวิธีลูเมน Lumen Method ถือว่าระดับของช่องเปิดที่อยู่บนระดับเท่ากันหรือสูงกว่าระดับทำงาน เท่านั้นจะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในระดับทำงาน ส่วนช่องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดที่อยู่ระดับต่ำกว่าถือว่า มีผลน้อยมาก และความกว้างของช่องแสงถือว่ามีความกว้างเท่ากับ ความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีลูเมน มีสมการ มาตรฐานในการคำนวณดังนี้

$$\text{Esp} = \text{Ee} \times \text{Ag} \times \text{Tg} \times \text{Cu} \dots \dots \dots (2.35)$$

- เมื่อ Esp เป็นค่าระดับความส่องสว่างภายในที่จุดใดๆที่พิจารณา
 Ee เป็นค่าระดับความส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าหรือจากพื้นดินที่ตกกระทบ พื้นผิวแนวตั้ง
 Ag เป็นพื้นที่ส่วนของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้
 Tg เป็นค่าการส่องผ่านของวัสดุช่องเปิด
 Cu เป็นค่า "Coefficient of Utilization" หรือค่าความสามารถในการนำแสงมาใช้

อย่างไรก็ตามในการพิจารณาค่า Cu สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ จุดใดๆในห้องต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิด ซึ่งประกอบด้วย แสงที่เกิดจากท้องฟ้าและแสงที่เกิดจากการสะท้อนของพื้นดินดังนั้นค่า Cu จึงถูกพิจารณา ออกเป็นสองส่วนคือ องค์ประกอบของขนาด รูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณา สัดส่วนของห้องในระดับระนาบที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และ องค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้อง ค่าสะท้อนแสงของผนัง เป็นการ พิจารณาสัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย K

ส่วนค่าการส่องสว่างภายนอกพิจารณา Egv จะพิจารณาเป็นสองส่วนเช่นเดียวกันคือ ค่าการส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าโดยมีทิศทางจากบนลงล่าง (Downward) เมื่อเทียบกับช่อง เปิดแทนด้วย Esv และค่าการส่องสว่างภายนอกอันเนื่องมาจากแสงสะท้อนจากพื้นดินมีทิศทาง จากล่างขึ้นบน (Upward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย Egv

ดังนั้นค่า C และ K ก็จะถูกพิจารณาแยกตามการส่องสว่างภายนอก คือ Cs, Cg และ Ks, Kg ทำให้สมการที่ 2.35 กลายเป็น

$$\text{Esp} = [\text{Esv} \times \text{Ag} \times \text{Tg} \times \text{Cs} \times \text{Ks}] + [\text{Egv} \times \text{Ag} \times \text{Tg} \times \text{Cg} \times \text{Kg}] \dots \dots \dots (2.36)$$

เมื่อ Cs, Cg เป็นค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานตามความกว้าง , ยาวของห้อง และค่าการสะท้อน แสงของผนังต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิดเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพื้นดิน

K_s , K_g เป็นค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานตามความสูงของฝ้าเพดาน และค่าการสะท้อนแสงของผนัง ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิดอันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้าและพื้นดิน

เนื่องจากค่า C , K แปรผันตามขนาดของห้อง ดังนั้น การหาระดับความส่องสว่างที่จุดใดๆสามารถเทียบกับปริมาณแสงสว่างมาตรฐานที่ต้องการใช้งานทำให้ทราบว่า ณ จุดต่างๆภายในห้องมีแสงสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติเพียงพอหรือไม่ ซึ่งอาจจะต้องใช้แสงประดิษฐ์มาช่วยเสริมระดับความสว่างให้เพียงพอกับการใช้งาน

ซึ่งค่า C , K จะมีค่าคงที่ภายใต้สภาพท้องฟ้าหนึ่งๆ ดังนั้นในการพิจารณาค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจะต้องพิจารณาถึงลักษณะท้องฟ้าแต่ละสภาพ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบ (Overcast Sky) ปริมาณควมสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งและพื้นดินหน่วยเป็นฟุตแคนเดิลจากสมการที่ 2.36 จะหาได้จากสมการ

$$E_{s.o} = E_{g.v.o} - [E_{g.h.o} \times 0.1] \dots \dots \dots (2.37)$$

$$E_{g.o} = E_{g.h.o} \times 0.1 \dots \dots \dots (2.38)$$

- เมื่อ $E_{s.o}$ เป็นค่าความสว่างจากท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบ ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง
 $E_{g.v.o}$ เป็นค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้งภายใต้ท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบ
 $E_{g.h.o}$ เป็นค่าความสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ
 $E_{g.o}$ เป็นค่าความสว่างจากการสะท้อนของพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

สภาพท้องฟ้าแบบโปร่งไม่มีเมฆ (Clear Sky without Sunlight) เนื่องจากไม่มีแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ปริมาณความสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้าและพื้นดินหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล จากสมการที่ 2.36 จะหาได้จากสมการ

$$E_{s.c} = E_{d.v.c} \dots \dots \dots (2.39)$$

$$E_{g.c} = E_{g.h.c} \times 0.1 \dots \dots \dots (2.40)$$

- เมื่อ Edv,c เป็นค่าความส่องสว่างของแสงกระจายจากท้องฟ้าแบบโปร่ง ที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง
- Egh,c เป็นค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ
- Eg,c เป็นค่าความส่องสว่างจากการสะท้อนของพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบโปร่งที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง

สภาพท้องฟ้าแบบโปร่ง "Clear Sky with Sunlight" เนื่องจากมีแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ปริมาณความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้าและพื้นดิน หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล จากสมการที่ 2.36 จะหาได้จากสมการ

$$Es,c = Eg,vc - [Egh,c \times 0.1] \dots \dots \dots (2.41)$$

กรณีพิจารณาโดยถือว่ามีกำบังแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

- เมื่อ Egh,c เป็นค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบในแนวระนาบ
- Eg,vc เป็นค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง

สภาพท้องฟ้าแบบยูนิฟอร์ม "Uniform Sky" ปริมาณความส่องสว่างที่ตกกระทบพื้นผิวในแนวตั้งจากท้องฟ้าและพื้นดิน หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล จากสมการที่ 2.36 จะหาได้จากสมการ

กรณีที่พิจารณาโดยถือว่ามีกำบังแสงแดดโดยตรงไม่ให้ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด

$$Es,u = Eg,u \dots \dots \dots (2.42)$$

กรณีที่พิจารณาสภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาที่บจะหาได้จากสมการ

$$Es,u = 0.05 \times Eg,v \dots \dots \dots (2.43)$$

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆอีก เช่น วิธีวิธีฟลักซ์ (Flux Transfer Method) ,CIE Monograms ซึ่งมุ่งเน้นการคำนวณด้วยค่าแตกต่างของสภาพท้องฟ้า และคิดเพียงเฉพาะการให้แสงทางด้านบน โดยต้องกำหนดขนาด พื้นที่ช่องเปิดด้านบน ระดับทำงาน ระยะขนาดห้อง โดยไม่พิจารณาอุปสรรคอื่นๆ ซึ่งอาจจะไม่เป็นที่นิยมมากนัก

นอกจากนี้ยังมีการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งก็แพร่หลายในหมู่สถาปนิกและวิศวกรพอสมควร เพราะเป็นการคำนวณที่ไม่ใช่เวลามาก เช่น โปรแกรม "Lightscape 3.2" (ซึ่งอาศัยหลักการคำนวณแบบเดไลท์แพคเตอร์โดยแสดงค่าความสว่างภายในเป็นค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ย ภายใต้สภาพท้องฟ้าทั้งสามแบบ ซึ่งค่าดังกล่าวจะ แสดงการกระจายความสว่างบนพื้นผิวด้วย) , "Radiance" , "3D Max 4" หรือ โปรแกรมเกี่ยวข้องอื่นๆทางด้านพลังงานเช่น โปรแกรม "Ecotech", "Enerwin", แต่การใช้โปรแกรมดังกล่าวมีข้อจำกัดอยู่หลายด้าน เช่น การทดสอบการคำนวณจะต้องใช้โปรแกรมอื่นในการเขียนแบบและสร้างหุ่นจำลอง เพื่อนำเข้าไปคำนวณในโปรแกรม เช่น "Autocad 2000" , "Architectural Desktop" เพื่อให้ได้ระยะที่แม่นยำ ซึ่งอาจจะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้ยังต้องกำหนดตัวแปรให้แม่นยำ ได้แก่ การสร้างสภาพพื้นผิวภายใน คุณสมบัติของวัสดุ ค่าการสะท้อนของวัสดุทึบแสง ค่าการส่องผ่านของกระจก ฯลฯ

นอกจากนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์บางโปรแกรมยังคำนวณการส่องสว่างจากการจำลอง โคมท้องฟ้าที่มีรัศมีไม่สิ้นสุดไปยังหน้าต่างเป็นแสงกระจายมายังจุดใดจุดหนึ่งที่มองเห็นท้องฟ้าเพื่อดูผลค่าความสว่างภายในเท่านั้น ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าแสงอาทิตย์ตรงและค่าทิศทางของความเข้มแสงหรือถูกคำนวณโดยโปรแกรมเมื่อให้ข้อมูลที่ตั้งของการจำลองสภาพ เวลา สภาพท้องฟ้าซึ่งเป็นจำนวนเมฆปกคลุมท้องฟ้า และค่าอัตราส่วนท้องฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ดี ถึงแม้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะให้ความสะดวกสบายมาก แต่ในบางครั้งการคำนวณที่ต้องการความแม่นยำ ค่าใช้จ่ายน้อย ใช้เวลาไม่มากในระยะเริ่มต้น การคำนวณด้วยสูตรต่างๆก็ยังคงเป็นวิธีที่เหมาะสม

สำหรับการคำนวณการให้แสงสว่างภายในอาคารด้วยแสงประดิษฐ์ โดยทั่วไปมีวิธีการคำนวณ 2 วิธีการ คือ แบบจุดต่อจุด (Point by Point Method) เป็นวิธีหาค่าระดับความสว่างที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยอาศัยกราฟแสดงการกระจายของกำลังเทียนและกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) หาค่าระดับความสว่างที่จุดพิจารณา และแบบการแบ่งส่วนระดับห้อง (Zonal Cavity Method) เป็นการพิจารณาค่าระดับการส่องสว่างของพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วน เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ในแนวตั้งต่อแนวตั้ง หรือที่เรียกว่าอัตราส่วนโพรง (Cavity ratio) ได้แก่ อัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Ratio, CCR) อัตราส่วนโพรงห้อง (Room Cavity Ratio, RCR) และอัตราส่วนใต้พื้นที่ใช้งาน (Floor Cavity Ratio, FCR) แต่อย่างไรก็ดีวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นประเด็นไปที่แสงธรรมชาติซึ่งได้กล่าวมาแล้ว สำหรับรายละเอียดในประเด็นของแสงประดิษฐ์จะไม่กล่าวถึงในที่นี้

2.5.2.2 วิธีการประเมินค่าด้วยวิธีการกราฟิก (Graphic Method)

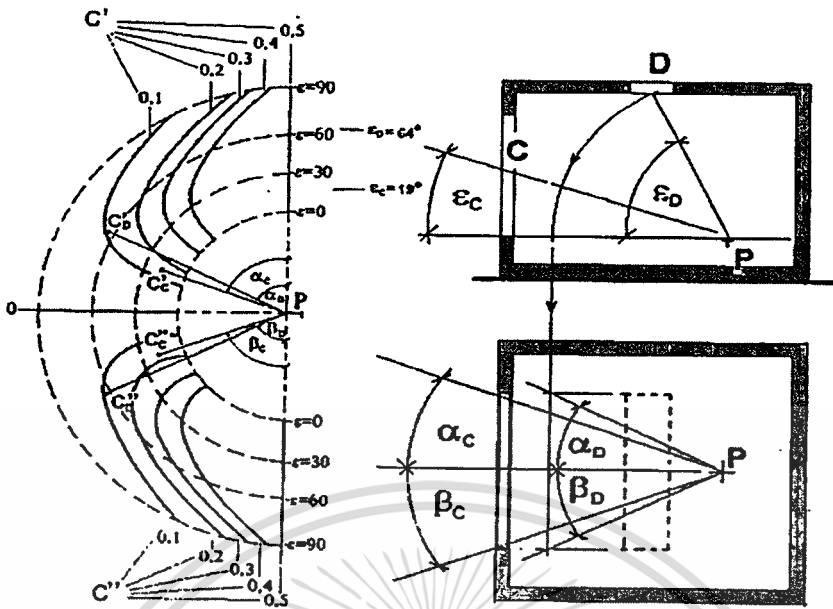
การประเมินค่าการส่องสว่างด้วยวิธีการกราฟิก เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการประเมินอย่างง่ายและคร่าวๆได้ มีหลายวิธีที่นิยมใช้ในทวีปยุโรป ทั้งในประเทศเยอรมนี อังกฤษ แต่ละวิธีมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ของการออกแบบ วิธีที่นิยมในการใช้ประเมินค่าความสว่างมีอยู่ 5 วิธี ดังนี้

วิธีแผนภาพ “กรุน” Grün Method เป็นวิธีประเมินที่มีข้อจำกัดในเรื่องของการคำนึงถึงค่าองค์ประกอบของท้องฟ้า (Sky Component, SC) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับวิธีแผนภาพ ปีอาร์เอส (The BRS Method) แต่แตกต่างกันคือ วิธีนี้จะใช้ได้เฉพาะกับแบบอาคารที่เป็นรูปเรขาคณิตและเข้ามาตรส่วนให้ตรงกับแผนภาพที่ใช้วัด แทนที่จะใช้แผนภาพมาตรฐานเหมือนวิธีปีอาร์เอส นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของแบบจำลองที่ใช้ทดสอบและแผนภาพที่ใช้สำหรับการวัดค่า ช่องเปิดในแบบจะต้องเป็นรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าเท่านั้น ส่วนระนาบอ้างอิงสามารถเปลี่ยนจุดทดสอบได้ สามารถทดสอบได้กับช่องเปิดทั้งที่มีวัสดุกระจกและไม่มีได้

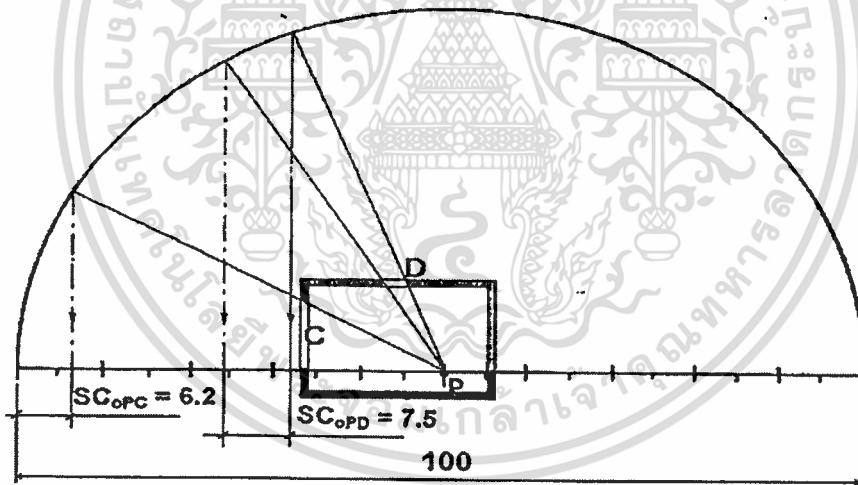
หากพิจารณาภาคตัดห้องที่จะทำการทดสอบห้องหนึ่ง โดยใช้แผนภาพครึ่งวงกลมตามรูปที่ 2.26 ให้ P เป็นจุดที่พิจารณา ให้เส้นระนาบอ้างอิงอยู่ในระดับเดียวกับจุดที่พิจารณา จากนั้นลากเส้นจากจุด P ผ่านทะลุขอบบนของช่องเปิด (จุด C) ออกไปหาท้องฟ้า (ซึ่งเป็นเส้นลากในมุมอัลติจูด) เมื่อลากไปตัดเส้นครึ่งวงกลมของแผนภาพที่จุดใด ให้ลากเส้นในแนวตั้งจากจุดนั้นลงไปตัดเส้นระนาบอ้างอิงด้านล่าง จากนั้นอ่านค่าจากเส้นระนาบอ้างอิง ซึ่งได้กำหนดหน่วยเอาไว้ให้ตรงกับมาตราส่วนของภาคตัดห้องที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นอ่านค่าความสว่างองค์ประกอบท้องฟ้า (SC_o) การพิจารณาสามารถใช้กับช่องเปิดที่มีความยาวมากๆ สำหรับช่องเปิดยาวจะมีค่าแก้อยู่สองค่า (c' , c'') ซึ่งหาได้จากแบบแปลนของห้อง โดยใช้แผนภาพตามรูปที่ จากนั้นนำค่าทั้งหมดมาคำนวณโดยใช้สูตรตามสมการดังนี้

$$SC_p = SC_{op} \times (c' + c'') \dots \dots \dots (2.44)$$



รูปที่ 2.25 รูปแสดงตัวอย่างการใช้แผนภาพแบบ Grun Method

ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 63



รูปที่ 2.26 รูปแสดงตัวอย่างการหาค่าองค์ประกอบท้องฟ้าภายนอก

ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 64

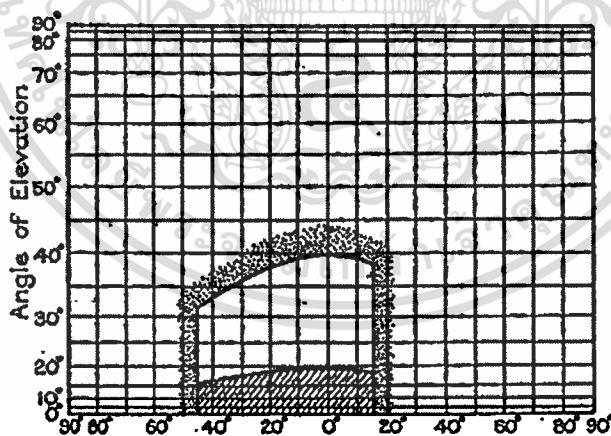
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีแผนภาพ “วาลแดรม” Waldram Diagramme เป็นวิธีประเมินที่รู้จักกันดีในรูปของแผนภาพพื้นที่ที่เทียบเท่า (Equal Area Diagramme) เป็นแผนภาพที่เกิดจากการลากเส้นของครึ่งวงกลม เมื่อระดับมุมอะซิมุส เท่ากับเส้นในแนวระนาบ แต่เส้นในแนวตั้งมีค่าเทียบเท่ากับ $1 - [\cos (2 \times \theta)]$ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.27

สมมติว่าขนาดของแผนภาพมีขนาด 25 X 20 เซนติเมตร ซึ่งมีเนื้อที่ 500 ตารางเซนติเมตร ถ้าหากถือว่าทุกๆตารางเซนติเมตรมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.1 ของค่าส่องสว่างขององค์ประกอบท้องฟ้า (เมื่อให้ท้องฟ้าทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 100 ส่วนครึ่งหนึ่งที่มองเห็นจากช่องเปิดคิดเป็นร้อยละ 50)

พื้นที่ของช่องเปิดทั้งหมดให้เขียนลงในแผนภาพดังรูปที่ ภาคตัดให้เขียนลงบนแผนภาพในแนวตั้ง ส่วนระนาบแนวนอนให้เขียนลงบนแผนภาพ “Droop-lines” ดังรูป2.27 พื้นที่ของช่องเปิดหน่วยตารางเซนติเมตรจะเทียบเท่ากับค่าส่องสว่างองค์ประกอบท้องฟ้า (SC) สำหรับท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบและสามารถใช้กับสภาพท้องฟ้าโปร่ง นอกจากนี้ยังใช้กับช่องเปิดทั้งที่มีกระจกและไม่มีกระจกได้ด้วย

นอกจากนี้ยังสามารถเขียนการสะท้อนแสงจากองค์ประกอบภายนอกได้ ด้วยการเขียนพื้นผิวสะท้อนลงบนแผนภาพซึ่งแสดงในรูป2.27 ซึ่งจะให้ค่าการส่องสว่างที่สะท้อนจากองค์ประกอบภายนอก (ERC)

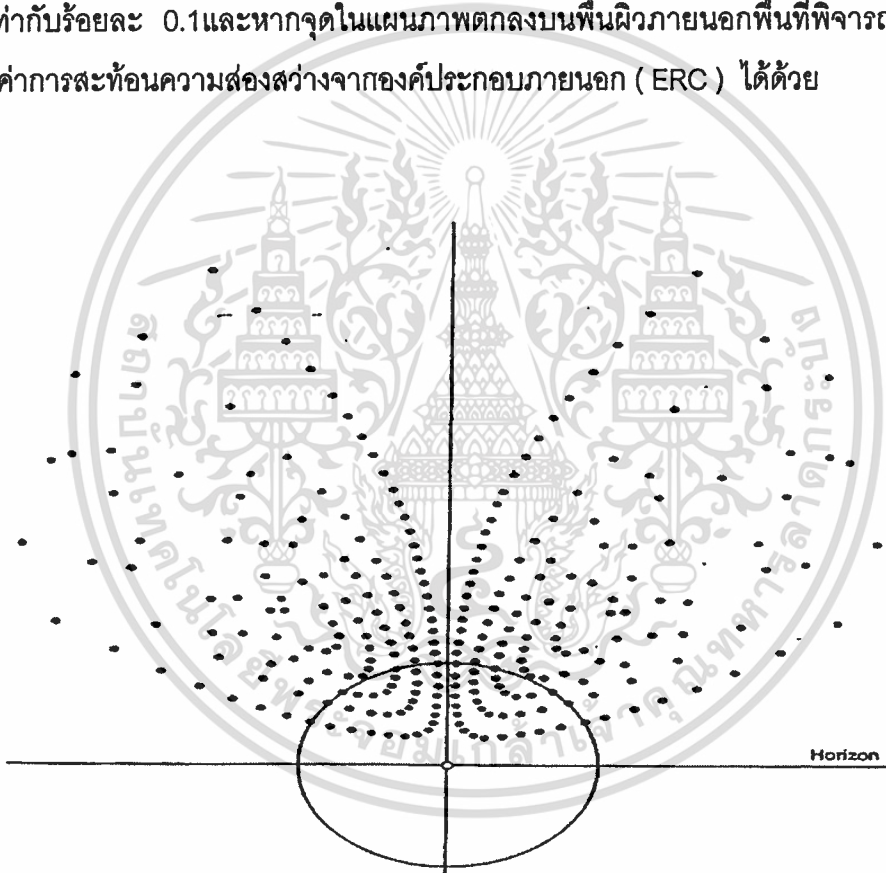


รูปที่ 2.27 รูปแสดงการใช้แผนภาพแบบ วาลแดรม

ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 66

วิธีแผนภาพ “เปเปอร์ พอท” Paper-Pot Diagramme การประเมินด้วยแผนภาพวิธีนี้ ไม่แตกต่างจากการประเมินด้วยวิธี แผนภาพวาลแดรม หากแต่การประเมินด้วยค่าส่องสว่างจากองค์ประกอบท้องฟ้าร้อยละ 0.1 ต่อ 1 ตารางเซนติเมตร ให้เปลี่ยนเป็น ต่อ 1 จุด ในแผนภาพรูปที่ 2.28 เมื่อพิจารณาค่าการส่องสว่างจากธรรมชาติที่จุดใดๆ (P) ขอบเขตของการมองเห็นของพื้นที่ภายในห้องจะถูกกำหนดกำหนดขึ้นจากจุด P พร้อมระยะการมองเห็น จากจุด P ไปยังระนาบที่อ้างอิงในการรับภาพ ซึ่งมีค่าเท่ากับระยะรัศมีของวงกลมที่ปรากฏในแผนภาพ (เมื่อสมมุติว่าขอบเขตของการมองเห็นมีมุมทรงกรวย (Cone of Vision) ที่ 45 องศา

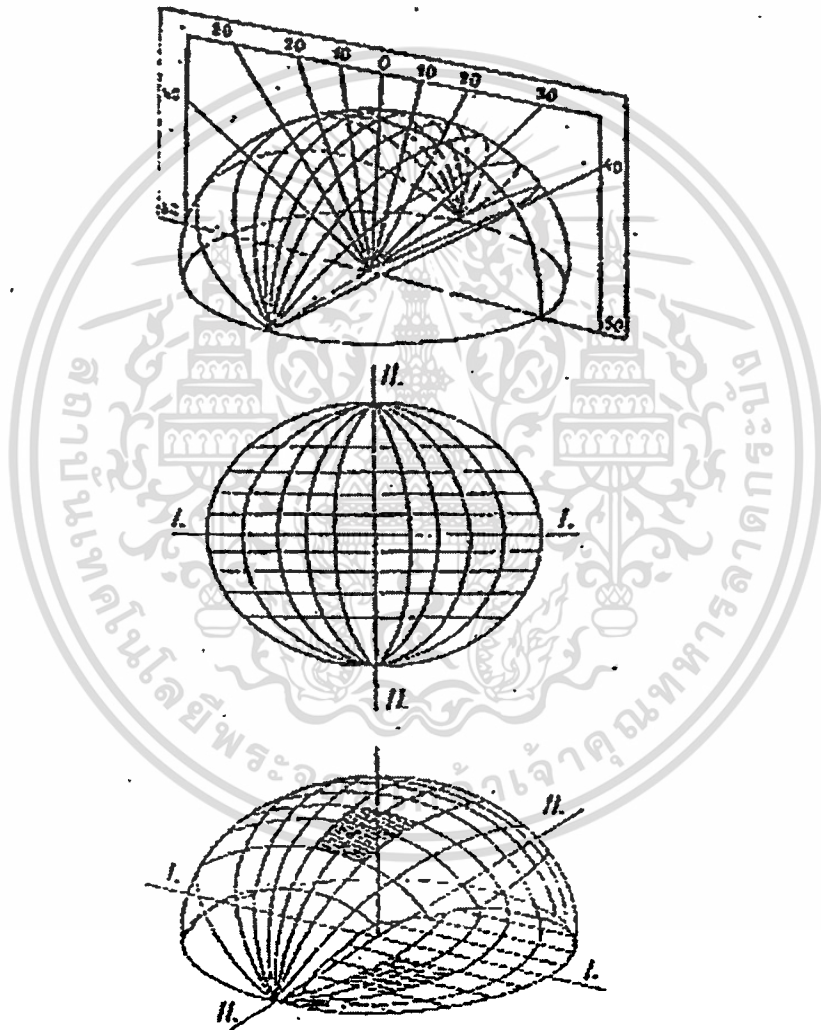
หากนำเอาแผนภาพที่ทำจากแผ่นใสวางทาบบลงเหนือช่องเปิดในแบบทดสอบ แล้วนับจำนวนจุดที่ปรากฏบนขอบเขตของช่องเปิด 1 จุด จะมีค่าการส่องสว่างขององค์ประกอบท้องฟ้า (SC) เท่ากับร้อยละ 0.1 และหากจุดในแผนภาพตกลงบนพื้นผิวภายนอกพื้นที่พิจารณา สามารถคิดเป็นค่าการสะท้อนความส่องสว่างจากองค์ประกอบภายนอก (ERC) ได้ด้วย



รูปที่ 2.28 รูปแสดงแผนภาพแบบ Paper-plot

ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 67

วิธีแผนภาพ “ดานิลุก” The Daniluk Method เป็นแผนภาพที่แบ่งห้วงท้องฟ้าครึ่งทรงกลมออกเป็นพื้นที่ในอัตราส่วนเท่าๆกัน ในลักษณะเส้นแวง หรือเส้นขั้วโลกด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนๆที่เท่ากันโดยใช้เส้นขนานไปกับผิวของห้วงท้องฟ้าครึ่งทรงกลม (ดูรูปที่ 2.29) แผนภาพดังกล่าวใช้ในการวัดพื้นที่ที่ท้องฟ้า หรือพื้นที่สะท้อนแสงสว่างจากภายนอก ซึ่งสามารถมองเห็นได้จากช่องเปิดของจุดที่กำลังพิจารณา การใช้แผนภาพนี้สามารถใช้กับสภาพท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาทึบ หรือยูนิฟอร์ม (Uniform Sky) ก็ได้ ผลที่ได้จะเป็นค่าการส่องสว่างจากองค์ประกอบท้องฟ้า (SC) และค่าการสะท้อนจากองค์ประกอบภายนอก (ERC)



รูปที่ 2.29 รูปแสดง การสร้างแผนภาพแบบ ดานิลุก

ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 67

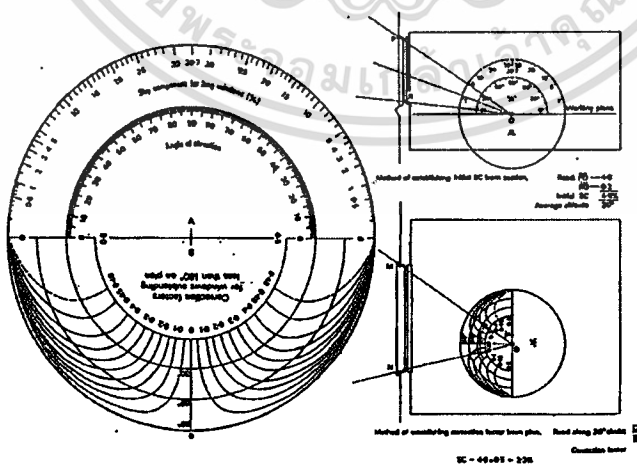
วิธีแผนภาพ “บี อาร์ เอส” The BRS Method วิธีนี้ได้รับการพัฒนาจาก สถานีวิจัยสิ่งก่อสร้างแห่งอังกฤษ (British Building Research Station) ซึ่งปัจจุบันได้ใช้ชื่อว่า องค์การเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจัยสิ่งก่อสร้าง (Building Research Establishment) เป็นแผนภาพการประเมินค่าปริมาณการส่องสว่างที่แพร่หลายและได้รับความนิยมและการยอมรับอย่างสูง ซึ่งมีแผนภาพมาตรวัดมุมสำหรับการวัดค่า 10 ชนิด ในที่นี้ให้นำตัวอย่างแผนภาพมาตรวัดหมายเลข 2 มาแสดงดังรูปที่ 2.30 ชุดเลขคู่ (หมายเลข 1,3,5) แผนภาพมาตรวัดชนิดนี้ ใช้สำหรับท้องฟ้าแบบยูนิฟอร์ม ส่วนชุดเลขคู่ (หมายเลข 2,4,6) ใช้สำหรับท้องฟ้าเมฆปกคลุมหนาที่บ แผนภาพทั้งสองชุดใช้ได้ทั้งในแนวตั้งและแนวระนาบ มุมเพียง 30 หรือ 60 องศาของช่องเปิดทั้งที่มีและไม่มีกระจก

แผนภาพนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วน A ใช้สำหรับวัดหาค่าการส่องสว่างขององค์ประกอบท้องฟ้า (SC) ในรูปตัดของแบบจำลองของพื้นที่ที่พิจารณาพร้อมหาค่าเฉลี่ยมุมอัลติจูดส่วนด้าน B ใช้วัดค่าในแปลน สำหรับค่าแก้ (Correction Factor) สำหรับช่องเปิดที่มีขนาดแน่นอน ซึ่งแสดงในรูป สังเกตว่าในส่วนที่สองจะอ่านค่าในแปลนได้สองค่า (ที่จุด N และ M) ซึ่งหากสองค่านี้ตกอยู่ในด้านเดียวกันของเส้นศูนย์กลางแผนภาพข้างใดข้างหนึ่ง ให้นำค่าแก้ทั้งสองมาบวกรวมกัน แต่ถ้าทั้งสองค่าอยู่คนละด้านของเส้นผ่าศูนย์กลางของแผนภาพ ก็ให้ใช้ผลต่างของค่าทั้งสองเป็นค่าแก้

สำหรับค่าการส่องสว่างขององค์ประกอบจากภายนอก (ERC) ให้คิดรวมเสมือนแฝงในค่าการส่องสว่างจากองค์ประกอบท้องฟ้า

สำหรับการหาค่าการส่องสว่างจากองค์ประกอบภายใน (IRC) นั้นสามารถหาได้จากแผนภาพ โนโมแกรม (The IRC Nomogramme of the BRS) แสดงในรูปที่ 2.30 ซึ่งอธิบายได้เหมือนวิธีกรุน (Grün Method) การประเมินค่าส่องสว่างด้วยวิธีบีอาร์เอส (BRS) เป็นวิธีการประเมินด้วยวิธีแบบกราฟฟิควิธีเดียวที่สามารถหาค่าองค์ประกอบเดไลท์แฟคเตอร์ทั้งสามคือค่าองค์ประกอบท้องฟ้า(SC), องค์ประกอบภายนอก(ERC) และองค์ประกอบภายใน (IRC) ได้



รูปที่ 2.30 รูปแสดงการหาค่าองค์ประกอบภายใน (IRC) ด้วยแผนภาพ โนโมแกรม

ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประเมินค่าการส่องสว่างด้วยวิธีการประเมินค่าด้วยวิธีกราฟฟิค (Graphic Method) นั้นมีข้อจำกัดอยู่มาก ทั้งในเรื่องของมาตราส่วน และค่ายอมรับความผิดพลาด แบบพื้นที่ห้องที่ต้องการทดสอบ ไม่ควรมีความซับซ้อนมากเกินไป บางวิธีสามารถหาค่าได้เฉพาะค่าองค์ประกอบท้องฟ้า(SC) และองค์ประกอบภายใน (IRC) เท่านั้น ดังนั้น การประเมินด้วยวิธีกราฟฟิคจึงเหมาะสำหรับการประเมินผลเบื้องต้นอย่างง่าย สำหรับในการวิจัยครั้งนี้จึงไม่ได้เลือกใช้วิธีการประเมินผลดังกล่าว

2.6 การใช้แสงสว่างธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรม

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ให้แสงสว่างภายในอาคาร นับว่าเป็นการนำแสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาใช้งาน เพราะแสงธรรมชาติได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ การใช้แสงธรรมชาติจึงเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และภาระการทำความเย็นในอาคารได้อีกส่วนหนึ่งด้วย ดังนั้นการศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างเหมาะสม จึงเป็นเรื่องที่สถาปนิกควรให้ความสำคัญควบคู่ไปกับการออกแบบความงามทางสถาปัตยกรรม

2.6.1 องค์ประกอบความต้องการด้านแสงสว่างทางสถาปัตยกรรม

หลักในการให้ความสว่างทางสถาปัตยกรรมนั้น มีจุดหมายเพื่อให้เกิดการสภาพแวดล้อมของการมองเห็นอย่างพอเพียง และมีสภาวะความสบายทางการมองเห็นที่ตรงกับความต้องการ หรือประโยชน์ใช้สอย ของพื้นที่นั้นๆ อย่างเหมาะสม สภาวะสบายทางการมองเห็นนั้น เป็นเงื่อนไขที่สำคัญ ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจต่อการได้รับสภาพแวดล้อมทางการมองเห็นที่ดี

พื้นที่ภายในอาคารจะมีความสว่างตรงกับความต้องการของการใช้พื้นที่ และมีภาวะการมองเห็นที่ดี เมื่อส่วนต่างๆของพื้นที่ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงการให้แสงสว่างอย่างเพียงพอ ตามภาวะสบายทางการมองเห็น ในทำนองเดียวกันกันการคำนึงถึงภาวะความสบายทางอุณหภูมิ และการได้ยินเสียงตามสภาพแวดล้อม

ระดับการให้แสงสว่างมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประเภทของพื้นที่ เพราะเป็นการให้รายละเอียดในเรื่องความแตกต่างของการใช้งานที่ระดับทำงานในพื้นที่ (Working Plane) ซึ่งในการออกแบบให้เกิดภาวะที่เหมาะสม หรือเกิดสภาวะสบายทางการมองเห็นนั้น โดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้

- ค่าระดับความเข้มของการส่องสว่างที่เหมาะสมที่ระดับทำงาน
- ค่าเฉลี่ยการกระจายระดับความเข้มของการส่องสว่างที่สม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการส่องสว่างต่อพื้นที่ที่เหมาะสม
- มีอัตราความจ้าของแสงที่ยอมรับได้
- มีทิศทางการส่องสว่างที่เหมาะสมและลดการเกิดเงาที่ไม่ต้องการ
- มีอุณหภูมิสีต่อการมองเห็นที่ดี
- การให้สีที่เกิดจากการส่องสว่างที่ถูกต้อง

2.6.2 รูปแบบช่องเปิดเพื่อรับแสงธรรมชาติ

แสงสว่างธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคารผ่านช่องเปิดซึ่งอาจจะเป็นหน้าต่าง หรือช่องแสงทั้งจากทางด้านข้างและด้านบน ซึ่งช่องเปิดดังกล่าวอาจจะมีการติดตั้งวัสดุโปร่งใสเช่น กระจก หรือวัสดุโปร่งใส โปร่งแสงประเภทอื่นๆ ช่องเปิดดังกล่าวเป็นขึ้นส่วนหนึ่งในการก่อสร้างและเป็นส่วนหนึ่งของอาคารเพื่อมีหน้าที่ประโยชน์ใช้สอยทั้งในด้านการเปิดรับทัศนียภาพ และการรับแสงสว่างจากธรรมชาติ ให้แก่อาคาร ความเหมาะสมของการเปิดช่องเปิดนอกจากจะต้องคำนึงถึงจำนวนช่องเปิด ขนาดและเนื้อที่แล้ว ลักษณะรูปร่าง รูปทรง และรูปแบบของช่องเปิดก็เป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการพิจารณาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์เพื่อนำแสงเข้ามาใช้ในอาคาร

ช่องเปิดที่กล่าวมา ทั้งที่เป็นหน้าต่าง ช่องแสง ทั้งบนผนัง ฝ้าเพดาน และส่วนต่างๆ ของเปลือกอาคาร ในกรณีที่จะกล่าวต่อไป โครงสร้างของช่องเปิดดังกล่าวพิจารณาเป็น สามส่วน

- วัสดุโปร่งใสของช่องเปิด (Transparent Elements)
- วัสดุโครงสร้าง (Structural Obstruction)
- วัสดุสะท้อนแสง (Light-Reflecting Surfaces)

ลักษณะพิเศษบางประการของช่องเปิดที่มีผลต่อการรับแสงสว่างธรรมชาติ สามารถพิจารณาเพื่อให้ได้แสงสว่างธรรมชาติที่ต้องการมีปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- ตำแหน่งบริเวณที่ตั้งช่องเปิด (Location)

- ขนาดของกรอบช่องเปิดที่พิจารณา (Nominal Dimension) เป็นระยะขนาดของกรอบช่องเปิดที่พิจารณาประกอบด้วยพื้นที่แสงสามารถส่องผ่านได้อยู่ในกรอบของช่องเปิดในหน่วยของโครงสร้าง สำหรับการให้แสงสว่างธรรมชาตินั้น ช่องเปิดด้านข้าง (Side-Lighting) ขนาดของช่องที่แสงสามารถส่องผ่านได้อาจจะไม่น้อยไปกว่าขนาดของช่องเปิดที่พิจารณา อย่างไรก็ตามช่องเปิดด้านบน (Top-Lighting) ขนาดของช่องที่แสงสามารถส่องผ่านได้อาจจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดของช่องกรอบทั้งหมด

- มุมของการติดตั้งช่องเปิดและมุมต่อทิศทางของการติดตั้ง (Angle of Slope and Orientation) มุมของการติดตั้งช่องเปิด (θ) เป็นมุมที่ช่องเปิดติดตั้งวางกระทำบนระนาบ ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางของช่องเปิดให้พิจารณาเป็นมุมระหว่างระนาบ (B) ที่แสงส่องผ่านได้กับแกนทิศเหนือ โดยวัดในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (หรือ มุมอะซิมุสของระนาบปกติ)

- ลักษณะการส่งผ่านการกระจายแสง (The Form of Light Transmission, Direct or Diffuse) นั้นขึ้นกับคุณภาพ คุณลักษณะของวัสดุที่ใช้ในการกรูช่องเปิด เช่นกระจก หรือกระจกฝ้า ซึ่งจะให้ลักษณะการกระจายแสงที่ต่างกัน

- ลักษณะการให้แสงภายในพื้นที่ (Character of Distributing Light in Space) สามารถอธิบายด้วยหลักการการกระจายการส่องสว่างซึ่งขึ้นกันองค์ประกอบของโครงสร้างของช่องเปิด

- ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของช่องเปิด(Efficiency and Aging of Openings) ประสิทธิภาพของช่องเปิดนั้น (η) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณแสง (Luminous Flux) ที่ส่องผ่านเข้ามาพื้นที่ภายในที่กำลังพิจารณา กับปริมาณแสงภายนอกที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุกระจก ซึ่งเป็นการชี้วัดประสิทธิภาพของช่องเปิดในการส่องผ่านของแสงธรรมชาติ บนผิวหน้าวัสดุกระจกของช่องเปิดอาจจะมีผลจากความสกปรกอันเกิดจากคราบฝุ่นซึ่งมีผลเป็นตัวลดความสามารถส่องผ่านของแสง ความสกปรกดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนมลภาวะของสภาพแวดล้อมและอายุการใช้งานของช่องเปิด นอกจากนี้ประสิทธิภาพของช่องเปิดยังขึ้นกับรูปร่างและโครงสร้างของช่องเปิดด้วย นอกจากนี้ตำแหน่งการวางช่องเปิดเพื่อให้ได้มุมมองที่ดีก็เป็นคุณภาพที่สำคัญของช่องเปิดด้วยตำแหน่งของการเปิดช่องจึงเป็นไปได้ทั้งในระนาบแนวตั้งของผนัง และระนาบด้านบนของหลังคา

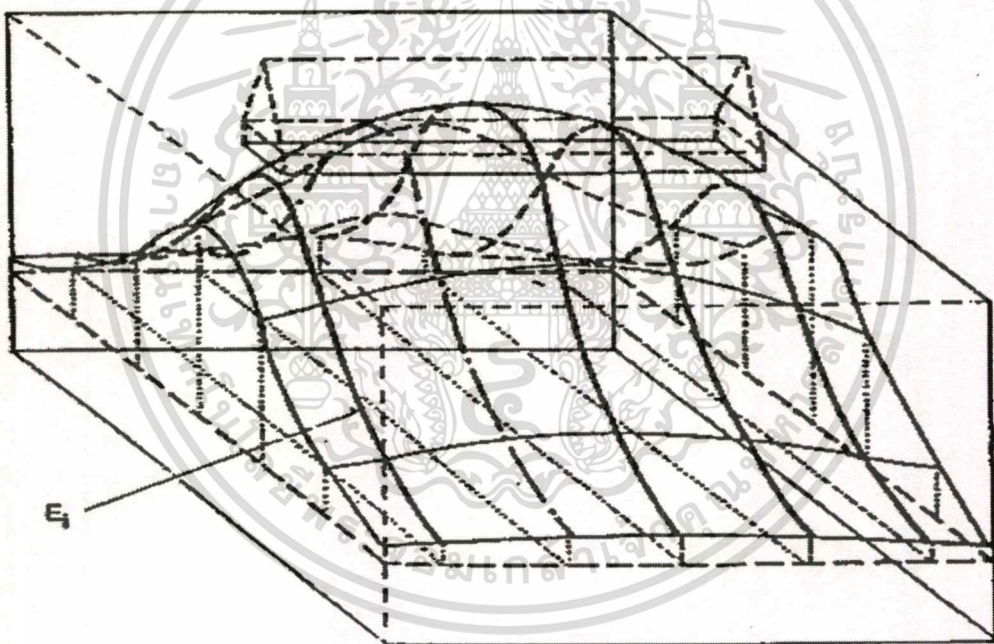
การให้แสงสว่างธรรมชาติกับอาคาร เราสามารถนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาพื้นที่ภายในงานสถาปัตยกรรมได้สองวิธีหลักๆคือ แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side-Lighting) และแสงที่เข้ามาจากทางระนาบด้านบน (Top-Lighting) โดยแสงที่มาจากด้านบนนั้น ถือว่าเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแสงที่มาจากทางด้านข้าง ในแง่ของการให้ความสว่างของที่ว่างภายในอาคาร นอกจากนั้นอาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพของแสงสว่างโดยใช้เทคนิคและอุปกรณ์ช่วยเช่น ไลท์ไปป์ (Light Pipe) หรือระนาบสะท้อนแสง (Light Shelf) เป็นต้น สิ่งที่เราควรระวังคือ แสงธรรมชาติในประเทศไทยนั้นจะมีความเข้มของการส่องสว่างสูง ดังนั้นการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารก็จะต้องมีความร้อนเข้าสู่พื้นที่ภายในอาคารด้วยจึงไม่ควรนำแสงธรรมชาติเข้ามาให้โดยตรง แต่ควรนำแสงสว่างที่สะท้อนจากแสงธรรมชาติโดยตรง (Indirect Light) มาใช้เท่านั้น หรือนำแสงอาทิตย์ที่ผ่านการหักเหหรือสะท้อนก่อนที่เข้าสู่อาคารมาใช้

- แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side-lighting) จะต้องคำนึงถึงเรื่องความลึกของห้องที่ค้อยๆออกห่างจากหน้าต่างและความสูงของช่องหน้าต่าง อย่างไรก็ตามก็ต้องใช้ทั้งความสูง

และความกว้างของหน้าต่างควบคู่กันไป ความสูงของหน้าต่างยิ่งมากแสงที่ส่องเข้ามาภายในอาคารก็ยิ่งลึกและมีการกระจายได้ทั่วสม่ำเสมอ

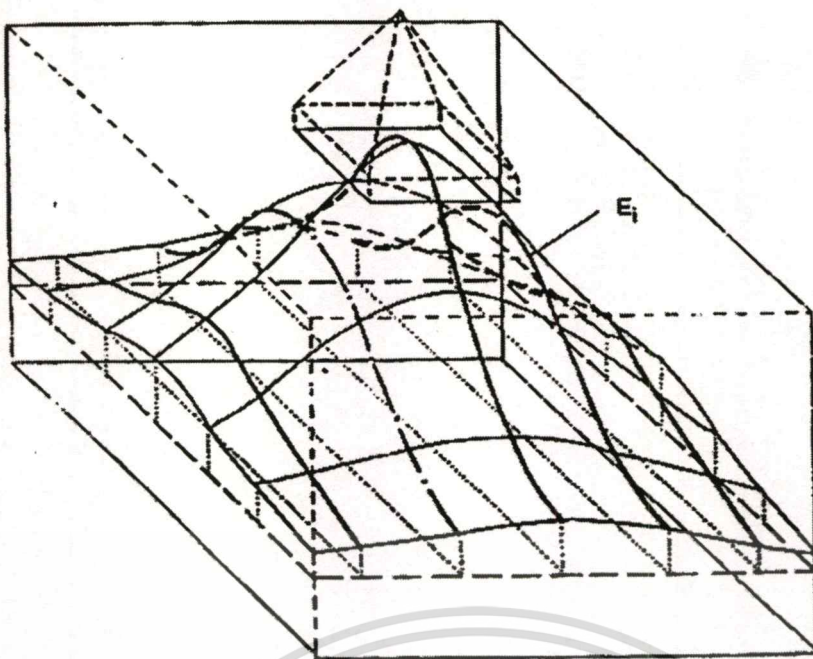
- แสงที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top-Lighting) หากเป็นการให้แสงทางด้านทิศเหนือ จะได้แสงที่สม่ำเสมอและหลีกเลี่ยงการได้รับรังสีความร้อน ส่วนการรับแสงทางทิศใต้มีโอกาสที่จะได้รับรังสีความร้อน (Heat Gain) และเกิดความจ้าของแสง (Glare) เข้ามามาก แต่อาคารโดยมากต้องการแสงทางทิศเหนือเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะภูมิอากาศ ภูมิประเทศ ว่าตั้งอยู่ทางซีกโลกใด นอกจากนี้ยังต้องมีสิ่งทีควรพิจารณาควบคู่กันไปคือ การจัดวางอาคาร การใช้พลังงาน โดยมีรูปแบบของช่องเปิดด้านบนซึ่งสามารถแบ่งวิธีการออกแบบช่องเปิดให้แสงทางด้านบนเป็นสองรูปแบบใหญ่ๆคือ

1. ช่องแสงด้านบนต่อเนื่อง (Linear Toplights)
2. ช่องแสงด้านบนเฉพาะจุด (Localized or spot Toplights)



รูปที่ 2.31 แสดงช่องแสงด้านบนต่อเนื่อง (Linear Toplights)

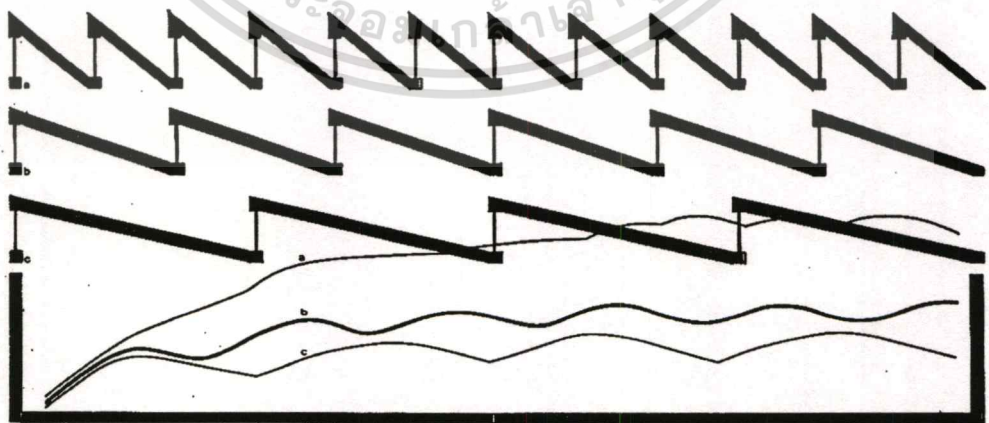
ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 19



รูปที่ 2.32 ช่องแสงด้านบนเฉพาะจุด (Localized or spot Toplights)

ที่มา : András Majors, Daylighting, 1988, page 22

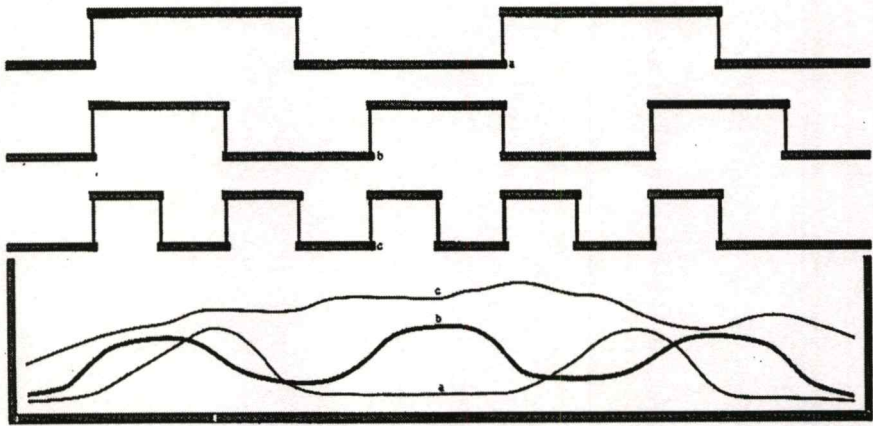
ส่วนลักษณะรูปทรงของช่องเปิดของทั้งสองรูปแบบนั้นมีได้มากมายหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้าง และวัตถุประสงค์ในการให้แสงสว่างจากทางด้านบนที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งรูปทรงของช่องแสงทางด้านบนได้เป็นรูปแบบต่างๆ การให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบน สามารถพิจารณาจากสองทิศทาง คือ ทิศทางตั้ง (Vertical) และทิศทางแนวราบ (Horizontal) ผ่านทางหลังคา (Roof Lighting) ซึ่งมีหลายรูป เช่น สกายไลท์ (Skylight) ฟันเลื่อย (Saw tooth) , หรือหลังคามอนิเตอร์ (Monitor) เป็นต้น แต่ไม่ว่าจะเป็นการให้แสงในลักษณะใด มีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้



รูปที่ 2.33 แสดงช่องแสงในระนาบด้านบนหลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw tooth)

ที่มา : Cladude L, Robbins, Daylighting Design & Analysis, 1986, page101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 แสดงช่องแสงในระนาบด้านบนหลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor)

ที่มา : Cladude L, Robbins, Daylighting Design & Analysis, 1986,page108

ช่องแสงหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth) เป็นรูปแบบการเปิดช่องเปิดในแนวตั้งในทางด้านใดด้านหนึ่งของอาคาร โดยส่วนใหญ่มักจะหันช่องเปิดไปทางด้านเหนือ ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์น้อยที่สุด สำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ที่ละติจูดที่ 14 องศาเหนือ ดวงอาทิตย์จะโคจรไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ถึง 8 เดือน ในรอบ 1 ปี ดังนั้นการออกแบบจึงมักหันช่องเปิดหลังคาฟันเลื่อยไปทางทิศด้านทิศเหนือ เพื่อป้องกันความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์เข้ามา และง่ายต่อการควบคุมแสงจ้า (Glare) แต่ถ้าช่องเปิดหันไปทางทิศอื่นๆ การใช้กันสาด (Overhang) , ครีป (Fin) , กระจกกรองแสง(Diffusing Glass) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือใช้ร่วมกันเพื่อควบคุมปัญหานั้น

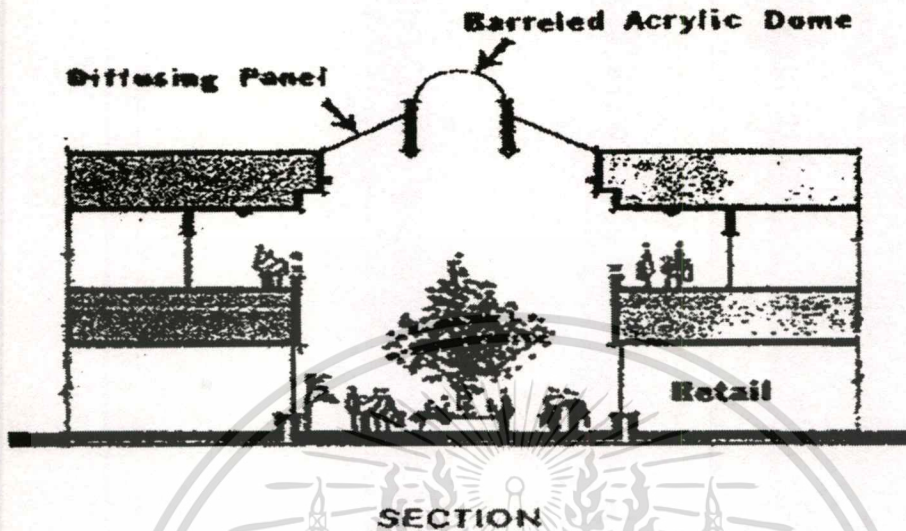
หลังคามอนิเตอร์ (Monitor Roof) เป็นรูปแบบของหลังคาที่ให้แสงเข้ามาได้ทั้งสองด้านขึ้นไป ซึ่งจะออกแบบให้สมมาตรทั้งสองด้านหรือไม่ก็ได้ หากถ้ามีการใช้ร่วมกับอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมในบริเวณที่เปิดรับแสงในด้านทิศต่างๆ จะทำให้การกระจายของภายในของอาคารเกิดความสม่ำเสมอดีขึ้น

สกายไลท์ (Horizontal Skylights) เป็นการเปิดรับแสงด้านบนในแนวราบ (Horizontal Plane) ซึ่งต่างจากรูปแบบการให้แสงจากทางด้านบนแบบอื่นๆที่เน้นการเปิดรับแสงในแนวตั้ง (Vertical Plane) วิธีนี้มีผลกระทบเมื่อพิจารณาคูณสมบัติเรื่องความร้อน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์และปริมาณแสงที่จ้าเกินความจำเป็น โดยทั่วไปการควบคุมความจ้า (Glare Control) และความต้องการการกระจายแสง อาจจะนำเอากระจกกรองแสง (Diffusing Glazing) มาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว แต่จะทำให้ทัศนียภาพของท้องฟ้าเสียไปรวมไปถึงราคาของวัสดุที่ใช้ มีราคาสูงด้วย อย่างไรก็ตามสกายไลท์ (Skylight) ก็เป็นที่นิยมในประเทศเขตร้อน เนื่องจากสภาพอากาศที่เย็นทำให้ผู้ใช้อาคารต้องนำความอบอุ่นจากดวงอาทิตย์มาใช้ภายในอาคาร สำหรับการให้แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านบนอีกรูปแบบหนึ่ง จะให้แสงลาดเฉียงไปตามมุมของหลังคา เรียกว่าเซดรูฟ (Shed Roof) ซึ่งต่างจากสกายไลท์ (Skylight) ตรงที่มันทำให้เกิดการกระจายแสงที่แตกต่างไปเล็กน้อย โดยจะขึ้นอยู่กับมุมเฉียงของหลังคา



รูปที่ 2.35 แสดงช่องเปิดด้านบนแบบสกายไลท์ (Skylight)

ที่มา : Daylighting Performance and Design, page 88

โถงนำแสง หรือไลท์เวล (Light Well) เป็นการเปิดรับแสงด้านบนในแนวราบ (Horizontal Plane) คล้ายกับช่องแสงแนวระนาบหรือสกายไลท์ (Horizontal Skylights) แต่มีผนังด้านข้างภายใน ซึ่งทำให้เกิดเป็นพื้นที่ลักษณะช่องเปิดโล่ง เรียกว่าช่องโถง หรือ เวล (Well) ซึ่งเป็นช่องรับแสงสว่างธรรมชาติจากด้านบนไลท์เวล (Light Well) มีทั้งความลึกและการสะท้อนแสงของพื้นผิว Light Well มีความสำคัญต่อการนำแสงเข้ามาภายใน รูปร่างของเวล (Well) มีความสำคัญต่อการกระจายแสงและการส่องแสงจ้า (Glare) เมื่อมองจากข้างล่างขึ้นมา ดังนั้นจึงต้องมีการคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากกระจกกรองแสง (Diffusing Glass) และพื้นที่ที่กว้างระหว่างสกายไลท์ (Skylights)

เมื่อพิจารณาลักษณะเฉพาะในแต่ละรูปแบบ เพื่อหารูปแบบที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารในประเทศไทย ที่อยู่อยู่ในภูมิอากาศร้อน ซึ่งเป็นเขตที่มีสภาพอากาศภายนอกร้อนเกือบตลอดปีและมีความส่องสว่างภายนอกสูงเกือบตลอดปีเช่นกัน ซึ่งเป็นสภาวะไม่น่าสบาย (Discomfort Zone) ดังนั้นความเย็นสบายและปริมาณแสงที่พอดีกับการใช้งาน จึงเป็นสิ่งที่คุณใช้อาคารต้องการมากที่สุด รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่มีความเหมาะสมที่จะใช้กับอาคารในเขตร้อน จึงควรจะเป็นรูปแบบที่สามารถลดอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นที่มาของความร้อนและความจ้า ที่จะเข้าสู่ภายในอาคารได้ จากรูปแบบต่างๆพบว่ารูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลดังกล่าว มีอยู่ สอง แบบคือ รูปแบบช่องเปิดแบบหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth) กับรูปแบบช่องเปิดแบบมอนิเตอร์ (Monitor)

จากรูปแบบทั้งสองข้างต้น พบว่ารูปแบบช่องเปิดแบบมอนิเตอร์ (Monitor) มีลักษณะการเป็นช่องเปิดเพื่อรับแสงธรรมชาติได้หลายด้าน หรือโดยรอบทุกด้านก็ได้ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของช่องเปิดในการเปิดรับแสงธรรมชาติ มากกว่ารูปแบบฟันเลื่อย (Saw tooth) ที่มีการเปิดรับแสงเพียงด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ จึงใช้รูปแบบมอนิเตอร์ (Monitor) มาพัฒนารูปแบบช่องเปิดเพื่อลดอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งละติจูดที่ 14 องศาเหนือ นำมาเปรียบเทียบกับแบบฟันเลื่อย (Saw tooth) เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมให้การให้แสงธรรมชาติ สามารถให้ความสม่ำเสมอในการกระจายแสงได้ดี ลดการเกิดเงา และไม่เกิดการบังเงา

2.6.3 ปัญหาในการนำแสงธรรมชาติมาใช้สำหรับภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Daylight and Problem of Utilization in Hot Humid Climate)

แสงจากดวงอาทิตย์จะมีทิศทางกระจายไปทั่วท้องฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณและสภาพการกระจายตัวของเมฆเป็นหลัก เป็นหลัก (Cloudiness Factor) ในเขตหนาวจะมีปริมาณเมฆบนท้องฟ้า เรียกว่าท้องฟ้ามีด (Overcast Sky) จะมีปริมาณแสงค่อนข้างคงที่ สำหรับประเทศในเขตร้อนชื้นมักจะมีปริมาณเมฆบนท้องฟ้าปานกลางจนถึงน้อยมากเรียกว่าท้องฟ้ามีเมฆ (Partly Cloudy Sky) ซึ่งมีปริมาณแสงสว่างที่ไม่ค่อยคงที่ ส่วนอีกสภาพหนึ่งเป็นท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งมีปริมาณแสงที่คงที่และความเข้มสูง ในกรณีของท้องฟ้าที่มีเมฆ ความคงที่ของแสงจะไม่แน่นอนสลับกันไปมา เมื่อถูกแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Sunlight) ปริมาณส่องสว่างอาจถึง 10,000 ฟุตแคนเดิล แต่ในขณะที่แสงสะท้อน (Diffused Sunlight) ปริมาณความส่องสว่างอาจลดลงเหลือเพียง 2,000 ฟุตแคนเดิล เท่านั้น ดังนั้นในการออกแบบแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารจึงต้องคำนึงถึงความคงที่สม่ำเสมอของแสงที่เกิดขึ้น เพราะมีผลต่อการประกอบกิจกรรมภายในอาคาร ในบางครั้งตำแหน่งของแสงอาทิตย์ (Direct Sunlight) ก็สามารถที่จะส่องตรงไปยังบริเวณพื้นที่ใช้งานได้ เป็นสาเหตุให้เกิด สภาพที่ไม่สบายต่อสายตา (Visual Uncomforted) ขึ้นได้ และยังทำให้ประสิทธิภาพในการมองเห็นลดลง การให้แสงสว่างธรรมชาติเข้าไปในอาคารนั้นควรจะมีการออกแบบที่เหมาะสม เช่น การออกแบบช่องเปิดเพื่อให้ได้รับแสงนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดช่องเปิดด้วยหากช่องเปิดมีขนาดใหญ่มากปริมาณแสงที่เข้ามาก็มาก แต่ก็มีความร้อนเข้าสู่อาคาร ดังนั้น การออกแบบช่องเปิดควรที่จะมีขนาดที่เหมาะสมที่แสงสว่างเข้ามาได้อย่างพอเพียง มีความร้อนเข้ามาน้อยและกำหนดตำแหน่งการให้แสงสว่างในพื้นที่ๆต้องการ รวมทั้งไม่ก่อให้เกิดการ

รบกวนต่อบริเวณที่ทำงาน การให้แสงสว่างในทิศเหนือ – ใต้ (North – South Lighting) จะไม่ก่อให้เกิดแสงแดดตรง (Direct Sunlight) ตลอดปี ยกเว้นแต่ในตอนเช้าและเย็นของเดือนในฤดูร้อน แต่สำหรับในเขตภูมิอากาศเขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย พบว่าการเปิดหน้าต่างทางเหนือ จะได้รับประสิทธิภาพของแสงสว่างที่มีคุณภาพกว่าทางทิศใต้ เพราะแสงสว่างจากทางทิศเหนือมีปริมาณความเข้มของแสงที่มีความคงที่และไม่รุนแรงเท่ากับแสงสว่างจากทางทิศใต้ เมื่อมีปริมาณความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่น้อยกว่าก็ย่อมนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้น้อยกว่านั่นเอง ส่วนการเปิดหน้าต่างรับแสงทางทิศใต้นั้น แม้ว่าจะได้ปริมาณความส่องสว่างตลอดทั้งปีที่มีมากกว่าทิศเหนือ เนื่องการโคจรของดวงอาทิตย์อ้อมทางทิศใต้ 8 เดือน ในขณะที่อ้อมทางทิศเหนือเพียง 4 เดือน แต่ก็เป็นแสงที่มีความเข้มของรังสีสูงและมีความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารได้มากกว่า ถึงแม้ว่าจะมีการพิจารณาบังเงา (Shading Devices) ให้แก่ช่องหน้าต่างในส่วนนี้ซึ่งต้องการการบังเงาทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง บังเงาในแนวนอนเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมอัลติจูด (Altitude) ที่สูง (ตอนสายถึงบ่าย) และบังเงาในแนวตั้งเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมอัลติจูด (Altitude) ที่ต่ำ (ตอนเช้าและตอนเย็น) แต่ก็เป็นการบังปริมาณความส่องสว่างจากดวงอาทิตย์ไปด้วยเป็นสาเหตุให้ภายในอาคารได้รับแสงธรรมชาติไม่เพียงพอ ต่อการทำงาน

ปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทยนั้น จะมีฤดูร้อน ฤดูฝน เป็นต้น รวมทั้งองค์ประกอบท้องฟ้า เช่น ปริมาณเมฆ ฯลฯ ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติในเขตภูมิอากาศเขตร้อนชื้นมาใช้ จะต้องมีความระมัดระวังและรอบคอบเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของปริมาณความสว่าง (Brightness) ของท้องฟ้าจะมีปริมาณที่สูงเนื่องจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวเหนือศีรษะ หรือตั้งฉากกับพื้นโลกมากกว่าในเขตภูมิอากาศหนาว ดังนั้นการกำหนดปริมาณแสงที่จะเข้ามาภายในอาคาร ต้องเป็นไปตามความต้องการที่จะใช้งานเท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร ในกรณีที่แสงธรรมชาติเข้ามาสู่ภายในอาคารเกินความจำเป็นการใช้งาน ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานตามมา จากภาระการปรับอากาศ และความร้อนสู่สภาพแวดล้อมได้

ดังนั้นสำหรับประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น (Hot- Humid Climate) การประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ ควรต้องมีหลักการดังนี้

- หลีกเลี่ยงแสงตรงจากดวงอาทิตย์ โดยเน้นการใช้แสงสว่างที่ได้จากการสะท้อนจากดวงอาทิตย์ (Diffused Light)
- ขนาดของช่องเปิด ไม่ควรมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น คือมีขนาดพอดีต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน

แนวทางที่จะนำแสงเข้าสู่ภายในอาคาร เพื่อหลีกเลี่ยงแสงแดดตรง จึงควรออกแบบอาคารให้มีระดับของขอบวงกบล่างของช่องเปิดสูงกว่าระดับสายตา หรือสร้างการบังเงาให้กับ

บริเวณพื้นที่ช่องเปิดอาคาร เพื่อควบคุมความสว่างและการสะท้อนของแสงภายนอกที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับประเทศไทย แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจคือ การให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบน (Top Lighting) ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้การกระจายของแสง ดีกว่าแสงที่ผ่านช่องเปิดด้านข้าง (Side Lighting) นอกจากนี้แสงทางด้านบน ยังจะช่วยลดปัญหาในการเกิดแสงจ้าหรือแสงบาดตา และอาจเลือกใช้ระเบียงหรือแผงกันแดดในแนวตั้งหรือแนวนอน เพื่อควบคุมปริมาณและทิศทางของแสงธรรมชาติที่จะเข้าสู่อาคาร

นอกจากนี้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพท้องฟ้าแล้ว ปัจจัยแวดล้อมภายนอกโดยรอบอาคาร และปัจจัยที่อยู่ภายในอาคารยังส่งผลเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารทั้งหมด ปัจจัยทั้งหมดจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งานภายในอาคาร

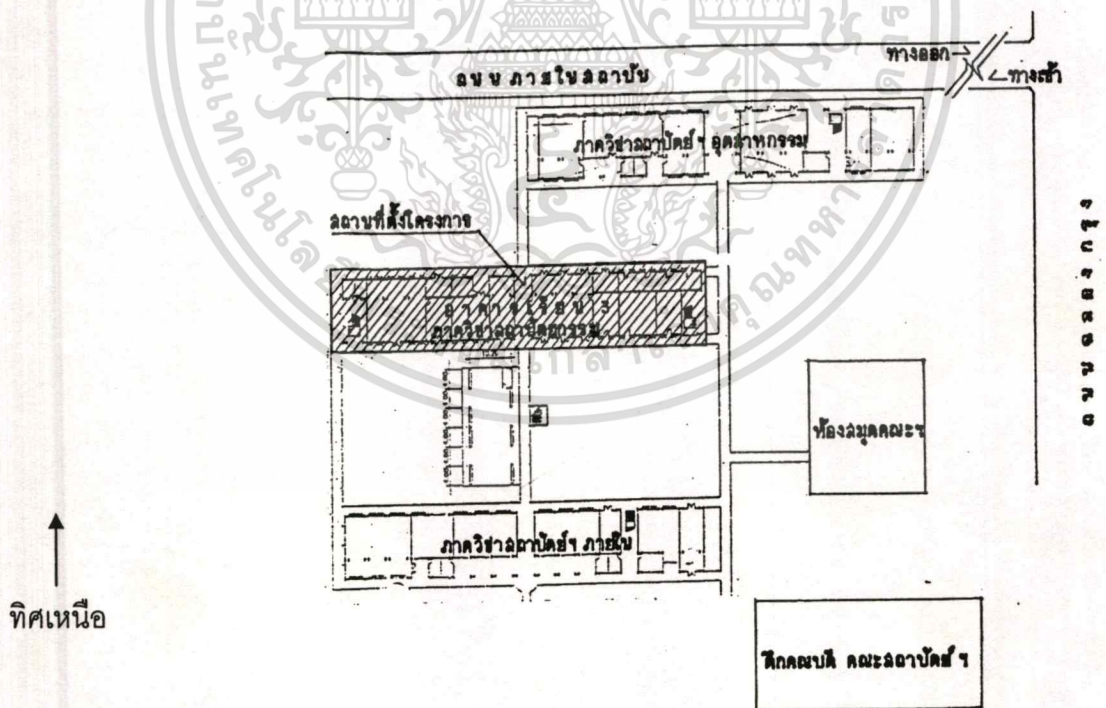
การสะท้อนของผิวภายในอาคาร หากมีค่าการสะท้อนแสงของเพดานและผนังที่สูง จะทำให้ค่าความส่องสว่างภายในเพิ่มขึ้นได้ ในช่วงที่สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากและมีค่าความส่องสว่างลดลง แต่หากภายในอาคารได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ ค่าการสะท้อนแสงภายในที่สูงก็อาจจะก่อให้เกิดความไม่สบายต่อสายตาในลักษณะแสงจ้าได้ อย่างไรก็ตามทิศทางของดวงอาทิตย์ และปริมาณความส่องสว่างจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงวันและเวลาต่างๆซึ่งผู้ออกแบบสามารถออกแบบให้มีความสอดคล้องกับทิศทางต่างๆในแต่ละช่วงเวลา

บทที่ 3

ข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่การศึกษา เครื่องมือ อุปกรณ์ และหุ่นจำลองในการวิจัย

3.1 สภาพปัจจุบันของพื้นที่การศึกษา

เนื่องจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อเสนอแนวทางออกแบบปรับปรุงอาคารโดยการนำประโยชน์จากแสงธรรมชาติมาใช้เพื่อให้ได้ปริมาณการส่องสว่างและมีคุณภาพการส่องสว่างที่ดี มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอ เหมาะกับกิจกรรมการเขียนแบบสถาปัตยกรรมที่ใช้ในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงได้เลือกพื้นที่ ห้องปฏิบัติการเขียนแบบทางสถาปัตยกรรม ห้อง 324 ชั้นที่ 2 อาคารภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา ห้อง 324 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ทิศทางการวางตัวอาคาร อาคารมีที่ตั้งและตำแหน่งโดยตั้งเขปอยู่ในพิภักดเส้นแวงที่ 100 องศา 46.5 ลิปดา ตะวันออก และเส้นรุ้งที่ 13 องศา 43.3 ลิปดาเหนือ อาคารวางด้านยาว 90.00 เมตรไปทางแกนทิศตะวันออก – ตะวันตก ทำให้หลังคาที่กำลังพิจารณาเพื่อเจาะช่องเปิดในการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่ศึกษาจะต้องเปิดในแนวทิศเหนือ – ใต้ ซึ่งการพิจารณาเจาะช่องเปิดในแนวทิศทางดังกล่าว แสงสว่างธรรมชาติที่ได้จะมีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าและหลีกเลี่ยงความร้อนอันเกิดจากการแผ่รังสี และเป็นกรหลีกเลี่ยงแสงแดดโดยตรง

3.1.2 พื้นที่และขนาดอาคาร มีด้านยาว 90.00 เมตร และความยาวด้านสกัด 13.00 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 1,175.00 ตารางเมตร ซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งพิจารณาเฉพาะชั้นที่ 2 เนื่องจากเป็นพื้นที่ห้องเขียนแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการศึกษาวิจัย

3.1.3 ลักษณะการใช้งานในพื้นที่ศึกษา พื้นที่ดังกล่าวเป็นห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรม ของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 และ 5 ลักษณะเป็นพื้นที่เปิดโล่งต่อเนื่องถึงกันตลอด มีอุปกรณ์โต๊ะเขียนแบบขนาดความสูงที่ 0.8 เมตร (80 เซนติเมตร) ซึ่งใช้อ้างอิงเป็นระดับทำงาน (Working Plane) ในพื้นที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เวลาในการใช้พื้นที่ของนักศึกษาคือช่วงเวลาตั้งแต่ 7.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. ของทุกวันราชการ ในช่วงปฏิทินการศึกษา ลักษณะการใช้พื้นที่นั้น มีกิจกรรมหลักเพื่อใช้ในการเขียนแบบทางสถาปัตยกรรมและการตรวจแบบ ในช่วงเวลาเรียนดังกล่าว ซึ่งต้องใช้ค่าระดับการส่องสว่างที่ 500 – 700 – 1000 ลักซ์ โดยยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินบวกหรือลบ ร้อยละ 20 ตามมาตรฐานของ CIE ซึ่งได้กล่าวมาในบทที่ 2 ส่วนความสม่ำเสมอการส่องสว่างมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 30 ดังนั้นในการออกแบบจึงใช้เวลาในการเก็บข้อมูลตามเวลาที่อ้างอิงดังกล่าว และใช้ห้องฟ้าสภาพจริงเป็นตัวทดสอบ

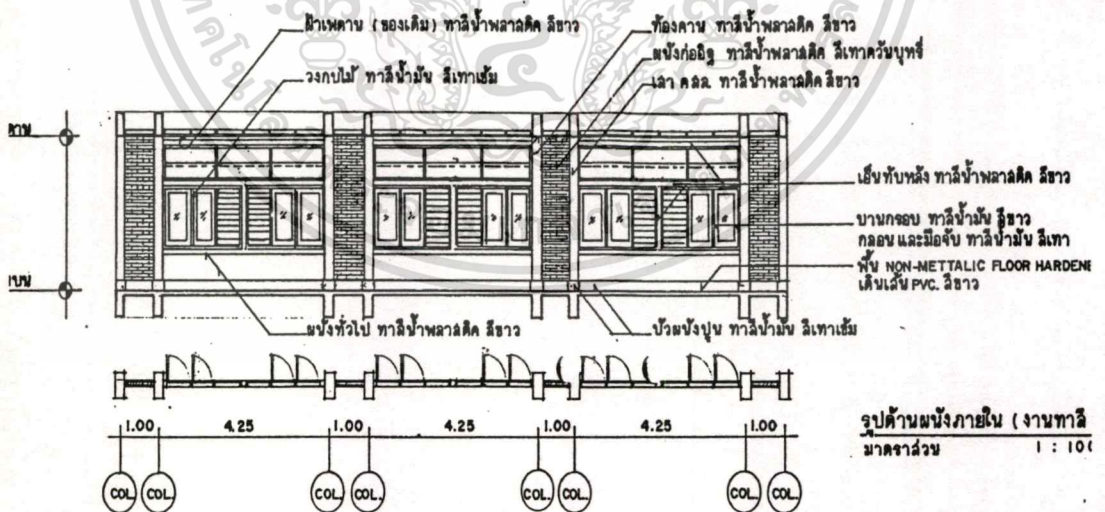
3.1.4 สภาพแวดล้อมของที่ตั้งพื้นที่ศึกษา อยู่ในเขตคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ด้านเหนือของอาคาร มีอาคารภาควิชาศิลปะอุตสาหกรรม ซึ่งอยู่ห่างออกไปประมาณ 15 เมตร ช่วงระยะห่างเป็นบ่อน้ำ และมีไม้ยืนต้นใบโปร่ง มีจำนวนไม่มาก ด้านสกัดทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ติดทางเดินและมีบันไดลงสู่ชั้นล่าง ส่วนด้านทิศใต้ มีอาคาร 4 ชั้นภาควิชาสถาปัตยกรรมตั้งอยู่ห่างจากอาคารเพียง 5.00 เมตร โดยรอบสวนใหญ่มีทั้งบ่อน้ำ และพื้นที่ด้วยซีเมนต์บล็อก มีไม้ยืนต้นลักษณะใบโปร่ง โดยรอบเช่นกัน จากแบบของอาคารพื้นที่ศึกษา จะพบว่าด้านทิศเหนือและทิศใต้จะเปิดช่องหน้าต่างเพื่อรับแสง ดังนั้น ในการประเมินผลการส่องสว่างนั้นจะต้องคิดค่าปัจจัยภายนอกตามสภาพที่เป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของอาคารที่มีอยู่เดิม อาคารเป็นอาคาร คสล. สองชั้น ลักษณะเป็นอาคารแถวยาว 90 .00 เมตร มี ขนาด ช่วงเสาแนวยาว (Bay) ที่ 4.25 เมตร โดยทำเป็นชุดเสาคู่ ระยะห่างระหว่างเสา 1.00 เมตร ช่วงเสาด้านสกัด มีสองช่วง ช่วงด้านเหนือ ขนาด 4.00 เมตร และส่วนด้านใต้ที่ 9.00 เมตร รวม 13.00 เมตร โดยยื่นกันสาด ออกไปข้างละ 2.00 เมตร เป็นโครงสร้าง คสล. ความสูงของพื้นที่กรณีศึกษา สูงจากระดับอ้างอิง 3.00 เมตร ความสูงของห้องจากพื้นถึงเพดาน ประมาณ 2.60 เมตร หลังคาเป็นหลังคาโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก วางกระเบื้องรางขนาดยาว 4.00 เมตร วางพาดช่วงตามยาว (Bay) ส่วนระยะระหว่างช่วงเสาคู่ เป็นโครงสร้างพื้น คสล. ใช้เป็นรางน้ำไปในตัว ส่วนหน้าต่างเปิดตั้งแต่ระดับสูงจากพื้น 80 เซนติเมตร

3.1.6 สภาพภายในพื้นที่กรณีศึกษา สภาพพื้นที่ภายใน เป็นพื้นที่ต่อเนื่อง พื้นปูด้วย กระเบื้องยาง สีอ่อน ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีอ่อน ฝ้าเพดานใช้ แผ่นอะลูมิเนียมคอบอร์ด ชนิด ฮาร์ทบอร์ดทาสีอ่อน ส่วนผนังด้านสกัด เปิดช่องแสงด้านบน ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีอ่อน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผิววัสดุนั้นได้แสดงไว้ดังนี้

สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาว	ร้อยละ	60
พื้นกระเบื้องยางสีอ่อน	ร้อยละ	50
ฝ้าเพดานฮาร์ทบอร์ดทาสีอ่อน	ร้อยละ	80



รูปที่ 3.2 แสดงสภาพเดิมของวัสดุปิดผิวในพื้นที่ศึกษาและระยะในรูปตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ข้อมูลปัจจุบันสภาพแวดล้อมการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษา

การเก็บข้อมูลสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาในระดับละเอียด เป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องทำ เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์หาที่มาของสภาพปัญหาการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษา เพื่อชี้ประเด็นปัญหาของสภาพการส่องสว่างให้ชัดเจนถึงเหตุผลที่ทำให้เกิดปัญหาออกเป็นทีละประเด็นเพื่อนำไปตั้งเป็นสมมติฐานในการออกแบบร่างทางสถาปัตยกรรม เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว

ดังนั้นในการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูลจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ จะต้องมีการวางแผนการและวางแนวคิดในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ประเด็นปัญหาที่ชัดเจน นำไปสู่การตอบข้อปัญหา และใช้เป็นฐานข้อมูล ตามแนวทางการวัดที่สามารถเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดได้ ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้วางแผนการเก็บข้อมูลและเลือกวิธีการเก็บข้อมูลปัญหาสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาไว้ดังต่อไปนี้

3.2.1 แนวคิดในการเก็บข้อมูล การเก็บข้อมูลการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษามีแนวคิดในการเก็บข้อมูล โดยเก็บข้อมูลในรูป ของค่าการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ลักซ์ บนระดับทำงานที่ 80 เซนติเมตร สูงจากพื้นของพื้นที่ศึกษา โดยวางจุดตำแหน่งการวัดค่าไว้ในพื้นที่ทั้งหมด 8 จุด ตามแบบที่แสดง และอีกหนึ่งจุดเพื่อวัดเทียบกับสิ่งแวดล้อมจริง ซึ่งได้วางผังวัดค่าจากพื้นที่เพียงวงเสาดียวชวงกลางอาคาร ในทางภาคตัดขวาง เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าในรูปของเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ซึ่งเป็นค่าอัตราร้อยละ โดยเก็บบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 วินาที แต่ให้เครื่องมือบันทึก ทุกๆ 15 นาที โดยเริ่มทำการวัดตั้งแต่เวลา 8.00-18.00 น. ของวันที่ทำการทดลอง ซึ่งได้ทำการทดลอง 3 ครั้ง คือครั้งแรก ในวันที่ 10 มกราคม 2546 ครั้งที่สองในวันที่ 12 มกราคม 2546 และครั้งสุดท้ายในวันที่ 15 มกราคม 2546 ซึ่งผลการทดลองในครั้งแรกและครั้งที่สองประสบปัญหาทั้งในเรื่องของเครื่องมือ ความไม่พร้อมของอุปกรณ์การเก็บข้อมูล ความไม่พร้อมของสถานที่ และสภาพท้องฟ้า ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ดังนั้นจึงเลือกเอาข้อมูลของการเก็บข้อมูลในครั้งสุดท้ายคือวันที่ 15 มกราคม 2546 มาเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์หาประเด็นปัญหาสภาพการส่องสว่างในพื้นที่การศึกษา จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) และเขียนกราฟแสดง โดยแสดงทั้งกราฟแสดงค่าปริมาณส่องสว่าง ทั้ง 9 จุด ในเวลาต่างๆ และกราฟแสดงเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ทั้ง 8 จุด ในทุกๆชวงโมง จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมด ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลค่าเฉลี่ยของแสงธรรมชาติที่ตกกระทบในแนวนอนทั้งหมด โดยแสดงเป็นรายเดือนตลอดทั้งปี โดยอาศัยข้อมูลจากรายงานการบันทึกผลข้อมูล โครงการวิจัยแสงธรรมชาติ ด้วยการตรวจวัดปริมาณแสงธรรมชาติตลอดปี 2542 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก.) ได้จัดทำไว้ โดยอนุมานว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

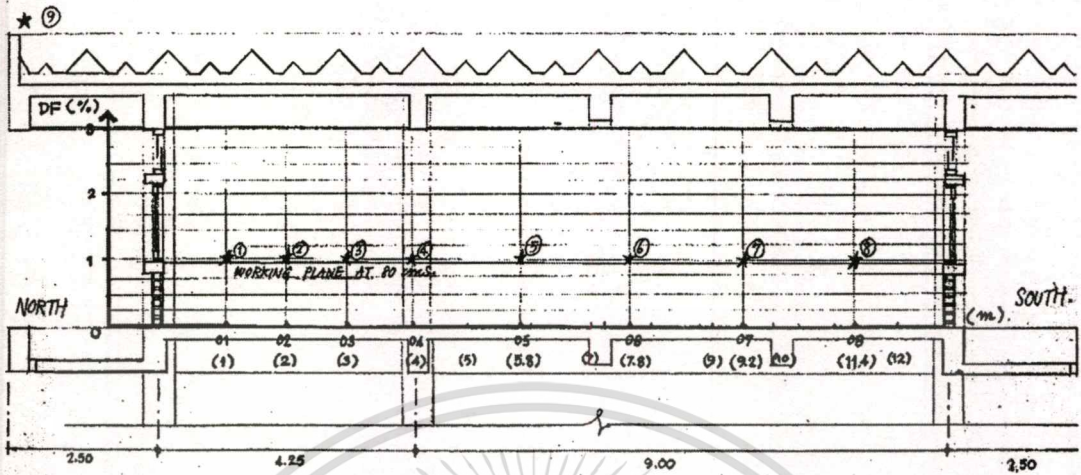
พิกัดที่ตั้งของแหล่งข้อมูลซึ่งตั้งอยู่ที่รังสิต จังหวัดปทุมธานี พิกัดที่ ละติจูด 14.08 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 100.62 องศาตะวันออก กับพื้นที่ศึกษาที่เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร เส้นแวงละติจูดที่ 100 องศา 46.5 ลิปดา ตะวันออก และเส้นรุ้ง ลองจิจูดที่ 13 องศา 43.3 ลิปดาเหนือ มีความใกล้เคียงกัน จากนั้น วิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปว่า ณ ช่วงเวลาใด และในเดือนใด ในรอบปี ของแต่ละจุดทดลองมีค่าการปริมาณการส่องสว่าง และค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ CIE กำหนด เพื่อนำไปสู่การออกแบบร่างสถาปัตยกรรม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งโดยสรุปของการวางแผนแนวคิดและแผนการเก็บข้อมูลจากพื้นที่ศึกษา แสดงด้วยแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 รูปแผนผังแสดงการวางแผนแนวคิดและแผนการเก็บข้อมูลจากพื้นที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วิธีการจัดวางตำแหน่งจุดการวัดปริมาณการส่องสว่างเพื่อเก็บบันทึกข้อมูล

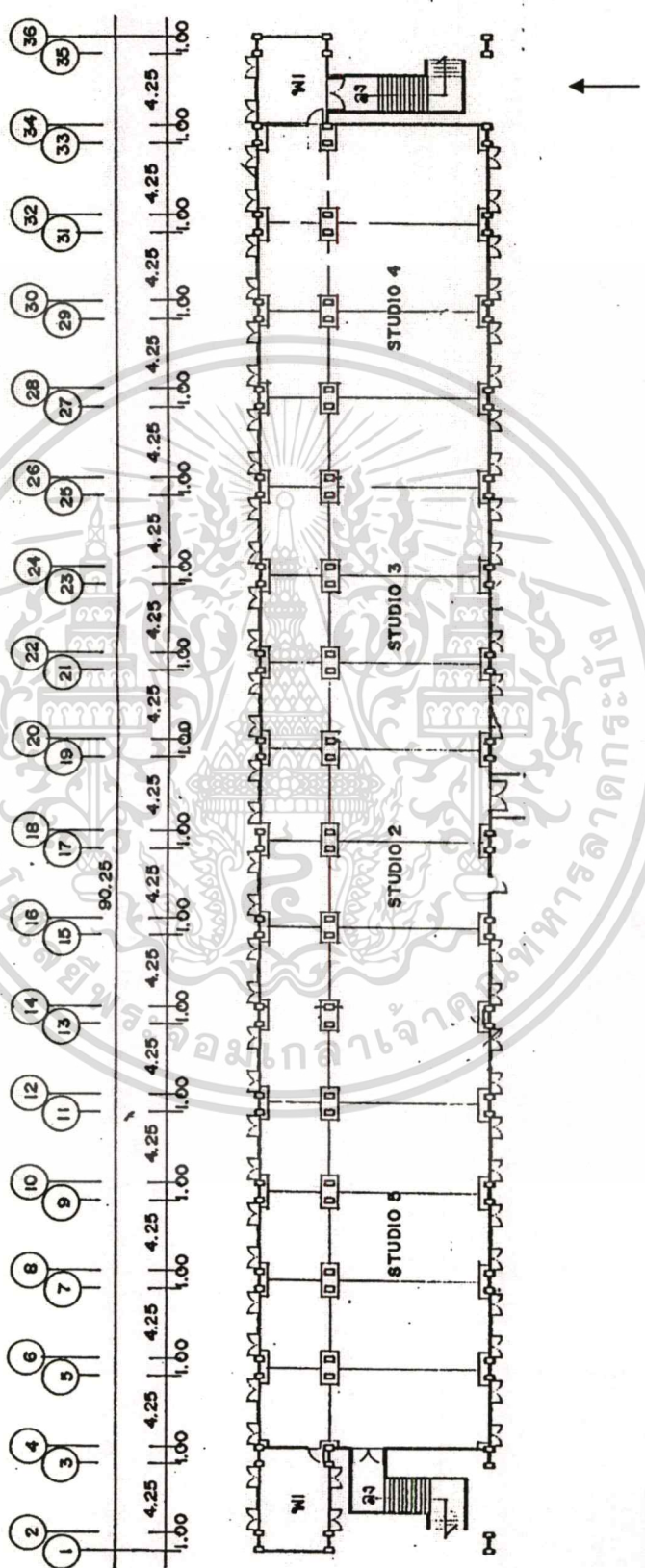


รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการจัดวางตำแหน่งจุดการวัดปริมาณการส่องสว่างเพื่อเก็บบันทึกข้อมูลบนพื้นที่ศึกษา

จากการพิจารณาสภาพเดิมของพื้นที่ตั้ง โดยพิจารณาในระดับผังรายละเอียด ได้เลือกหนึ่งช่องเสาบริเวณ ด้านที่ตรงข้ามกับภาควิชาศิลปะอุตสาหกรรม ตำแหน่งช่องเสาตามแบบที่ระบุไว้ เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าว เป็นตำแหน่งที่สามารถเข้าทำการติดตั้งอุปกรณ์การวัดแสงได้ และไม่มีนักศึกษาใช้พื้นที่ อีกทั้งตำแหน่งดังกล่าว ด้านนอกในทิศเหนือเป็นที่โล่ง ไม่มีต้นไม้บัง ส่วนทิศใต้ มีต้นไม้โปร่ง จึงได้เลือกตำแหน่งดังกล่าวเป็นจุดทดลอง

จากนั้นกำหนดจุดในการวัดปริมาณแสงสว่าง โดยกำหนดเอาไว้ทั้งหมด 8 จุด ภายในพื้นที่การศึกษาโดยเฉลี่ยความถี่ให้ใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากความต้องการใช้แสงสว่างธรรมชาติทางทิศเหนือ จึงได้กำหนดจุดการวัดในทิศเหนือมีความถี่มากกว่า ซึ่งมีจุดในการวัดแสงจำนวน 4 จุด แต่ละจุดห่างกัน 1 เมตร ส่วนที่เหลือระยะห่างของการวัดแสงเกิดจากการเฉลี่ยของระยะที่เหลือ ส่วนจุดของการวัดอีกหนึ่งจุดไว้ภายนอกเพื่อวัดสภาพแวดล้อมใช้เป็นตัวเปรียบเทียบเพื่อนำไปคำนวณหาค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor)

จากนั้นทำการวัดค่าโดยเริ่มตั้งแต่ พระอาทิตย์ขึ้นในตอนเช้า จนพระอาทิตย์ตกในตอนเย็น เพื่อดูค่าการส่องสว่างและค่าเดไลท์แฟคเตอร์(Daylight Factor) ของทุกจุดว่าเพียงพอหรือไม่ หากไม่เพียงพอแล้ว จึงวิเคราะห์เพื่อหาวิธีเพิ่มค่าการส่องสว่างและ ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ด้วยการออกแบบต่อไป



ทิศเหนือ

รูปที่ 3.5 แสดงผัง (Plan) ของอาคารและพื้นที่ศึกษา ที่เข้าทำการเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

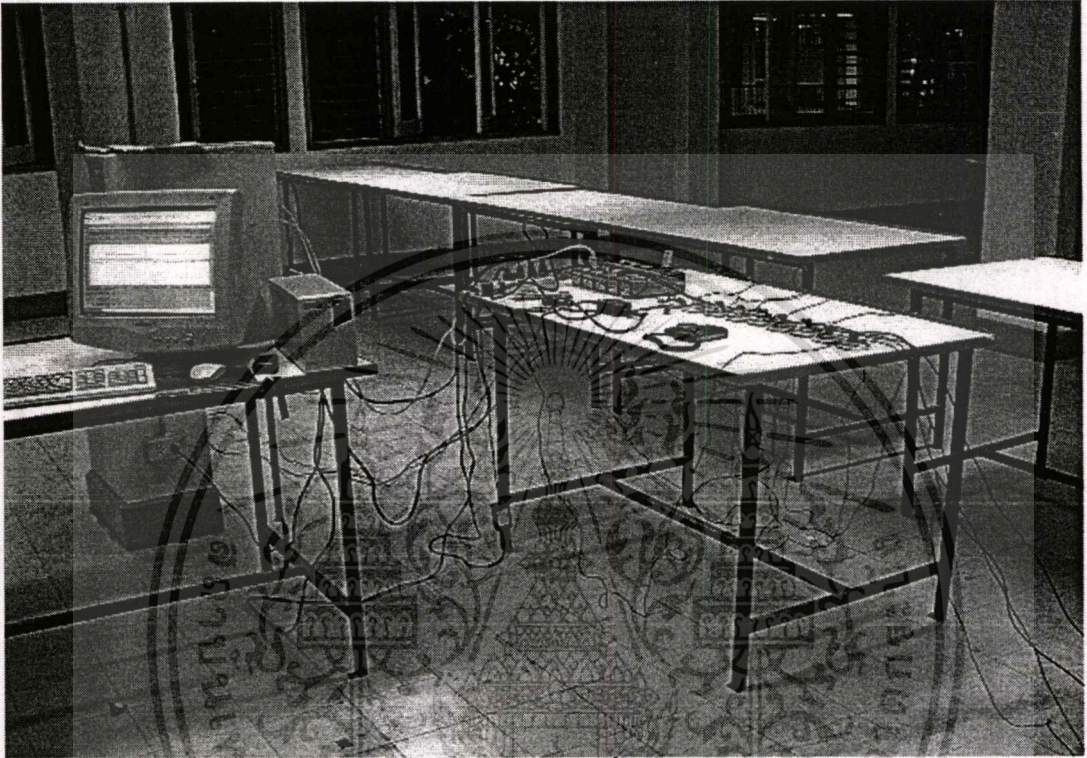


รูปที่ 3.6 แสดงรูปด้านของอาคารพื้นที่ศึกษา ด้านทิศใต้ และทิศเหนือตามอันดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การติดตั้งเครื่องมือทดลอง ชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง มีดังต่อไปนี้

1. เครื่องบันทึกข้อมูลแบบ 2 ช่องสัญญาณ (Data Logger) พร้อมอุปกรณ์
2. เครื่องวัดแสง (Photometric Sensor) พร้อมอุปกรณ์
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อมอุปกรณ์



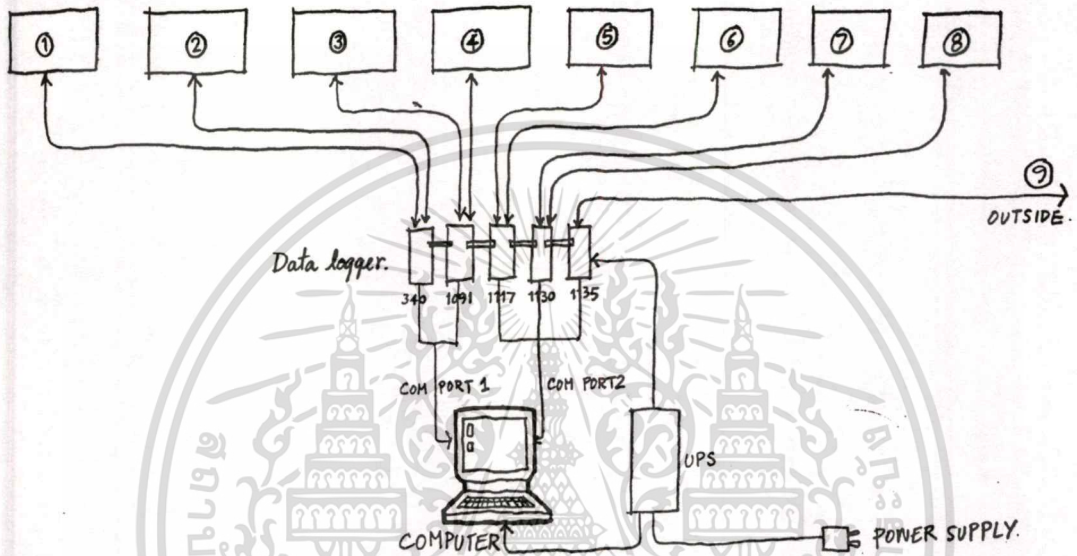
รูปที่ 3.7 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณแสงในพื้นที่ศึกษา

ในการติดตั้งเครื่องมือการวัด ได้เลือกใช้เครื่องบันทึกข้อมูลแบบ 2 ช่องสัญญาณ โดยใช้ "OPUS 200" ต่ ออนุกรมกันทั้งหมด 5 เครื่องแบ่งชุดการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ชุด เนื่องจากสายของเครื่องวัดแสง(Photometric Sensor) "Licor 210s" ซึ่งมีความยาวสายมีความยาวเพียงแค่ 3.00 เมตร ซึ่งระยะจากตัวสุดท้ายถึงชุดเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) มีระยะยาวกว่าสายของเครื่องวัดแสง(แยกชุดที่วัดภายนอกออกไปวัดต่างหากแต่นำมาต่อและอ่านข้อมูลภายหลังโดยตั้งเวลาการเก็บข้อมูลไว้) เพื่อให้เก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 9 จุด โดยทั้งหมดต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โดยผ่านเครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS) เพื่อป้องกันกรณีที่เกิดไฟฟ้าดับ จากนั้นต่อสายส่งข้อมูลทั้งสองชุด เข้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นสองชุด คือ "COM Port 1" และ "COM Port 2" เพื่อส่งข้อมูลเข้าไปยังโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้โปรแกรม"Luft Smart Controll 1.23" เป็นโปรแกรมประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดแสง ชนิด "Photometric Sensor" ติดตั้งไว้กับจุดทดลอง และปรับระดับให้ได้ ระบายที่เหมาะสม โดยต่อสายเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล กำหนดหมายเลขของ เครื่องวัดแสง เพื่อให้ง่ายกับการจดจำและตำแหน่งการวัด และหมายเลขเครื่องของเครื่องบันทึกข้อมูลเนื่องจาก โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล จะอ่านและเรียงอันดับหมายเลขเครื่องของเครื่องบันทึกข้อมูล ก่อน โดยไม่สนใจวิธีการเรียงต่อกัน สำหรับแผนผังการต่อดูได้จากแผนภาพ รูปที่ 3.8 ซึ่งแสดงวิธี ต่อวงจรของการติดตั้งเครื่องมือเอาไว้ ซึ่งก่อนติดตั้งจะต้องมีการปรับเทียบค่าการวัดให้ถูกต้อง

Photometric Sensor.

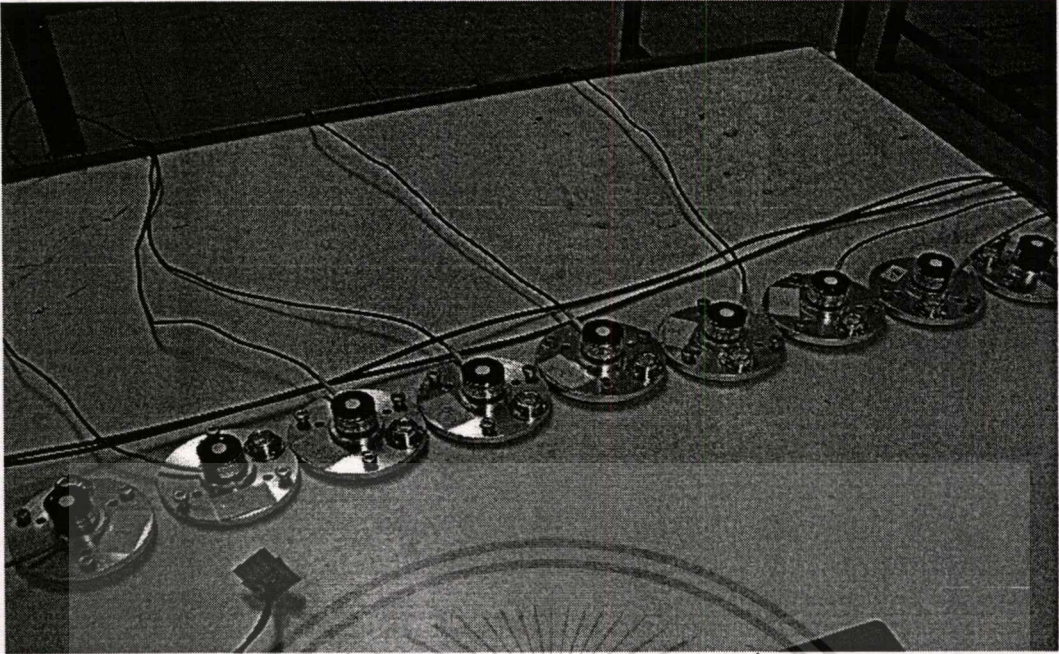


รูปที่ 3.8 แสดงวิธีการติดตั้งวงจรของเครื่องมืออุปกรณ์วัดความส่องสว่างในพื้นที่ศึกษา

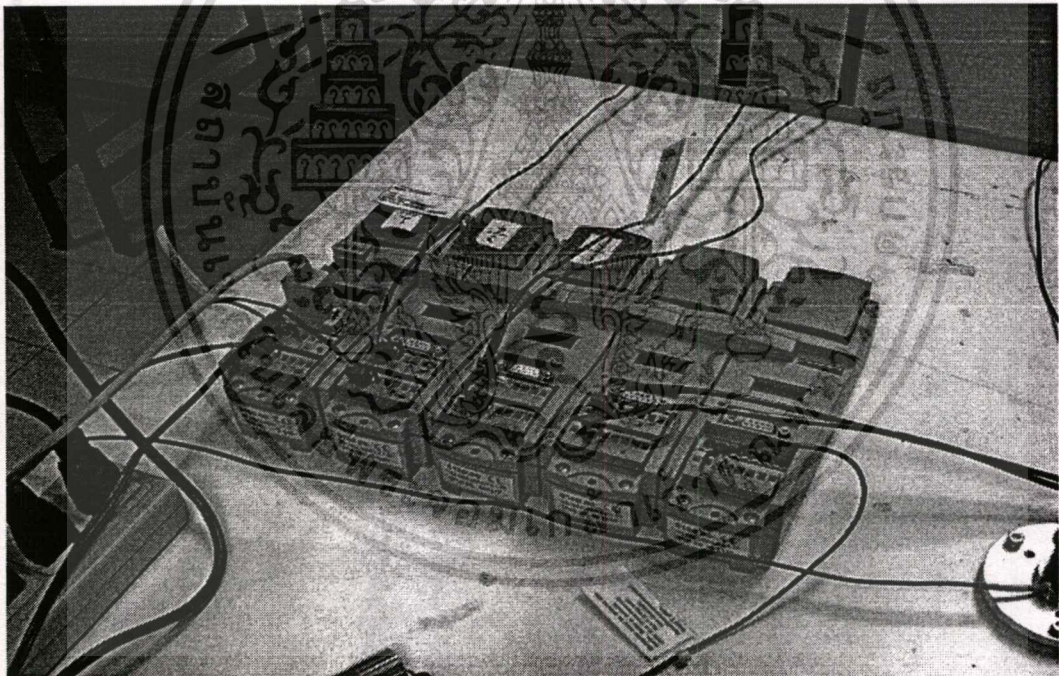
สำหรับแผนผังการติดตั้งนั้น ได้ทำการติดตั้งตามไดอะแกรมแสดงเป็นอันดับดังนี้

ตำแหน่ง	หมายเลขเครื่องวัดแสง	หมายเลขเครื่องบันทึกข้อมูล	ห่างจากผนังทิศเหนือ
1	1	Opus 340 Channel 1	1 เมตร
2	2	Opus 340 Channel 2	2 เมตร
3	3	Opus 1091 Chanel 1	3 เมตร
4	4	Opus 1091 Channel 2	4 เมตร
5	5	Opus 1117 Channel 1	5.8 เมตร
6	6	Opus 1117 Channel 2	7.8 เมตร
7	7	Opus 1130 Channel 1	9.2 เมตร
8	8	Opus 1130 Channel 2	11.4 เมตร
9	9	Opus 1135 Channel 1	สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการจัดวางเครื่องวัดแสง (Photometric sensor) เพื่อเปรียบเทียบค่าให้ตรงกัน



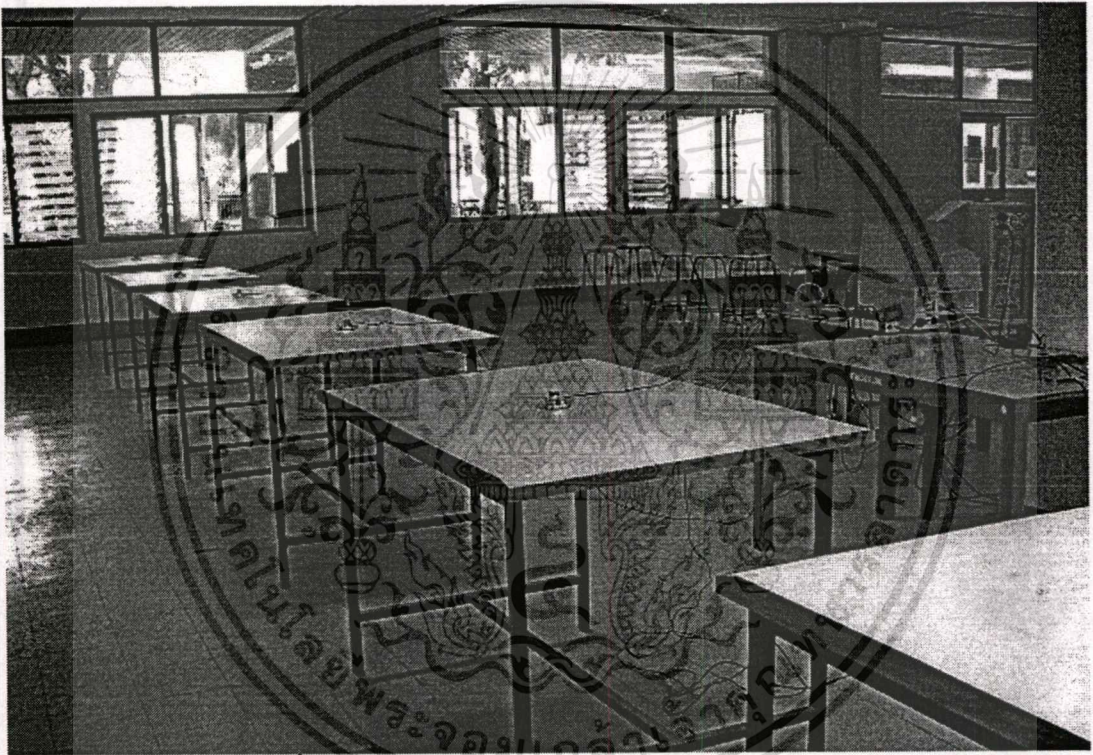
รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) แบบ 2 ช่องสัญญาณ

3.2.4 ปัจจัยอื่นๆที่ต้องพิจารณาควบคุม ในการทดลองทดลองเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นการทดลองต่อเนื่องตลอดทั้งวัน ดังนั้นระหว่างการทดลองอาจจะเกิดข้อผิดพลาดอันเกิดจากปัจจัยต่างๆซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อผลการทดลองและการเก็บข้อมูล ซึ่งพอสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

3.2.4.1 ปัจจัยเรื่องสถานที่ พื้นที่ศึกษาทดลองเก็บข้อมูลนั้นยังเป็นที่อยู่ในการใช้งาน มีโต๊ะเขียนแบบอยู่จำนวนมาก จึงต้องทำการเลื่อนโต๊ะเขียนแบบทั้งหมดออกจากพื้นที่ โดยทั้งหมดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลื่อนออกไปให้มีระยะห่างจากจุดที่ต้องการวัดมากพอที่จะป้องกันการสะท้อนแสงกระจายเข้ามาในพื้นที่วัด เนื่องจากหน้าโต๊ะเป็นวัสดุกรุฟอรัมไมกาสีขาวซึ่งสะท้อนและกระจายแสงได้ดี ส่วนการติดตั้งจุดวัดแสง ใช้โต๊ะเขียนแบบดังกล่าวติดตั้งตามตำแหน่งที่กำหนด เพื่อให้เกิดการสะท้อนและกระจายแสงใกล้เคียงกับการใช้งานมากที่สุด

3.2.4.2 ปัจจัยเรื่องผู้ใช้อาคาร เนื่องจากในการทดลองวัดและเก็บข้อมูลเป็นเวลาที่พื้นที่มีการใช้งาน จึงจำเป็นต้องควบคุมดูแล มิให้บุคคลที่ใช้อาคารเดินผ่านเข้า ออก พื้นที่ทดลอง เพราะอาจจะทำให้ค่าที่วัดเกิดความผิดพลาด นอกจากนี้ยังต้องควบคุมสัตว์เลี้ยงไม่ให้เข้าใกล้บริเวณทดลองด้วย



รูปที่ 3.11 แสดงการติดตั้งเครื่องวัดแสง (Photometric Sensor) ตามตำแหน่งระดับทำงาน (Working Plane)

3.2.4.3 ปัจจัยเรื่องสาธารณูปโภค จะต้องมีการสำรองไฟฟ้าให้เครื่องมือ และอุปกรณ์วัด ในกรณีอาจจะเกิดไฟฟ้าดับ และต้องควบคุมการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างอันเกิดจากแสงประดิษฐ์ในพื้นที่ โดยการติดป้ายป้องกันมิให้ผู้อื่น เปิด-ปิดไฟฟ้าแสงสว่างดังกล่าว เพื่อมิให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลขณะทำการวัด

3.2.4.4 ปัจจัยเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์วัด จะต้องมีการเปรียบเทียบให้มีค่าการวัด ใกล้เคียงกัน และต้องตรวจสอบสายที่เชื่อมต่อทุกจุดว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ไม่หลวมหรือหลุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ขนาดความยาวของสายจะต้องตรวจสอบว่ามีความยาวเพียงพอที่จะต่อเชื่อมระหว่างจุดที่ทำการวัด (Photometric sensor) กับชุดเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) หากมีความยาวไม่เพียงพอ จะต้องแบ่งชุดเครื่องบันทึกข้อมูลออกเป็นชุดๆ หรือเลือกใช้เครื่องบันทึกข้อมูลที่ สามารถแยกชุดโดยตั้งเวลาการวัดเก็บข้อมูล เมื่อทำการวัดเก็บข้อมูลแล้วจึงนำข้อมูลมาถ่ายโอนลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ในภายหลัง นอกจากนี้จะต้องทำความเข้าใจอุปกรณ์ในกรณี ที่ติดตั้งภายนอกหรือที่กลางแจ้ง สำหรับเครื่องวัดแสงควรเลือกที่สามารถทนต่อความร้อนเมื่ออยู่ กลางแดดนานๆได้ ส่วนเครื่องบันทึกข้อมูลก็เช่นกัน ควรวางไว้ในที่ร่ม ซึ่งสามารถเข้าไปตรวจสอบ ข้อมูลขณะวัดและป้องกันความเสียหายกับตัวเครื่อง และต้องอยู่ในตำแหน่งที่สามารถจ่ายไฟได้สะดวก

3.2.4.5 ปัจจัยเรื่องตำแหน่งของจุดที่ทำการวัด การเลือกจุดติดตั้งในการวัดค่าในพื้นที่ศึกษานั้น พบปัญหาน้อยมากเนื่องจากเป็นที่ร่ม ยกเว้นเรื่องความยาวของสายอุปกรณ์วัด แต่สำหรับตำแหน่งภายนอกที่ใช้สำหรับวัดค่าเปรียบเทียบกับสิ่งแวดล้อมจะต้องวางในที่โล่งแจ้ง ไม่มีเงาของต้นไม้หรืออาคารอื่นมาบดบัง และควรจำกัดการสะท้อนหรือกระจายแสงของวัตถุอื่นๆที่อยู่ภายนอก เช่น อาคารข้างเคียงหรือพื้นที่ตั้งอุปกรณ์ทดลอง ทั้งนี้ควรนำกระดาษดำมารองใต้ อุปกรณ์วัดเพื่อลดค่าการสะท้อนดังกล่าว

3.3 การตั้งค่าวัดในโปรแกรมการเก็บข้อมูล

โปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างในการวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม “Luft Smart Controll Version 1.23” ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถปฏิบัติการบนระบบปฏิบัติการ วินโดว “Window” โดยเมื่อติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดเข้ากับคอมพิวเตอร์แล้ว จะต้องเปิดโปรแกรมเพื่อ ค้นหา (Scan) เครื่องบันทึกข้อมูลเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) “OPUS 200” เพื่อเข้าไป ตั้งค่าการวัดในโปรแกรม การตั้งค่าโดยไปที่ “Setting” แล้วเลือกที่ “Measurement Setup” จากนั้นจะขึ้นหน้าต่าง “Channel Parameter” โดยเริ่มทำการตั้งค่างดังต่อไปนี้

1. ทำการเลือกช่องสัญญาณที่ “Select Channels to be Configured” โดยเลือก “Channel” 1 หรือ 2
2. หากมีเครื่องบันทึกข้อมูล มากกว่า 1 ตัว ให้เลือกที่ “Select OPUS” เพื่อเลือก หมายเลขเครื่องบันทึกข้อมูลที่ต้องการตั้งค่า

3. จากนั้นไปที่ “Sensor Type” เพื่อตั้งค่าให้ตรงกับชนิดของสายสัญญาณ สำหรับสายของเครื่องวัดแสง “Licor 210s” เป็นสายชนิด mA (มิลลิแอมแปร์ ซึ่งเป็นสายส่งกระแสไฟฟ้า) ซึ่งมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดว่า 30 มิลลิแอมป์ มีค่าเท่ากับ 1 กิโลลักซ์ (klux) แต่เนื่องจากโปรแกรมการวัดค่าไม่สามารถอ่านค่ามิลลิแอมป์ ได้ แต่สามารถอ่านค่ามิลลิโวลต์ (mV) ได้ (มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นหน่วยศักย์ไฟฟ้า) ซึ่งต้องทำการแปลงค่าจาก mA ให้เป็น mV ก่อน โดยต่อตัวต้านทานไฟฟ้า ขนาด 640 โอห์ม ตามที่ "Licor" กำหนด จากนั้นเลือก "Mode" นี้ให้เป็นค่า 0 - 20 มิลลิโวลต์

4. จากนั้นจึงไปตั้งค่า "Measuring Quality" โดยกำหนดค่าต่ำสุด (min) ให้มีค่าเท่ากับ 0 และค่าสูงสุด (max) ที่ 100,000 ถึง 500,000 โดยมีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือลักซ์ โดยตั้งให้มีค่าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ตั้งค่า "Reaction Time" ไว้ที่ 5 วินาที และกำหนดหมายเลขเครื่องไว้ที่ "Description"

5. จากนั้นไปตั้งค่าเวลาในการบันทึกเก็บข้อมูลที่ "Logging Parameter" โดยตั้งค่า "Operation Mode" ไว้ที่ "Active" หากไม่ใช้ของสัญญาณใด ให้ตั้งไว้ที่ "Inactive" จากนั้นตั้งค่า "Memory Operation" ไว้ที่ "Start/Stop" โดยเป็นการตั้งเวลาวัดเก็บข้อมูลตามที่ต้องการ แต่หากต้องการบันทึกค่าแบบปกติ คือบันทึกไปเรื่อยๆ ให้ตั้งค่าไปที่ "Ring Memory" ซึ่งเครื่องบันทึกจะทำการเก็บค่าไปเรื่อยๆเป็นวงรอบโดยเก็บข้อมูลได้ 16,000 ชุด จากนั้น ตั้งการบันทึกค่า สูงสุด (max) ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าต่ำสุด (min) จากนั้นตั้งค่า "Scan Rate" ไว้ที่ทุกๆ 30 วินาที และให้เครื่องบันทึกข้อมูลทำการบันทึกค่า ทุกๆ 1 นาที จากนั้นตั้งเวลาที่ต้องการให้เริ่มต้นวัดค่า

6. จากนั้นให้ทำการบันทึก "Mode" การวัดทั้งหมด ด้วยการ "Save Configuration" และให้ตั้งชื่อ "File" เอาไว้ จากนั้น "Programme" จะทำการติดต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลให้ดำเนินการตามที่ตั้งค่าไว้

7. จากนั้นกลับไปยังหน้าหลัก แล้วไปที่ "File" เพื่อเปิดแผ่นงานแล้วทำการ "Save as" และ "Load Configuration" ค่าที่ได้ตั้งไว้ จากนั้นให้ทำการเปิด "File" ที่ได้ตั้งค่าเอาไว้

8. จากนั้นกลับไปยัง "Setting" อีกครั้ง หากต้องการลบข้อมูลเดิมที่เคยค้างไว้ในเครื่องบันทึกข้อมูลให้ไปที่ "Delete Device Memory" และหากต้องการปรับเวลาการบันทึกของเครื่องให้ตรงกับเวลาฬิกาของคอมพิวเตอร์ ให้ไปที่ "Synchronize Time" หากต้องการอ่านข้อมูลทั้งหมดที่ได้ทำการบันทึกไว้ให้ไปที่ "Reading Device Memory"

9. จากนั้นอ่านค่าที่บันทึกได้จากตาราง โดยไปที่ไอคอน (icon) สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมตารางสีแดง จะปรากฏตารางบันทึกค่าข้อมูลทั้งหมด ตารางนี้จะไม่สามารถทำการแก้ไขได้ เป็นข้อมูลลักษณะอ่านอย่างเดียว ค่าจากตารางดังกล่าวสามารถ "Export" ไปเป็น "File" สกุล ".xls" ซึ่งแสดงในโปรแกรม "Microsoft Excels" ซึ่งสามารถแก้ไขค่าการบันทึกได้ หรือนำไปใช้งานในการคำนวณต่างๆที่เกี่ยวข้องได้ นอกจากนี้ยังสามารถเขียนกราฟวิเคราะห์ใน "Mode" ต่างๆได้ โดยสามารถทำการตั้ง "Scale" ของการวัดค่าได้

จะเห็นว่าโปรแกรม “Luft Smart Control” ที่ใช้กับเครื่องบันทึกข้อมูล “OPUS 200” นั้น มีความสะดวกสบายในการตั้งค่าการบันทึกต่างๆ ซึ่งมี “Mode” การตั้งค่าที่มากพอ และสามารถ ใช้กับเครื่องมือวัดแสง “Licor 210s” และที่สำคัญคือ ในการตั้งค่า “Measuring Quality” นั้นจะเป็นการปรับเทียบค่าให้กับ “Sensor” ไปด้วยในตัว แต่มีข้อเสียคือในขณะที่ทำการตั้งค่านั้น การรับและส่งข้อมูลจากโปรแกรมไปยังเครื่องบันทึกข้อมูลจะให้เวลาค่อนข้างนาน ในแต่ละครั้งของการรับและส่งข้อมูลจะใช้เวลาประมาณ 1 นาที ซึ่งถือว่าช้ามาก เนื่องจากการรับส่งข้อมูลยังใช้สาย “Serial Port” ในการส่งข้อมูล ทำให้การตั้งค่าในแต่ละครั้งกินเวลาค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่วงการปรับค่า “Measuring Quality” ซึ่งหากมีการติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลหลายๆตัวจะทำให้กินเวลามากและการบันทึกข้อมูลไม่สามารถเริ่มในเวลาเริ่มต้นเดียวกันได้ นอกจากปรับการบันทึกด้วยวิธีการตั้งค่าเวลาเริ่มต้นบันทึก ที่ “Mode Start/Stop” เท่านั้น นอกจากนี้การอ่านข้อมูลที่บันทึกได้จาก “Reading Device Memory” ก็จะใช้เวลาในการอ่านข้อมูลนานเช่นกัน จะสังเกตเห็นว่า โปรแกรมมีวิธีการใช้ที่สลับซับซ้อน เนื่องจากเมื่อบันทึกค่าให้กับเครื่องบันทึกข้อมูลแล้วยังต้องกลับไปทีหน้าหลักเพื่อเรียกสิ่งที่ได้บันทึกให้กลับมาใหม่ ซึ่งหากผู้ใช้โปรแกรมไม่มีความชำนาญหรือเข้าใจโปรแกรมดีพอแล้ว อาจจะทำให้เกิดความสับสนกับกระบวนการและขั้นตอนในการใช้งานได้

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้โปรแกรมหดงกล่าว เนื่องจากถือเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือที่สามารถหาได้ในช่วงของการวิจัย นอกจากนี้อุปกรณ์และโปรแกรมหดงกล่าวอาจจะถือได้ว่ามีความซับซ้อนน้อยที่สุดแล้วเมื่อเทียบกับเครื่องมือชนิดอื่นๆที่มีอยู่ในขณะนี้ ส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองสภาพทางแสงในลักษณะ “Simulation” เช่น โปรแกรม “Light Scape” หรือ “3D Max Studio” จะเหมาะกับการวัดแสงประดิษฐ์มากกว่าการวัดแสงธรรมชาติ และส่วนมากจะใช้เหมาะกับการเป็นโปรแกรมจำลองสภาพเพื่อการนำเสนองานในลักษณะ “Presentation” มากกว่าการนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลแสงสว่างธรรมชาติ

3.4 ผลการทดสอบ

จากการทดลองในวันที่ 15 มกราคม 2546 ด้วยเครื่องมือที่กล่าวมาในข้อ 3.2.4 นั้น สามารถเก็บข้อมูลได้ตามตารางที่ ก.3 และรายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ก. และแสดงเป็นกราฟวิเคราะห์ แสดงในภาพที่ ข.1 – ข.4 ภาคผนวก ข. ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

3.4.1. จากข้อมูลตามตารางและกราฟดังกล่าว จะเห็นว่าระดับค่าปริมาณการส่องสว่างในพื้นที่ศึกษาส่วนที่ใกล้กับหน้าต่างทางทิศเหนือจุดที่ 1, 2, 3 และ 4 จะมีค่าปริมาณการส่องสว่างที่มากกว่าบริเวณจุดที่ 5, 6, 7 และ 8 โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดที่ 1 จะมีค่าระดับการส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากที่สุด ส่วนจุดที่ 5, 6, 7, และ 8 มีปริมาณน้อย และในบางช่วงเวลาไม่สามารถวัดผลได้ เนื่องจากมีปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอ

3.4.2. สำหรับการวัดปริมาณการส่องสว่างทั้ง 8 จุดพบว่า มีค่าปริมาณการส่องสว่างต่ำกว่ามาตรฐานที่ CIE กำหนดไว้ (500 – 750 – 1,000 ลักซ์) โดยมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเกือบทุกจุด ยกเว้นจุดที่ 1 ซึ่งมีค่าปริมาณการส่องสว่างมากกว่า 500 ลักซ์แต่ไม่เกิน 650 ลักซ์ ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.30 น. ถึง 15.00 น. เท่านั้น ซึ่งยังเป็นค่าที่ระดับมาตรฐาน CIE ยอมรับได้ เพียงจุดเดียว ด้วยเหตุนี้เอง จุดที่ 1 จึงยังไม่ใช่จุดที่เกิดปัญหาในเรื่องค่าปริมาณการส่องสว่างที่ไม่เพียงพอ

3.4.3. บริเวณจุดที่ 5, 6 , และ 7 มีค่าปริมาณการส่องสว่างที่ต่ำมาก ซึ่งมีค่าเพียงไม่เกิน 100 ลักซ์ น่าจะเป็นบริเวณที่มีปัญหาในเรื่องของการส่องสว่างที่ไม่เพียงพอ

3.4.4. บริเวณจุดที่ 7 และ 8 จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าปริมาณการส่องสว่างในช่วงเวลาทั้งหมดจะมีค่าแกว่งขึ้นลง ไม่คงที่ เนื่องจากสิ่งแวดล้อมอาคารภายนอก คือต้นไม้ บริเวณด้านทิศใต้ของอาคาร เป็นสิ่งบดบังแสงสว่างจากภายนอก และมีค่าปริมาณการส่องสว่างที่ต่ำกว่ามาตรฐาน

3.4.5. จากกราฟ ช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณค่าการส่องสว่าง คือช่วงเวลา 7.30 น. ถึง 8.00 น. ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าการส่องสว่างถึง 2 เท่าตัว แต่เนื่องจากเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่ไม่ได้ใช้พิจารณาในการทำวิจัย เนื่องจากเป็นเวลาที่ผู้ใช้พื้นที่ยังไม่เข้าใช้งานในแต่ละวัน จึงไม่น่าจะเป็นปัญหาของการวิจัย ส่วนเวลาประมาณ 12.00 น. กราฟจะตกลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากท้องฟ้าในวันทดสอบนั้นมีเมฆบางส่วนในเวลาดังกล่าว ถึงแม้ว่าจะเป็นวันที่ท้องฟ้าโปร่งเกือบตลอดทั้งวันก็ตาม ค่าที่ได้จากการบันทึกจึงมีค่าเคลื่อนไหวผิดปกติเล็กน้อย

3.4.6. ส่วนการวัดค่าปริมาณการส่องสว่างจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร ได้กระทำการวัดบนตำแหน่งของหลังคาอาคารของพื้นที่ทดสอบ ซึ่งมีค่าสูงสุดถึง 91,448 ลักซ์ ในช่วงเวลา 12.30 น. จะสังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่ค่าปริมาณการส่องสว่างมาก เมื่อวัดจากสิ่งแวดล้อมคือเวลาตั้งแต่ 10.30 น. และเริ่มมีค่าการส่องสว่างเกือบจะคงที่ในระดับหนึ่งแล้วจึงเริ่มมีค่าลดลงหลังเวลา 14.00 น. จะเห็นว่าข้อมูลชุดนี้ ในช่วงเวลาดังกล่าวน่าจะเป็นประโยชน์ในการตั้งข้อสังเกตของการหาค่าเดลิทไฟฟัดเตอร์ และทำความเข้าใจในเรื่องมุมของการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นที่ศึกษา แต่อย่างไรก็ดี เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้เป็นเพียงแค่การเก็บข้อมูลเพียงส่วนเดียวถึงแม้ทดลอง 3 ครั้งและได้ค่าใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังเป็นเพียงช่วงเวลาในเดือนมกราคม ของปี พ.ศ. 2546 เท่านั้น ยังคงต้องอาศัยปัจจัยส่วนอื่นในการตั้งข้อสังเกตปัญหา เพื่อนำไปสู่การตั้งสมมติฐานในหัวข้อต่อไป

สภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดลองเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา (15 มกราคม 2546) สภาพ

ท้องฟ้าโดยทั่วไปเฉลี่ยตลอดทั้งวันเป็นสภาพท้องฟ้าโปร่ง มีลักษณะท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนในตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช้าและช่วงเวลาก่อนพลบค่ำ เนื่องจากอากาศเย็นและมีหมอกลง ส่วนในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 9.00 น. เป็นต้นไป ท้องฟ้ามีสภาพลักษณะแบบท้องฟ้าโปร่งเกือบตลอดทั้งวัน มีเมฆเล็กน้อยในช่วงเวลาเที่ยง พระอาทิตย์ขึ้นเวลา 6.45 น. และตกเวลา 17.45 น. อุณหภูมิเฉลี่ย 26 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 18 องศา และสูงสุด ที่ 29 องศา ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 72

การนำข้อมูลการทดลองวัดค่าปริมาณการส่องสว่างในพื้นที่ศึกษาเพื่อไปคำนวณหาค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับวันที่สภาพท้องฟ้าในสิ่งแวดล้อมมีค่าการส่องสว่างแบบกระจายของแสงที่กระทำในแนวระนาบ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดในรอบปี จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลที่ได้ในข้อ 3.4 เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดในจุดวัดค่าปริมาณการส่องสว่างทั้ง 8 จุดเปรียบเทียบกับค่าปริมาณการส่องสว่างภายนอก (ข้อมูลในจุดที่ 9) ซึ่งเป็นตัววัดค่าปริมาณการส่องสว่างจากสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนร้อยละด้วยวิธีของเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ตามสมการที่ 2.27 และ 2.28 จะได้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ของจุดวัดค่าทั้ง 8 จุดตามตารางที่ ก.14 และสามารถเขียนกราฟเชิงเส้น ซึ่งแสดงในรูปที่ ข.2 ในภาคผนวก โดยการคำนวณค่าเดไลท์แฟคเตอร์ นั้น เลือกคำนวณตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น. เมื่อนำผลจากตารางและกราฟไปวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

3.5.1. เมื่อพิจารณาตามจุดการติดตั้งเพื่อวัดค่าปริมาณการส่องสว่างจะพบว่า ในจุดที่ 1 จะมีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่สูงกว่าจุดอื่นๆ เนื่องจากอยู่ติดกับหน้าต่างในด้านทิศเหนือจะสังเกตเห็นว่ามีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่ร้อยละ 2.3 ซึ่งเกือบได้ระดับมาตรฐานค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ของ CIE ที่ร้อยละ 2.5 แต่ ค่ายังต่ำกว่าเกิดขึ้นในช่วงเวลา 8.00 น. และ 17.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ใช้พื้นที่ไม่ได้ประกอบกิจกรรมเขียนแบบอย่างเต็มที่ และค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่มีค่ามากนั้นเนื่องจากมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่ออาคารยังอยู่ในมุมที่ใกล้กับแนวระนาบ ส่วนในช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. จนถึง 15.00 น. จะมีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ประมาณร้อยละ 0.5 – 0.9 ซึ่งยังถือว่า ต่ำกว่าระดับมาตรฐานที่ CIE กำหนด

3.5.1.1. จุดที่ 2,3,4 ในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. มีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ เฉลี่ยที่ร้อยละ 0.4 – 0.7 ซึ่งยังถือว่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ CIE กำหนด

3.5.1.2. จุดที่ 5,6,7 ในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. มีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ เฉลี่ยที่ต่ำมาก ไม่เหมาะแก่การใช้ในกิจกรรมการเขียนแบบ

3.5.1.3. จุดที่ 8 ในช่วงเวลาที่ทำการวัดค่าทั้งหมด พบว่ามีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่ต่ำมาก เช่นกันแม้จะเป็นจุดที่ใกล้หน้าต่างในทิศใดก็ตาม แต่เนื่องจากภายนอกอาคารในด้านนี้มีต้นไม้ใหญ่เป็นตัวบังความสว่าง

3.5.1.4. เมื่อพิจารณาตามเวลาในการวัดค่ากับ จุดที่ทดลองเก็บข้อมูลทั้ง 8 จุด ตามรูปที่ ข.1 – ข.4 ในภาคผนวก นั้นสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

3.5.1.5. ในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 10.00 น. และ 16.00 น. ถึง 17.00 น. นั้น กราฟเชิงเส้นของเดไลท์แฟคเตอร์ จะมีความชันค่อนข้างมาก นั้นหมายถึงความสม่ำเสมอในการส่องสว่างของพื้นที่ มีค่าแตกต่างกันมาก ถึง 4 เท่า ซึ่งมีความสม่ำเสมอในการส่องสว่างที่ดีควรมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 30 หรือ 0.3 เท่า

3.5.1.6. ช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. ความสม่ำเสมอของการส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากเส้นกราฟเดไลท์แฟคเตอร์ มีความชันน้อย และมีค่าความแตกต่างของค่าเดไลท์แฟคเตอร์ในแต่ละจุดไม่มากนัก

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์การทดสอบ พอจะสามารถสรุปเป็นประเด็นปัญหาหลักของพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้

1. พื้นที่ศึกษามีค่าปริมาณการส่องสว่างตลอดทั้งวันไม่เพียงพอต่อกิจกรรมในพื้นที่ มีค่าปริมาณการส่องสว่างต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน CIE อยู่มาก ทั้งที่เปิดช่องรับแสงในด้านข้าง (หน้าต่าง) อย่างเต็มที่แล้ว ดังนั้น ในการแก้ปัญหาหา จึงควรตั้งสมมติฐานโดยการเปิดช่องแสงจากระนาบหลังคา เพื่อเพิ่มค่าปริมาณการส่องสว่างดังกล่าวในบทความเป็นมาแล้ว

2. พื้นที่ศึกษามีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight factor) ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณการส่องสว่างภายในพื้นที่ศึกษากับการส่องสว่างภายนอกอาคารมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ CIE กำหนด ซึ่งเป็นผลมาจากบริเวณส่วนกลางของพื้นที่ศึกษาได้รับปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอ จึงต้องหาวิธีออกแบบเพื่อเพิ่มค่าดังกล่าว

3. เมื่อเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ในแต่ละช่วงเวลาแล้ว พบว่าอีกปัญหาหนึ่งที่ต้องสนใจคือ ความสม่ำเสมอในการกระจายแสง เพื่อให้การส่องสว่างภายในพื้นที่มีคุณภาพที่ดีภายในพื้นที่ยังมีปัญหาเรื่องความสม่ำเสมอในการส่องสว่าง โดยเฉพาะบริเวณใกล้หน้าต่างจะมีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ สูงกว่าจุดอื่นๆ จึงควรออกแบบปรับให้มีการส่องสว่างและมีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่ใกล้เคียงกับจุดอื่นๆสำหรับวิธีการตั้งสมมติฐานในการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.6 การตั้งสมมติฐานในเรื่องการปรับปรุงสภาพการส่องสว่าง

จากการสรุปประเด็นปัญหาในหัวข้อ 3.2 โดยมีแนวทางการออกแบบทางสถาปัตยกรรม เพื่อเพิ่มปริมาณการส่องสว่างที่เพียงพอ มีคุณภาพการส่องสว่างที่ดี มีการกระจายแสงที่สม่ำเสมอ มีค่าการเปรียบเทียบการส่องสว่างเมื่อเทียบกับความสว่างภายนอกที่พอเพียงและเหมาะสม จึงเลือกการออกแบบช่องเปิดการรับแสงสว่างจากระนาบด้านบน ด้วยหลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw-tooth) และมอนิเตอร์ (Monitor) โดยอาศัยหลักการออกแบบและข้อเสนอแนะของ Claudel L. Robbins ซึ่งมีหลักการออกแบบหลังคาทั้งสองชนิด เพื่อผลทางการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ ดังต่อไปนี้

3.6.f หลักการให้แสงสว่างจากระนาบด้านบน (Top Lighting) ด้วยหลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw Tooth)

การให้แสงสว่างธรรมชาติจากด้านบนด้วยหลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw Tooth) นิยมมาตั้งแต่สมัยปฏิวัติอุตสาหกรรมในช่วง ค.ศ. ที่ 19 มีการใช้อย่างแพร่หลายซึ่งเป็นที่นิยมสำหรับอาคารที่ต้องการพื้นที่ทำงานจำนวนมากๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โรงเรียน โรงอาหาร และอื่นๆ จากนั้นนักออกแบบได้ทำการประยุกต์ใช้กับอาคารสมัยใหม่ ซึ่งใช้ทั้งอาคารสำนักงาน โรงเรียน ห้องสมุด ห้างสรรพสินค้า โรงงานคอมพิวเตอร์ ฯลฯ

ขนาดของการเปิดช่องเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารด้วยหลังคาแบบฟันเลื่อย จากการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของขนาดและอัตราสัดส่วนของหลังคารูปแบบดังกล่าว พบว่ามีข้อเสนอแนะในการให้ขนาดและสัดส่วนเพื่อให้เกิดการกระจายแสงสว่างที่ดีพบว่า

3.6.1.1. อัตราสัดส่วนความสูง (H) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของระยะจากพื้นถึงจุดยอดของช่องเปิด (f) กับ ระยะความสูงของช่องเปิด (h) อัตราสัดส่วน H นี้ จะมีผลในเรื่องของระยะการส่องสว่างของแสงธรรมชาติทะลุผ่านจากช่องเปิดเข้ามายังพื้นที่ที่กำลังพิจารณา อัตราสัดส่วนยิ่งมากระยะของการส่องสว่างเข้ามาในพื้นที่ก็จะมากขึ้นด้วย ซึ่งพิจารณาได้จากสมการดังนี้

$$H = f / h \dots \dots \dots (3.1)$$

ในการทดลองเพื่อหาค่าสัดส่วนของ H ที่เหมาะสม Claude L. Robbins ได้กล่าวไว้ว่า สัดส่วนของ H สำหรับหลังคาแบบพินเหลี่ยม⁵ ที่เป็นสัดส่วนพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองควรเป็น สัดส่วน $f/h, = 3.5 : 1$

ในการออกแบบหลังคาแบบพินเหลี่ยมเพื่อให้ได้รูปแบบ (Pattern) ของแสงสว่างธรรมชาติที่ต้องการ และให้ได้ผลนั้น จะต้องคำนึงถึงข้อสำคัญในการออกแบบ 4 ประการคือ

- การกระจายแสงของหลังคาแบบพินเหลี่ยมในลักษณะเป็นชุด จะดีกว่าหลังคาแบบพินเหลี่ยม แบบตัวเดียว
- แสงสว่างธรรมชาติที่ได้จากหลังคาพินเหลี่ยมตัวแรก จะมีความแตกต่างจากหลังคาตัวสุดท้ายในชุดเดียวกัน
- รูปแบบแสงสว่างจากธรรมชาติที่ได้จากหลังคาพินเหลี่ยม จะขึ้นกับสภาพเงื่อนไขของสภาพท้องฟ้า
- การกำหนดรูปแบบการส่องสว่างด้วยแสงสว่างจากธรรมชาติจากหลังคาพินเหลี่ยม จะได้ผลเมื่อชุดหลังคาพินเหลี่ยม มีจำนวน พินเหลี่ยมตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป

จากอัตราสัดส่วน H พื้นฐานของหลังคาแบบพินเหลี่ยม พบว่าจุดที่ค่าการส่องสว่างจากแสงธรรมชาติมากที่สุดจะได้ปริมาณแสงสว่าง 2 ใน 3 เมื่อเทียบจากปริมาณการส่องสว่างที่พื้นที่ศึกษากับบริเวณช่องเปิด และมีค่าการส่องสว่างต่ำสุดในปริมาณ 1 ใน 3 ณ ตำแหน่งเดิมทั้งนี้ ขึ้นกับสภาพท้องฟ้าเป็นลักษณะแบบ ท้องฟ้าโปร่ง แต่ใน สภาพท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky) จุดทั้งสองอาจจะอยู่ใกล้กันมากซึ่งมีผลทำให้ค่าการกระจายของแสงมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

มุมของช่องเปิดของหลังคาพินเหลี่ยม ที่กระทำต่อแหล่งกำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์มีผลต่อความสม่ำเสมอของการกระจายแสง มุมที่กระทำในทิศเหนือจะให้ความสม่ำเสมอดีที่สุด

3.6.1.2. อัตราสัดส่วน (M) เป็นอัตราส่วนความแตกต่างระหว่างความยาวของช่องเปิด (l) และความสูงของช่องเปิด (h) เรียกว่าอัตราสัดส่วน (M) นั้นซึ่งมีผลต่อการกระจายความสม่ำเสมอของแสง ทั้งค่าอัตราสัดส่วนความแตกต่าง H และ M นั้นจะสามารถควบคุมปริมาณและการกระจายของแสงสว่างธรรมชาติได้เป็นอย่างดี สำหรับอัตราสัดส่วนของค่า M นั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$M = l / h \dots \dots \dots (3.2)$$

⁵ Claude L. Robbins, 1986, Daylighting Design and Analysis. New York, Van Nostran, page 98-103

ในการทดลองเพื่อใช้อัตราสัดส่วนของ M ที่เหมาะสมในการทดลอง Claude L.Robbins⁶ ได้กล่าวไว้ว่าอัตราสัดส่วนพื้นฐานในการทดลองที่ดีควรเป็นอัตราสัดส่วน $M = \infty : 1$ ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดในการออกแบบด้วยวิธีแบบหลังคาต่อเนื่อง (Continuous Saw tooth)

3.6.1.3. อัตราสัดส่วน (S) เป็นอัตราส่วนระหว่างระยะจากพื้นถึงยอดของช่องเปิด(f) กับความกว้างด้านเอียงของหลังคาพื้นเอียง (s) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่สำคัญมากและถือเป็นเอกลักษณ์ของหลังคาแบบพื้นเอียง เรียกว่าอัตราสัดส่วน S ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$S = f / s \dots \dots \dots (3.3)$$

อัตราสัดส่วน S นี้จะเปลี่ยนลักษณะการกระจายของแสงในสภาพพื้นฐานทั้งในสภาพท้องฟ้าโปร่งและท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมที่สัดส่วนอัตรา S นี้ อยู่ระหว่าง 1: 1 และ 1.5 : 1 จะทำให้ปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่การศึกษา มีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดจะไม่แตกต่างกันมากนัก นั้นหมายถึง การกระจายแสงสว่างมีความสม่ำเสมอดี แต่เมื่อค่าอัตราสัดส่วน S มากกว่า 1.5 : 1 ความแตกต่างของค่าการส่องสว่างสูงสุดและต่ำสุดจะมีค่าลดลง และจะทำให้มีค่าความแตกต่างของการมองเห็นหรือคอนทราสต์ (Contrast) ได้ดีขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากค่าอัตราสัดส่วน S น้อยกว่า 1: 1 การกระจายแสงในช่วงที่สว่างสลับกับที่มืด อาจจะมีค่าแตกต่างกันเป็นเท่าตัว

ในการทดลองนี้ใช้สัดส่วน S ที่ 1: 1 ซึ่งเป็นค่าพื้นฐานที่ Claude L.Robbins ได้กล่าวไว้ นอกจากนี้ การทำความสะอาดของแสงยังมีผลต่อการรับปริมาณแสงและความสม่ำเสมอในการกระจายแสงด้วย พบว่าควรทำความสะอาดทุกๆ 4 เดือน จะทำให้มีประสิทธิภาพในการส่องสว่างที่ได้ผล สำหรับผลกระทบต่อการให้แสงธรรมชาติในด้านปริมาณและการกระจายแสงของหลังคาพื้นเอียง เราสามารถใช้ค่า H และ S เป็นตัวกำหนดได้ก็ตาม แต่ในกรณีหลังคาพื้นเอียงที่มีระยะห่างของช่องเปิด ระยะจากช่องหนึ่งไปยังอีกช่องหนึ่ง โดยวัดจากปลายหลังคาเอียงจากชุดพื้นเอียง ตัวหนึ่งไปยังช่องเปิดของชุดพื้นเอียง อีกตัวหนึ่ง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$W = s / w \dots \dots \dots (3.4)$$

ค่า W เป็นอีกอัตราส่วนหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เมื่อค่านี้ มีค่า W=0 การกระจายของแสง จะมีความสม่ำเสมอ และให้รูปแบบ (Pattern) การส่องสว่างกับหลังคาพื้นเอียง ทั้ง 3 ชุด เมื่อเพิ่ม

⁶ Claude L.Robbins, 1986, Daylighting Design and Analysis. New York, Van Nostran, page 98-103

ค่า W เป็น 0.5 : 1 ความสม่ำเสมอของการกระจายแสงจะลดลง และเมื่อเพิ่ม W เป็น 1.5 : 1 จะทำให้ช่องเปิดหลังคาพื้นเล็ย แต่ละอันถูกพิจารณาแยกออกจากกัน ในลักษณะเป็นจุด ดังนั้นค่า W ที่พิจารณาจะพิจารณาที่ $0 > W > 1.5 : 1$

ในการทดลองนี้จะใช้ช่องเปิดแบบพื้นเล็ย ที่ตั้งจากทำมุม 90 องศากับแนวระนาบเท่านั้น โดยหันช่องเปิดไปทางด้านทิศเหนือ เพราะจะให้แสงสว่างธรรมชาติที่นุ่มนวลและหลีกเลี่ยงรังสีตรง จากดวงอาทิตย์ โดยไม่ใช้มุมอื่น และทิศอื่น และพยายามหลีกเลี่ยงการใช้ รูปทรงหลังคาแบบ ปีกผีเสื้อ (Butterfly roof) เพราะความไม่เหมาะสมด้านโครงสร้าง

3.6.2 หลักการให้แสงสว่างจากระนาบด้านบน(Top Lighting) ด้วยหลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor)

ช่องเปิดหลังคาแบบ มอนิเตอร์ (Monitor) มีการใช้อัตราสัดส่วนเหมือนกับหลังคาแบบ พื้นเล็ย แต่มีบางอัตราสัดส่วนที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมมากขึ้น อัตราสัดส่วนที่ใช้โดยมาตรฐานมี ดังนี้ (เนื่องจากหลังคาแบบ มอนิเตอร์ มีช่องเปิดทั้งสองทิศทาง จึงมีค่า H เป็น สองค่า คือ H1 และ H2 ในทำนองเดียวกัน ค่า M ก็จะมีสองค่า คือ M1 และ M2)

$$H1 = H2 = 3.5 : 1 \quad (\text{ในกรณีที่เปิดทั้งสองด้านเท่ากัน})$$

$$S = 1 : 1$$

$$W = 1 : 1$$

$$M1 = M2 = \infty : 1$$

ลักษณะการกระจายแสงภายใต้หลังคาแบบ มอนิเตอร์ เกือบจะเหมือนกับหลังคาแบบพื้น เล็ย แต่แตกต่างกันตรงที่แสงสามารถส่องกระจายเข้ามายังพื้นที่ได้ทั้งสองทิศทาง

การออกแบบทำหลังคาแบบมอนิเตอร์เป็นชุดนั้น ลักษณะของการกระจายแสงแทบจะไม่ แตกต่างจากการทำหลังคาแบบมอนิเตอร์เพียงชุดเดียว ดังนั้นการออกแบบการกระจายแสงจึง อาจจะใช้หลังคามอนิเตอร์เพียงชุดเดียว โดยเปิดช่องแสงออกทั้งสองทิศทาง อย่างไรก็ตามค่า

อัตราสัดส่วน S หรือ W น้อยกว่า 1: 1 และค่า H1 ไม่เท่ากับ H2 รูปแบบการกระจายแสง อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ จากแบบพื้นฐาน

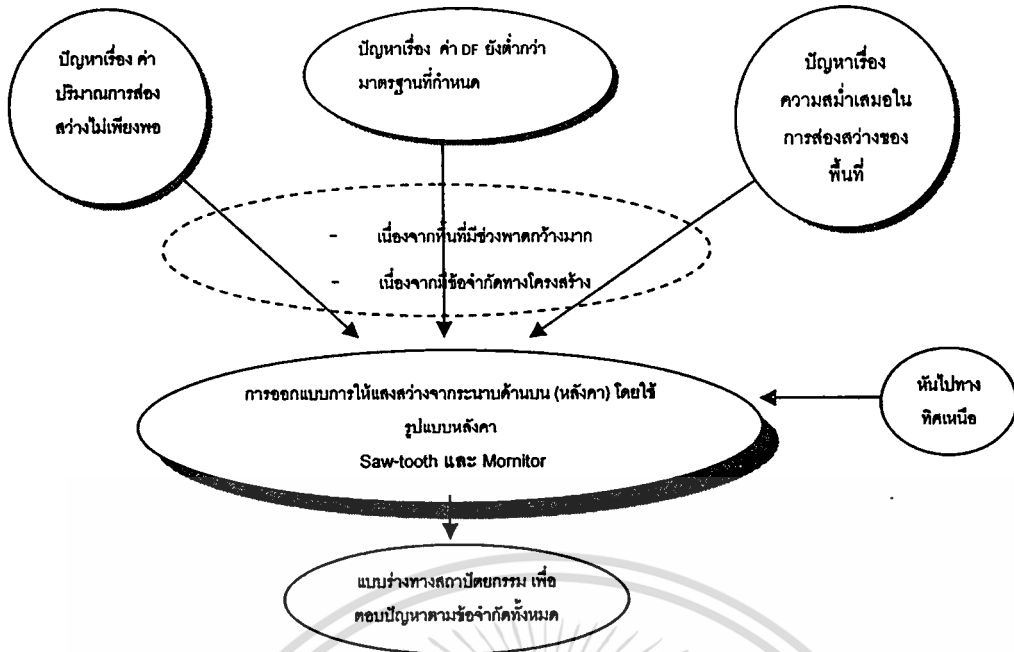
การให้แสงสว่างธรรมชาติด้วยหลังคาแบบมอริเตอร์นั้น การกระจายแสงภายใต้ท้องฟ้า ชนิดต่างๆ และทิศทาง มีส่วนสำคัญในการกำหนดรูปแบบการกระจายแสงภายใต้สภาพท้องฟ้า แบบมีเมฆปกคลุมที่การกระจายแสงจะสม่ำเสมอมากที่สุด แต่ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบโปร่งจุดที่ สว่างมากที่สุดและต่ำที่สุดจะปรากฏขึ้น

สำหรับค่า M ในหลังคาแบบมอริเตอร์นั้นจะให้จำนวนแสงสว่างในปริมาณที่มากโดยจุด ต่างระหว่างปริมาณแสงสูงสุดและต่ำสุดจะยังมีค่ามาก เมื่อค่า $M1 = M2 = \infty : 1$ ส่วนสภาพ ท้องฟ้าแบบ มีเมฆปกคลุมที่บไม่ปรากฏค่าความแตกต่างของความเข้มแห่งการส่องสว่าง สำหรับ ท้องฟ้าโปร่งจะมีค่าความแตกต่างทั้งนี้ขึ้นกับทิศทางของช่องเปิดที่กระทำต่อดวงอาทิตย์

สำหรับค่า H เมื่อ $H1 = H2$ เท่ากันนั้นการกระจายแสงจะสม่ำเสมอ ค่าความแตกต่าง ระหว่างความส่องสว่างสูงสุดและต่ำสุดจะไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อ H1 และ H2 ที่มีสัดส่วนที่ แตกต่างกันโดยที่ $H1 = 6:1$ และ $H2 = 3.5:1$ หรือสลับค่ากัน จะทำให้เกิดค่าความแตกต่าง ระหว่างการส่องสว่างสูงสุดต่ำเกิดขึ้น

สำหรับค่า S และ W ซึ่งเป็นอัตราสัดส่วนที่สำคัญและมีผลกระทบต่อการกระจายแสงและ ค่าปริมาณการส่องสว่างสูงสุด และต่ำสุด กล่าวคือเมื่อค่า S และ W มีอัตราสัดส่วนน้อยกว่า 1: 1 การกระจายแสงจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น และเมื่อค่า S และ W มีอัตราสัดส่วนเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.5 : 1 ตำแหน่งค่าการส่องสว่างสูงสุดและต่ำสุดจะแยกออกจากกันชัดเจนมากขึ้น ทำให้เกิดค่า ความต่างของการมองเห็น (Contrast)

การให้แสงสว่างธรรมชาติด้วยหลังคาแบบ มอริเตอร์ นั้นจะให้ประสิทธิภาพค่อนข้างดี มาก และง่ายต่อการควบคุมระดับปริมาณการส่องสว่างของแสงธรรมชาติในพื้นที่ ลดค่าความ แตกต่างระหว่างจุดที่มีค่าสูงสุดและจุดต่ำสุด ทำให้เกิดการกระจายแสงในพื้นที่อย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 3.12 รูปแสดงแผนภาพแนวคิดในการเลือกใช้รูปทรงหลังคาในการออกแบบ

3.7 เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้บังคับในการปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่าง

จากเรื่องมาตรฐานการส่องสว่างในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5.1 นั้น ในการให้แสงสว่างธรรมชาติในพื้นที่ใช้งานจะต้องเพียงพอตลอดเวลาการทำงานโดยมีปริมาณความส่องสว่างที่เหมาะสมต่อกิจกรรม ซึ่งมีองค์วิธีที่ได้กำหนดมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดคือ CIE ซึ่งได้กำหนดค่าการส่องสว่างเป็น 3 ช่วงและได้มีการกำหนดค่าเดไลท์แฟคเตอร์เป็น 2 ช่วง ดังคัดลอกจากตารางที่ 2.3 ซึ่งมุ่งประเด็นในเรื่องกิจกรรม ซึ่งแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่ามาตรฐานปริมาณการส่องสว่างสำหรับการเขียนแบบที่ CIE กำหนด

กิจกรรม	ค่าการส่องสว่าง (ลักซ์) ตามมาตรฐาน CIE	ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (ร้อยละ)		
		เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
เขียนแบบ	500 – 750 – 1,000	5	2.5	ระดับทำงาน

จากตารางจะพบว่า การกำหนดค่าปริมาณการส่องสว่างและค่าเดไลท์แฟคเตอร์ตามมาตรฐาน CIE นั้นเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่า CIE จะไม่ขึ้นกับประเทศใดก็ตาม แต่ฐานวิธีคิดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดค่ามาตรฐานนั้นมาจากประเทศในแถบยุโรป ซึ่งมีลักษณะท้องฟ้าเมฆปกคลุมทึบซึ่งโดยปกติจะมีค่าการส่องสว่างของค่าเฉลี่ยของแสงที่ตกกระทบในแนวนอนตลอดปีมาสูงนัก ทั้งนี้เนื่องจากท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมทึบ เป็นแสงลักษณะแสงกระจาย (Diffused Light) มองไม่เห็นดวงอาทิตย์ และไม่เห็นแสงแดดตรง (Direct Sun Light) ดังนั้นค่ามาตรฐานดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยสูงสุดไม่เกิน 50,000 ลักซ์ ซึ่งต่างจากสภาพท้องฟ้าในประเทศไทย ซึ่งมีที่ตั้งอยู่ในแถบศูนย์สูตร มีสภาพท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) หรือ (Intermediate Sky) ซึ่งมีสภาพแสงแดดและการส่องสว่างที่แรง มีแดดตรงและมีสภาพท้องฟ้าโปร่ง ในบางฤดู มีสภาพของเมฆบนท้องฟ้าเฉลี่ยประมาณ 5.5 ในช่วงเดือนมกราคม ถึง เมษายน และมีประมาณ 7.5 ในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน และมีประมาณ 6.5 ในช่วงเดือน ธันวาคม โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ 6.8 (ข้อมูลจาก กรมอุตุนิยมวิทยา)

จากรายงานการบันทึกผลข้อมูล โครงการวิจัยแสงธรรมชาติ ด้วยการตรวจวัดปริมาณแสงธรรมชาติตลอดทั้งปี พ.ศ. 2542 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี (แสดงในภาคผนวก ก.) พบว่าค่าเฉลี่ยแสงที่ตกกระทบในแนวนอนทั้งหมดรายเดือน พ.ศ. 2542 มีค่าสูงสุดถึง 108,000 ลักซ์ ในช่วงเวลา 12.00 น. ของเดือนเมษายน ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก.

หากพิจารณาถึงเวลาในการใช้งานของพื้นที่ศึกษาคือเวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. และมีช่วงเวลาในการลงมือปฏิบัติการเขียนแบบตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. ของช่วงเวลาการศึกษา (ยกเว้นเดือน มีนาคม เมษายน พฤษภาคม และตุลาคม ของทุกปี) แล้ว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการส่องสว่างการเขียนแบบที่ 500 – 750 – 1,000 ลักซ์ และเมื่อนำค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่มาตรฐาน CIE กำหนด สูงสุดที่ร้อยละ 5 และต่ำสุดที่ร้อยละ 2.5 มาใช้นอกจากนี้ทดลองใช้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่ร้อยละ 1 , 1.5 และ 2.0 เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความต้องการการส่องสว่างจากภายนอก จะได้ตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณการส่องสว่างจากภายนอกเมื่อคำนวณด้วยค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่
ต้องการทดลอง

ค่า DF (%)	ค่ามาตรฐานปริมาณการส่องสว่างของการเขียนแบบ		
	500 lux	750 lux	1,000 lux
1.0	50,000	75,000	100,000
1.5	33,333	50,000	66,666
2.0	25,000	37,500	50,000
2.5	20,000	30,000	40,000
3.0	16,666	25,000	33,333
5.0	10,000	15,000	20,000

เมื่อนำตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 มาพิจารณาพบว่า ค่ามาตรฐานที่จะใช้ในการวิจัยเพื่อการออกแบบครั้งนี้ ควรใช้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่ร้อยละ 1.5 เนื่องจากค่าส่องสว่างภายนอกที่ได้จากตาราง ก.1 มีค่าพอเพียงที่จะทำให้พื้นที่ภายในมีค่าปริมาณการส่องสว่างได้ทั้ง 3 ค่าคือ 500 ลักซ์ในช่วงเวลา 8.00 – 9.00 น. และ 16.00 – 17.00 น. และค่า 750 ลักซ์ในช่วงเวลา 9.00 – 10.00 น. และ 15.00 – 16.00 น. และค่า 1,000 ลักซ์ ในช่วงเวลา 10.00 – 15.00 น.

แต่อย่างไรก็ดี จะต้องมี การควบคุมในเรื่องความสม่ำเสมอในการกระจายแสง โดยในแต่ละจุดทดลองหรือพื้นที่ใช้งานทุกๆ ตารางเมตรในพื้นที่ศึกษา ไม่ควรมีค่าปริมาณการส่องสว่างต่างกันมากกว่าร้อยละ 3 และต้องไม่เกิดแสงบาดตา หรือแสงจ้าจนทำให้เกิดความล้าทางสายตา โดยออกแบบให้ช่องเปิดรับแสงเป็นช่องเปิดจากหลังคาเพื่อให้แสงสว่างส่องจากทิศทางด้านบน และลดการสะท้อนที่พื้นเพื่อไม่ให้เกิดแสงส่องบาดตา และหันช่องแสงไปทางทิศเหนือเพื่อหลีกเลี่ยงการรับรังสีตรงและความร้อน

สรุปค่ามาตรฐานต่างๆที่ใช้ในการทดสอบการออกแบบในการวิจัยมีดังนี้

- ค่าปริมาณการส่องสว่างที่ต้องการที่ระดับทำงานอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 500 ลักซ์
- ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่ยอมรับได้ในพื้นที่ศึกษา คือ ร้อยละ 1.5
- ความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง มีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 30

3.8 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการทดลองภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลจากแบบร่างทางสถาปัตยกรรม โดยใช้การทดสอบด้วยหุ่นจำลองกายภาพ (Physical Model Test) ภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ในช่วงเวลาเดือนเมษายน 2546 ซึ่งจะเป็นช่วงที่มีค่าการส่องสว่างภายนอกในแนวระนาบมากที่สุด และใช้พิกัดที่ตั้งบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีระยะห่างจากพื้นที่ศึกษาเพียง 50 เมตร ไปทางทิศตะวันตก ได้แบ่งรายละเอียดขั้นตอนการทดลองไว้เพื่อให้สำหรับบันทึกข้อมูลภาคสนามไว้ดังนี้

- ขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือ กำหนด และเลือกสถานที่ตั้งเพื่อทำการทดลอง
- ขั้นตอนการเตรียมแบบร่าง และหุ่นจำลอง
- ขั้นตอนการทดลองกับสภาพท้องฟ้าจริง

เก็บบันทึกข้อมูลค่าปริมาณการส่องสว่างด้วยเครื่องมือวัดในรูปตัวเลขสถิติ

เก็บบันทึกข้อมูลสภาพการส่องสว่างภายในหุ่นจำลองด้วยภาพถ่ายทางกายภาพ

- ขั้นตอนการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล
- ขั้นตอนการสรุปผล

โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.8.1 รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.8.1.1. วิธีการทดลอง ในการออกแบบทดลอง ได้เลือกวิธีการทดลองด้วยการทดสอบจากหุ่นจำลองทางกายภาพ (Physical Model Test) ภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง เนื่องจากต้องการให้การทดลองใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด การไม่ใช้ห้องทดลองด้วยท้องฟ้าจำลอง ทั้งแบบ "Sky dome" หรือ "Mirror Box" และ "Heliodon" เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวเป็นการจำลองลักษณะท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมที่ซึ่งต่างจากสภาพท้องฟ้าจริงของที่ตั้ง ซึ่งเป็นท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน (Intermediate Sky) มีสภาพการส่องสว่างที่มากกว่า มีอุณหภูมิสีที่ถูกต้อง และที่สำคัญ การทดลองโดยอาศัยท้องฟ้าจำลองจะต้องกำหนดสภาพความสว่างให้ถูกต้อง ซึ่งมีความยุ่งยากในการทดลอง และจะต้องเตรียมความพร้อมของเครื่องมือ รวมไปถึงการปรับค่าต่างๆให้เหมาะสม และจะต้องทดสอบค่าการส่องสว่างเฉลี่ยรวมให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่ต้องการ นอกจากนี้ ยังต้องเตรียมสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวซึ่งจะต้องลงทุนในการติดตั้ง และทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือด้วย เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้อยู่ในกรอบของเวลาที่มี และมีผลใกล้เคียงกับ

สภาพจริง จึงเลือกใช้สภาพท้องฟ้าจริงในการทดลอง เมื่อได้ข้อมูลจากการทดลองแล้วให้นำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่าในตารางในหัวข้อ 3.4

3.8.1.2 สถานที่ในการทำการทดลอง เลือกใช้สถานที่โล่งแจ้ง และมีสภาพพื้นเป็นสนามหญ้า เพื่อลดค่าสะท้อนจากการกระจายแสงของวัตถุอื่นๆ เลือกสถานที่ทดลองที่มีที่ตั้งใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา โดยห่างไปทางทิศตะวันตกเพียง 50 เมตรเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและอุปกรณ์ในการติดตั้งเครื่องมือ

3.8.1.3. เครื่องมือในการเก็บข้อมูลและวิธีติดตั้งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.4 ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ได้อธิบายไว้ในภาคผนวก แต่ในการทดลองมีรายละเอียดที่แตกต่างจากการเก็บข้อมูลในข้อ 3.2.4 เนื่องจากเป็นการทดลองกับหุ่นทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ซึ่งมีข้อแตกต่างดังนี้

- การต่อเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) นั้นใช้วิธีต่ออนุกรมเพียงชุดเดียว เนื่องจาก การต่อเครื่องทั้งหมดกับ เครื่องวัดแสง (Photometric Sensor) เป็นระยะใกล้ เพียง 3 เมตร เพียงพอกับความยาวของสายเครื่องวัดแสง (Photometric Sensor)

- การต่อสายบันทึกข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูล เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผล ใช้สาย "Comport 1" เพียงช่องทางเดียวเนื่องจากทั้งเครื่องบันทึกข้อมูลทั้งหมด ถูกต่อเป็นชุดเดียว

- การเข้าจัดการโปรแกรมการเก็บข้อมูลจึงใช้เพียงชุดเดียว

- มีการเปลี่ยนการใช้เครื่องบันทึกข้อมูลบางตัว คือ เครื่องหมายเลข 340 เป็นหมายเลข 364 และ หมายเลข 1130 เป็น 1120 เนื่องจากในการติดตั้งเพื่อทำการทดลองวันแรก มีฝนตก ซึ่งทำให้เครื่องเดิมบางเครื่องเกิดความเสียหาย

- ในการทดลองกับสภาพท้องฟ้าจริงนั้นมีอุปสรรคในการติดตั้งเครื่องมือซึ่ง จะต้องระวังเรื่อง สภาพท้องฟ้าที่มีฝนตก ควรมีพลาสติกคลุมหุ่นจำลอง เครื่องมือต่างๆในกรณีฝนตก ควรบันทึกสภาพท้องฟ้าในขณะที่ทดลองด้วยรูปถ่าย เพราะบางช่วงเวลาอาจจะมืดมาก อาจจะทำให้ข้อมูลที่เก็บได้มีการแกว่งของค่าที่บันทึก นอกจากนี้ สภาพแดดจัดและมีอุณหภูมิสูงจะมีผลต่อเครื่องมือ เนื่องจาก เครื่องมือบางชนิดทนสภาพความร้อนไม่ได้ดังนั้น จึงควรมีร่มเพื่อให้ร่มเงากับเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องบันทึกข้อมูล และควรมีพัดลมระบายความร้อนให้เครื่องคอมพิวเตอร์ และควรคำนึงถึงระยะจากที่ตั้งทำการทดลอง กับจุดในการใช้ไฟฟ้า ควรมีระยะที่เหมาะสม ไม่ควรไกลจากจุดจ่ายไฟฟ้าจากอาคารมากเกินไป ในการทดลองนี้ห่างจากจุดจ่ายไฟฟ้า ถึง 75 เมตร ทำให้ต้องต่อสายไฟฟ้าเพิ่มเติมมากขึ้น

3.8.1.4. ช่วงเวลาในการเก็บบันทึกข้อมูล ช่วงเวลาในการเก็บบันทึกข้อมูลด้านปริมาณการส่องสว่างในหุ่นจำลอง จะเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 7.00 น. เป็นต้นไป โดยทดลองกับแบบร่าง

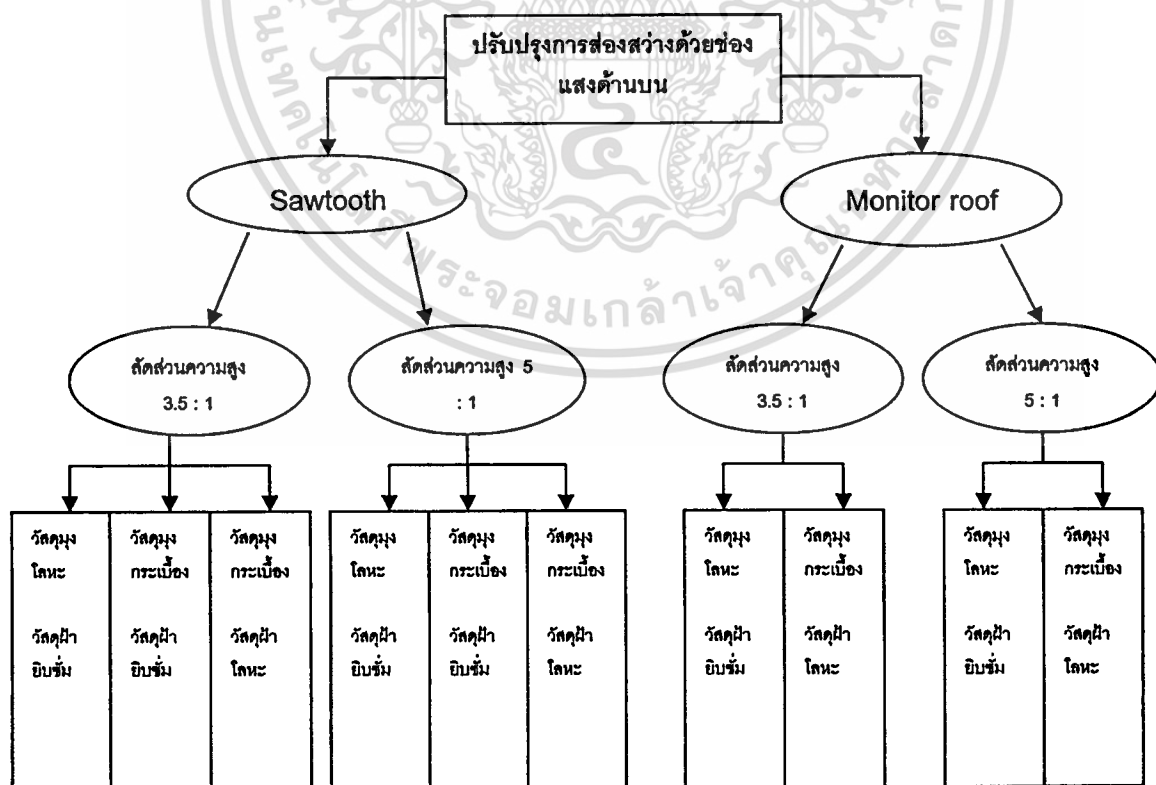
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังคาทุกแบบที่ได้กำหนดในการออกแบบไว้ โดยเปลี่ยนทรงหลังคาวันละแบบ เพื่อนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ด้านปริมาณการส่องสว่างของหลังคาทุกแบบ ในด้านคุณภาพของการส่องสว่างใช้วิธีบันทึกข้อมูลด้วยภาพถ่ายทางกายภาพ โดยบันทึกทั้งช่วงเวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. โดยบันทึกทั้งสภาพภายในและภายนอกหุ่นจำลอง พร้อมสภาพแวดล้อม สังเกตมุมของแสงแดดที่กระทำต่อหุ่นจำลอง นอกจากนี้ให้บันทึกภาพการกระจายแสงลงในพื้นที่ และสังเกตสภาพการสะท้อนของแสงบาดตา เพื่อทดสอบในเรื่องของการบาดตาของแสง (Glare)

3.8.2 การเตรียมแบบร่างและหุ่นจำลองเพื่อการทดลอง

หลังจากการเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงสร้างอาคารเดิมของพื้นที่ศึกษาตามรายละเอียดในข้อ 3.1 ซึ่งเมื่อนำมาทำการออกแบบด้วยหลังคา แบบ Sawtooth และ Monitor โดยออกแบบให้ทั้งหมดหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ และมีระยะขนาดและสัดส่วนต่างๆของหลังทั้งหมด ตามรายละเอียดข้อ 3.6 จากนั้นลองสลับแบบ ผสมแบบต่างๆของหลังคาตามความเป็นไปได้ภายใต้ข้อจำกัดทั้งหมด รวมไปถึงสลับการใช้วัสดุผนังหลังคาและวัสดุกรุฝ้าเพดาน จะทำให้ได้จำนวนแบบร่างเกิดจากการจัดสลับอันดับ และการจัดหมู่จำนวนแบบทั้งหมด 10 แบบ ดังแผนภาพที่แสดงต่อไปนี้



รูปที่ 3.13 แสดงแผนภาพในการจัดอันดับและการจัดหมู่จำนวนแบบร่างที่จะใช้ทำการทดลอง

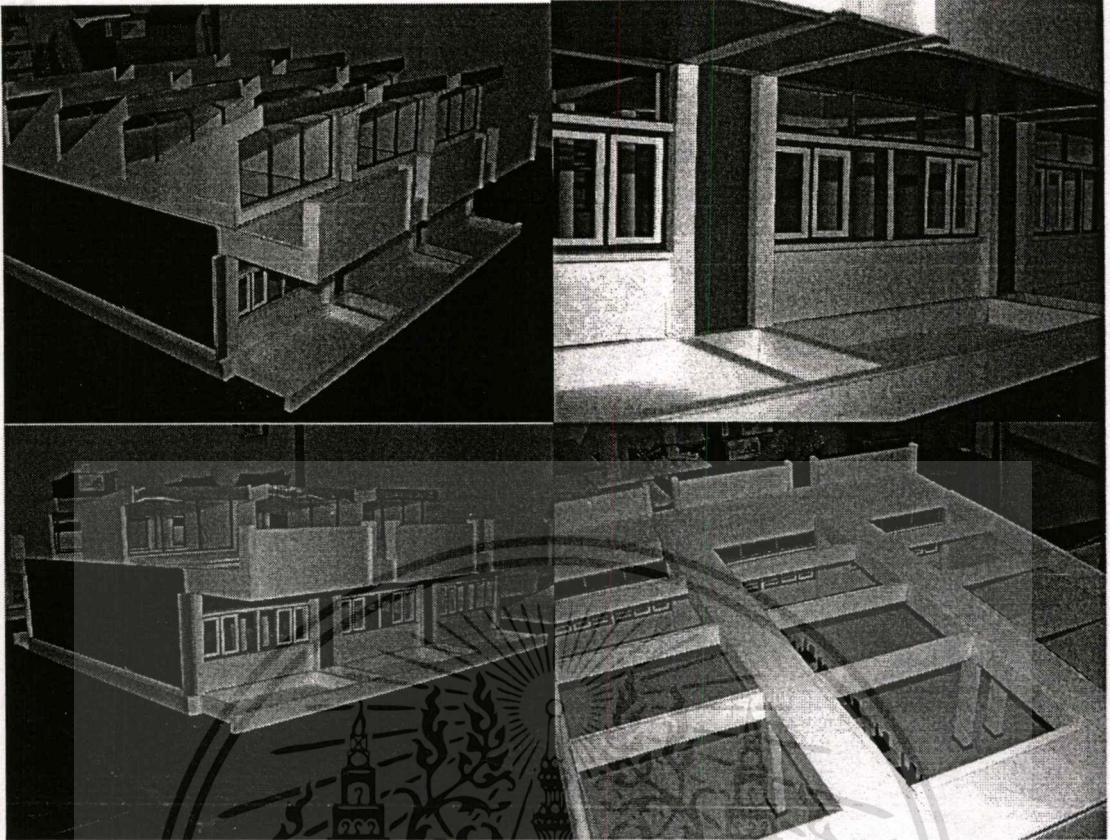
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้แบบร่างที่จะใช้ในการทดลองแล้ว นำแบบดังกล่าวมาสร้างหุ่นจำลองด้วยกระดาษแข็งตามอัตราส่วน 1: 20 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่มีความเหมาะสม มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะติดตั้งเครื่องวัดแสง(Photometric Sensor) และสามารถเคลื่อนย้ายไปเก็บได้อย่างสะดวกหลังจากทดลองแล้วในแต่ละครั้ง อีกทั้งมาตรฐานดังกล่าวมีค่าผิดพลาดทางระยะเพียง 2 เซนติเมตร เมื่อมีการประกอบหุ่นจำลองผิดพลาด 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ การให้สีและภาพลักษณะของหุ่นจำลองอยู่ในสภาพใกล้เคียงความจริงมากที่สุด โดยศึกษาลักษณะจากข้อ 3.1 การเลือกกระดาษในการประกอบหุ่นจำลองได้กำหนดค่าการสะท้อนของวัสดุต่างๆไว้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุที่จะเลือกใช้ในการทดลอง

วัสดุ	ค่าการสะท้อน	หมายเหตุ
พื้น	ร้อยละ20	ปรับค่าการสะท้อนลดลงจากของจริงที่ร้อยละ50 เพื่อลดแสงบาดตาใช้วัสดุกระเบื้องยางสีเทาอ่อน ตามแบบเดิม
ผนัง	ร้อยละ60	ใช้ค่าการสะท้อนใกล้เคียงกับวัสดุจริงในพื้นที่ ทาสีขาว
ฝ้ายิปซัม	ร้อยละ80	ใช้ค่าการสะท้อนใกล้เคียงกับวัสดุยิปซัมบอร์ดทาสีขาว
ฝ้าเพดานโลหะ	ร้อยละ95	ใช้เพื่อสะท้อนแสงกระจายเข้าสู่พื้นที่ศึกษาซึ่งในความเป็นจริงจะต้องคำนึงถึงเรื่องการบำรุงรักษาค่าการสะท้อน
วัสดุผนังกระเบื้อง	ร้อยละ80	ใช้กระเบื้องลอนคู่สีตามวัสดุกระเบื้องเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายและสะท้อนแสงเข้าสู่พื้นที่ศึกษา
วัสดุผนังโลหะ	ร้อยละ95	ใช้กระเบื้องลอนคู่โลหะชุบสังกะสีตามวัสดุกระเบื้องเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายและสะท้อนแสงเข้าสู่พื้นที่ศึกษาซึ่งในความเป็นจริงจะต้องคำนึงถึงเรื่องการบำรุงรักษาค่าการสะท้อนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

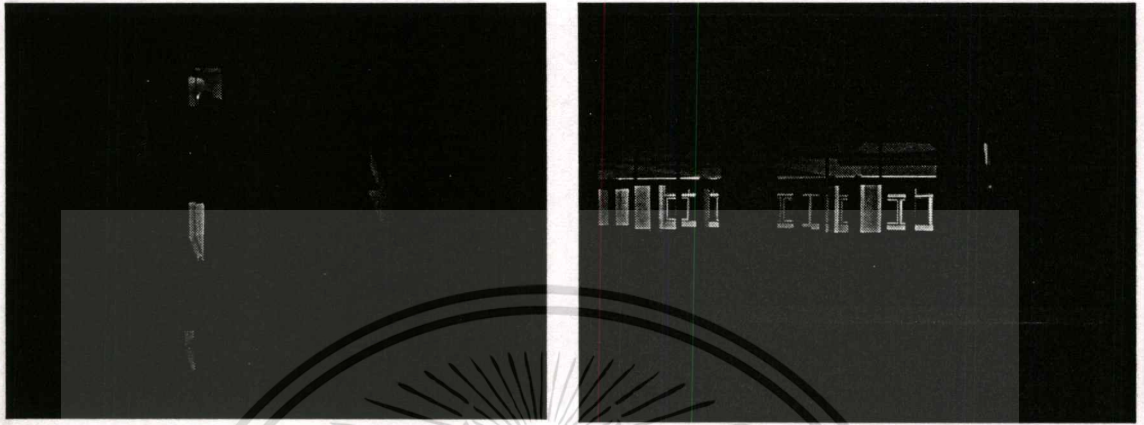


รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะหุ่นจำลองโดยสามารถออกแบบหุ่นจำลองให้เปลี่ยนหลังคาได้

ในการจำลองพื้นที่การศึกษาเลือกจำลองพื้นที่ศึกษามาจำนวน 3 ช่วงเสา เนื่องจากการทดลองมีจุดมุ่งหมายเพื่อทดสอบค่าการส่องสว่าง ค่าเดโไลท์แฟคเตอร์และความสม่ำเสมอในการกระจายแสงในช่วงสกัดของอาคารพื้นที่ศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์บริเวณด้านข้างทั้งสองด้านสกัดเพื่อป้องกันแสงจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่พื้นที่ซึ่งจะทำให้การอ่านค่ามีผลผิดพลาด แต่อย่างไรก็ดี ค่าที่บันทึกได้จะต้องนำไปหักลบค่าการสะท้อนจากวัสดุปิดดังกล่าวด้วย ซึ่งค่าสะท้อนมีค่าเท่ากับค่าการสะท้อนของผนัง คือที่ร้อยละ 60

การตรวจสอบสภาพหุ่นจำลองก่อนทำการทดลองให้อยู่ในสภาพที่ถูกต้องและเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลเนื่องจากการบันทึกค่าปริมาณส่องสว่างของแสงในขณะการทดลองจะไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ต้องอาศัยเครื่องมือเท่านั้น แต่จะสามารถสังเกตได้เฉพาะคุณภาพของแสงเท่านั้น ดังนั้นก่อนการนำหุ่นจำลองไปทดสอบจะต้องมีการตรวจสอบสภาพก่อน โดยจะต้องมีการปิดรอยรั่วต่างๆที่คาดว่าแสงตรงจากสิ่งแวดล้อมมีโอกาสเล็ดลอดเข้ามาในหุ่นจำลองได้ ด้วยการปิดด้วยเทปกาวสีดำตามรอยต่างๆให้มิดชิด และต้องดูแลตลอดช่วงการทดลอง เพราะความร้อนจากแดดมีโอกาสทำให้เทปกาวลอกออกจากหุ่นจำลองได้ ก่อนการทดลอง ควรนำหุ่นจำลองไปทดสอบในห้องมืด เพื่อทดสอบหารอยรั่วของแสง โดยการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างส่องออกจากภายในหุ่นจำลอง เมื่อพบรอยรั่วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแสงให้ทำการปิดด้วยเทปดำอีกครั้ง สำหรับฐานของหุ่นจำลองใช้ฐานไม้อัดขนาด 1.50 x 1.50 เมตร ทาสีดำเพื่อลดการสะท้อนแสงเข้าสู่หุ่นจำลอง นอกจากนี้หลังการทดลองในแต่ละครั้ง จะต้องตรวจสอบสภาพหุ่นจำลองทุกครั้ง ควรระวังป้องกันไม่ให้หุ่นจำลองถูกน้ำฝน หรือตั้งทิ้งไว้จนได้รับความชื้นจากน้ำค้าง

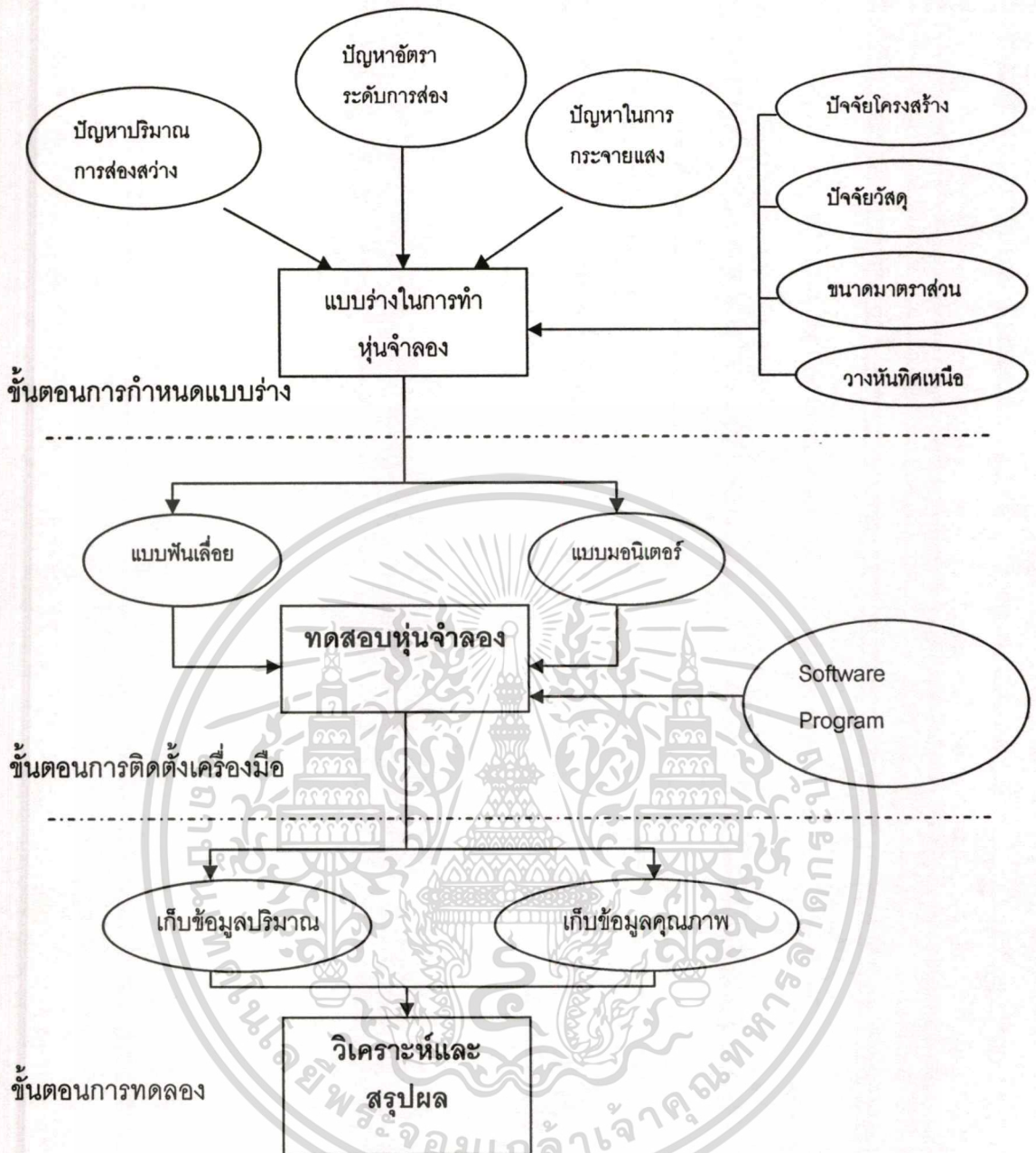


รูปที่ 3.15 แสดงการทดสอบหุ่นจำลองในที่มืด เพื่อหารอยรั่วของแสงในหุ่นจำลอง



รูปที่ 3.16 แสดงการซ่อมบำรุง หลังจากการใช้งานในการทดลองแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

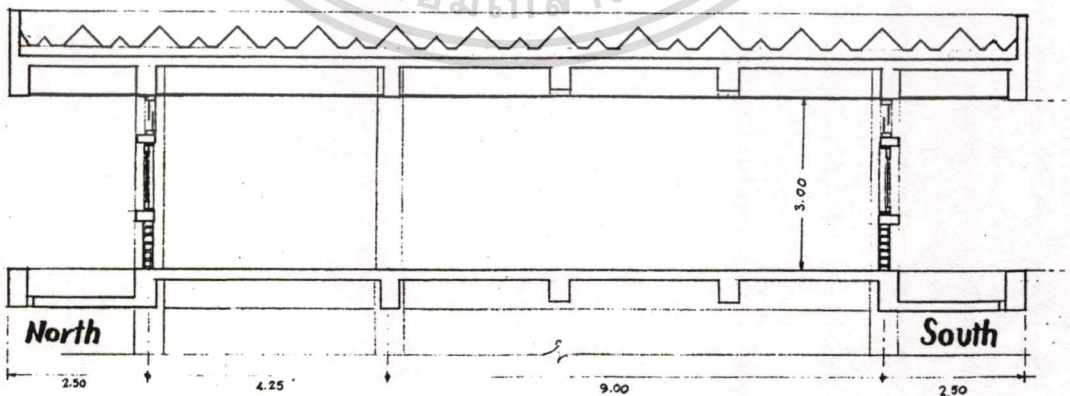


รูปที่ 3.17 รูปแผนภาพแสดงรายละเอียดขั้นตอนการทดลอง

บทที่ 4

การทดสอบแนวทางเลือกในการปรับปรุง สภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษา

จากเนื้อหาในบทที่ 2 และบทที่ 3 ในการวิจัยออกแบบปรับปรุงสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาที่ผ่านมา นั้น แนวคิดในการออกแบบช่องเปิดด้านบน หลังคา เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่ศึกษา เพื่อแก้ไขปัญหาที่พบจากข้อ 3.5 คือ มีปริมาณการส่องสว่างไม่เพียงพอ มีค่าเดไลท์แฟลคเตอร์ ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และปัญหาเรื่องความสม่ำเสมอในการกระจายแสงที่ไม่พอเหมาะ โดยอาศัยการศึกษาสมมติฐาน ในการใช้แนวคิดออกแบบรูปทรงหลังคาแบบพื้นเลี้ยวและมอนิเตอร์โดยให้ระยะสัดส่วนความสูงของหลังคาแต่ละแบบเป็นตัวแปร และในขณะเดียวกันก็ให้วัสดุผนังหลังคาและวัสดุกรุฝ้าซึ่งทำหน้าที่กระจายแสงเป็นตัวแปรด้วยเช่นกัน ทำให้ได้แบบร่างที่ต้องทำการออกแบบ จำนวนทั้งหมด 10 แบบ ซึ่งได้แสดงที่มาของเรียงอันดับและจัดหมู่ในข้อ 3.8.2 ไว้แล้ว นอกจากนี้ยังได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการประเมินการออกแบบในข้อ 3.7 และวางแนวทางการทดลองและเก็บข้อมูลในการทดสอบไว้ในข้อ 3.8 แล้ว ดังนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของแบบร่างทั้ง 10 แบบ ที่ใช้ในการทดลองและผลของการทดลองรวมถึงการวิเคราะห์ผลเพื่อนำไปสู่การสรุปผลในการตอบปัญหาทั้ง 3 ข้อ ที่กล่าวไว้ในข้อ 3.5 โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงภาคตัดโครงสร้างของอาคารพื้นที่ศึกษา (Existing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 แนวความคิดในการออกแบบร่างและหลักเกณฑ์การกำหนดแนวทางปรับปรุงช่องเปิดหลังคา

แนวความคิดในการออกแบบร่างเพื่อแก้ไขปัญหาของการวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดกรอบแนวความคิดโดยการใช้หลังคาพื้นเลื่อยและมอริเตอร์ เป็นแบบหลัก โดยได้วางแนวทางไว้ดังนี้

- แบบจะต้องสอดคล้องและมีความเหมาะสม สามารถสอดประสานกับโครงสร้างเดิมของอาคารได้อย่างดี ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องโครงสร้าง
- มีการวางทิศทางของหลังคาให้หันช่องแสงไปทางทิศเหนือเป็นหลัก
- คำนึงถึง ขนาด สัดส่วนและระยะ ต่างๆ ของช่องเปิดของหลังคาและองค์ประกอบอื่นๆ ของส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการให้ปริมาณแสงสว่าง ความสม่ำเสมอของการกระจายแสงของพื้นที่
- กำหนดลักษณะวัสดุที่ใช้ในการกรุฝ้า และมุงหลังคา เนื่องจากมีผลต่อการสะท้อนและกระจายแสงทั้งจากภายในพื้นที่และภายนอกเข้าสู่ภายในพื้นที่

4.1.1 แนวคิดในการออกแบบเชิงโครงสร้างหลักของแบบที่จะใช้ในการปรับปรุง

แนวคิดในการปรับปรุงช่องเปิดหลังคาที่อาศัยเค้าโครงของโครงสร้างเดิมของอาคารพื้นที่ศึกษา ได้ทำการพิจารณาวางกรอบการออกแบบไว้ดังนี้

- แบบร่างจะต้องมีความเป็นไปได้ทางโครงสร้าง และได้รับการออกแบบให้มีลักษณะโครงสร้างที่สอดคล้อง สอดประสานกับระยะ และตรงตำแหน่งขององค์ประกอบทางโครงสร้างเดิมของอาคาร นอกจากนี้ ตำแหน่งของโครงสร้างหลังคาและช่องเปิดเพื่อรับแสงสว่างจะต้องสอดคล้องและวางตามตำแหน่งโครงสร้างหลักของอาคารอย่างเหมาะสม
- การออกแบบนั้น แบบโครงสร้างที่ใช้จะต้องมีผลกระทบต่อโครงสร้างหลักของเดิมน้อยที่สุด จะต้องไม่มีการรื้อถอนส่วนใดส่วนหนึ่งขององค์ประกอบโครงสร้างหลัก เพื่อรักษาความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างและแนวความคิดในการออกแบบสถาปัตยกรรมและโครงสร้างเดิมของอาคาร
- วัสดุหลักของโครงสร้างหลังคาที่ออกแบบ จะต้องมีการมุงวิธีติดตั้งที่ง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถติดตั้งด้วยการก่อสร้างแบบแห้ง (Dry Process) มีน้ำหนักไม่มาก ดังนั้นจึงเลือกใช้โครงสร้างเหล็ก เป็นโครงสร้างหลัก โดยต่อจากโครงสร้างหลักของเดิม
- จะต้องง่ายต่อการดูแลรักษา และสามารถซ่อมบำรุงได้อย่างง่ายดาย ในแบบจะต้องกำหนดรายละเอียดระบายน้ำฝนที่เพียงพอต่อการระบายน้ำฝนเมื่อยามฝนตก โดยเฉพาะในแบบหลังคา

แบบ Sawtooth ซึ่งออกแบบให้มีรางระบายน้ำทำด้วยโลหะ สแตนเลส ขนาด 30 x 40 เซนติเมตร เป็นรางเชื่อมต่อระหว่างชุดของหลังคาพื้นเอียงนอกจากนี้ ยังต้องปรับความลาดเอียงของหลังคา ให้เหมาะสมตามสัดส่วนความสูงของช่องเปิดเพื่อรับแสง และสามารถเข้าทำความสะอาดช่องแสง ซึ่งกรูด้วยกระจกใส หนา 6 มิลลิเมตรได้

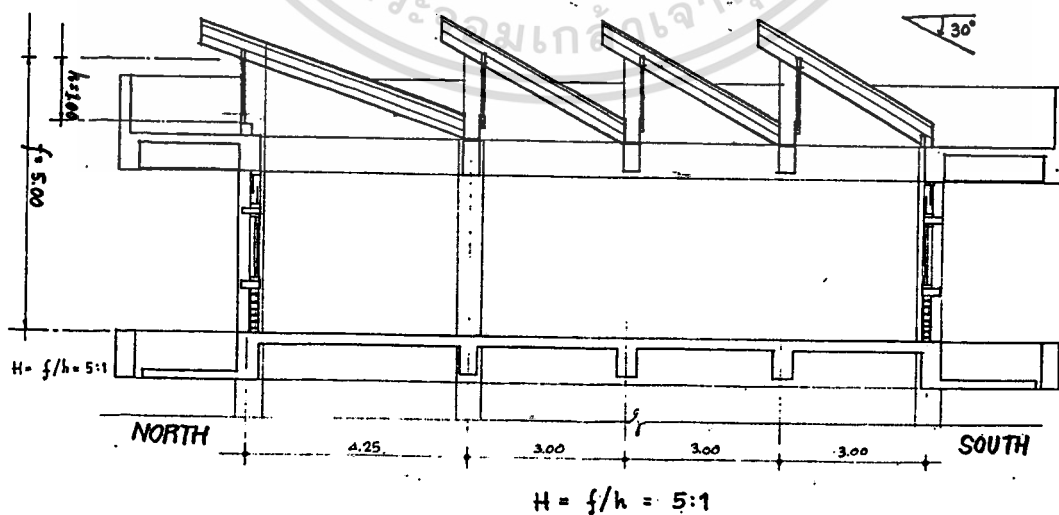
- การออกแบบส่วนยื่นของชายคา จะต้องสามารถบังแสงแดดตรงได้ตลอดทั้งปี โดยไม่ให้แสงแดดส่องเข้าพื้นที่ศึกษาโดยตรง นอกจากนี้ยังต้องกันการสาดของน้ำฝนได้ในระดับหนึ่ง จึงเลือกชายคาที่มีความยาว 0.50 – 0.80 เมตร ทั้งในแบบหลังคาพื้นเอียง และมอริเตอร์

4.1.2 แนวความคิดในการออกแบบรูปทรงหลังคา

จากรายละเอียดข้อมูลของพื้นที่ ศึกษาในข้อ 3.1 เมื่อนำมาพิจารณาประกอบกับแนวคิด ในการออกแบบเชิงโครงสร้างหลักของแบบที่จะให้ปรับปรุงในข้อ 4.1.1 ทำให้สามารถกำหนด หลังคาแบบหลังคาพื้นเอียง ได้ทั้งหมดเป็น 3 แบบ และหลังคาแบบมอริเตอร์ทั้งหมด 4 แบบ และนอกจากนี้ยังมีแบบหลังคาทรงจั่วซึ่งมีแบบหลังคาผสมระหว่างแบบพื้นเอียงกับมอริเตอร์ อีก ทั้งหมด 3 แบบ รวมทั้งหมดมีจำนวน 10 แบบ ซึ่งมีรายละเอียดของแบบทั้งหมดดังต่อไปนี้

4.1.2.1. หลังคาแบบพื้นเอียงมีรายละเอียดการคิดในการออกแบบดังต่อไปนี้

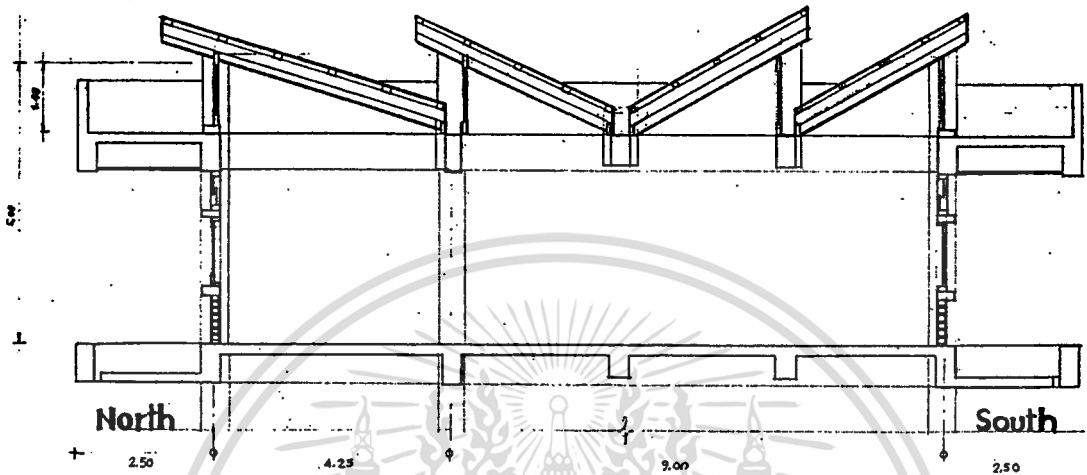
- แบบพื้นเอียง Saw tooth #1 เป็นชุดหลังคาพื้นเอียงจำนวน 4 ชุด เรียงต่อกัน ระยะ พาดช่วงของหลังคาชุดละ 3.00 เมตร โดยมีระยะความสูงของช่องเปิด 1 ส่วน ต่อความสูงจากพื้น ห้องถึงยอดช่องเปิด 3.5 ส่วน ตามสัดส่วนในหัวข้อ 3.6 กำหนดให้ทั้งหมดหันด้านช่องแสงไปทาง ทิศเหนือ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงแบบหลังคาพื้นเอียง Sawtooth # 1

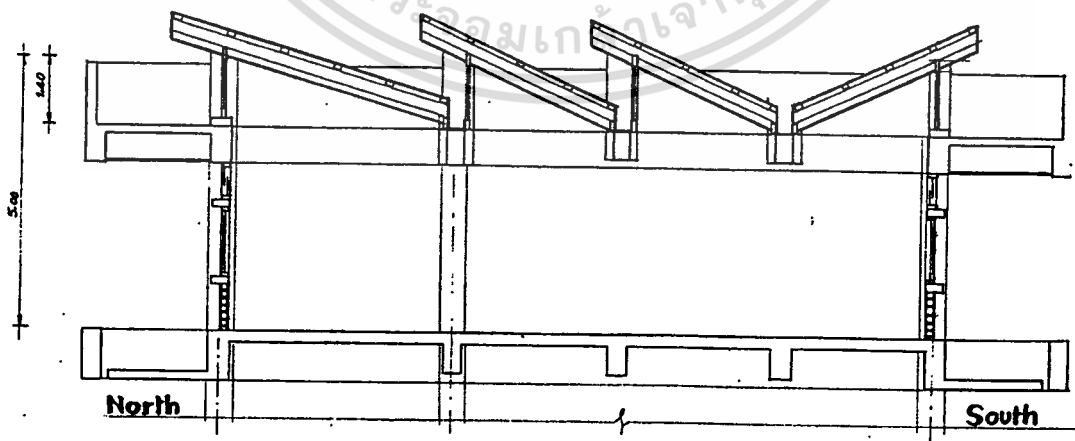
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบพื้นเลื่อย Saw tooth # 2 เป็นชุดหลังคาพื้นเลื่อย จำนวน 4 ชุด โดยสองชุดแรก หันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ ส่วนอีกสองชุดหันช่องเปิดไปทางทิศใต้ ลักษณะคล้ายกับปีกผีเสื้อ ส่วนระยะต่างๆที่กำหนดจะเหมือนกับแบบพื้นเลื่อย Saw tooth #1 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงแบบหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth # 2

- แบบพื้นเลื่อย Saw tooth #3 เป็นชุดหลังคาพื้นเลื่อย จำนวน 4 ชุด โดยมีสามชุดหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ ส่วนอีก 1 ชุดหันช่องเปิดไปทางทิศใต้ ส่วนระยะต่างๆที่กำหนดจะเหมือนกับแบบพื้นเลื่อย Saw tooth #1 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.4

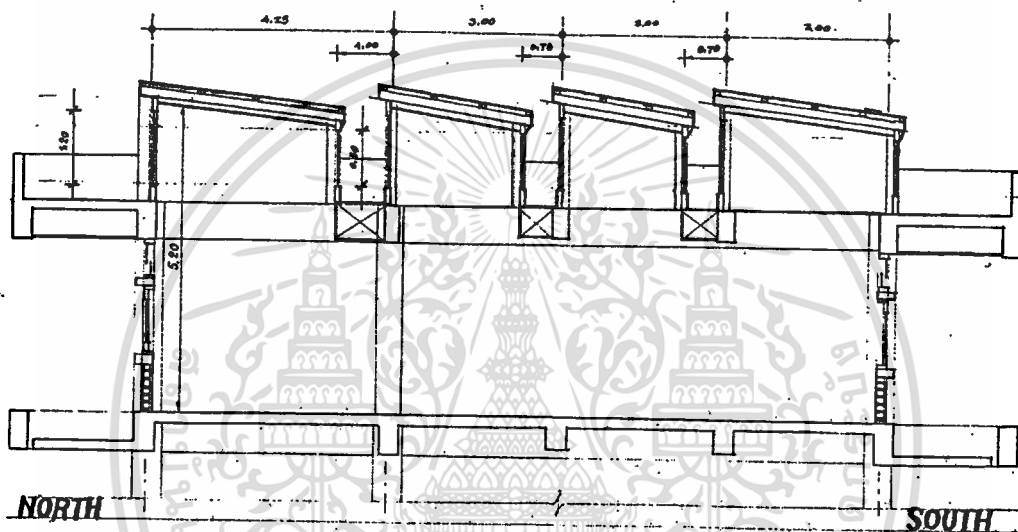


รูปที่ 4.4 แสดงแบบหลังคาพื้นเลื่อย Saw tooth # 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

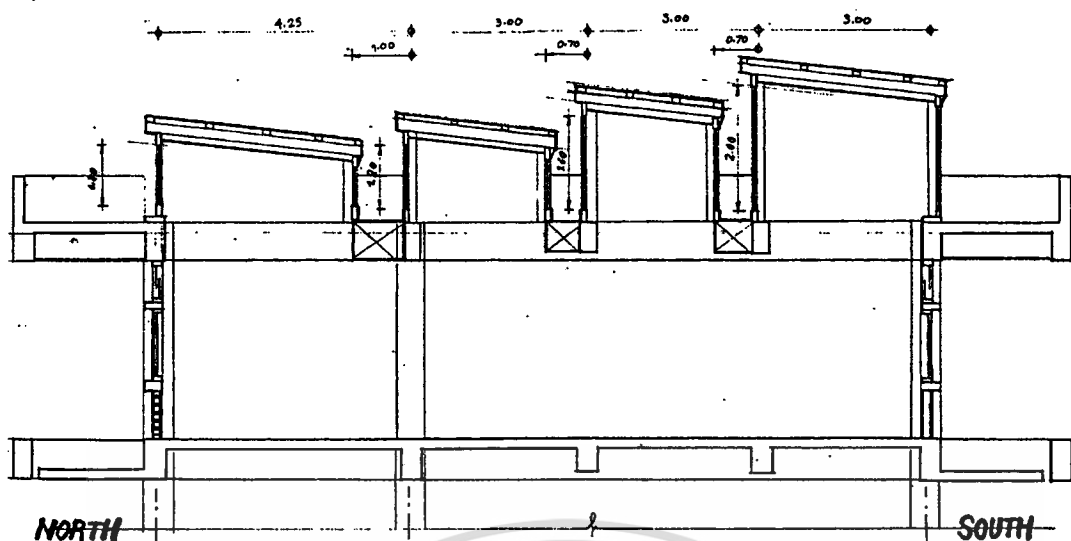
4.1.2.2. หลังคาแบบมอนิเตอร์มีรายละเอียดการคิดในการออกแบบดังต่อไปนี้

- แบบมอนิเตอร์ Monitor #1 เป็นชุดหลังคาแบบมอนิเตอร์จำนวน 4 ชุดเรียงต่อกัน โดยออกแบบให้มีความลาดเอียงของหลังคาเพื่อการระบายน้ำฝน ด้านที่เป็นช่องเปิดขนาดกว้างกว่าจะหันไปสูทิศเหนือ และด้านที่แคบกว่าจะหันไปทางทิศใต้ หลังคาแต่ละชุดมีความยาวพาดช่วงกว้างเฉลี่ย 2.30 – 3.00 เมตร เพื่อให้สอดคล้องกับโครงสร้างหลัก และมีระยะห่างของหลังคาแต่ละชุดที่ 0.70 เมตร ส่วนระยะความสูงของช่องเปิดด้านที่กว้างกว่ามีระยะ 1 ส่วน ต่อความสูงของพื้นห้องถึงยอดช่องเปิด 3.5 ส่วน และระยะความสูงของช่องเปิดด้านที่แคบกว่ามีระยะ 1 ส่วน ต่อความสูงของพื้นห้องถึงยอดช่องเปิด 6 ส่วน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.5



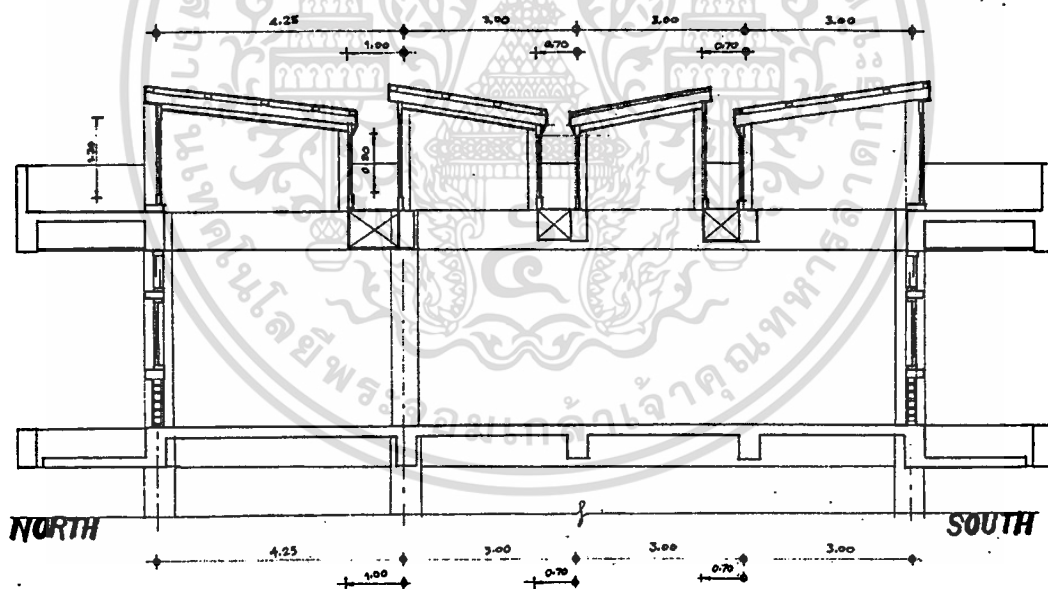
รูปที่ 4.5 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #1

- แบบมอนิเตอร์ Monitor #2 เป็นชุดหลังคามอนิเตอร์ จำนวน 4 ชุด เรียงต่อกันในลักษณะเดียวกันกับแบบมอนิเตอร์ Monitor #1 แต่ออกแบบให้มีขนาดความสูงลดหลั่นกันไป เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากแบบมอนิเตอร์ Monitor #1 เนื่องจากมีระยะห่างของชุดหลังคา แต่ละชุดเพียง 0.70 เมตร ทำให้แสงสว่างไม่สามารถกระจายเข้าสู่พื้นที่ใต้หลังคาได้อย่างเต็มที่ จึงทอลองออกแบบร่างให้หลังคามีขนาดลดหลั่นกัน แต่จะมีข้อเสียในเรื่องขนาดความสูงซึ่งจะกระทบต่อความงามและสัดส่วนเดิมของอาคาร และโครงสร้างอาจจะไม่สอดคล้องกับโครงสร้างของอาคารเดิม ซึ่งแบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #2

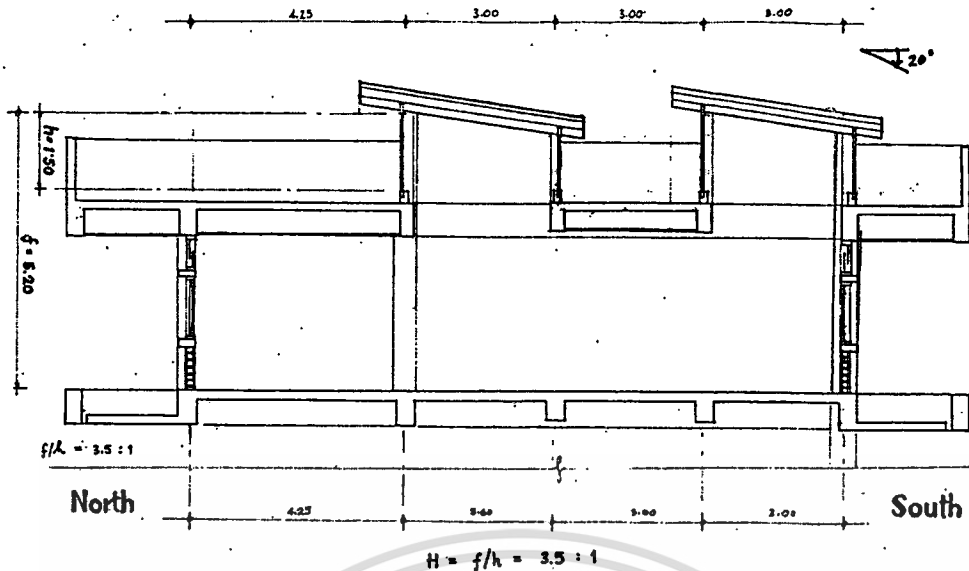
- แบบมอนิเตอร์ Monitor #3 เป็นหลังคามอนิเตอร์จำนวน 4 ชุด สองชุดแรกหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ ส่วนอีกสองชุดหันช่องเปิดไปทางทิศใต้ส่วนระยะและสัดส่วนต่างๆที่กำหนดจะเหมือนกับแบบมอนิเตอร์ Monitor #1 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #3

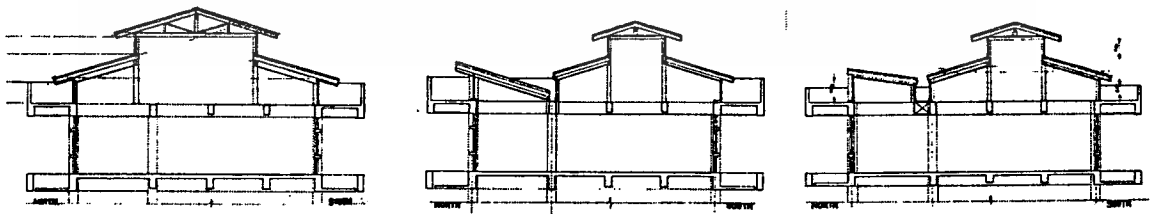
- แบบ Monitor #4 เป็นหลังคาชุดมอนิเตอร์ 2 ชุด เท่านั้น โดยมีระยะห่างของทั้งสองชุดที่ 3.00 เมตร ซึ่งใช้พื้นที่ในช่วงระยะห่างเป็นพื้นที่ในการกระจายแสงสว่างเข้าสู่ช่องเปิด เนื่องจากระยะห่างของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor #1 - #3 มีระยะห่างเพียง 0.70 เมตร ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการกระจายแสง ระยะและสัดส่วนต่างๆที่กำหนด จะเหมือนกับแบบมอนิเตอร์ Monitor #1 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor #4

4.1.2.3 แบบหลังคาทรงจั่ว (Gable) ซึ่งมีแบบหลังคาสมระหว่างแบบพื้นเดียวกับ มอนิเตอร์หลังคาที่ได้ทำการออกแบบต่อไปนี้อาศัยรูปทรงหลังคาแบบมอนิเตอร์ ที่เกิดจากหลังคา ทรงจั่ว (Gable) ซ้อนชั้นกัน ซึ่งนำรูปแบบดังกล่าวมาผสมกับหลังคาแบบพื้นเอียง และมอนิเตอร์ ข้อเสียของหลังคาทรงนี้คือ จะทำให้มีปริมาตรที่ว่างใต้หลังคามีมาก ซึ่งจะทำให้ควบคุมความสูง ของหลังคาได้ยาก และมีผลทำให้รบกวนสัดส่วนทางสถาปัตยกรรมของอาคารเดิม อีกทั้งวัสดุ โครงสร้างที่ใช้จะมีความสิ้นเปลืองมากเมื่อเทียบกับสองแบบข้างต้นที่กล่าวมา และลักษณะ โครงสร้างก็ไม่สอดคล้องกับโครงสร้างหลักของอาคารเดิม ในการออกแบบสำหรับหลังคาทรงนี้ ถึงแม้จะได้ลองสร้างแนวความคิดเพื่อเป็นทางเลือกเอาไว้ก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาถึงข้อเสียที่เกิดขึ้น โดยไม่สามารถปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับจุดอื่นๆได้ จึงได้ตัดสินใจไม่นำแบบดังกล่าวมาเป็นแบบ ร่างในการทดสอบ แต่อย่างไรก็ดี รูปแบบดังกล่าวที่ได้ทดลองออกแบบไว้ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงหลังคาทรงจั่วซ้อนชั้น (Gable)

4.1.3 แนวความคิดในการวางทิศทางของช่องเปิดบนระนาบหลังคา

เนื่องจากทิศทางที่ตั้งในการวางตัวอาคารในแนวทิศตะวันออก และ ทิศตะวันตก ทำให้ด้านยาวของอาคารหันไปสู่มุมทางด้านทิศเหนือ และทิศใต้ จึงถือเป็นเรื่องดีที่จะนำแสงที่ส่องเข้ามาทางด้านทิศเหนือของอาคารมาใช้ โดยหลีกเลี่ยงการเปิดช่องรับแสงสว่างในทิศทางอื่นๆ สำหรับในทิศใต้ของอาคาร ถึงแม้สภาพแวดล้อมของอาคารจะมีต้นไม้ใหญ่เป็นตัวกรองและกระจายแสงสว่าง และป้องกันรังสีคลื่นความร้อนด้วยการให้ร่มเงากับอาคารแล้วก็ตาม แต่ในการพิจารณาออกแบบนั้นจะหลีกเลี่ยงการเปิดช่องรับแสงในทิศใต้ เนื่องจาก

เมื่อพิจารณาเส้นทางโคจรของดวงอาทิตย์ (Sun Path) ของพื้นที่ตั้งในพิกัดละติจูดที่ 13 องศา 43.3 ลิปดา เหนือ หรือประมาณ 14 องศาเหนือ ในเดือนมิถุนายน ดวงอาทิตย์จะโคจรอ้อมไปทางทิศเหนือ ทำมุมอ้อมติจูดกับพื้นโลกเฉลี่ยที่ 63 องศา เมื่อเวลา 12.00 น. ส่วนในเดือนธันวาคม ดวงอาทิตย์จะโคจรไปทางทิศใต้ ทำมุมอ้อมติจูดกับพื้นโลกเฉลี่ยที่ 35 องศา ในช่วงเวลา 12.00 น. นั้นหมายความว่า หากให้ช่องเปิดของแสงมีระยะความสูงที่ 1.00 เมตร ในด้านทิศเหนือจะต้องยื่นกันสาดออกไปอย่างน้อย 0.51 เมตร ในขณะที่ในทิศใต้จะต้องยื่นกันสาดออกไปถึง 1.43 เมตร ซึ่งมากกว่าทางด้านทิศเหนือถึง สามเท่า

เมื่อพิจารณาค่ารังสีความร้อนที่เกิดขึ้น แสงแดดในทิศใต้จะนำพาความร้อนเข้าสู่พื้นที่ศึกษามากกว่าทางด้านทิศเหนือ

ดังนั้น ในการกำหนดทิศทางเพื่อเปิดช่องรับแสง จึงเลือกกำหนดให้เปิดช่องรับแสงในทางทิศเหนือ ฉะนั้น แบบร่างสถาปัตยกรรมที่จะนำมาพิจารณาที่จะนำมาใช้ในการทดสอบเมื่อพิจารณาจากข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 จะเห็นว่าแบบร่างสถาปัตยกรรมตามแนวคิดในการออกแบบคือแบบฟันเลื่อย Saw tooth #1 และมอนิเตอร์ Monitor #4 เท่านั้น ที่ตรงกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

4.1.4 แนวคิดในเรื่องขนาด สัดส่วน และระยะความสูงช่องเปิดรับแสงของหลังคา

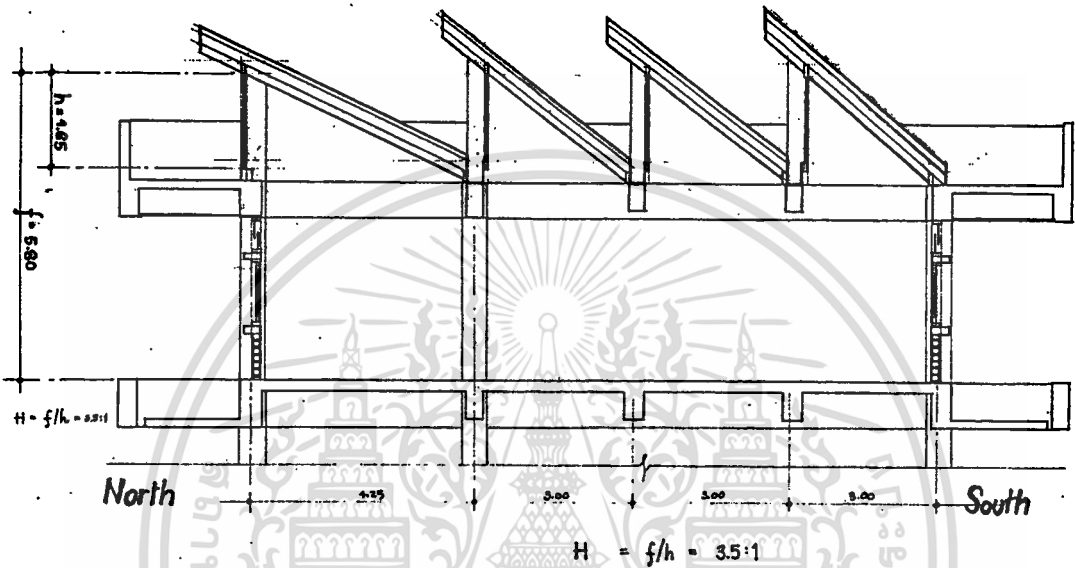
จากหลักการให้แสงสว่างธรรมชาติจากระนาบบนด้วยหลังคาแบบฟันเลื่อยและมอนิเตอร์ ในข้อ 3.6 ซึ่ง Claudel L Robbins ได้นำเสนอเรื่องสัดส่วนระยะต่างๆของหลังคาแบบฟันเลื่อยและมอนิเตอร์ วั้นั้น สรุปได้ว่า สัดส่วนความสูง $H = 3.5 : 1$ สัดส่วนความกว้าง $S = 1 : 1$ และสัดส่วนความยาว $M = \infty : 1$ สำหรับ แบบหลังคามอนิเตอร์จะมีค่าสัดส่วนความสูง $H_2 = 6:1$ และต้องมีสัดส่วนระยะห่าง $W = 1:1$ นั้น

จากแบบที่ทำการสรุปในข้อ 4.1.2 พบว่า แบบฟันเลื่อย Saw tooth #1 มีค่าสัดส่วนความสูง H อยู่ในเกณฑ์ $3:5:1$ สัดส่วนความกว้าง $S = 1:1$ เช่นกัน สำหรับสัดส่วนความยาว M นั้น

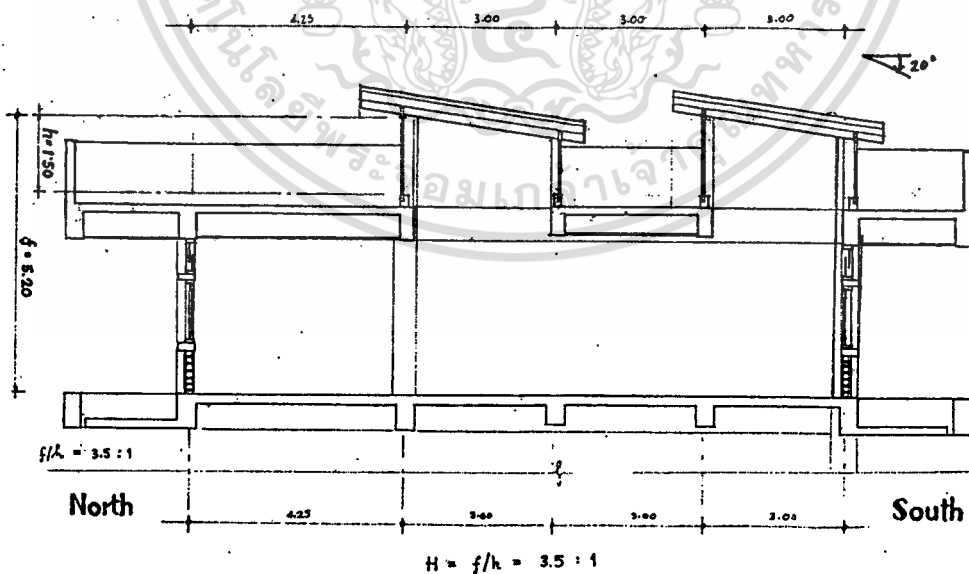
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้หลังที่ได้ทำการออกแบบจะไม่สามารถออกแบบให้เป็นโครงสร้างต่อเนื่องกันได้ทั้งหมด เนื่องจากโครงสร้างเดิมมีพื้นหลังคาระหว่างโครงสร้างเสาคู่ทำหน้าที่เป็นรางน้ำปรากฏอยู่ที่ตาม แต่ก็สามารถอนุมานได้ว่าสัดส่วนความยาวต่อเนื่องกันตลอดแนว ซึ่งทำให้มีสัดส่วน $M = \infty : 1$

ส่วนหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor #4 ก็มีสัดส่วนของความสูง H_1, H_2, S และ M ก็อยู่ในเกณฑ์เดียวกันกับที่กล่าวมา และมีสัดส่วนค่า $W = 1:1$ เช่นกัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 แบบพื้นเลื่อย Sawtooth #1 มีค่าสัดส่วนความสูง H อยู่ในเกณฑ์ 3:5:1 สัดส่วนความกว้าง $S = 1:1$ และสัดส่วนความยาว $M = \infty : 1$



รูปที่ 4.11 แบบมอนิเตอร์ Monitor #4 มีค่าสัดส่วนความสูง H อยู่ในเกณฑ์ 3:5:1 สัดส่วนความกว้าง $S = 1:1$ สัดส่วนความยาว $M = \infty : 1$ และสัดส่วนระยะห่าง $W = 1:1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ดี สัดส่วนระยะดังกล่าวเป็นเพียงสัดส่วนมาตรฐานที่ Claudel L. Robbins นำเสนอให้ใช้ในการทำการทดลองเพื่อวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ความสม่ำเสมอในการกระจายแสง และค่าเดไลท์แฟคเตอร์ภายใต้หลังคาสองชนิด ซึ่งได้ผลดีเมื่ออยู่ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมทึบและฟ้าโปร่งตามที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.6 แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากภายใต้สภาพท้องฟ้าเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky) ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีค่าปริมาณการส่องสว่างในแนวระนาบเฉลี่ยตลอดปี มากกว่าท้องฟ้าเมฆปกคลุมทึบ 2-3 เท่าตัว (ถึงแม้บางช่วงเวลาจะมีเมฆมากก็ตาม) ในการทดลองวิจัยครั้งนี้จึงได้ตัดสินใจเพิ่มสัดส่วน $H = 5:1$ เพื่อลดระยะความสูงของหลังคา ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17 ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วน $H = 3.5:1$ จะทำให้หลังคาพื้นเหลี่ยม Sawtooth #1 มีมุมลาดเอียงที่ 38 องศา และหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor #4 มีมุมลาดเอียงที่ 20 องศา แต่เมื่อใช้สัดส่วน $H = 5:1$ จะทำให้หลังคาพื้นเหลี่ยมมีมุมลาดเอียงลดลง เหลือ 30 องศา และหลังคาแบบมอนิเตอร์จะมีมุมลาดเอียงเหลือที่ 10 องศา อีกทั้งความสูงของหลังคาทั้งสองชนิดจะมีระยะลดลงเฉลี่ยที่ 0.60 เมตร ทั้งนี้เพื่อทดสอบว่าสัดส่วนที่ลดลงมีผลต่อค่าปริมาณการส่องสว่าง ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ และความสม่ำเสมอของการกระจายแสงหรือไม่ หากมี จะมีลักษณะอย่างไร นอกจากนี้ ความสูง หรือ ความชันของหลังคาที่มีมาก จะมีผลกระทบต่อความเป็นไปได้ของโครงสร้างและมีผลต่อรูปด้านทางสถาปัตยกรรม ดังนั้น ในการทดลอง จึงได้เพิ่มแบบซึ่งใช้สัดส่วนหลังคาต่างๆดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงแบบที่จะใช้ในการทดลอง เมื่อเพิ่มข้อกำหนดเรื่องสัดส่วนความสูงในแบบ

แบบหลังคา	สัดส่วนความสูง	กำหนดชื่อแบบ
1. Saw tooth #1	3.5 : 1	Saw tooth 1.1
2. Saw tooth #1	5 : 1	Saw tooth 1.2
3. Monitor #4	3.5 : 1	Monitor 1.1
4. Monitor #4	5 : 1	Monitor 1.2

ดังนั้นจึงมีแบบที่จะใช้ในการทดลองในเชิงของขนาด สัดส่วนของหลังคา มีทั้งหมด 4 แบบ

4.1.5 แนวคิดเรื่องการใช้วัสดุที่มีผลต่อการกระจายแสงเข้าสู่พื้นที่ศึกษา

การกระจายแสงเข้าสู่พื้นที่เป้าหมาย วิธีที่ดีและได้ผลคือ การเลือกใช้วัสดุปิดผิวในการกรุฝ้าที่มีประสิทธิภาพในการสะท้อนและกระจายแสงสว่างที่ดี เนื่องจากระนาบของฝ้าเพดานจะเป็นตำแหน่งในการกระจายแสงที่มีประสิทธิภาพดีกว่าระนาบอื่นๆ ในขณะที่ การกระจายของแสงในระนาบผนัง และพื้นก็จะการกระจายแสงได้ตรงลงมาตามอันดับ และความจำเป็นในการกระจายแสงในระนาบผนังกับพื้นนั้น มีความสำคัญน้อยกว่าการกระจายแสงจากระนาบฝ้า เนื่องจากการกระจายแสงในระนาบผนังและพื้นที่มีมากเกินไปอาจจะทำให้เกิดแสงบาดตา (Glare) ได้ และอีกประการ ทิศทางของการกระจายแสงควรมาจากทางด้านบนมากกว่า เพื่อส่องให้เห็นวัตถุ หรือแบบที่กำลังเขียนบนโต๊ะทำงาน

มาตรฐานของ CIE ได้กำหนดไว้ว่า ค่าการสะท้อนของวัสดุปิดผิวส่วนต่างๆ ของพื้นที่ ควร มีค่าการสะท้อนกระจายแสงดังต่อไปนี้

พื้น	ควรมีค่าการสะท้อนไม่เกินร้อยละ	20
ผนัง	ควรมีค่าการสะท้อนไม่เกินร้อยละ	60
ฝ้าเพดาน	ควรมีค่าการสะท้อนไม่น้อยกว่าร้อยละ	70

ดังนั้น ในการออกแบบปรับปรุงหลังคาของการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งประเด็นไปที่การกระจายแสงจากการสะท้อนของวัสดุฝ้าภายในพื้นที่ซึ่งอยู่บริเวณที่ใกล้กับช่องเปิดด้านบน และการสะท้อนการกระจายแสงจากภายนอกของวัสดุผนังหลังคาเป็นหลัก

จากข้อมูลของพื้นที่ศึกษาในข้อ 3.1.6 ในเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผนังพื้นที่ศึกษามีค่าร้อยละ 60 ที่พื้นร้อยละ 50 และที่ฝ้าเพดานร้อยละ 80 นั้น พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่พื้นนั้นมีมากเกินไป จึงควรมีการควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุพื้นให้อยู่ที่ไม่เกิน ร้อยละ 20 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผนังที่ร้อยละ 60 นั้นถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ และฝ้าเพดานมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 80 ก็ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติเช่นกัน

ดังนั้น หากพิจารณาลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ประกอบการออกแบบเพื่อให้เกิดการกระจายแสงจากแบบหลังคาที่ใช้ในการทดลองทั้งแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1, Saw tooth 1.2 , มอนิเตอร์ Monitor 1.1 และ Monitor 1.2 การออกแบบวัสดุฝ้าเพดาน และวัสดุผนังหลังคา จึงเลือกใช้วัสดุดังต่อไปนี้

- วัสดุฝ้าแบบที่ 1 วัสดุฝ้าเพดานใช้ ยิปซัมบอร์ดแผ่นเรียบหนา 12 มิลลิเมตร ทาสีขาว และกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 80
- วัสดุฝ้าแบบที่ 2 วัสดุฝ้า แผ่นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสีประเภทซิงคาลูม (Zinc alum) โดยให้มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 95
- วัสดุผนังหลังคาแบบที่ 1 วัสดุผนังหลังคาใช้กระเบื้องใยหินลอนคู่ สีตามเนื้อวัสดุ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 80
- วัสดุผนังหลังคาแบบที่ 2 วัสดุผนังหลังคาใช้แผ่นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสีประเภทซิงคาลูม (Zinc alum) ลอนคู่ สีตามเนื้อวัสดุ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 95

เมื่อนำมาประกอบใช้ในแบบหลังคาทั้ง 4 แบบ จะได้แบบทั้งหมดดังตารางที่ 4.2 ในหน้าถัดไป ซึ่งแสดงการเรียงอันดับและจัดหมู่ของแบบหลังคาทั้งแบบพื้นเอียงและมอเนเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการออกแบบจะให้แบบมอเนเตอร์จะออกแบบให้มีการสลักคู่การใช้วัสดุเพียง 2 แบบเท่านั้น โดยไม่ใช้แบบวัสดุฝ้าเพดานกรุด้วยยิปซัมบอร์ดและวัสดุผนังเป็นกระเบื้องลอนคู่ ทั้งนี้เพราะลักษณะหลังคาแบบมอเนเตอร์มีความลาดเอียงของหลังคาไม่มาก จึงต้องการการสะท้อนและกระจายแสงจากภายนอกเข้าช่องเปิดทั้งสองทางมากขึ้น จึงใช้เพียงสองแบบแรกที่มีวัสดุโลหะมาประกอบเพื่อช่วยในการกระจายและสะท้อนแสงมากขึ้น

4.2 แบบร่างทางสถาปัตยกรรม

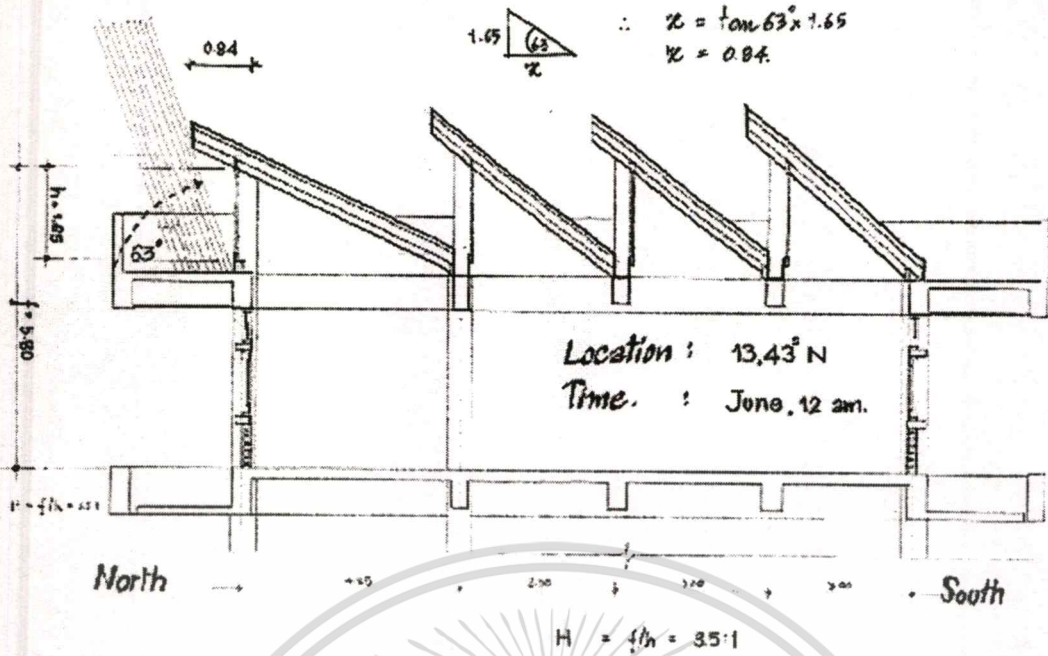
จากแนวคิดในการออกแบบร่างในการปรับปรุงสภาพการส่องสว่างด้วยการใช้ช่องเปิดด้านบนจากหลังคา ซึ่งแสดงไว้ในข้อ 4.1 สามารถแสดงแบบร่างทางสถาปัตยกรรมด้วยแบบรูปแสดงภาคตัด และแบบแสดงหุ่นจำลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 แบบหลังคา Saw tooth 1.1 อัตราส่วนความสูงช่องเปิด 3.5 : 1

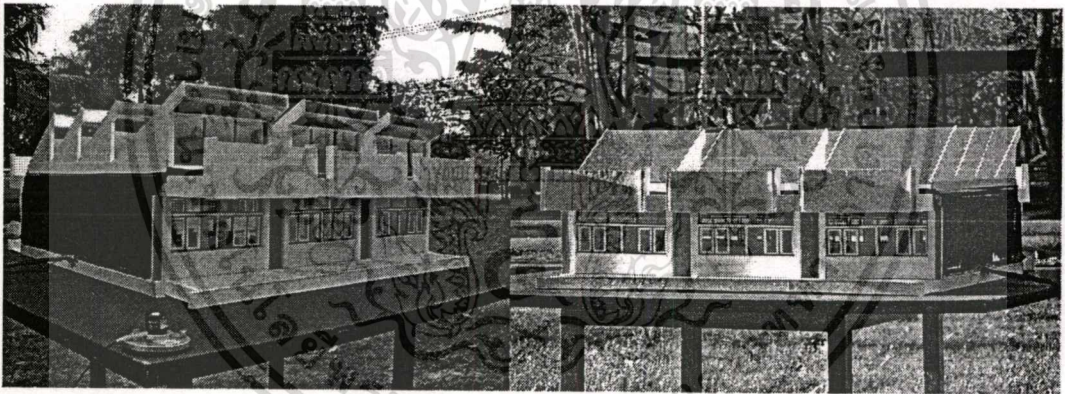
4.2.1.1. แบบหลังคาพื้นเอียง Saw tooth 1.1 สัดส่วนความสูงช่องเปิด 3.5 : 1 วัสดุกรุฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดทาสีขาว ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 วัสดุผนังหลังคาเป็นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสีซิงคาลูม (Zinc alum) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 95 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคาพื้นเอียง Saw tooth 1.1.1 แสดงในรูปที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.2 แสดงการเรียนรู้อันดับและจัดหุของแบบหลังคาทั้งแบบฟันเลื่อย (Saw tooth) และมอนิเตอร์ (Monitor) ที่ใช้ในการทดลอง

แบบ	สัดส่วน	วัสดุฝ้าเพดาน	ค่าสัมประสิทธิ์ การสะท้อนแสง (ร้อยละ)	วัสดุคุมหลังคา	ค่าสัมประสิทธิ์ การสะท้อนแสง (ร้อยละ)
Saw tooth 1.1	3.5 : 1	ยิปซัมบอร์ดทาสีขาว	80	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95
Saw tooth 1.1	3.5 : 1	ยิปซัมบอร์ดทาสีขาว	80	กระเบื้องใยหินลอนคู่	80
Saw tooth 1.1	3.5 : 1	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95	กระเบื้องใยหินลอนคู่	80
Saw tooth 1.2	5 : 1	ยิปซัมบอร์ดทาสีขาว	80	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95
Saw tooth 1.2	5 : 1	ยิปซัมบอร์ดทาสีขาว	80	กระเบื้องใยหินลอนคู่	80
Saw tooth 1.2	5 : 1	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95	กระเบื้องใยหินลอนคู่	80
Monitor 1.1	3.5 : 1	ยิปซัมบอร์ดทาสีขาว	80	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95
Monitor 1.1	3.5 : 1	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95	กระเบื้องใยหินลอนคู่	80
Monitor 1.2	5 : 1	ยิปซัมบอร์ดทาสีขาว	80	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95
Monitor 1.2	5 : 1	โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี	95	กระเบื้องใยหินลอนคู่	80

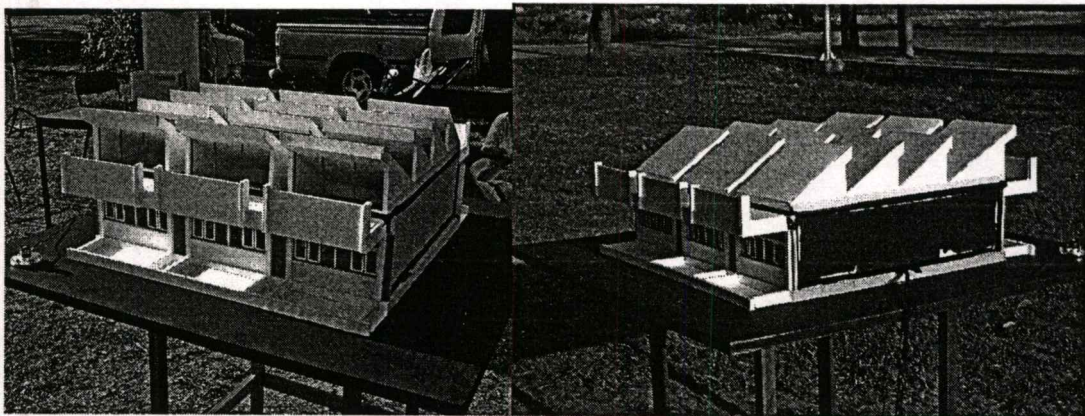


รูปที่ 4.12 แสดงแบบภาคตัดของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1, Saw tooth 1.1.2 และแบบ Saw tooth 1.1.3



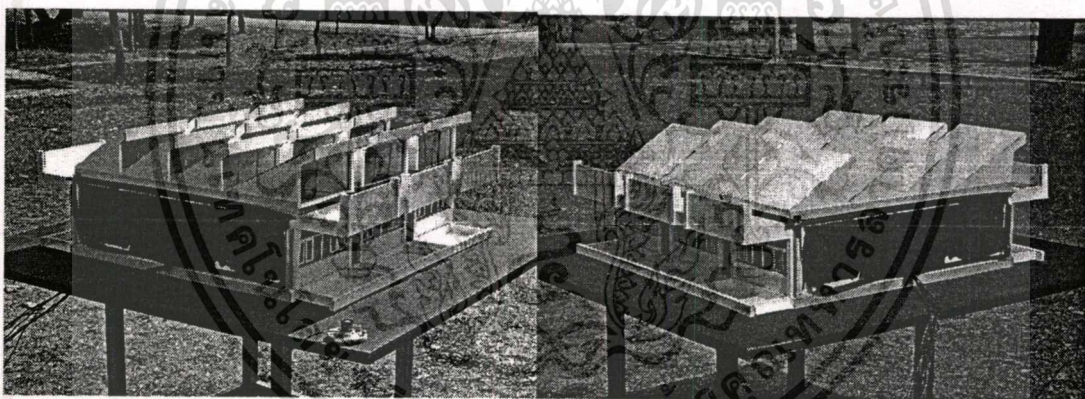
รูปที่ 4.13 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1

4.2.1.2 แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1 สัดส่วนความสูงช่องเปิด 3.5 : 1 วัสดุกรุฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดทาสีขาว ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องใยหินลอนคู่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงหุ่นจำลองแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2

4.2.1.3 แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1 สัดส่วนความสูงช่องเปิด 3.5 : 1 วัสดุกรุฝ้าเพดานแผ่นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 95 วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องใยหินลอนคู่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3 แสดงในรูปที่ 4.15

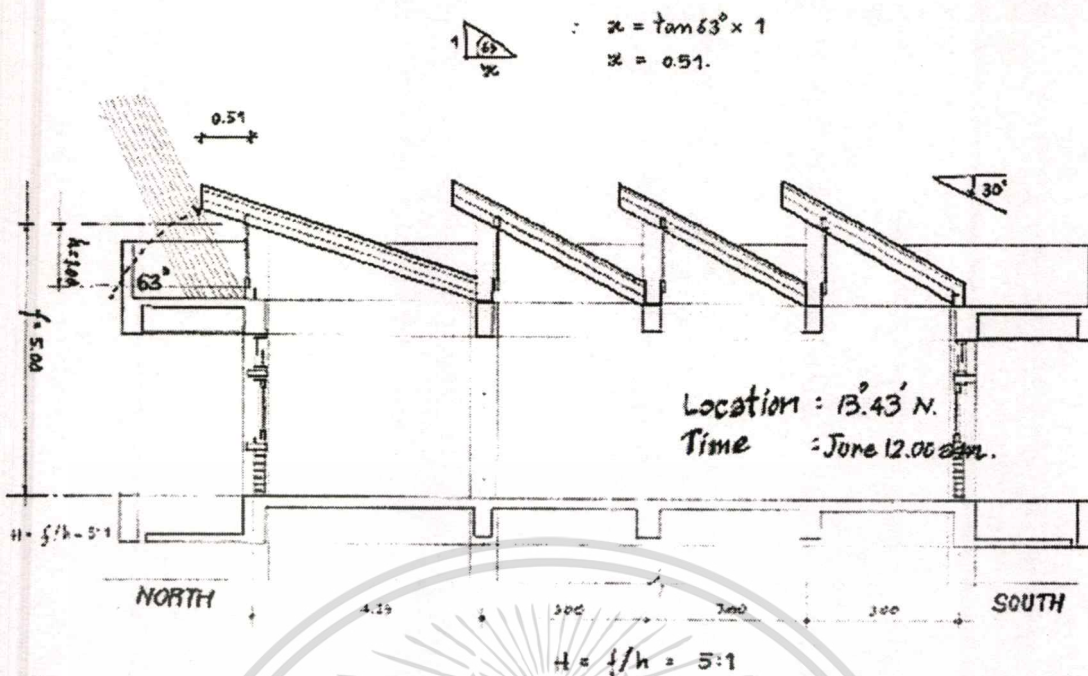


รูปที่ 4.15 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3

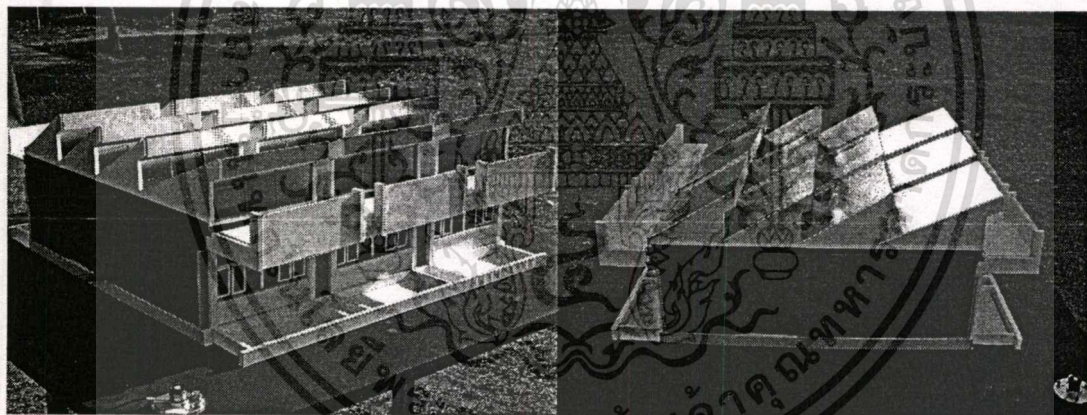
4.2.2 แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2 อัตราส่วนความสูงช่องเปิด 5 : 1

4.2.2.1. แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2 สัดส่วนความสูงช่องเปิด 5 : 1 วัสดุกรุฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดทาสีขาว ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 วัสดุผนังหลังคาเป็นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี Zinc alum ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 95 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 แสดงในรูปที่ 4.16 และ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

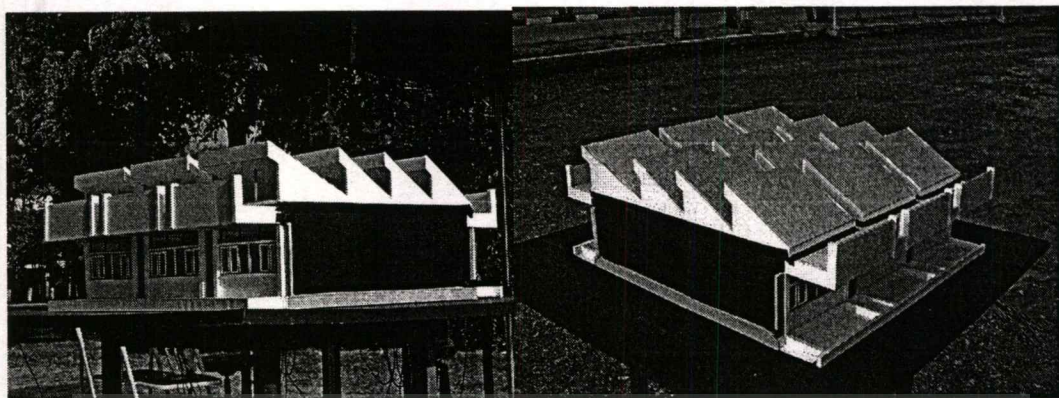


รูปที่ 4.16 แสดงแบบภาคตัดของหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 Saw tooth 1.2.2 และ Saw tooth 1.2.3



รูปที่ 4.17 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1

4.2.2.2 แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2 สัดส่วนความสูงช่องเปิด 5 : 1 วัสดุกรุฝ้าเพดานยิบซั่มบอร์ดทาสีขาว ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องใยหินลอนคู่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 ต่อไปนี้ เรียกว่าหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 แสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2

4.2.2.3 แบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2 สัดส่วนความสูงช่องเปิด 5 : 1 วัสดุกรุฝ้าเพดานแผ่นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 95 วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องใยหินลอนคู่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 แสดงในรูปที่ 4.19



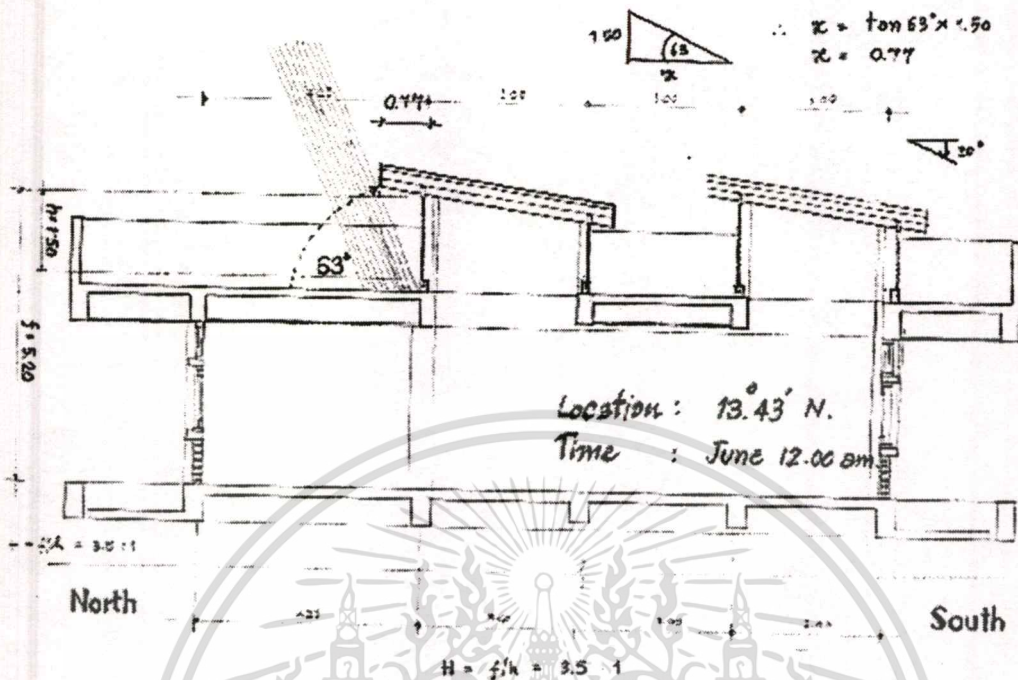
รูปที่ 4.19 แสดงหุ่นจำลองแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3

4.2.3 หลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1 อัตราส่วนความสูงช่องเปิดด้านทิศเหนือ 3.5 : 1 และด้านทิศใต้ 6:1

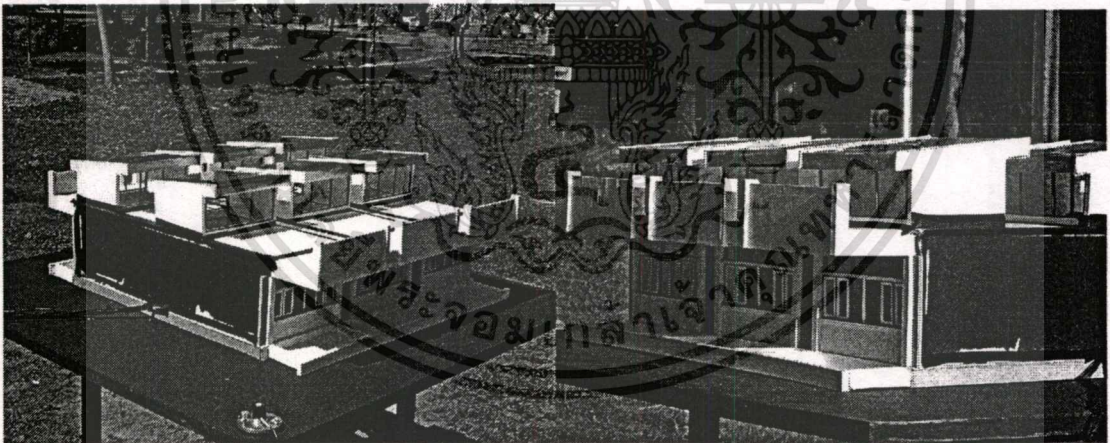
4.2.3.1. แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1 สัดส่วนความสูงช่องเปิดด้านทิศเหนือ 3.5 : 1 และด้านทิศใต้ 6:1 วัสดุกรุฝ้าเพดานยิบซัมบอร์ดทาสีขาว ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง 80% วัสดุผนังหลังคาเป็นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 95 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 แสดงในรูปที่ 4.20 และ 4.21



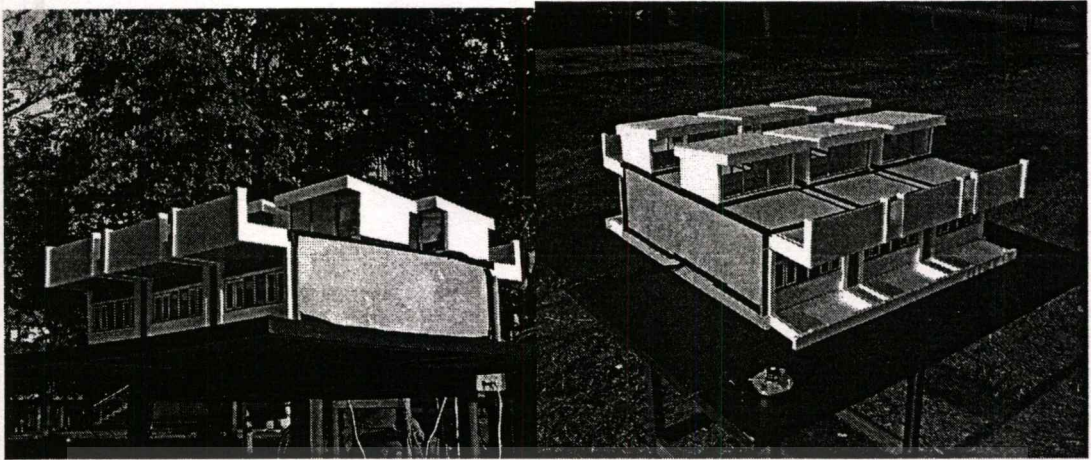
รูปที่ 4.20 แสดงแบบภาคตัดของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 และ Monitor 1.1.2



รูปที่ 4.21 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1

4.2.3.2 แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1 สัดส่วนความสูงของเปิดด้านทิศเหนือ 3.5 : 1 และ ด้านทิศใต้ 6:1 วัสดุกรุฝ้าเพดานแผ่นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 95 วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องโพลิเอสเตอร์เคลือบสี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 แสดงในรูปที่ 4.22

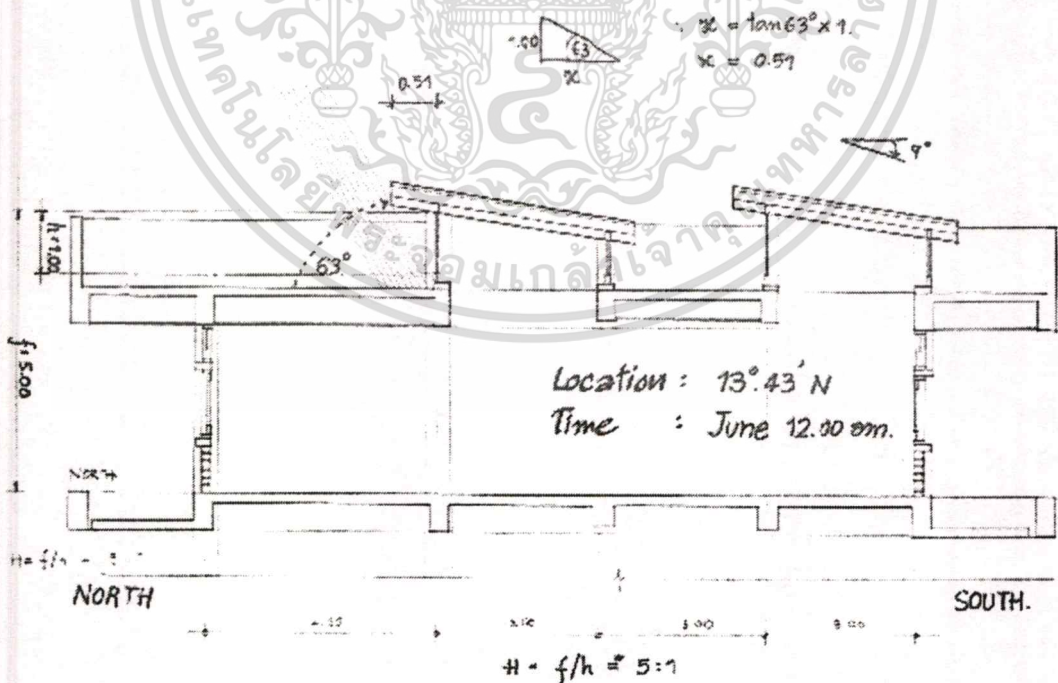
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงหุ่นจำลองแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2

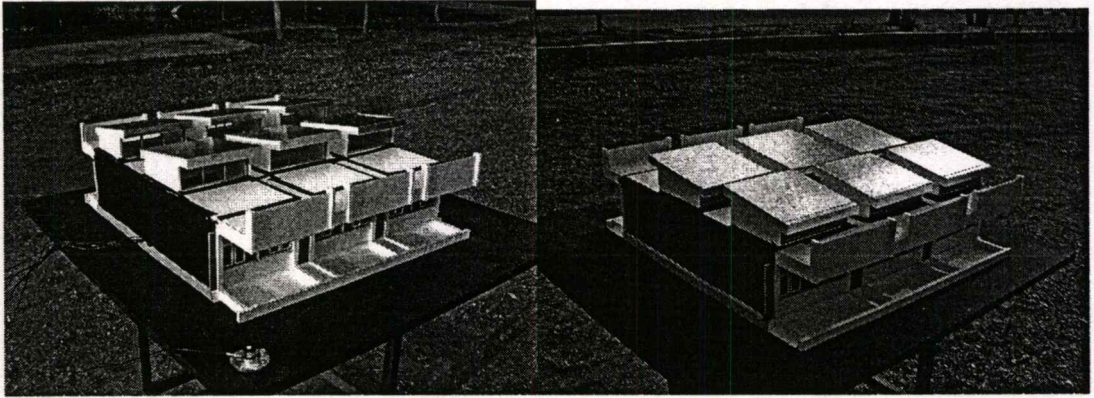
4.2.4 หลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2 อัตราส่วนความสูงช่องเปิดด้านทิศเหนือ 5 : 1 และด้านทิศใต้ 6:1

4.2.4.1 แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2 สัดส่วนความสูงช่องเปิดด้านทิศเหนือ 5 : 1 และด้านทิศใต้ 6:1 วัสดุกรุฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดทาสีขาว ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 วัสดุผนังหลังคาเป็นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี Zinc alum ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ร้อยละ 95 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคา มอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 แสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24



รูปที่ 4.23 แสดงแบบภาคตัดของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 และ Monitor 1.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงหุ่นจำลอง แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1

4.2.4.2 แบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2 สัดส่วนความสูงช่องเปิดด้านทิศเหนือ 5 : 1 และ ด้านทิศใต้ 6:1 วัสดุกรุฝ้าเพดานแผ่นโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 95 วัสดุผนังหลังคาเป็นกระเบื้องโยหินลอนคู่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงร้อยละ 80 ต่อไปนี้เรียกว่าหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 แสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงหุ่นจำลองมอนิเตอร์ แบบหลังคา Monitor 1.2.2

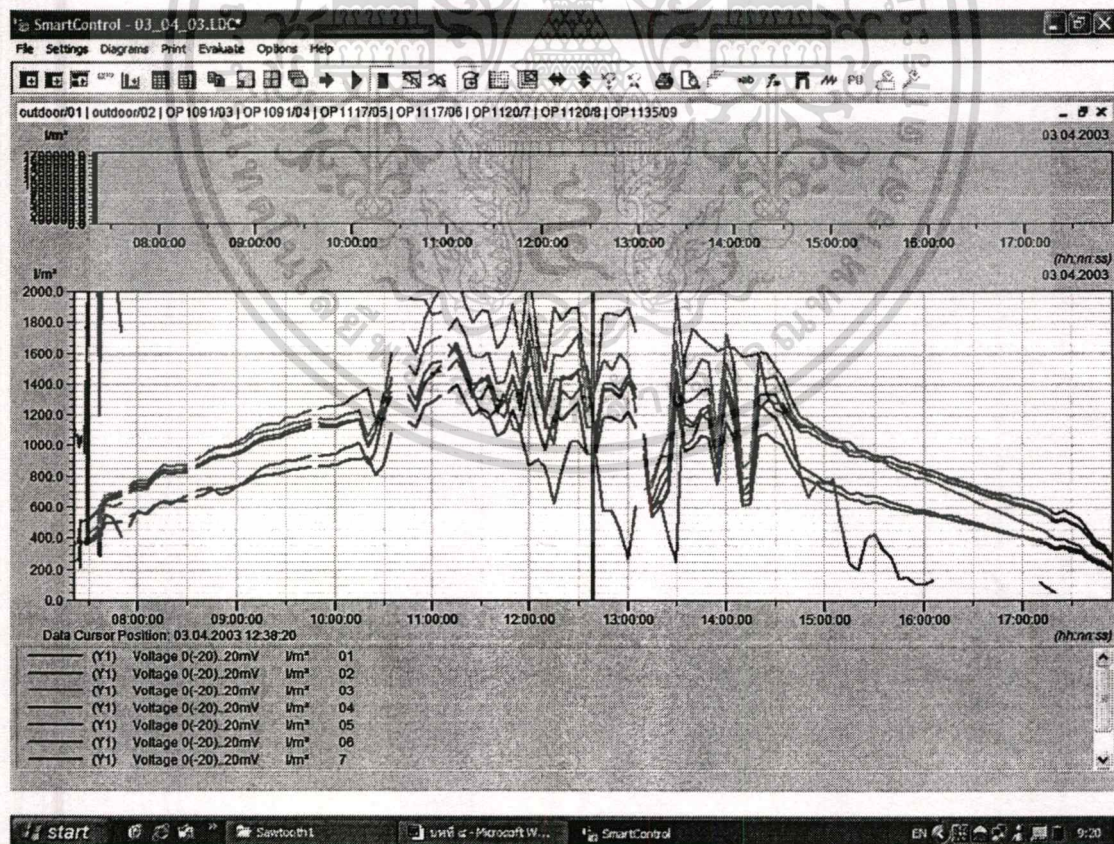
4.3 ผลการทดสอบแบบร่างสถาปัตยกรรม

จากการทดสอบหุ่นจำลองที่ประดิษฐ์จากแบบร่างสถาปัตยกรรมทั้งหมดในข้อ 4.2 ด้วยการทดสอบภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงตามวิธีการและเงื่อนไขต่างๆซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 แล้ว ซึ่งผลการทดสอบ จะแสดงเป็นตารางข้อมูลการบันทึกค่าปริมาณการส่องสว่างในทุกๆ 5 นาที โดยแสดงไว้ในภาคผนวก ส่วนข้อมูลผลการทดสอบที่จะแสดงต่อไปนี้ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบ จะแสดงเป็นตารางข้อมูลบันทึกค่าปริมาณการส่องสว่างที่บันทึกทุกๆชั่วโมง นอกจากนี้ยังแสดงผลด้วยกราฟ ซึ่งสร้างจากโปรแกรมการบันทึกข้อมูลเป็นตัวอย่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลการทดสอบ นอกจากนี้ยังแสดงผลการทดสอบด้วยตาเปล่า โดยใช้ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ซึ่งจะแสดงลักษณะการกระจายแสงในช่วงเวลาต่างๆ ทั้งภายนอกและภายในห้องจำลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการทดสอบห้องจำลองแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1 อัตราส่วนความสูงช่องเปิด 3.5 : 1

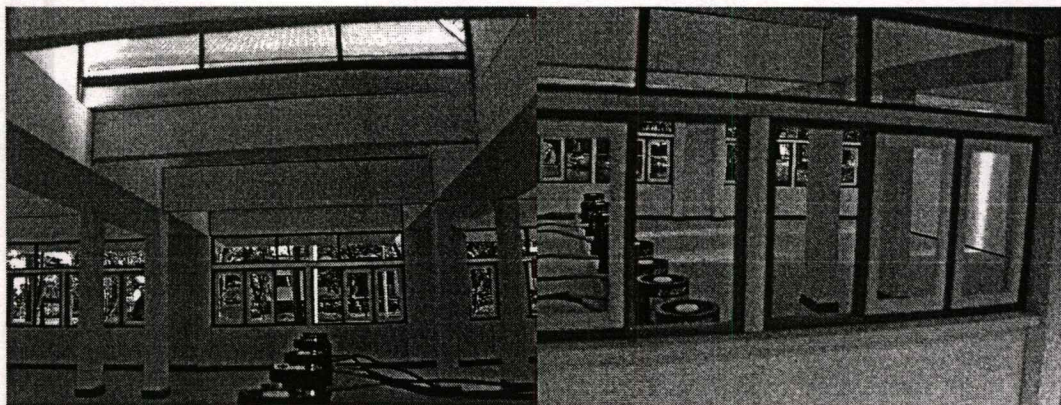
4.3.1.1 การทดสอบห้องจำลองหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 3 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00 น. – 10.30 น. ท้องฟ้าโปร่ง ส่วนเวลา 10.30 น. – 14.30 น. ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนสลับกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง และเวลา 14.30 น. ถึง 18.00 น. ท้องฟ้าโปร่ง สภาพเครื่องวัดแสง (Photometric sensor) บางชุด อ่านค่าผิดปกติเนื่องจากสภาพอากาศร้อน สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.26 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

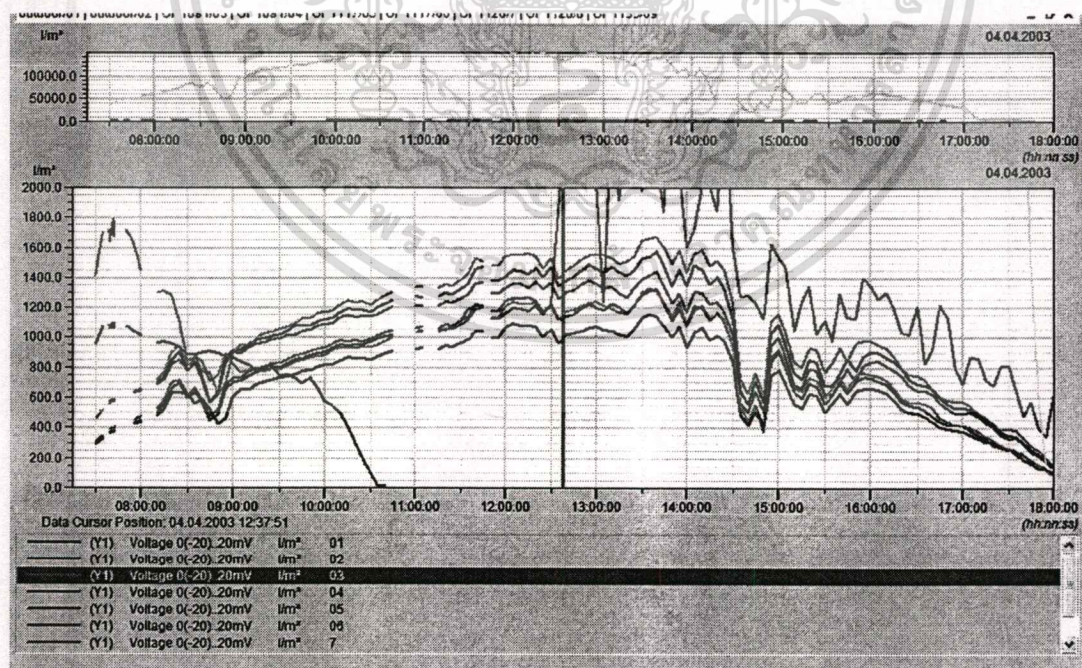
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย

Saw tooth 1.1.1

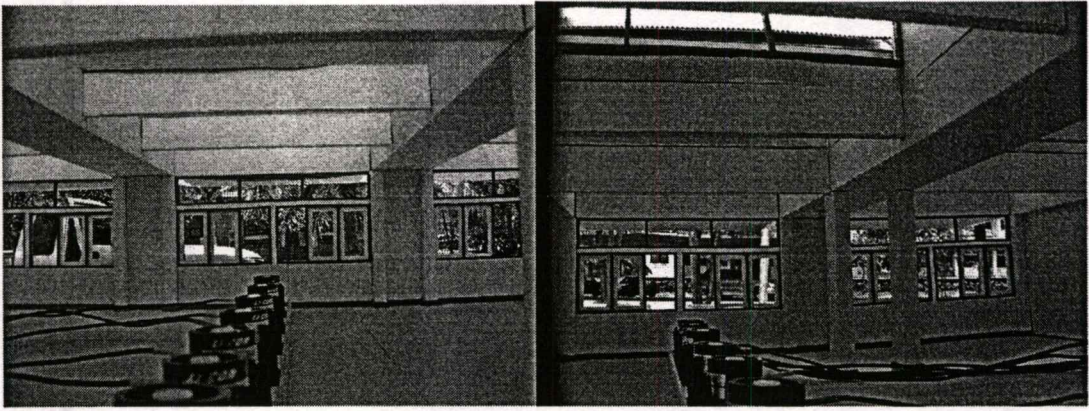
4.3.1.2 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 4 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00 น. – 12.00 น. ท้องฟ้าโปร่ง ส่วนเวลา 12.00 น. – 15.30 น. ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนสลับกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง และเวลา 16.30 น. ถึง 18.00 น. ท้องฟ้าโปร่ง สภาพเครื่องวัดแสง (Photometric sensor) บางชุด อ่านค่าผิดปกติเนื่องจากสภาพอากาศร้อน สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.28 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

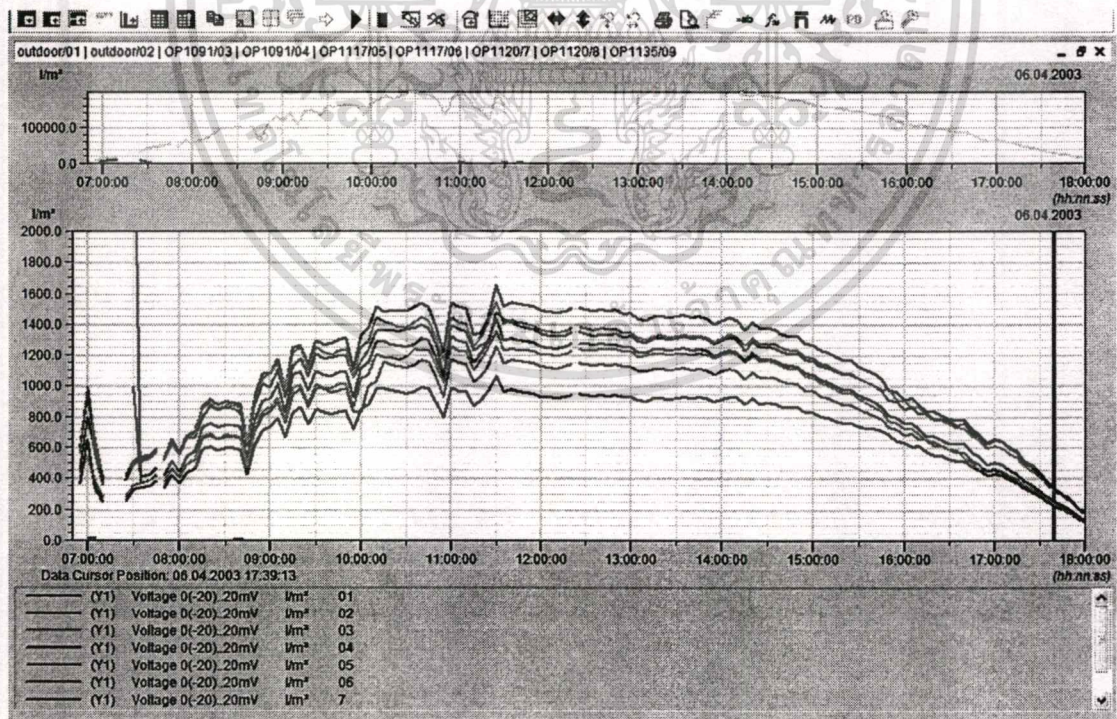
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย

Saw tooth 1.1.2

4.3.1.3 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 6 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00 น. – 11.30 น. ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนสลับกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง ส่วนเวลา 11.30 น. – 18.00 น. ท้องฟ้าโปร่ง สภาพเครื่องวัดแสงบางชุด ไม่อ่านค่าเนื่องจากสภาพอากาศร้อน สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.30 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

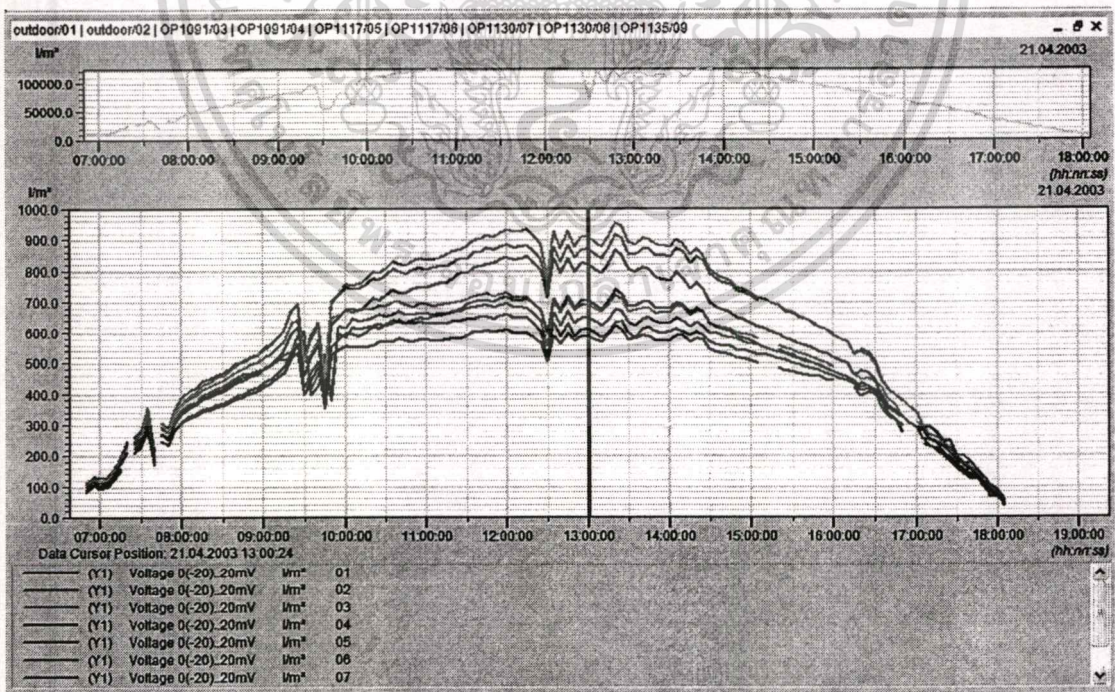


รูปที่ 4.31 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย

Saw tooth 1.1.3

4.3.2 ผลการทดสอบหุ่นจำลองแบบหลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2 อัตราส่วนความสูงช่องเปิด 5 : 1

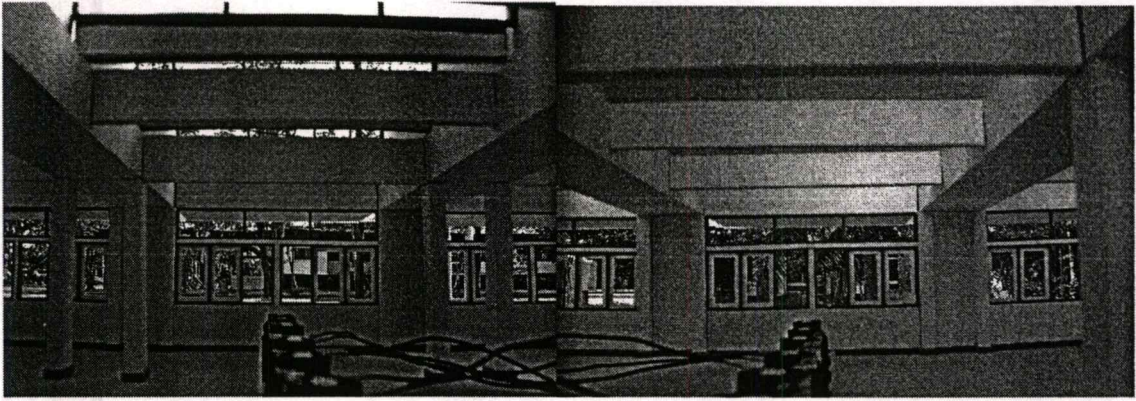
4.3.2.1 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 21 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ปลอดภัยเกือบตลอดทั้งวัน มีเมฆบางส่วนในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 10.00 น. และ ในช่วง 12.30 น. ถึง 14.30 น. สภาพเครื่องวัดแสงอ่านค่าตามปกติ สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.32 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

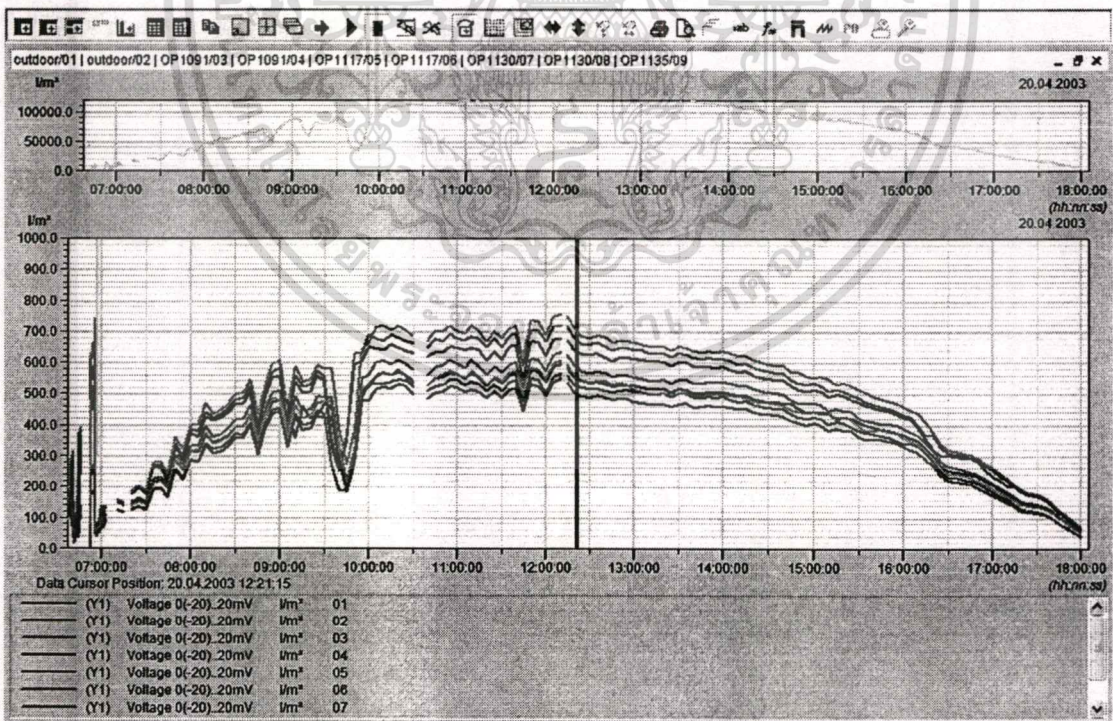
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย

Saw tooth 1.2.1

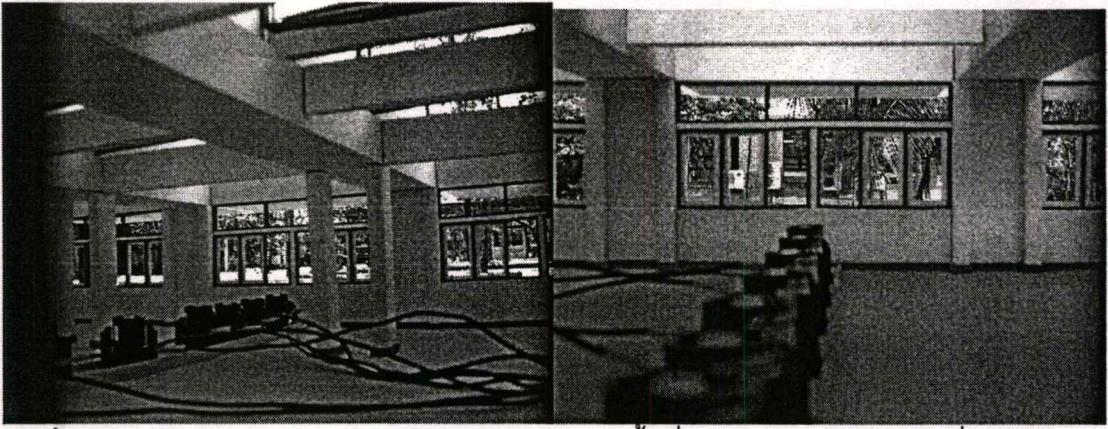
4.3.2.2 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 20 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 8.00 น. – 12.00 น. ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนสลับกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง ส่วนเวลา 12.00 น. – 18.00 น. ท้องฟ้าโปร่ง สภาพเครื่องวัดแสงอ่านค่าตามปกติ สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.34 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

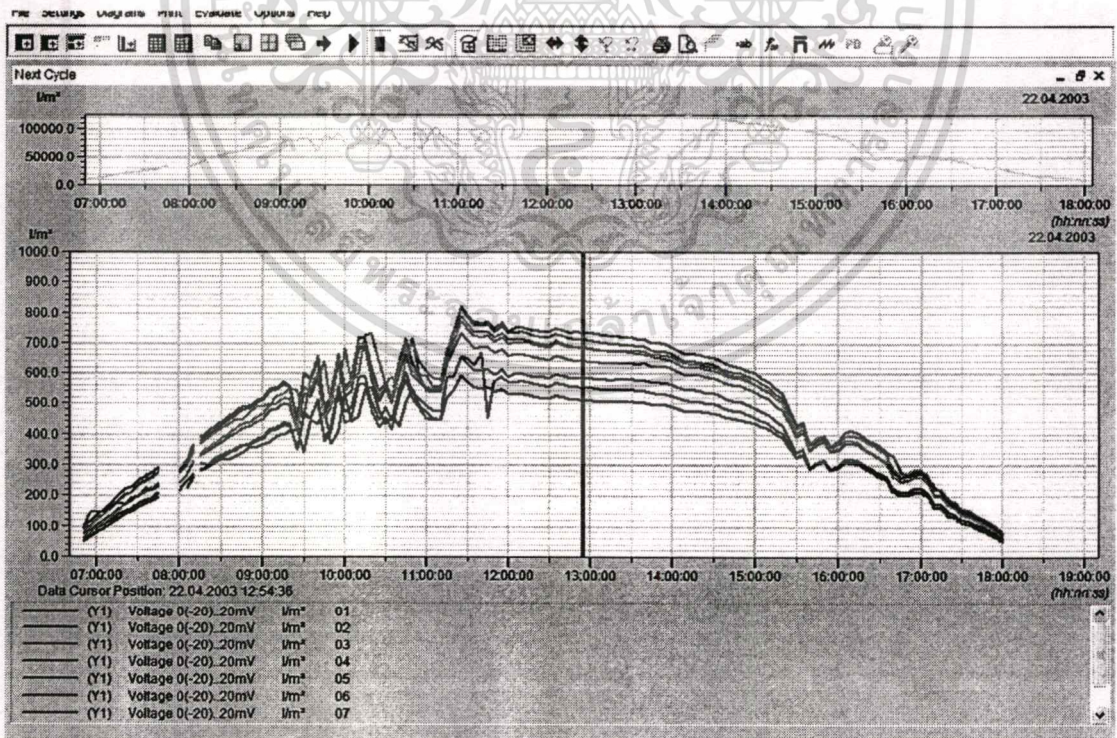
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย

Saw tooth 1.2.2

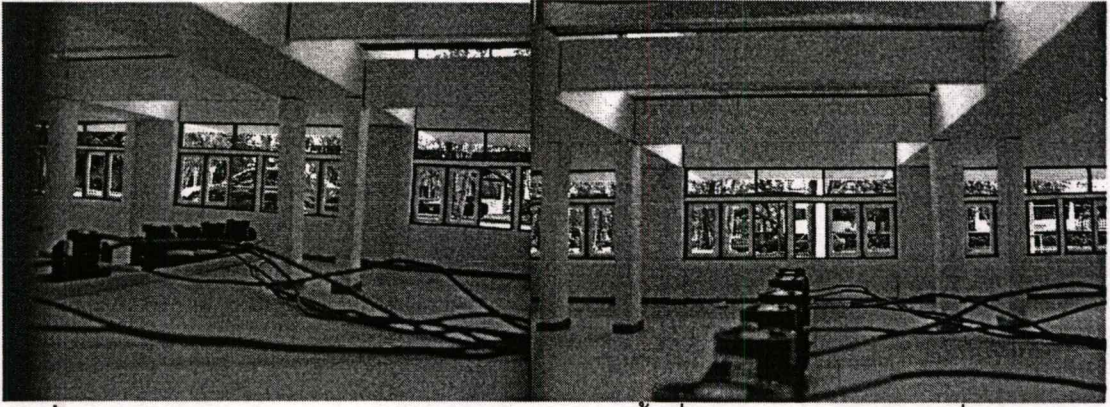
4.3.2.3 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 22 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ในช่วงเช้าตั้งแต่เวลาประมาณ 9.30 น. – 11.30 น. ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนสลับกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง ส่วนเวลา 12.00 น. – 18.00 น. ท้องฟ้าโปร่ง สภาพเครื่องวัดแสง อ่านค่าตามปกติ สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.36 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

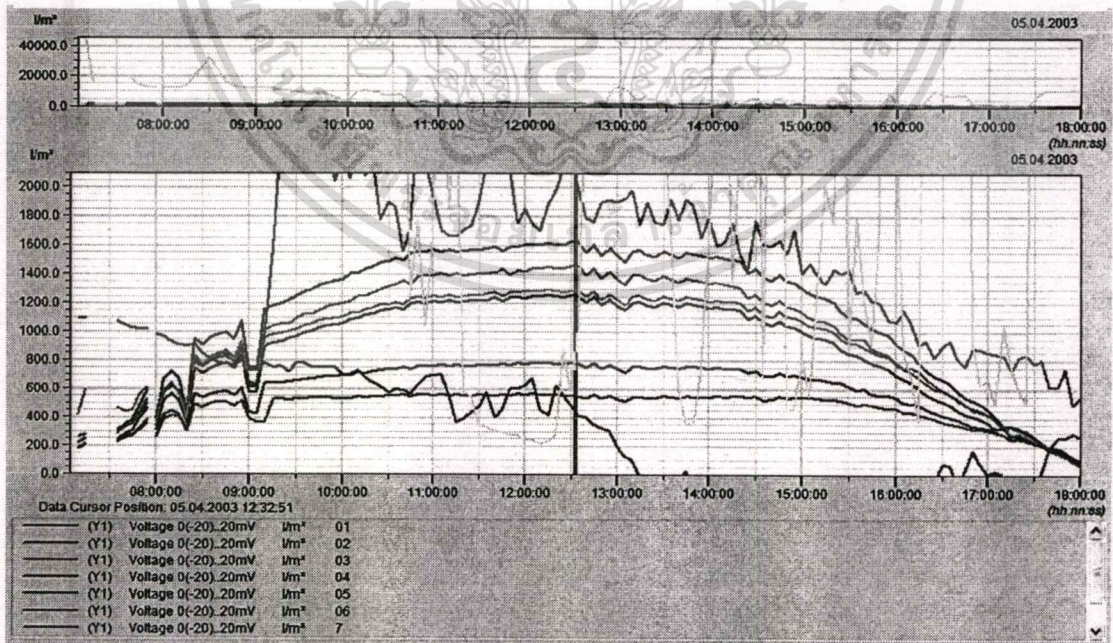


รูปที่ 4.37 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบฟันเลื่อย

Saw tooth 1.2.3

4.3.3 ผลการทดสอบหุ่นจำลองแบบหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1 อัตราส่วนความสูงช่องเปิด 3.5 : 1

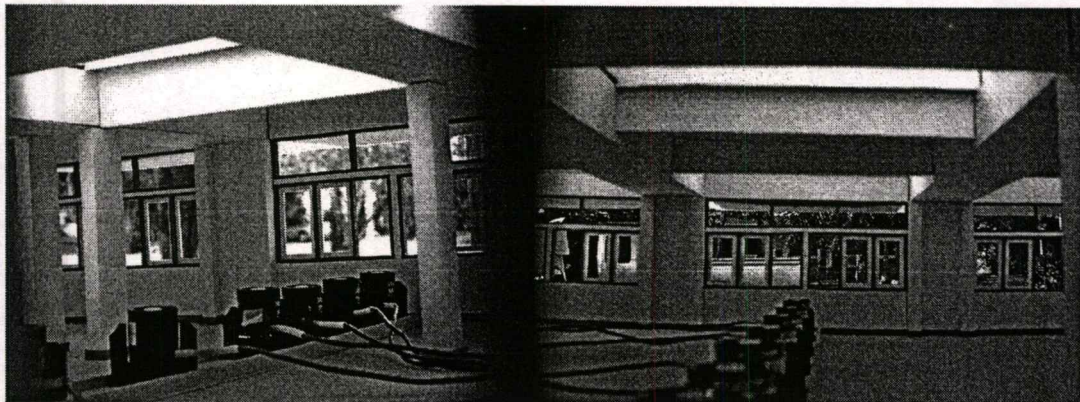
4.3.3.1 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 5 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ตั้งแต่เวลา 07.30 น. ถึง 18.00 น. ท้องฟ้าโปร่งตลอดทั้งวัน มีเมฆเล็กน้อยช่วงเวลา 9.00 น. เท่านั้น สภาพเครื่องวัดแสงบางชุด อ่านค่าผิดปกติเนื่องจากสภาพอากาศครึ้ม สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.38 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.1

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

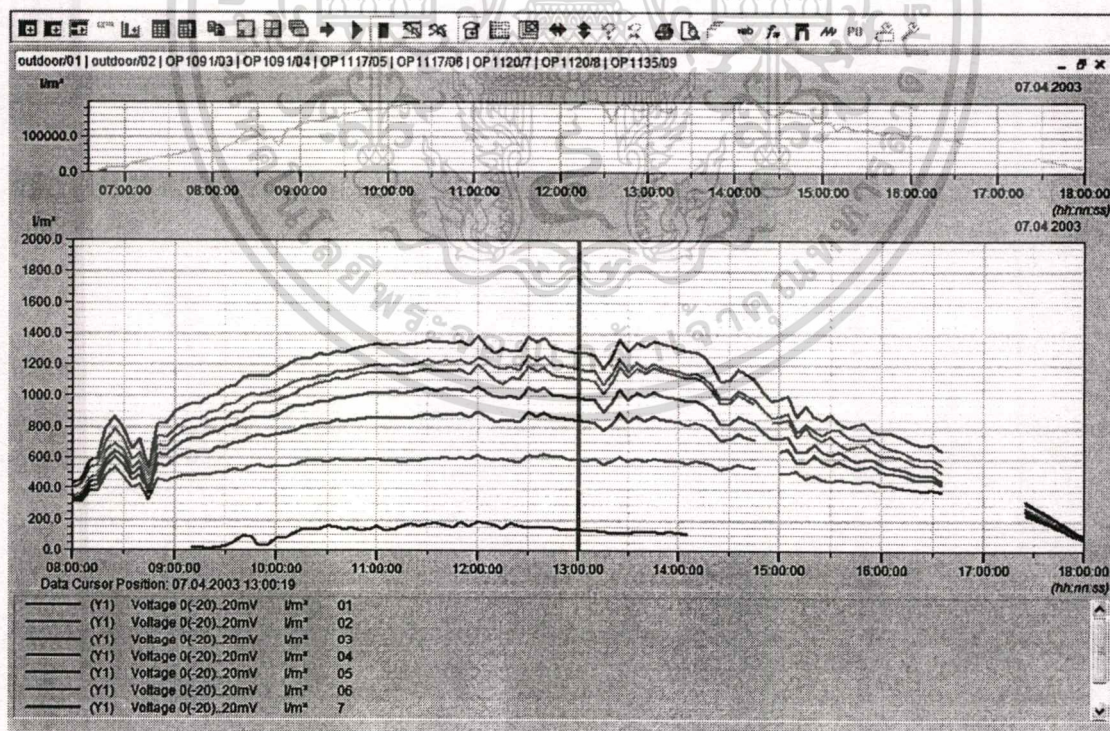
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอนิเตอร์

Monitor 1.1.1

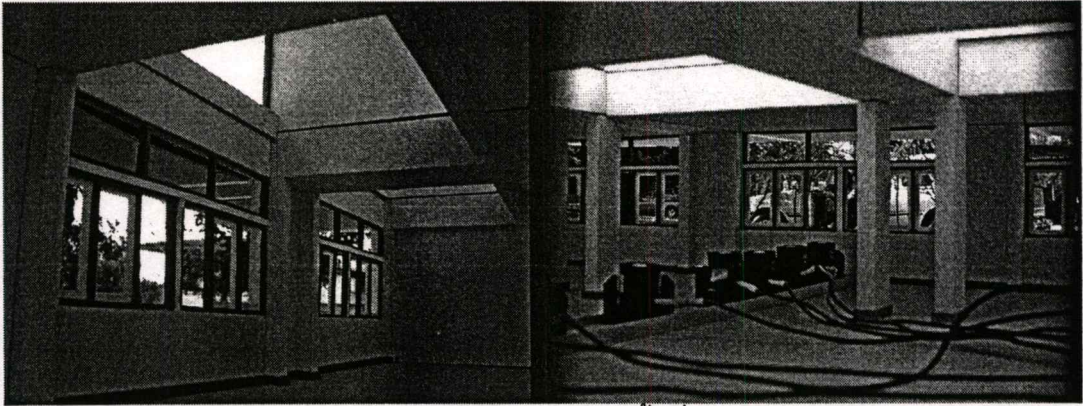
4.3.3.2 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 7 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ตั้งแต่เวลา 07.30 น. ถึง 18.00 น. ท้องฟ้าโปร่งตลอดทั้งวัน มีเมฆเล็กน้อยช่วงเวลาบ่าย 14.30 – 15.30 น. เท่านั้น สภาพเครื่องวัดแสง บางชุด อ่านค่าผิดปกติเนื่องจากสภาพอากาศร้อน สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.40 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.2

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

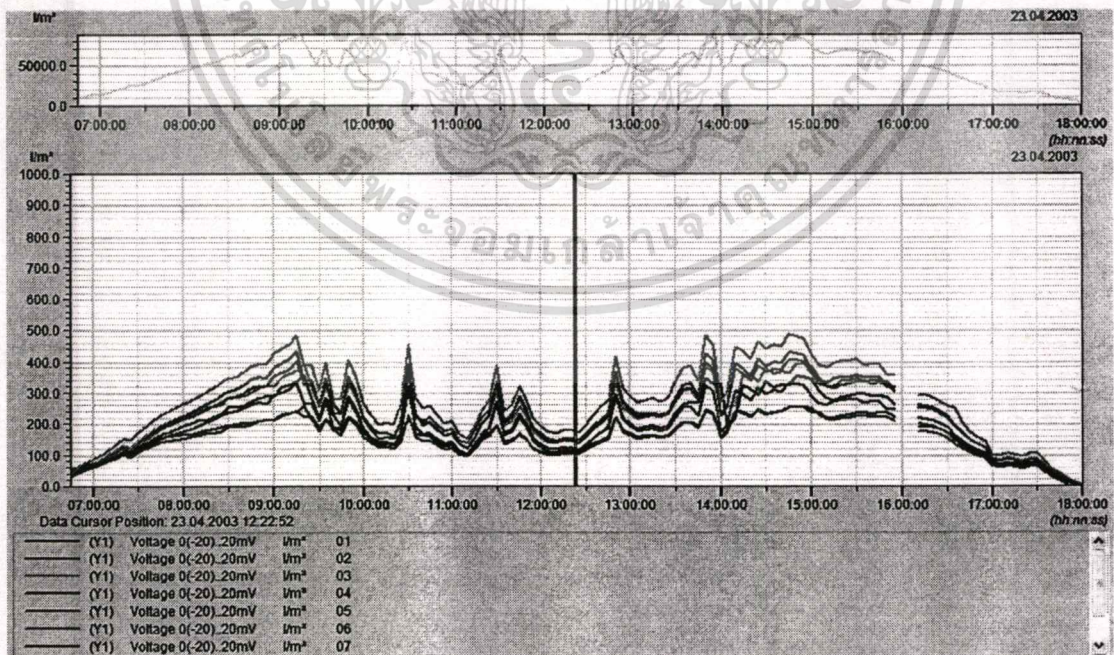


รูปที่ 4.41 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอโนเดอร์

Monitor 1.1.2

4.3.4 ผลการทดสอบหุ่นจำลองแบบหลังคามอโนเดอร์ Monitor 1.2 อัตราส่วนความสูงช่องเปิด 5 : 1

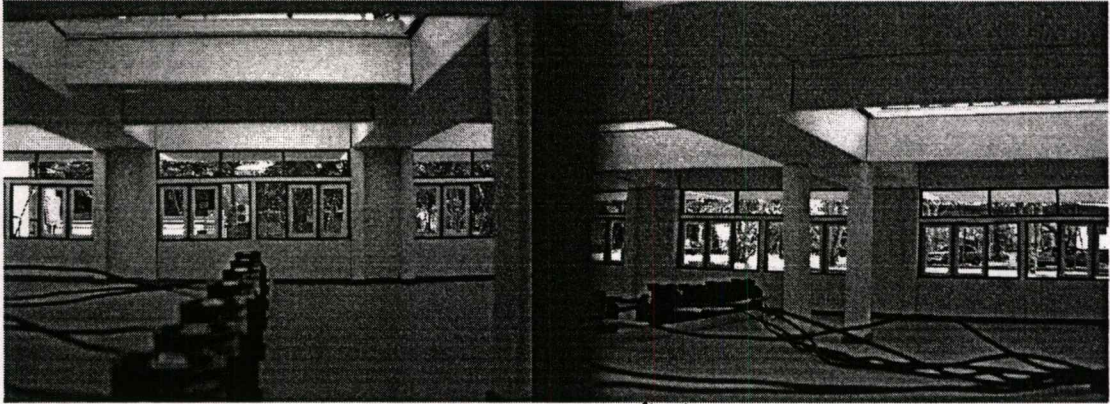
4.3.4.1 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบมอโนเดอร์ Monitor 1.2.1 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 5 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ตั้งแต่เวลา 09.30 น. ถึง 16.00 น. ท้องฟ้ามีเมฆมากตลอดทั้งวัน สภาพเครื่องวัดแสง อ่านค่าปกติ สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.42 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างภายใต้หลังคามอโนเดอร์ Monitor 1.2.1

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

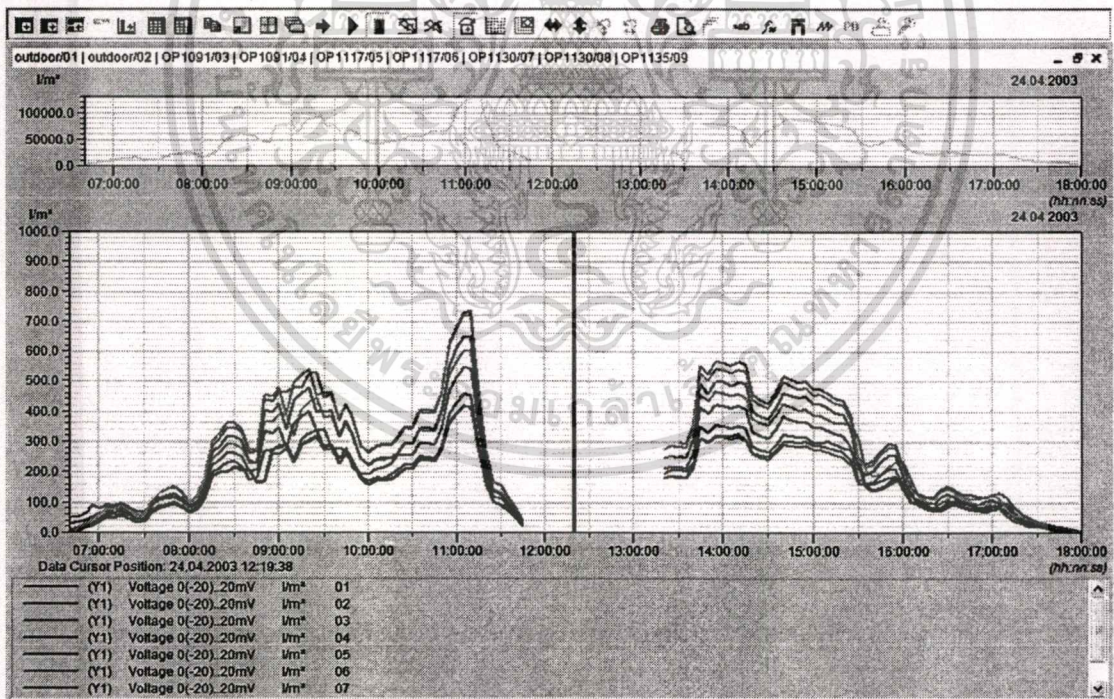
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.43 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอนิเตอร์

Monitor 1.2.1

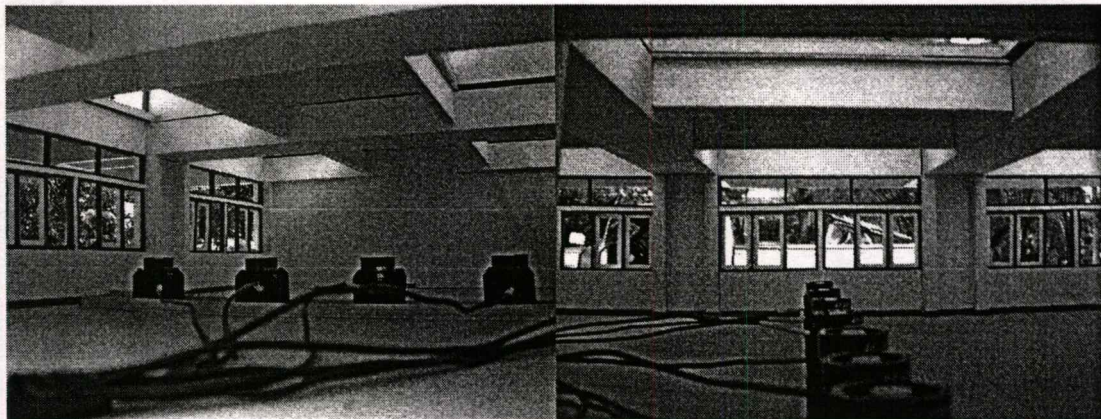
4.3.4.2 การทดสอบหุ่นจำลองหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 ได้ทำการทดสอบในวันที่ 24 เมษายน 2546 โดยทดสอบทั้งวัน สภาพท้องฟ้า ตั้งแต่เวลา 09.30 น. ถึง 16.00 น. ท้องฟ้ามีเมฆมากตลอดทั้งวัน และมีฝนตกหนักในช่วงเวลา 11.45 น. ถึง 13.20 น. สภาพเครื่องวัดแสงอ่านค่าปกติ สำหรับผลการทดสอบสามารถแสดงเป็นกราฟการวัดค่าปริมาณการส่องสว่าง ตารางแสดงข้อมูล และ ภาพถ่ายสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.44 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างใต้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2

ด้วยกราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง โดยใช้โปรแกรม Smart Control 1.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 แสดงผลการทดสอบสภาพการส่องสว่างในพื้นที่ภายในหลังคาแบบมอเนเตอร์

Monitor 1.2.2

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบแบบร่างทางสถาปัตยกรรม

4.4.1 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบแบบร่างทางสถาปัตยกรรมในข้อ 4.3 เมื่อนำข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมดของหลังคาแต่ละแบบจากโปรแกรมบันทึกข้อมูล "Smart Control 1.23" จากเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) "Opus 200" มาทำการถ่ายโอนข้อมูล (Export) ให้อยู่ในรูปตารางข้อมูลบนโปรแกรม "Microsoft Excel" แล้ว ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลค่าปริมาณการส่องสว่างมีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (lumen/m^2) หรือ ลักซ์ ของตำแหน่งทดลองทั้ง 8 จุด ในบริเวณพื้นที่ศึกษาของหุ่นจำลอง และตำแหน่งภายนอกอีก หนึ่ง ตำแหน่ง โดยการบันทึกค่าจะบันทึกทุกๆ 5 นาที แต่ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้น ใช้ข้อมูลที่บันทึกเป็นรายชั่วโมง เป็นตัวแทนของชุดข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองตามระเบียบวิธีวิจัยที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 1 และตามเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบในข้อ 3.7 ซึ่งได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ 3 ค่าคือ

- ค่าปริมาณการส่องสว่างหรือลูมินแนนซ์ (l luminance) ต้องมีค่าระหว่าง 500-750-100 ลักซ์ (lux)
- ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ต้องมีค่าระหว่างร้อยละ 0.5 – 1.5
- ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity) มีค่าระหว่างร้อยละ 70 – 100 และแต่ละจุดมีค่าต่างกันไม่เกินร้อยละ 30

ฉะนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองจึงนำค่าทั้งปริมาณการส่องสว่างที่เก็บได้จากหลังคาทั้ง 10 แบบ มาคำนวณให้ได้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ และ ค่าความสม่ำเสมอในการส่องสว่าง

(Uniformity) จากนั้นนำไปสร้างเป็นแผนภาพแบบโมโนกราฟ (Monograph) หรือ กราฟเชิงเส้น ซึ่งกระบวนการคำนวณเพื่อหาค่าต่างๆเพื่อนำมาเขียนเป็นกราฟเชิงเส้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1.1 วิธีการวิเคราะห์ผลค่าปริมาณการส่องสว่าง วิธีการวิเคราะห์นั้น เมื่อได้ตารางค่าปริมาณการส่องสว่างของหลังคาทั้ง 10 แบบแล้วให้นำค่าปริมาณการส่องสว่างมาหักลบด้วย ค่าปัจจัยแวดล้อมดังต่อไปนี้

- ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างผ่านช่องเปิด ซึ่งในที่นี้คือวัสดุกระจกละเอียด 6 มิลลิเมตร ตามแบบ
- ค่าแก้จากองค์ประกอบภายนอก อันเกิดจากการสะท้อนของอาคารข้างเคียง สิ่งแวดล้อมและพื้นที่ตั้ง
- ค่าแก้องค์ประกอบภายใน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุปิดผิวภายใน และปัจจัยการบำรุงรักษา (Maintenance Factor)

จากนั้นนำข้อมูลค่าปริมาณการส่องสว่างทั้งหมดมาสร้างเป็นกราฟเชิงเส้น โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับเวลา และจุดที่ทำการวัด เพื่อสังเกตภาวะการส่องสว่างของตำแหน่งที่ทำการวัด แต่อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าค่าปริมาณการส่องสว่างจะไม่สามารถเป็นคำตอบทั้งหมด หรือเป็นค่าตัวแทนในการวิเคราะห์ผลสภาพการส่องสว่างได้ ทั้งนี้เนื่องจาก วันและเวลาที่ทำการทดสอบนั้น บางวันสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly and Cloudy Sky) ซึ่งจะมีค่าปริมาณการส่องสว่างไม่สม่ำเสมอ และมีค่าไม่คงที่ แต่ก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ได้ในระดับหนึ่ง สำหรับในวันที่มีสภาพท้องฟ้าโปร่ง ในประเทศไทยนั้น ตามสภาวะปกติค่าปริมาณการส่องสว่างจะมีค่ามากในช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 น. ถึง 14.00 น. เมื่อพิจารณากราฟโดยใช้ช่วงเวลาเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ กราฟที่ดีจะมีรูปเป็นขามคว่ำ และเมื่อพิจารณาจากตำแหน่งที่ทำการวัดเป็นเกณฑ์ กราฟที่ดีควรมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวนอน เมื่อสภาพท้องฟ้าปกติ และควรมีค่าปริมาณการส่องสว่างที่มากกว่า 500 ลักซ์ ขึ้นไป

4.4.1.2 วิธีการวิเคราะห์ผลค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (DF) วิธีการวิเคราะห์ผลค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (DF) นั้น จะต้องนำเอาตารางค่าปริมาณการส่องสว่างจากข้อ 4.4.1.1 มาคำนวณหาค่าเดไลท์แฟคเตอร์ โดยใช้สูตรการคำนวณจากสมการที่ 2.2.8

$$DF (\%) = \frac{\text{ปริมาณการส่องสว่างภายในพื้นที่} \times 100}{\text{ปริมาณการส่องสว่างภายนอก}} \dots\dots\dots(4.1)$$

เมื่อได้ตารางแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ แล้วให้นำค่าดังกล่าวมาสร้างเป็นกราฟเชิงเส้น โดยพิจารณาเปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ กับตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งกราฟที่ดีควรมีเส้นกราฟ ในช่วงเวลาต่างๆ ในแต่ละจุดนั้นมีค่าแตกต่างกันไม่มาก นั่นคือ กราฟควรเป็นเส้นตรงในแนวนอน มีค่าในช่วง 0.5 – 1.5 % นอกจากนี้สามารถนำค่าเดไลท์แฟคเตอร์ มาพิจารณาเปรียบเทียบในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อตรวจสอบความเบี่ยงเบนของค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัด ซึ่งไม่ควรมีค่าแตกต่างกันเกินกว่าร้อยละ 30

4.4.1.3 วิธีการวิเคราะห์ผลค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงสว่าง (Uniformity) จากตารางแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ในข้อ 4.4.1.2 ให้นำตารางดังกล่าวมาคำนวณค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงสว่าง ตามสูตรการคำนวณในข้อ 2.3.3 ซึ่งจะต้องคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Average) ของค่า เดไลท์แฟคเตอร์ ของตำแหน่งที่ทำการวัดในแต่ละจุด และแต่ละช่วงเวลา จากนั้น สืบหาค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่น้อยที่สุด ของตำแหน่งที่ทำการวัดในแต่ละจุด และ แต่ละช่วงเวลา เพื่อให้ประกอบการคำนวณค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสงตามสูตรการคำนวณต่อไปนี้

$$\text{Uniformity} = \frac{DF_{\min}}{DF_{\text{Avg}}} \times 100 \dots\dots\dots(4.2)$$

เมื่อได้ตารางแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงสว่าง ให้นำมาเขียนเป็นกราฟเชิงเส้น โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ทำการวัดในแต่ละจุด ซึ่งในแต่ละจุดควรมีค่าดังกล่าวมากกว่าร้อยละ 70 และมีค่าความแตกต่างกันในแต่ละจุดไม่เกินร้อยละ 30 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาต่างที่ทำการวัด กราฟที่ได้ควรเป็นกราฟเส้นตรงในแนวนอน มีค่ามากกว่าร้อยละ 70 และแต่ละช่วงเวลาควรมีค่าต่างกันไม่เกินร้อยละ 30

4.4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของหลังคาแต่ละแบบ

การแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลของหลังคาแต่ละแบบจะแสดงผลเรียงตามอันดับข้อมูลดังต่อไปนี้

- วิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยตาเปล่าจากภาพถ่ายกายภาพ โดยการสังเกตสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ศึกษา ภายใต้อาคารทุกแบบ

- ตารางแสดงค่าปริมาณการส่องสว่างและค่าเดไลท์แฟคเตอร์ ที่เก็บได้จากการทดลอง โดยบันทึกทุกๆ ชั่วโมง ของหลังคาทุกแบบ ซึ่งคัดลอกจากตารางผลการทดลองซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ก โดยตารางนี้จะคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตของเดไลท์แฟคเตอร์ และแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงสว่าง (Uniformity) ไว้ด้วย

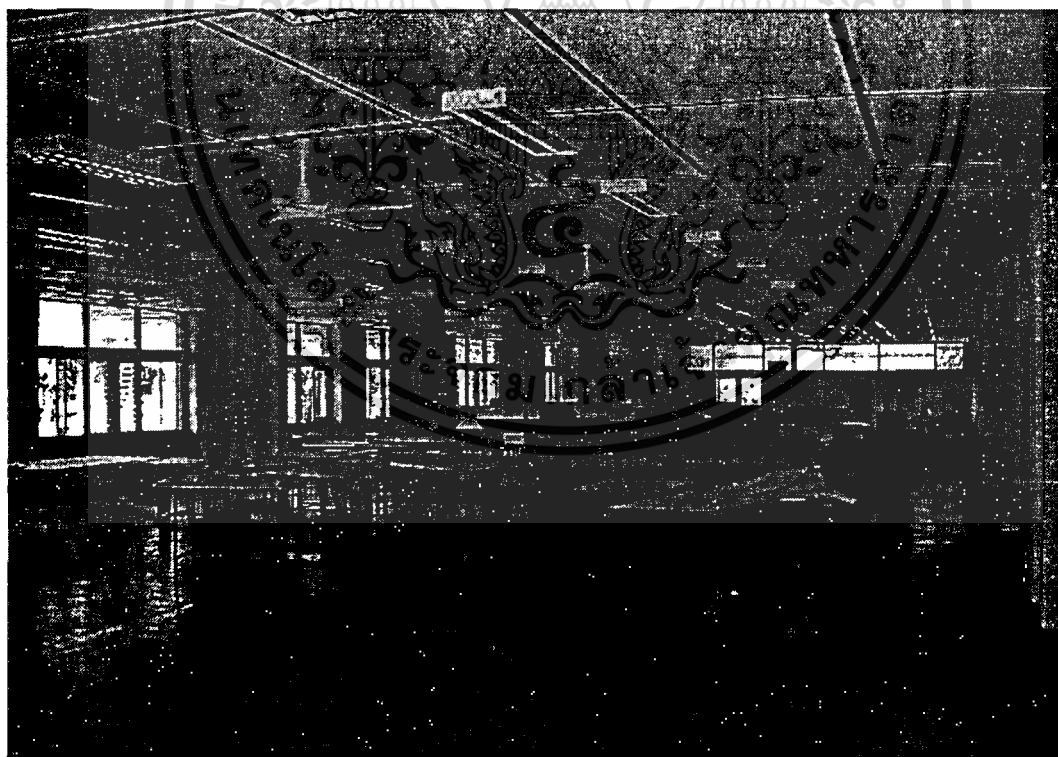
- กราฟแสดงผลค่าปริมาณการส่องสว่างของหลังคาทุกแบบ โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับจุดที่ทำกราวด์ และ เปรียบเทียบกับเวลาที่ผ่านไปทุกๆ ชั่วโมง

- กราฟแสดงผลค่าเดไลท์แฟคเตอร์ และค่าเฉลี่ยเลขคณิตของเดไลท์แฟคเตอร์ (Avg. DF) โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับจุดที่ทำกราวด์ และ เปรียบเทียบเวลาที่ผ่านไปทุกๆ ชั่วโมง

- กราฟแสดงผลค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสงสว่าง (Uniformity) โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับจุดที่ทำกราวด์ และ เปรียบเทียบเวลาที่ผ่านไปทุกๆ ชั่วโมง

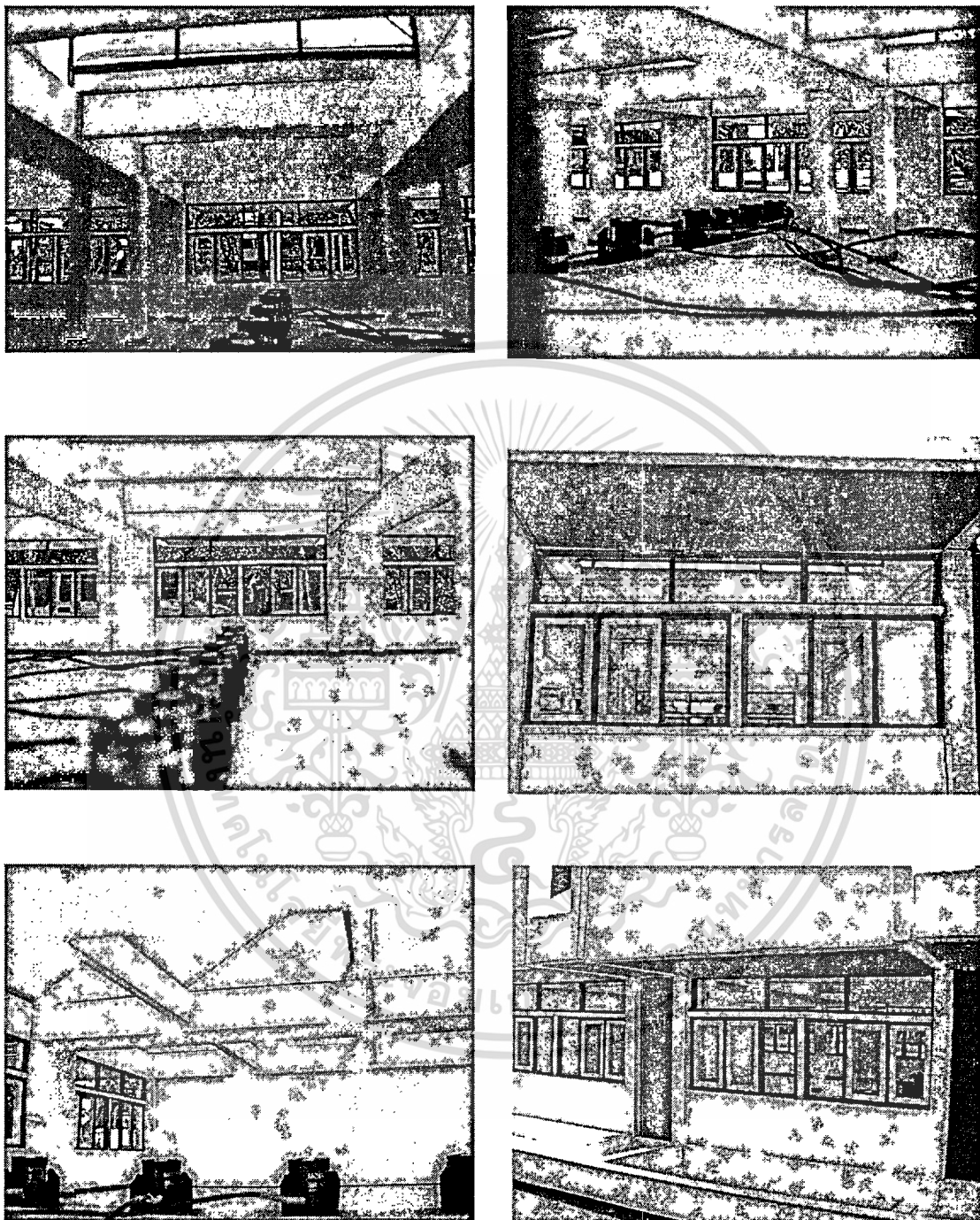
- ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การทดลองตามตารางที่ 4.3

4.4.2.1 จากรูปถ่ายเพื่อสังเกตสภาพการส่องสว่างภายในพื้นที่ศึกษาซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.46 , 4.47 และ 4.48 จะพบว่า เมื่อนำรูปภาพทั้งหมดมาเปรียบเทียบแล้ว สภาพการส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในขณะที่ทำการทดลองภายใต้หลังคาทั้งสองแบบ มีสภาพการส่องสว่างที่ดีขึ้น



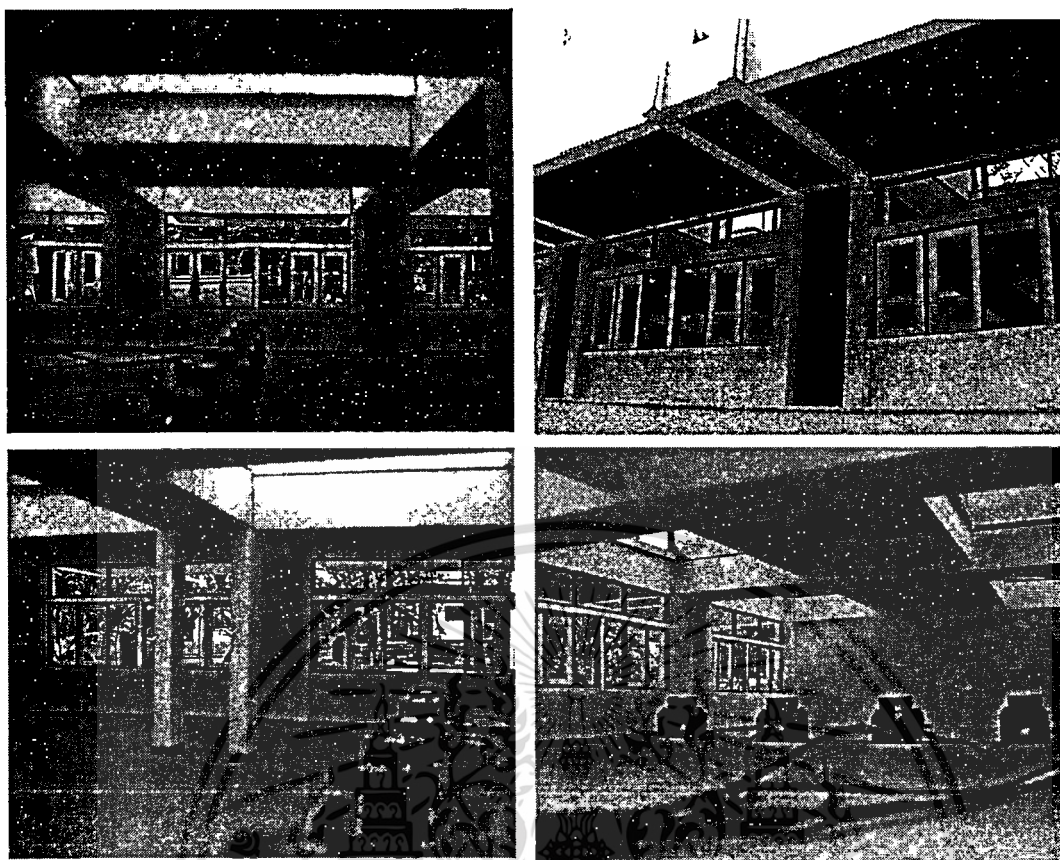
รูปที่ 4.46 แสดงสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาเดิม ก่อนทำการออกแบบปรับปรุง ซึ่งมีสภาพการส่องสว่างไม่เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



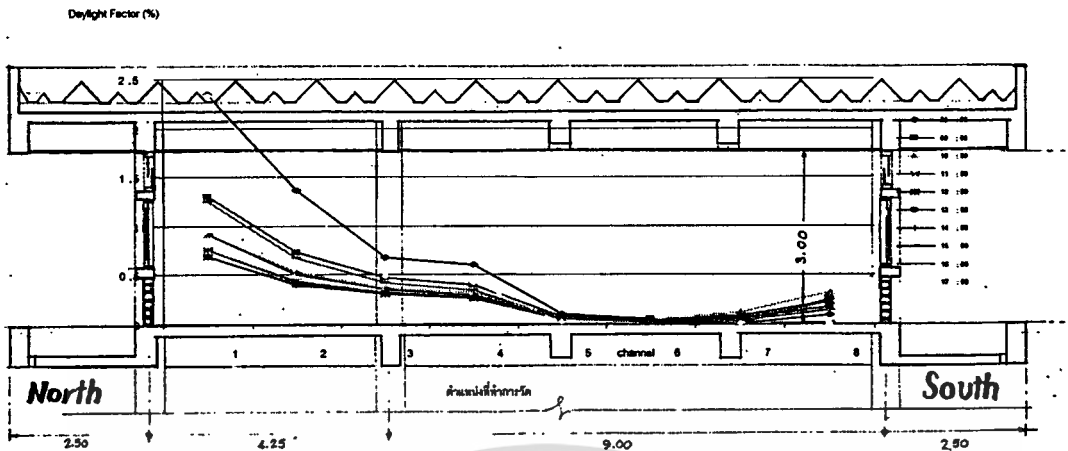
รูปที่ 4.47 แสดง สภาพการส่องสว่างพื้นที่ภายใน ในขณะที่ทำการทดลองภายใต้หลังคาแบบฟันเลื่อย Sawtooth ทั้งหมด เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่ามีการส่องสว่างที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

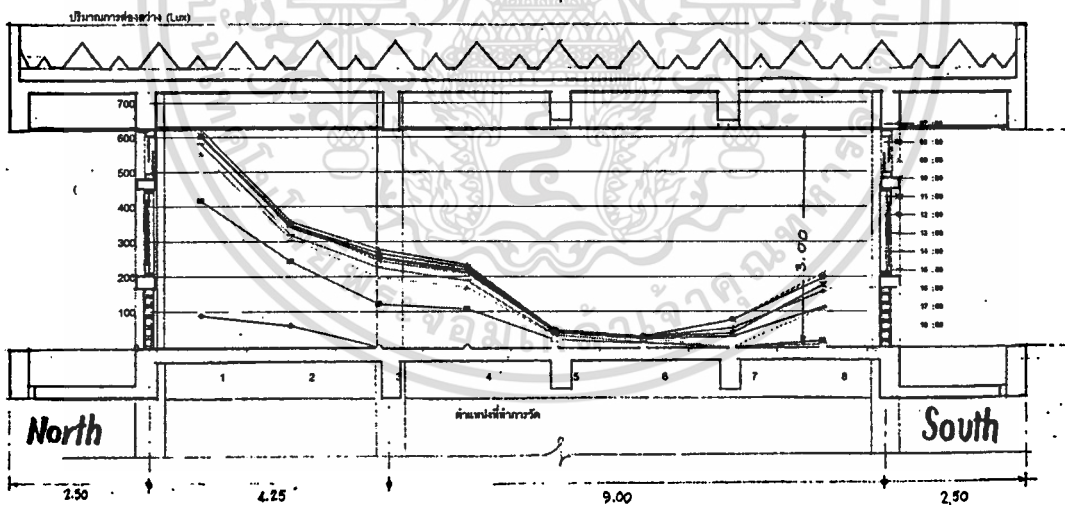


รูปที่ 4.48 แสดงสภาพการส่องสว่างพื้นที่ภายในขณะทำการทดลองภายใต้หลังคาแบบ มอนิเตอร์(Monitor) ทั้งหมด เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่ามีส่วนการส่องสว่างที่ดีขึ้นแต่จะมีความสม่ำเสมอของการกระจายความสว่างน้อยกว่าหลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw tooth)

4.4.2.2 จากข้อมูลที่ได้ทำการเก็บจากการทดสอบทั้งจากพื้นที่ศึกษาและหุ่นจำลองทุกแบบภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการปรับปรุงแล้วนำมาประมวลผลและวิเคราะห์ผลในรูปของแผนภูมิเชิงเส้น หรือ โมโนกราฟ (Monograph) จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบหุ่นจำลองแต่ละแบบกับผลที่ได้จากพื้นที่ศึกษา โดยเปรียบเทียบด้วยแผนภูมิเชิงเส้นและตารางวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลอง โดยพิจารณาทั้งในแง่ของปริมาณการส่องสว่าง หรือ อิลลูมิแนนซ์ (Illuminance) ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) และค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity) ซึ่งได้แสดงไว้ด้วยกราฟแสดงค่าต่างๆและสามารถดูได้จากรูปที่ 4.49 ถึงรูปที่ 4.95

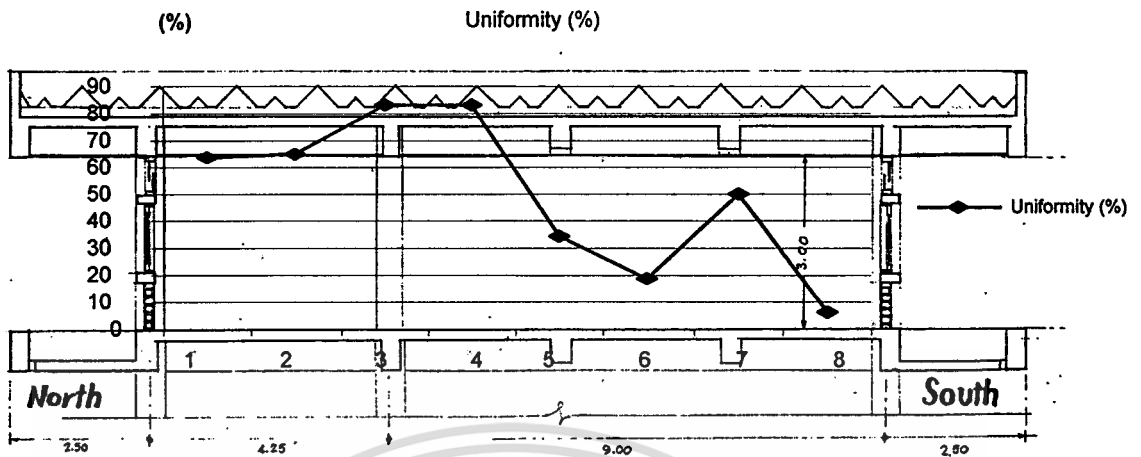


รูปที่ 4.49 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

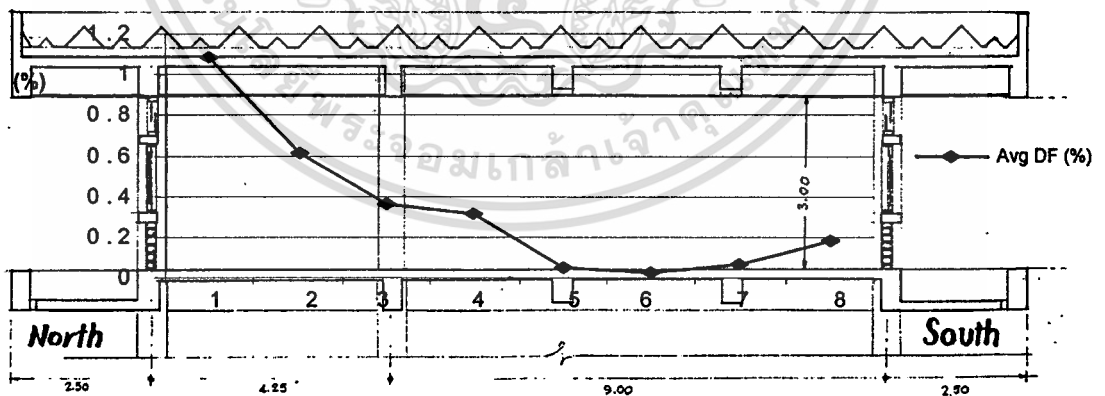


รูปที่ 4.50 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

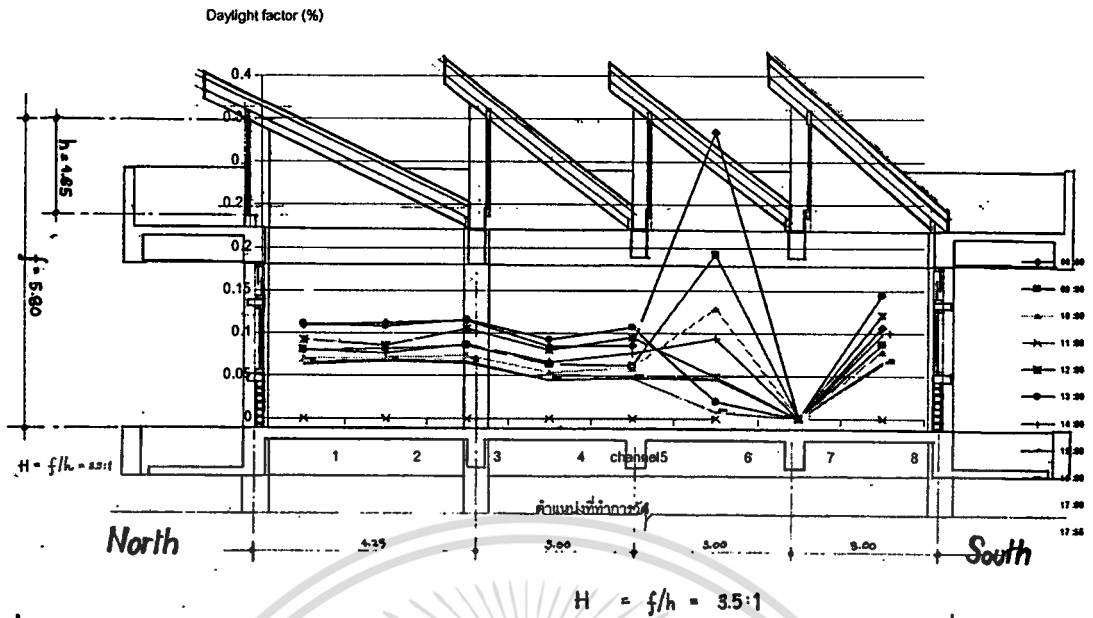


รูปที่ 4.51 กราฟแสดงค่า ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

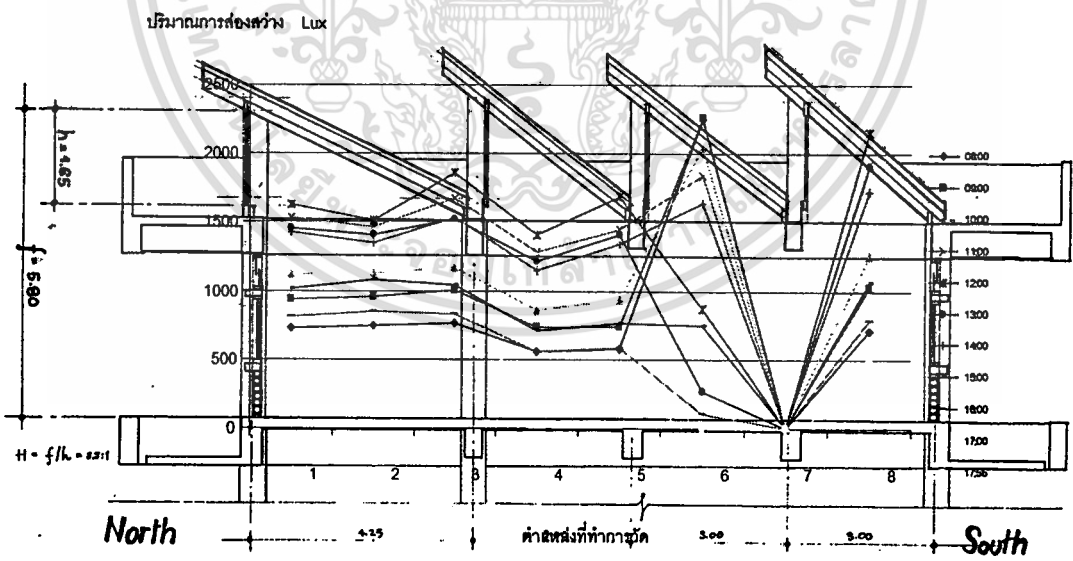


รูปที่ 4.52 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

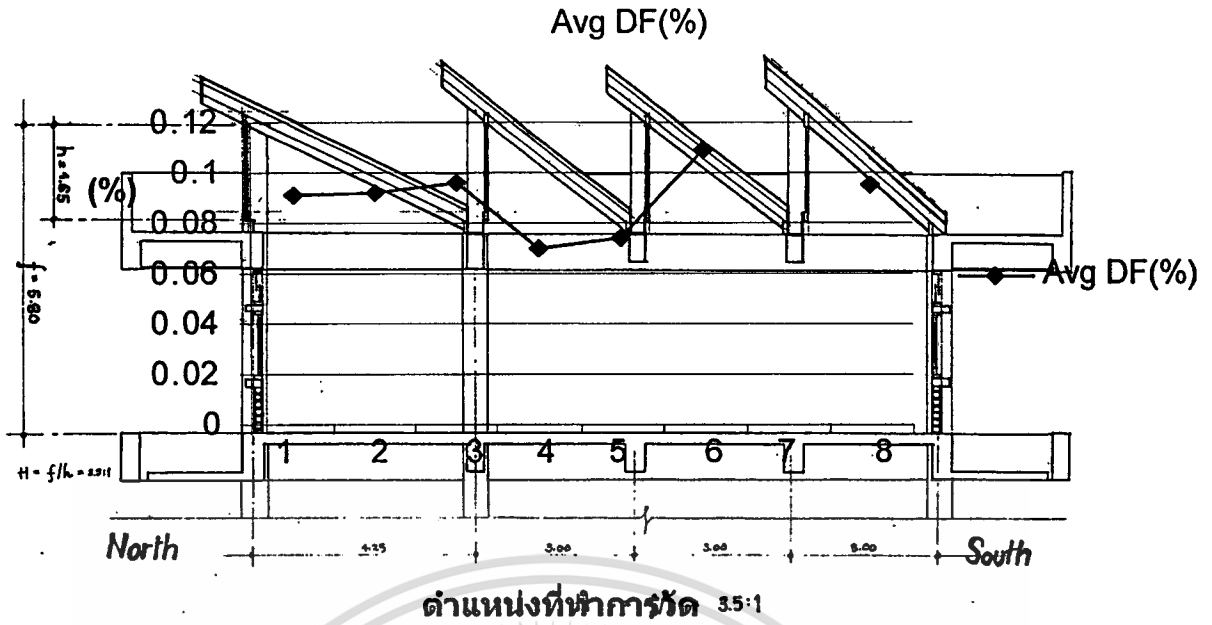


รูปที่ 4.53 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1 เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

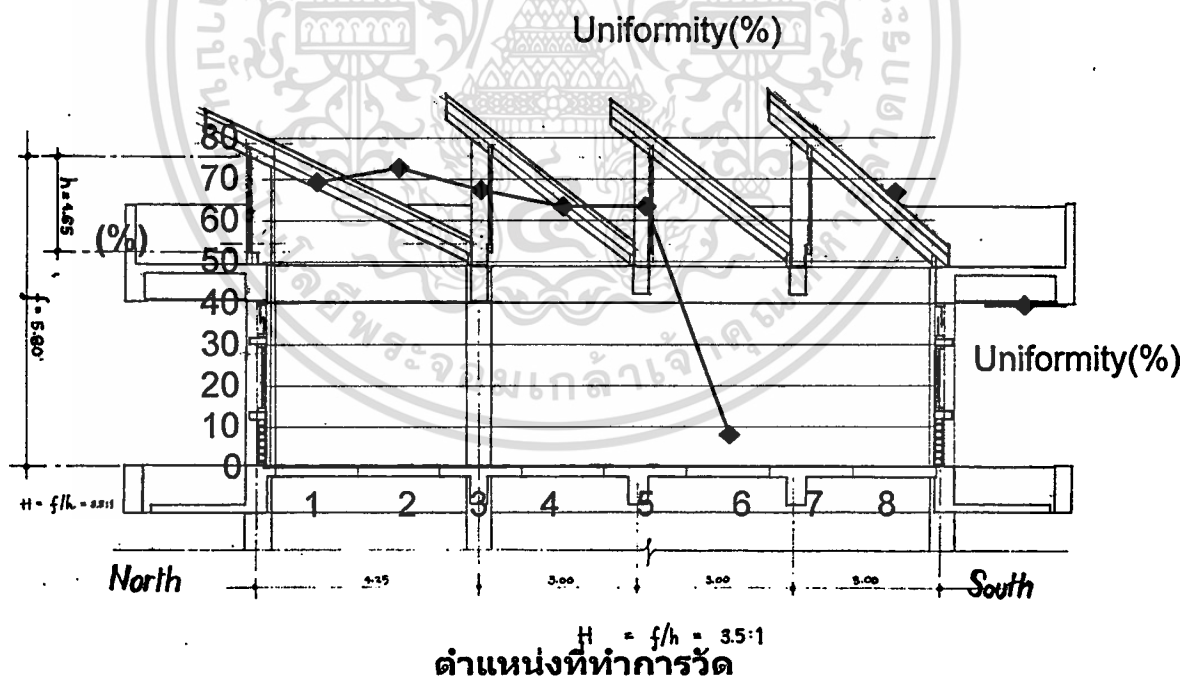


รูปที่ 4.54 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1 วันที่ 3 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

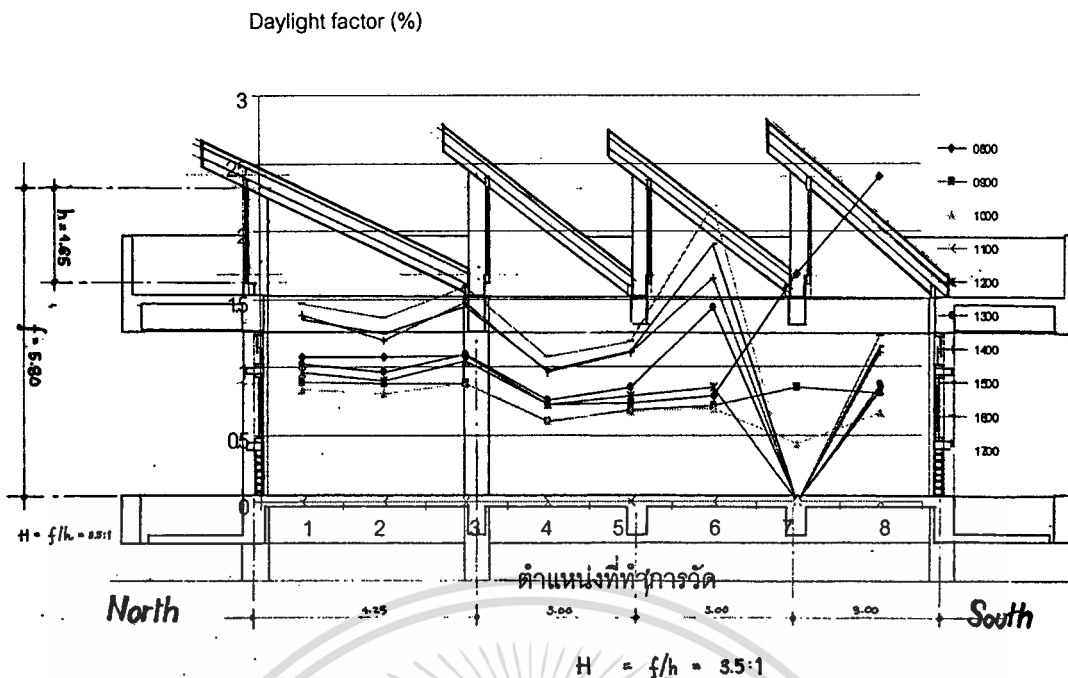


รูปที่ 4.55 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1 เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

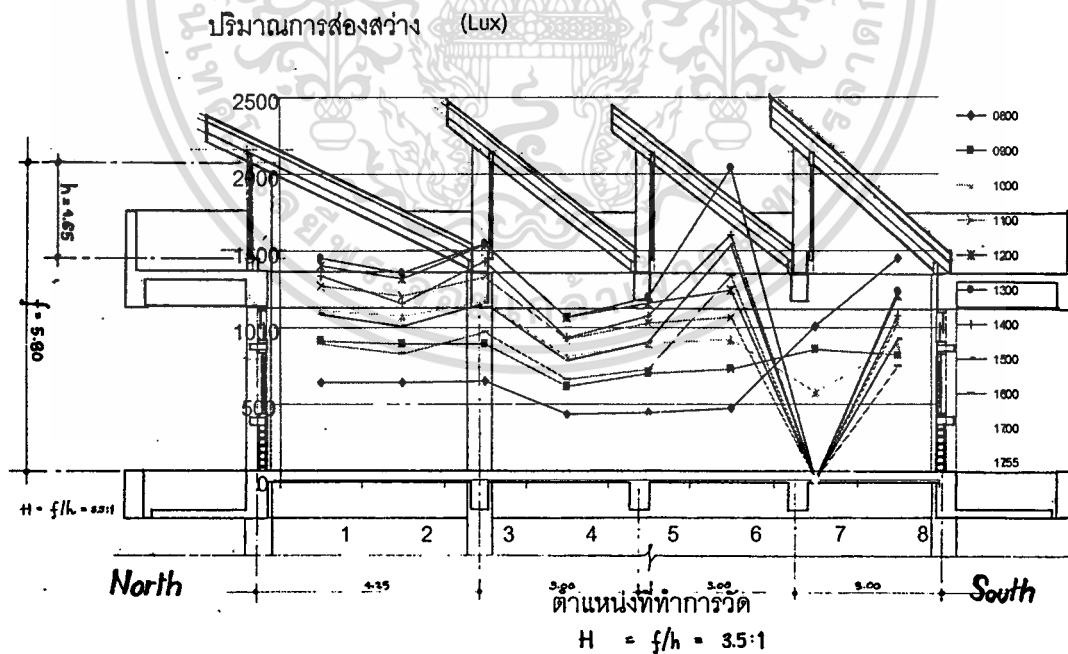


รูปที่ 4.56 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.1 เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

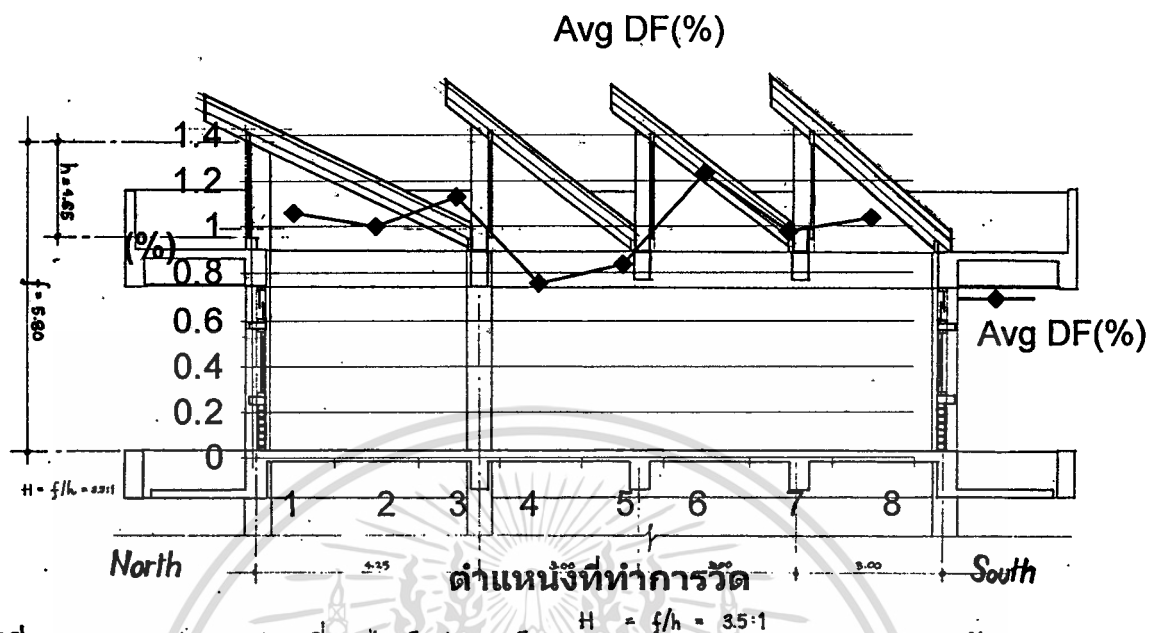


รูปที่ 4.57 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546

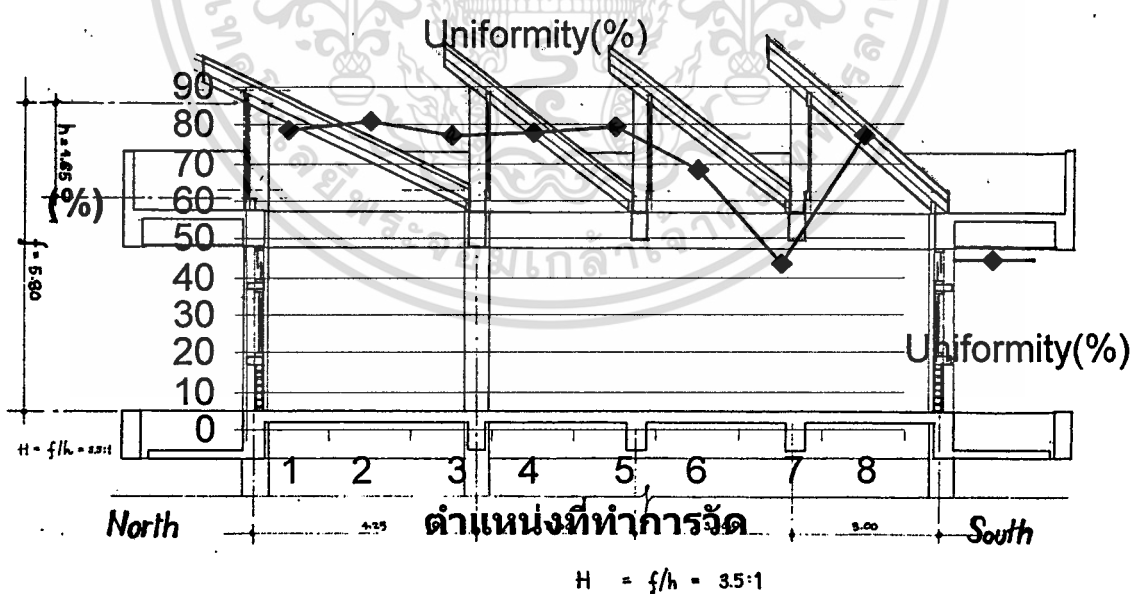


รูปที่ 4.58 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 วันที่ 4 เมษายน 2546

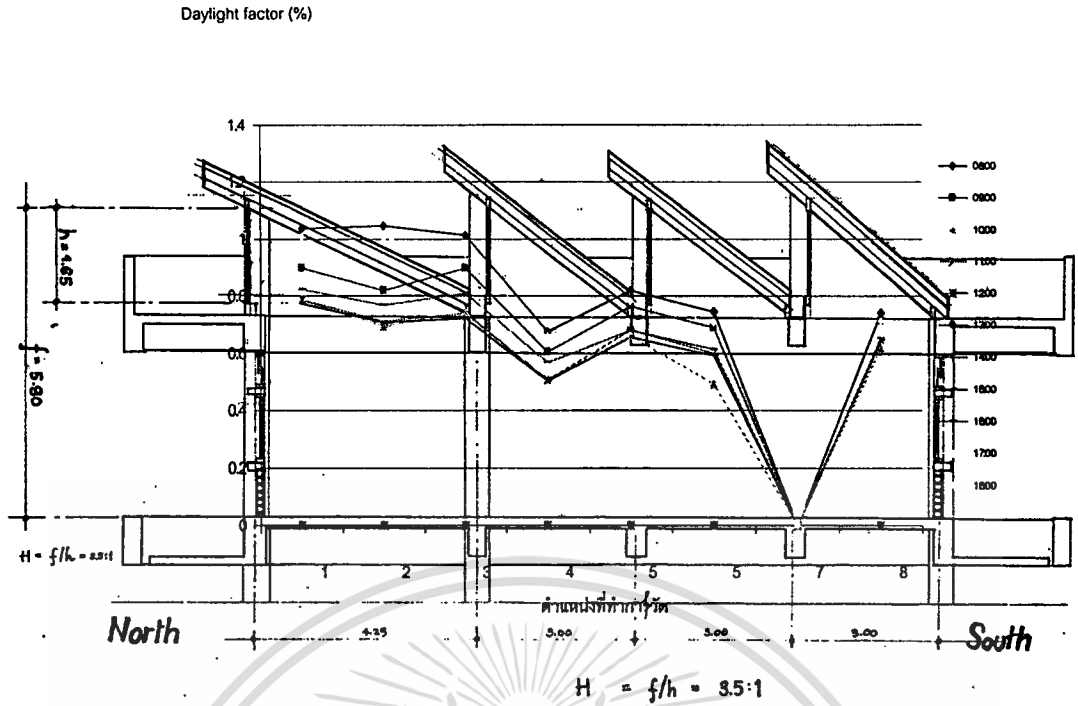
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



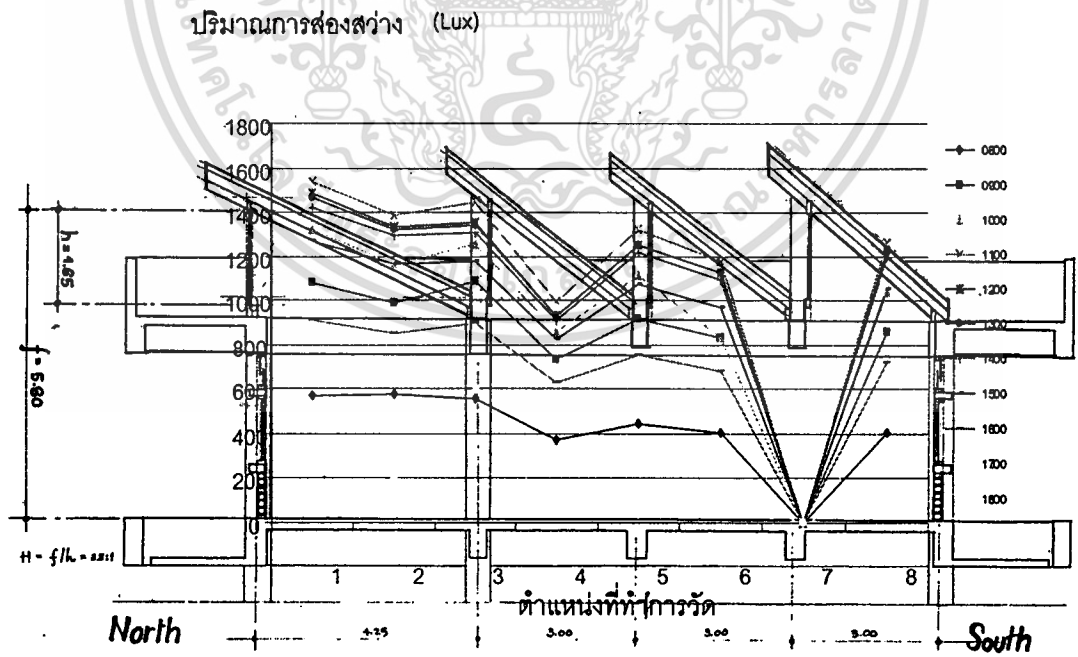
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546



รูปที่ 4.60 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.2 เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546

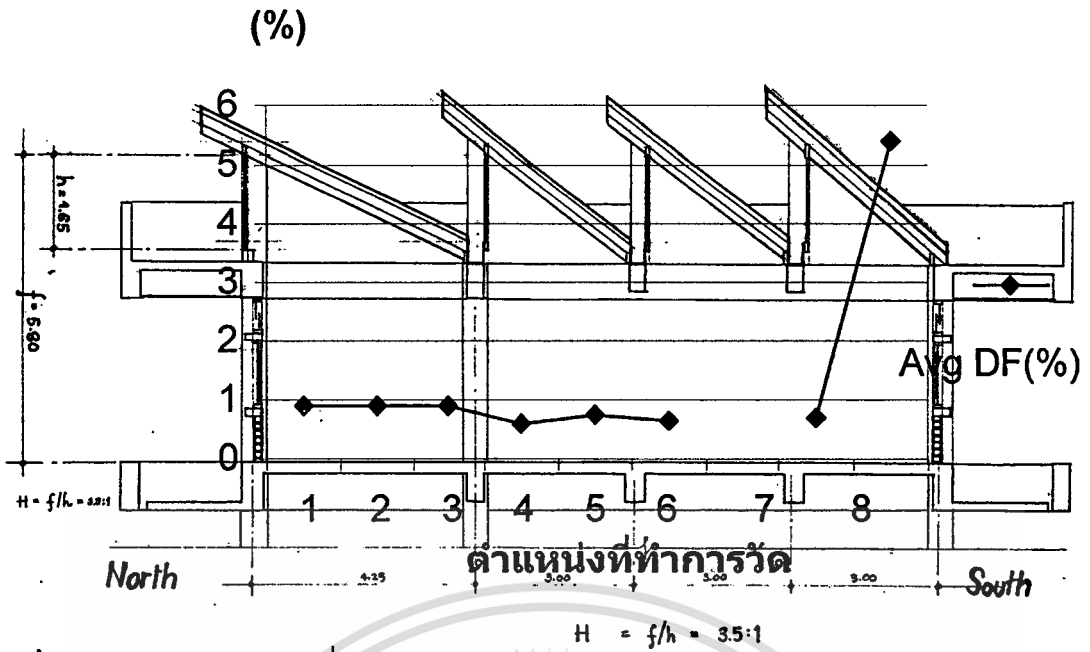


รูปที่ 4.61 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3 เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

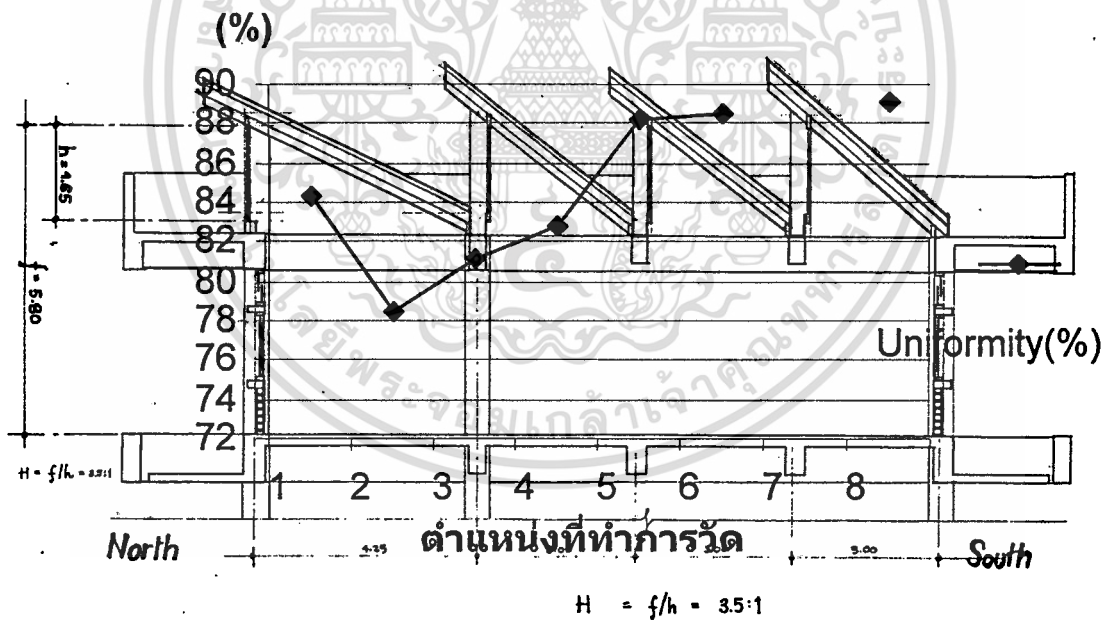


รูปที่ 4.62 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3 วันที่ 6 เมษายน 2546

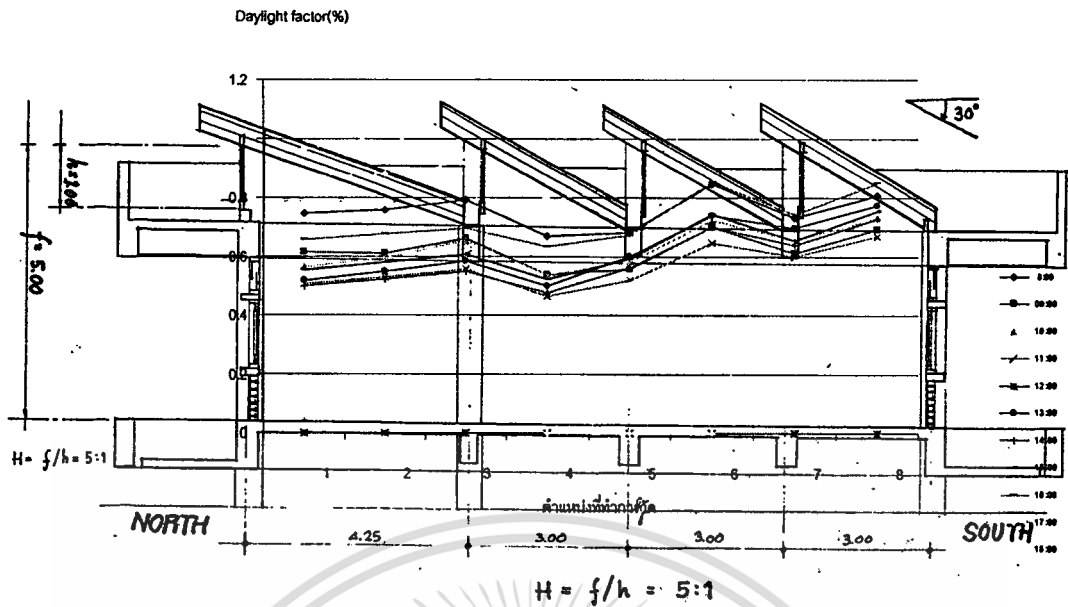
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



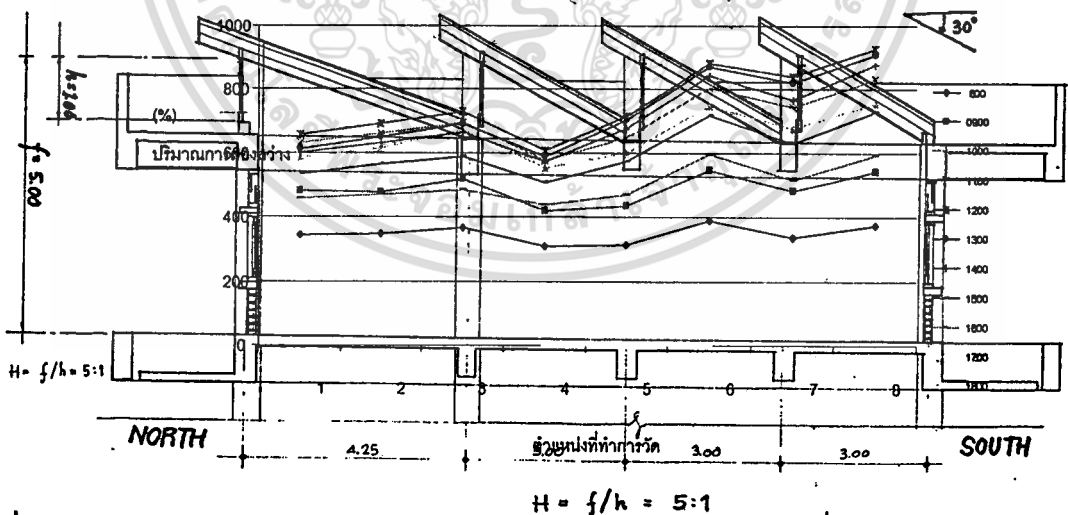
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3 เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546



รูปที่ 4.64 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.1.3 เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

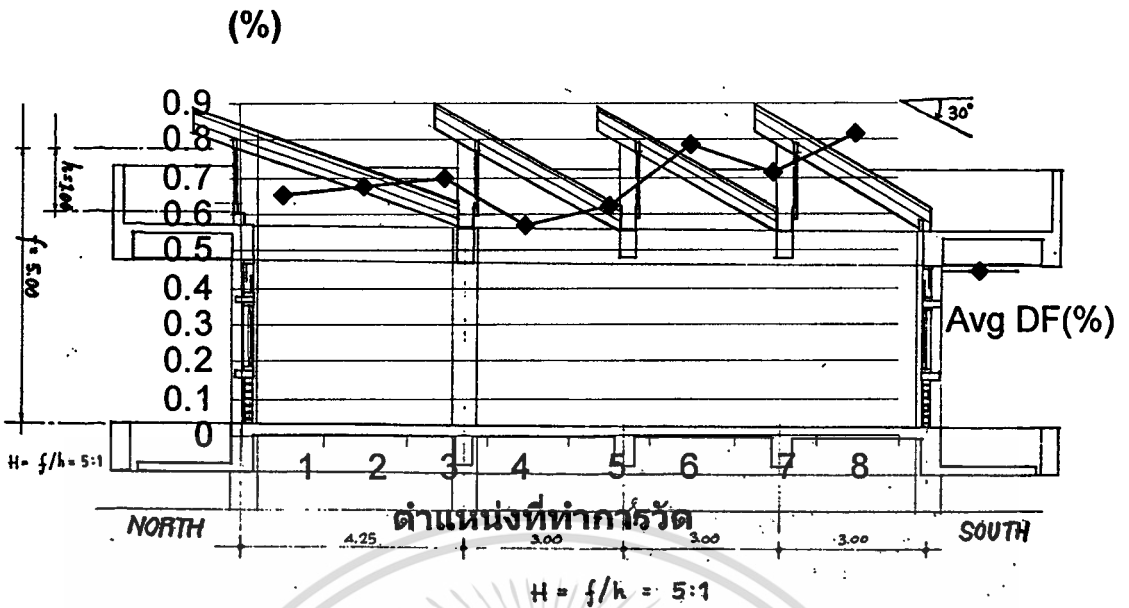


รูปที่ 4.65 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

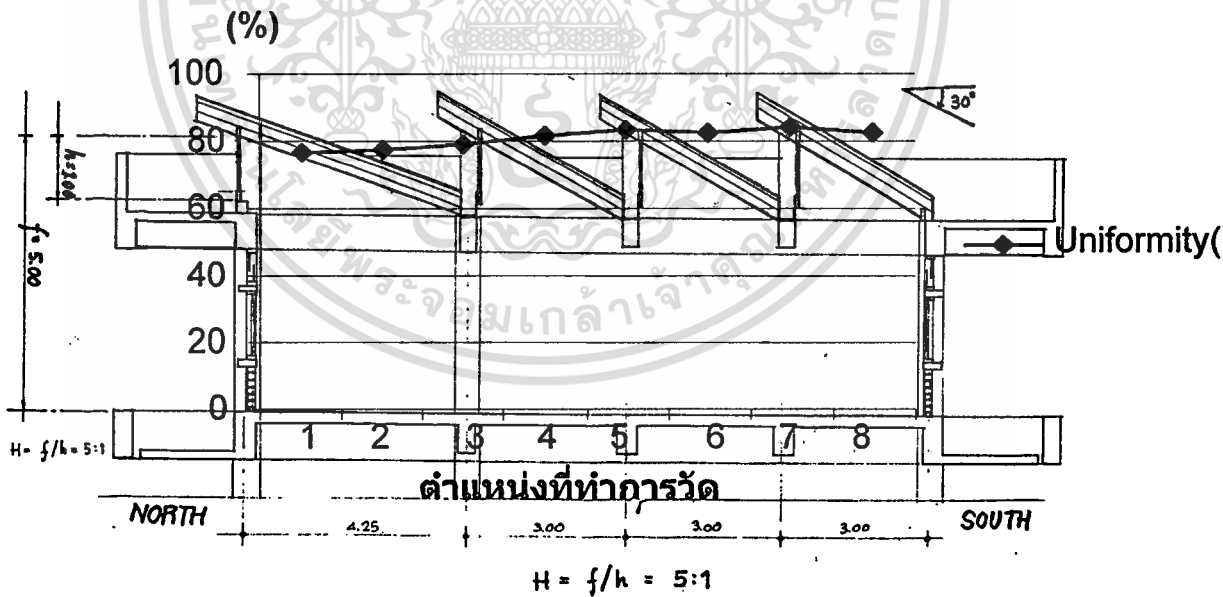


รูปที่ 4.66 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.1 วันที่ 21 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

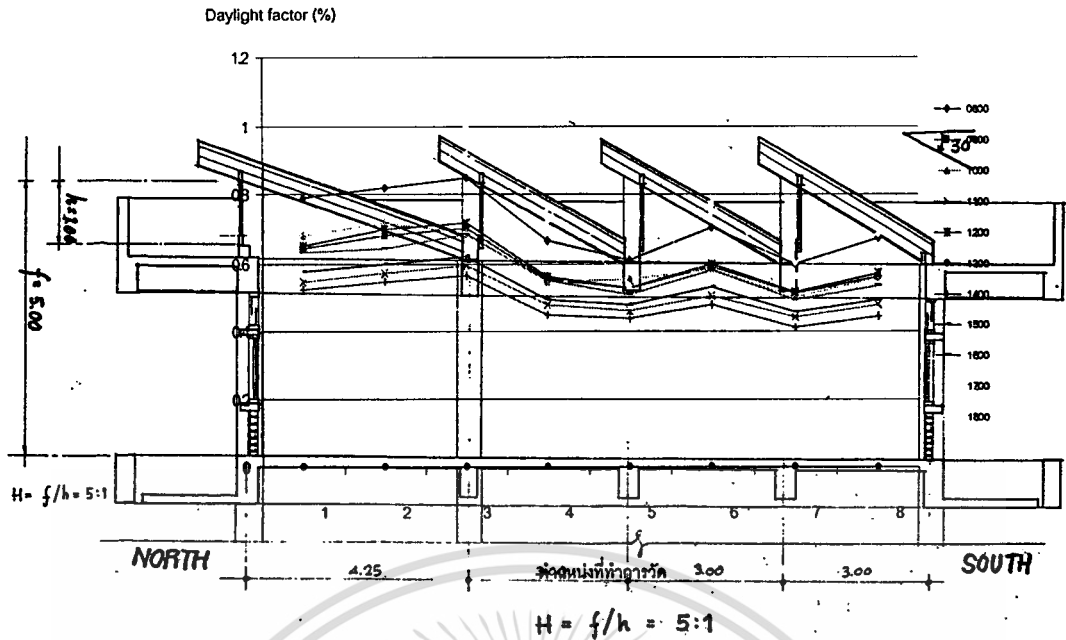


รูปที่ 4.67 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบพื้นเลื่อย Saw tooth 1.2.1 เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

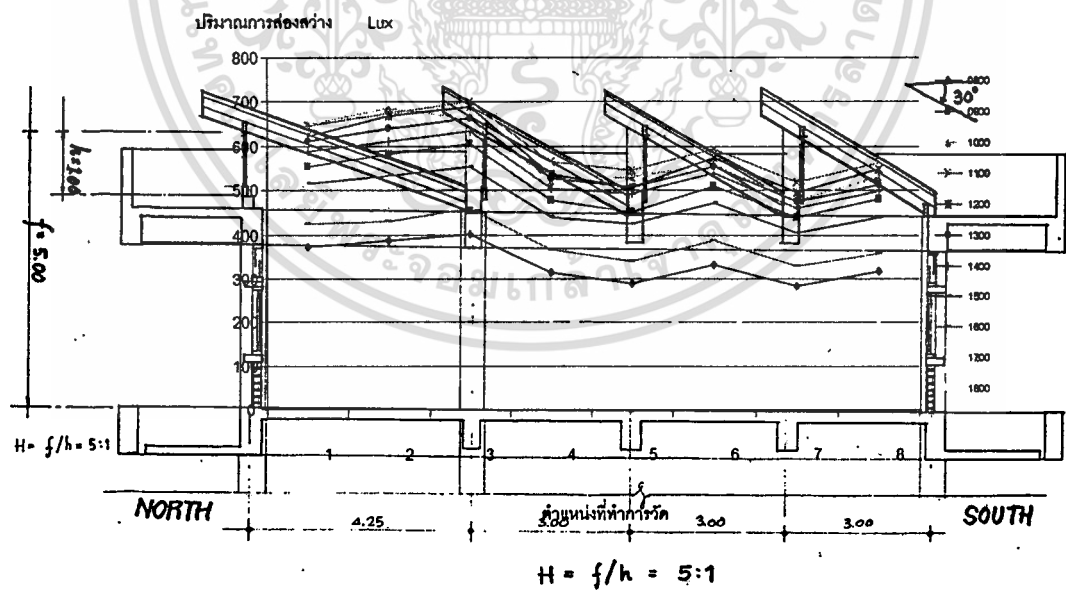


รูปที่ 4.68 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบพื้นเลื่อย Saw tooth 1.2.1 เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

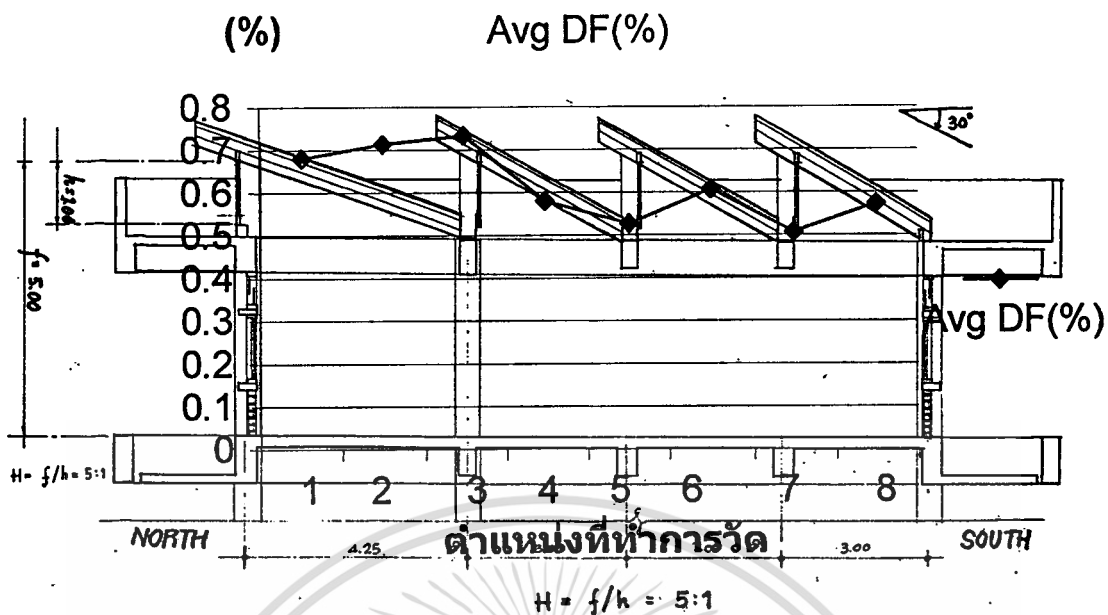


รูปที่ 4.69 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

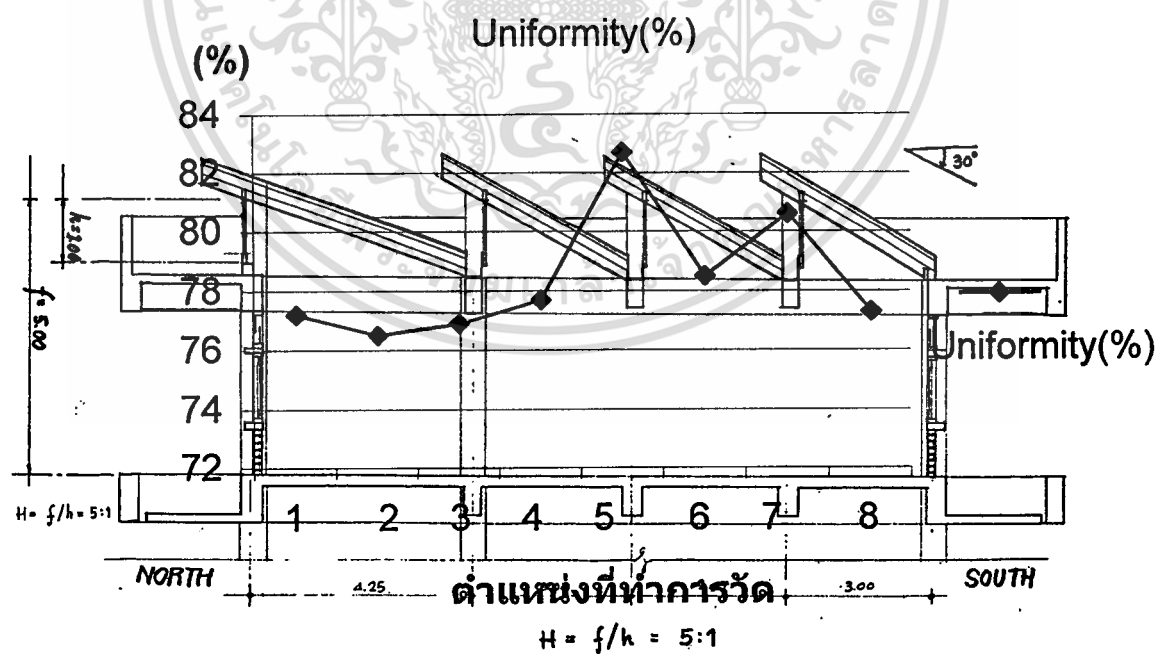


รูปที่ 4.70 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 วันที่ 20 เมษายน 2546

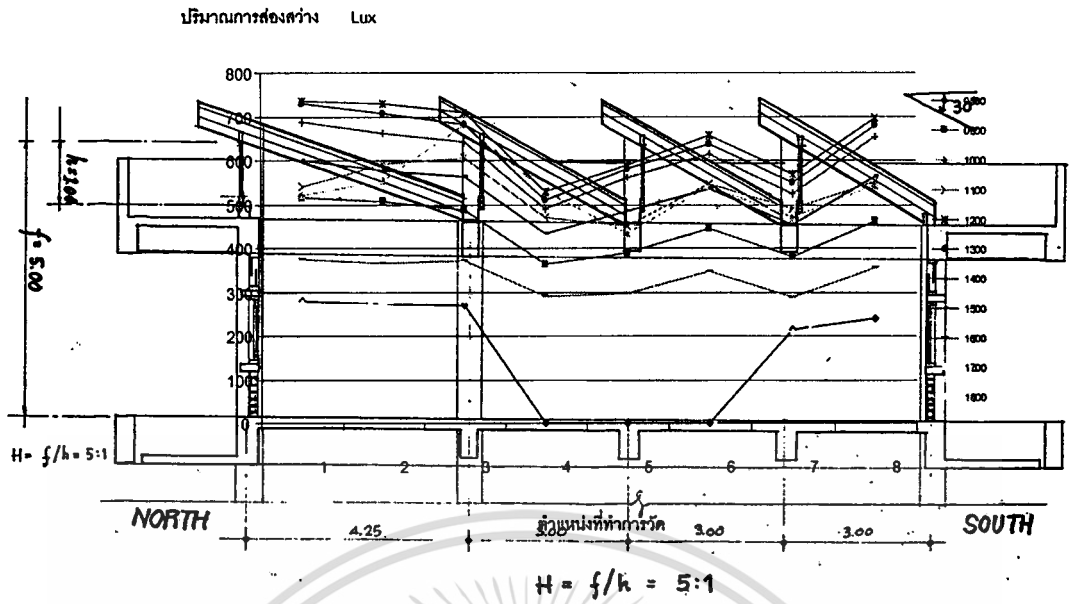
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



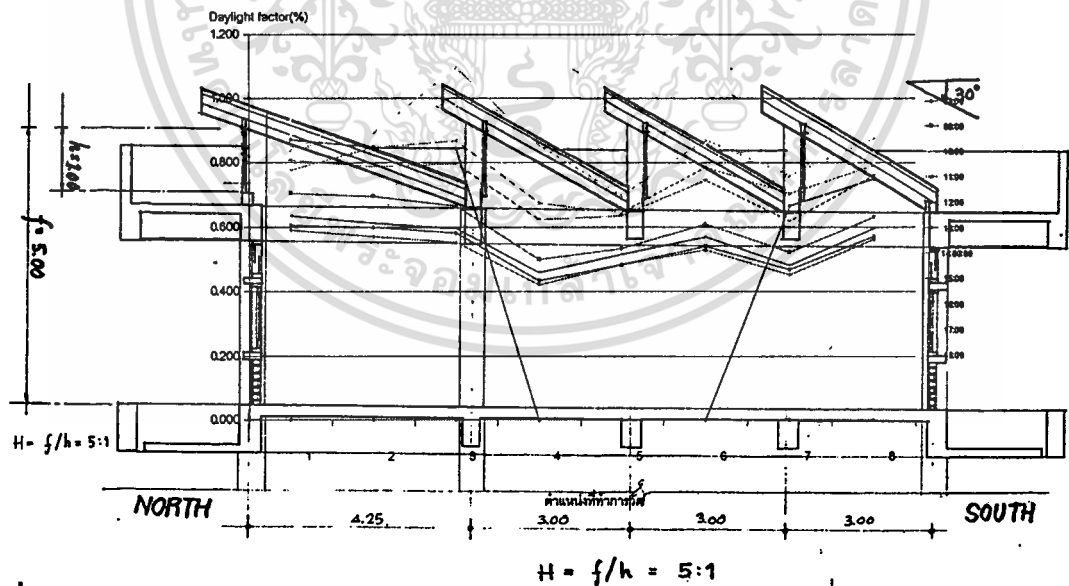
รูปที่ 4.71 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546



รูปที่ 4.72 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ ฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.2 เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

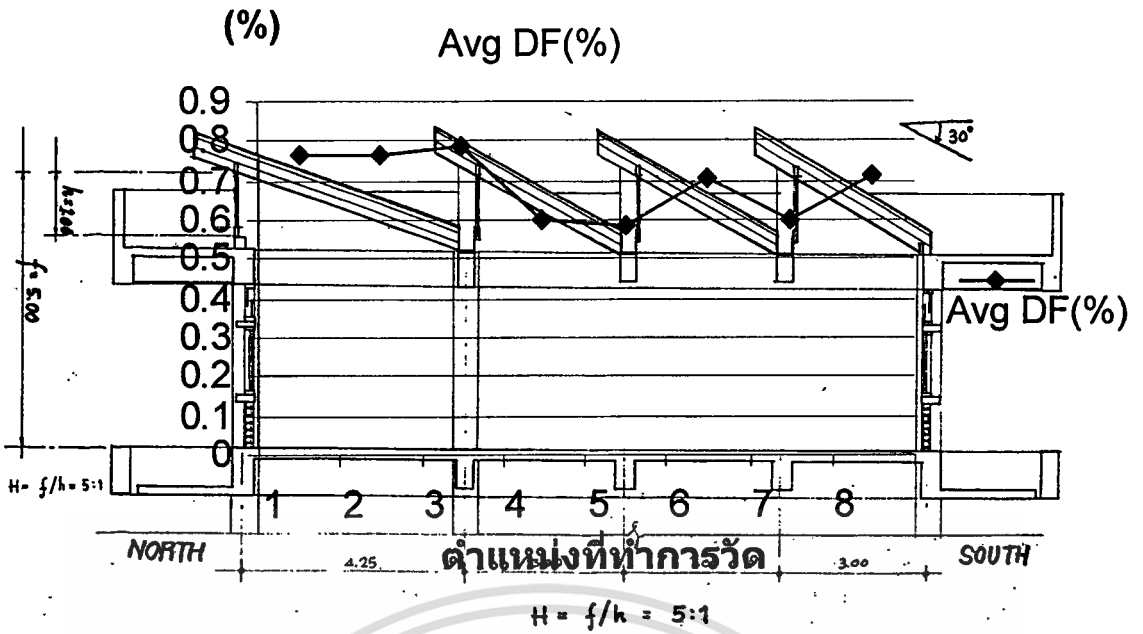


รูปที่ 4.73 กราฟแสดงค่าเดลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

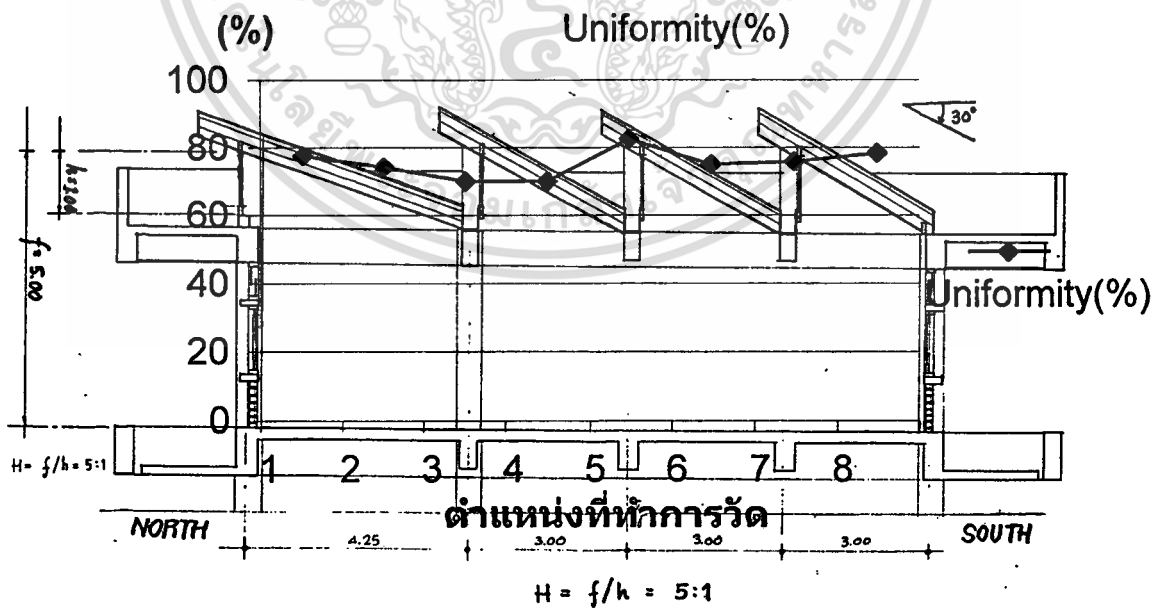


รูปที่ 4.74 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 วันที่ 22 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

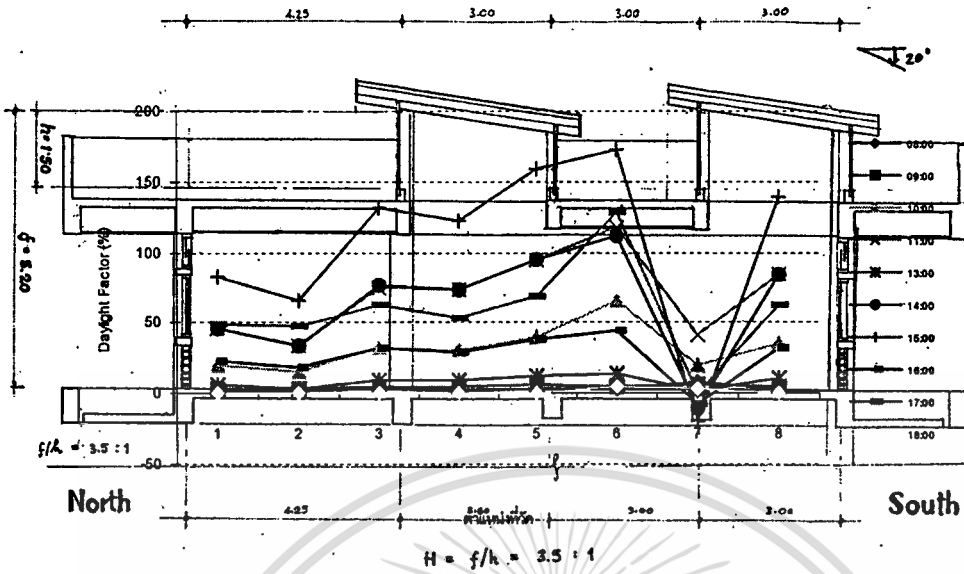


รูปที่ 4.75 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

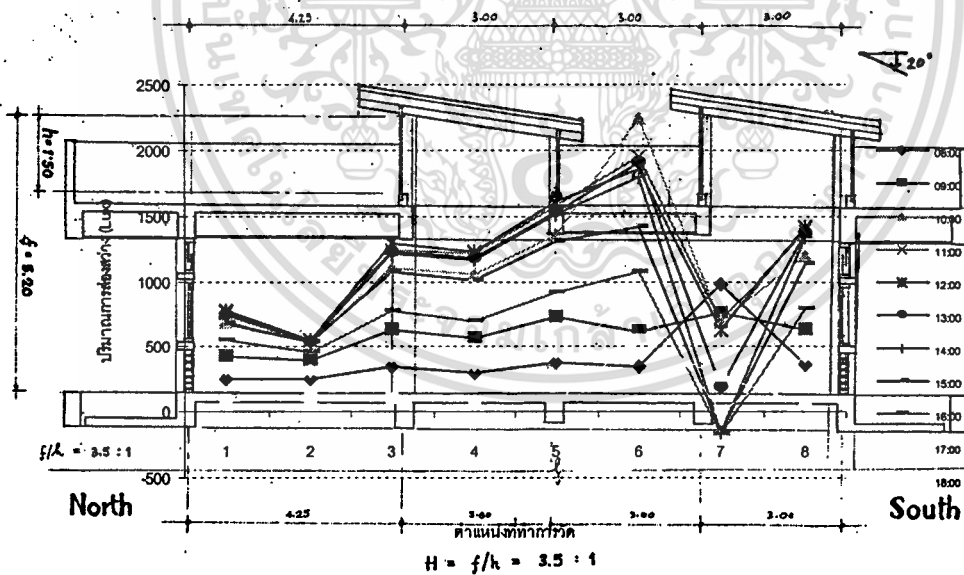


รูปที่ 4.76 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3 เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

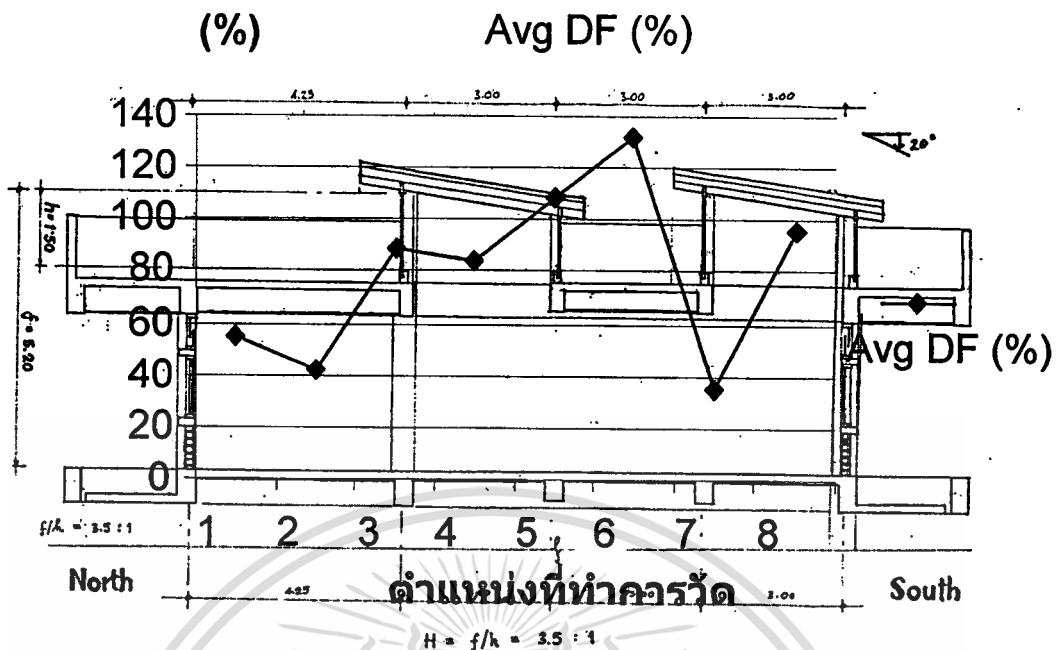


รูปที่ 4.77 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

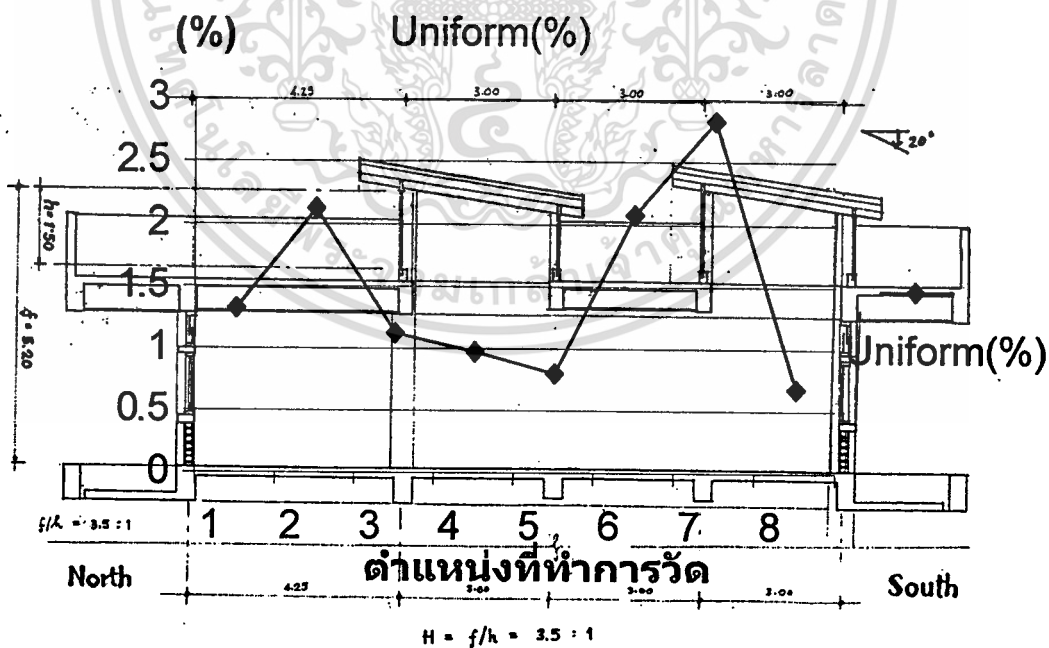


รูปที่ 4.78 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 วันที่ 5 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

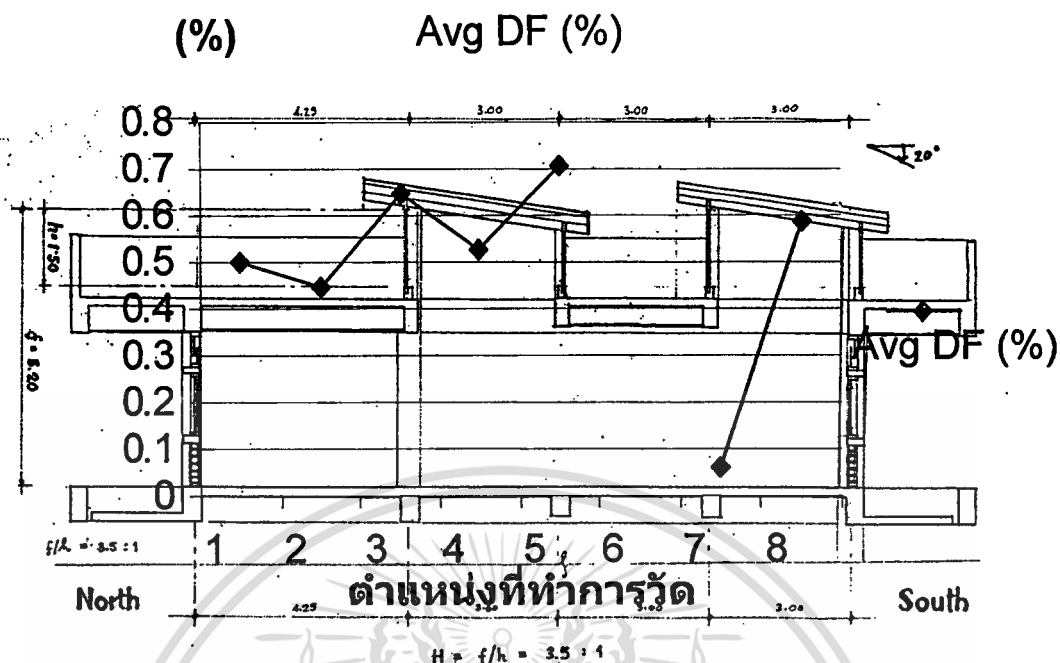


รูปที่ 4.79 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

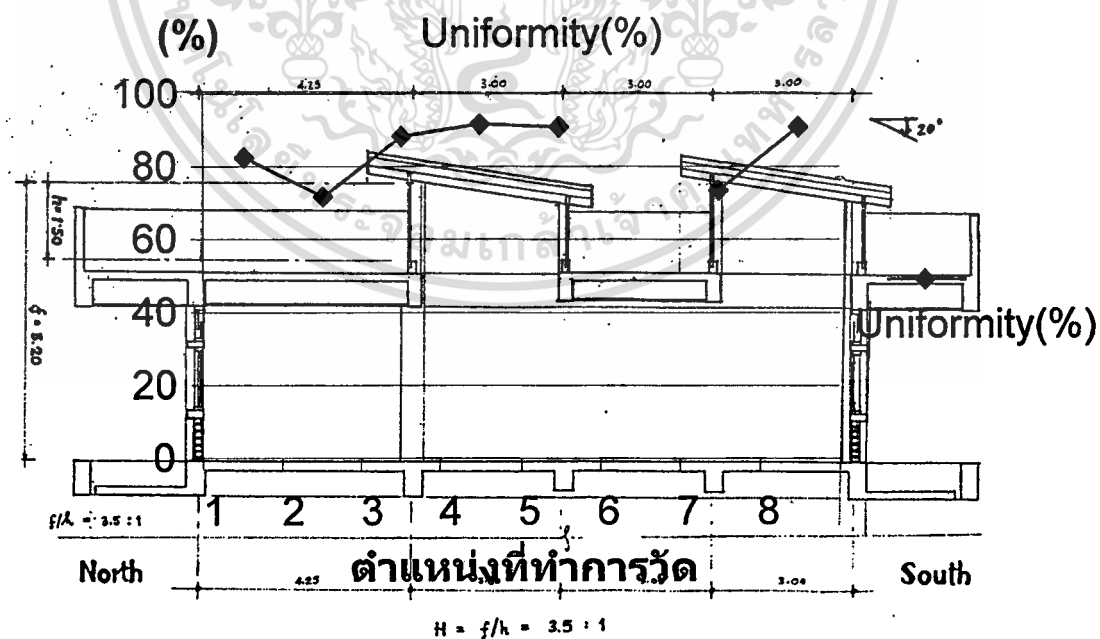


รูปที่ 4.80 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.1.1 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

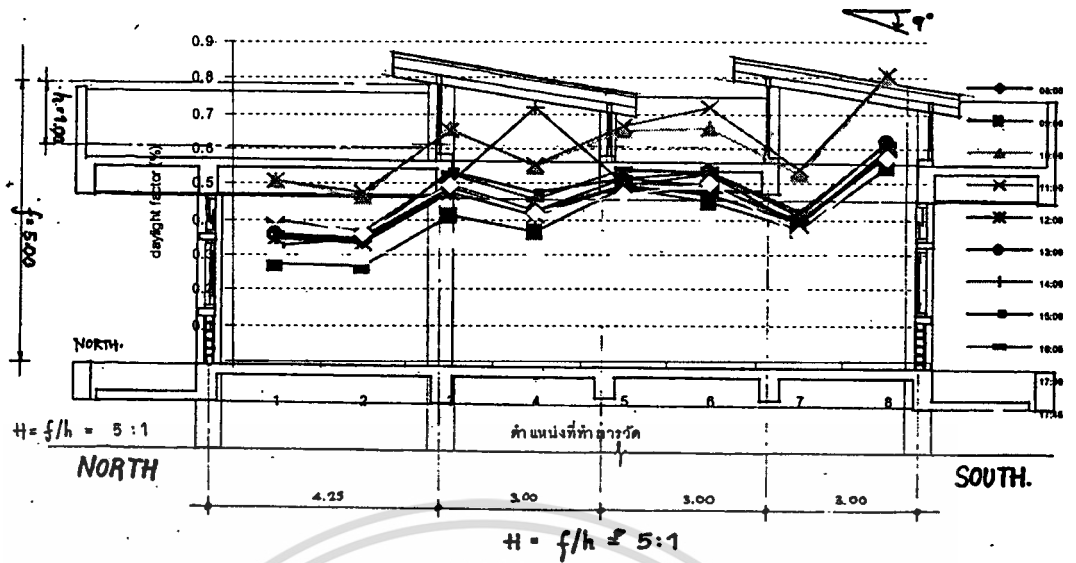


รูปที่ 4.83 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546

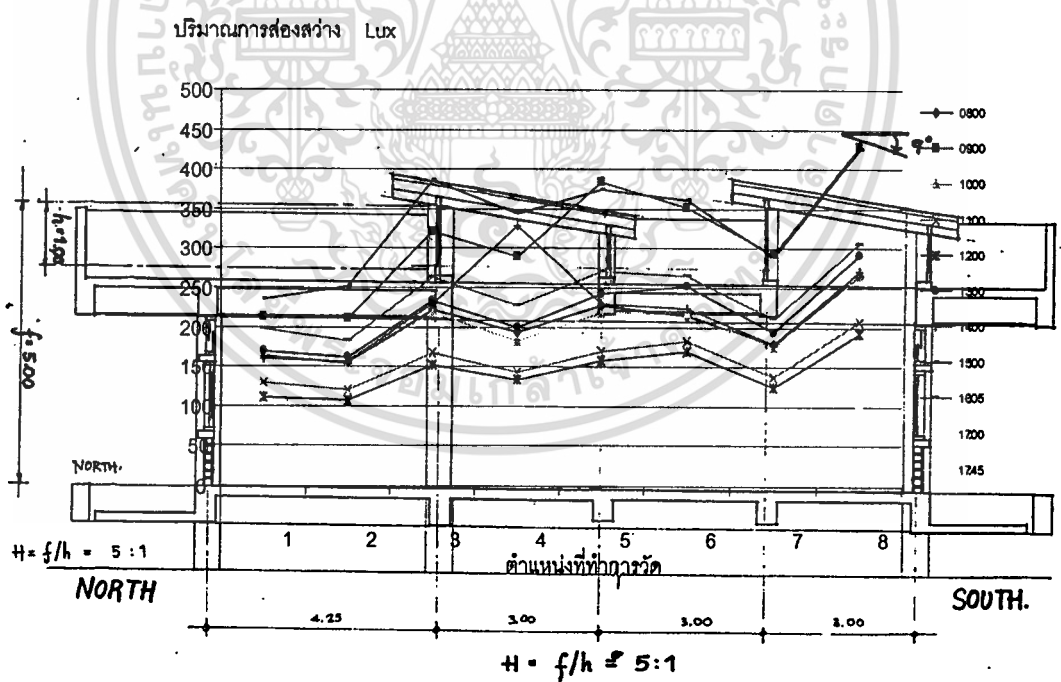


รูปที่ 4.84 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.1.2 เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

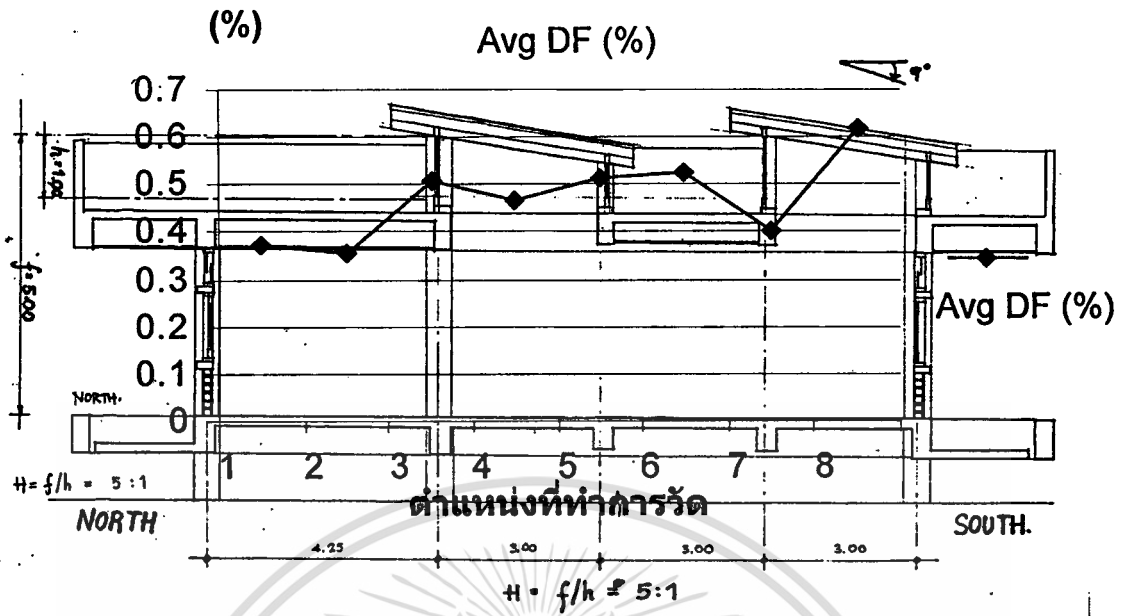


รูปที่ 4.85 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

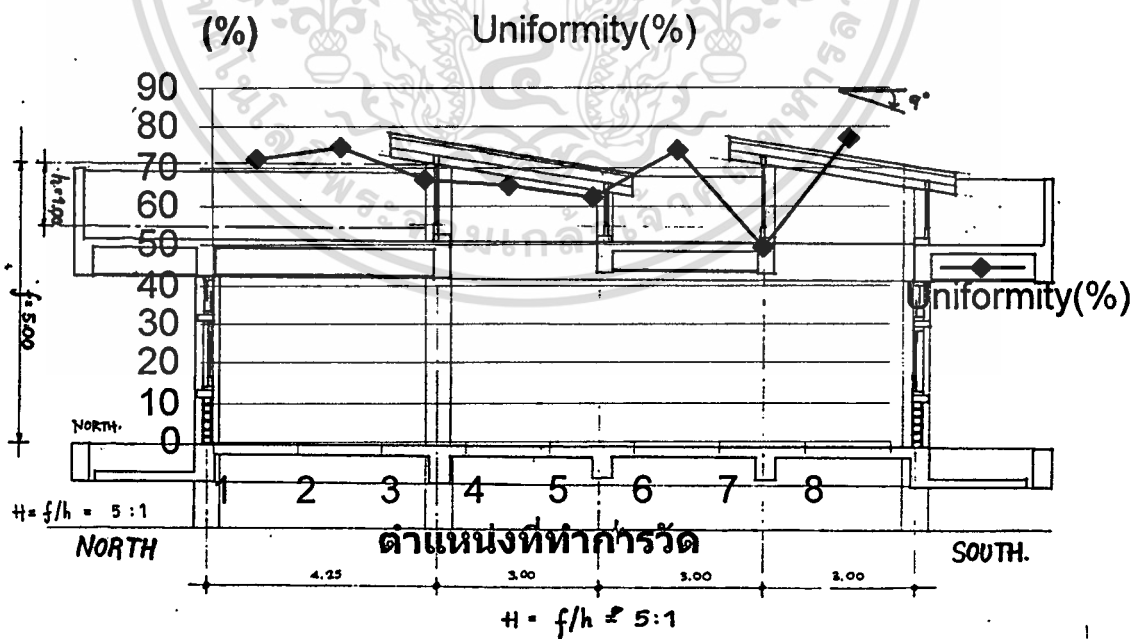


รูปที่ 4.86 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

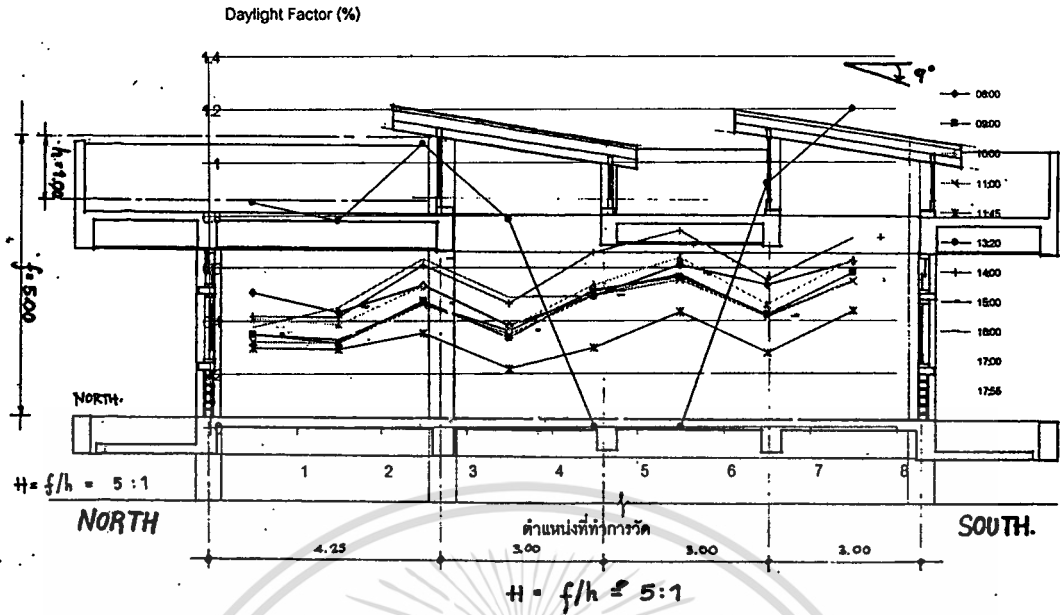


รูปที่ 4.87 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

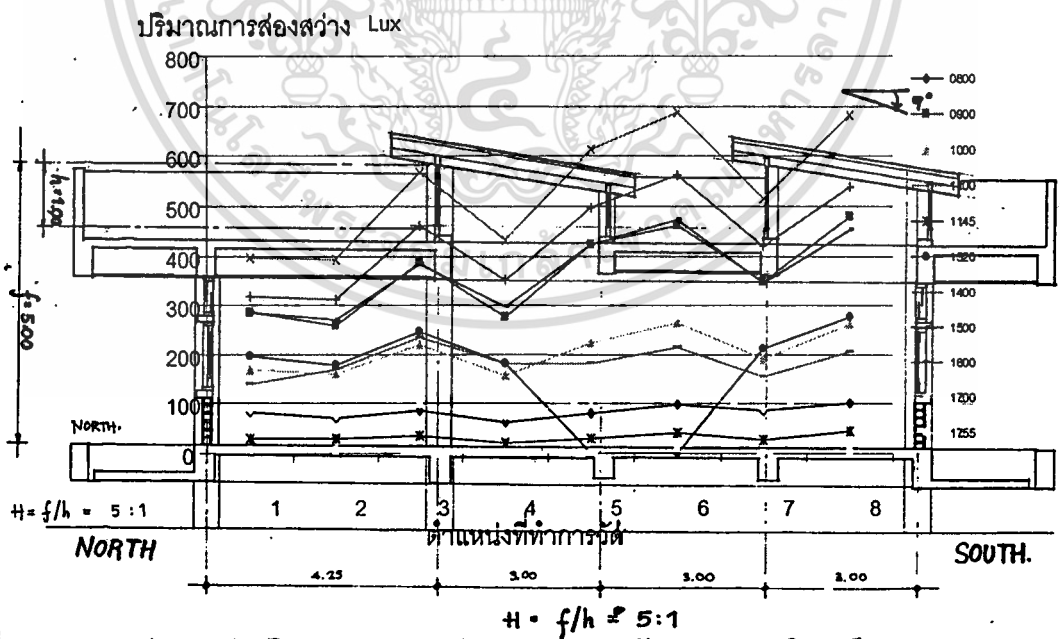


รูปที่ 4.88 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

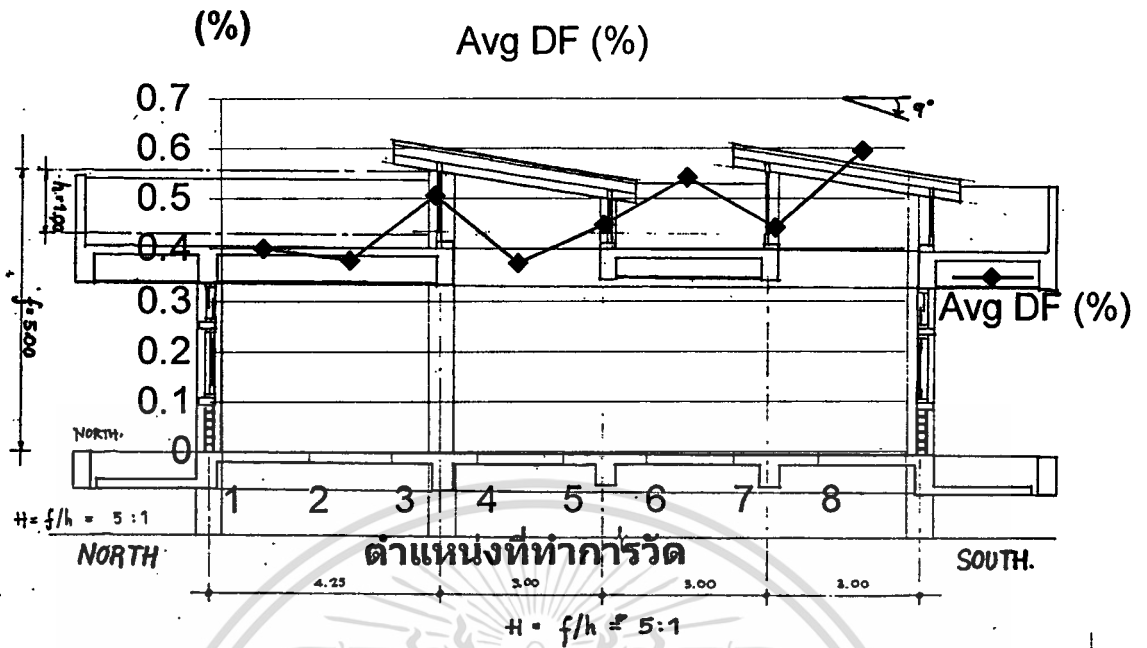


รูปที่ 4.89 กราฟแสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

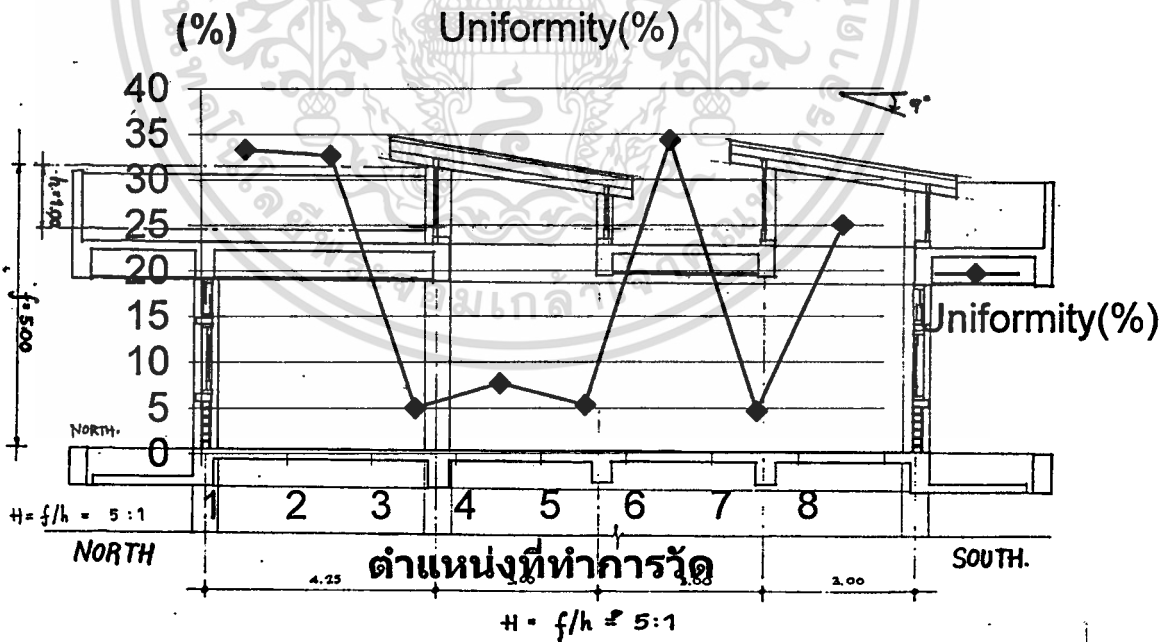


รูปที่ 4.90 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (lux) ของหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 วันที่ 24 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

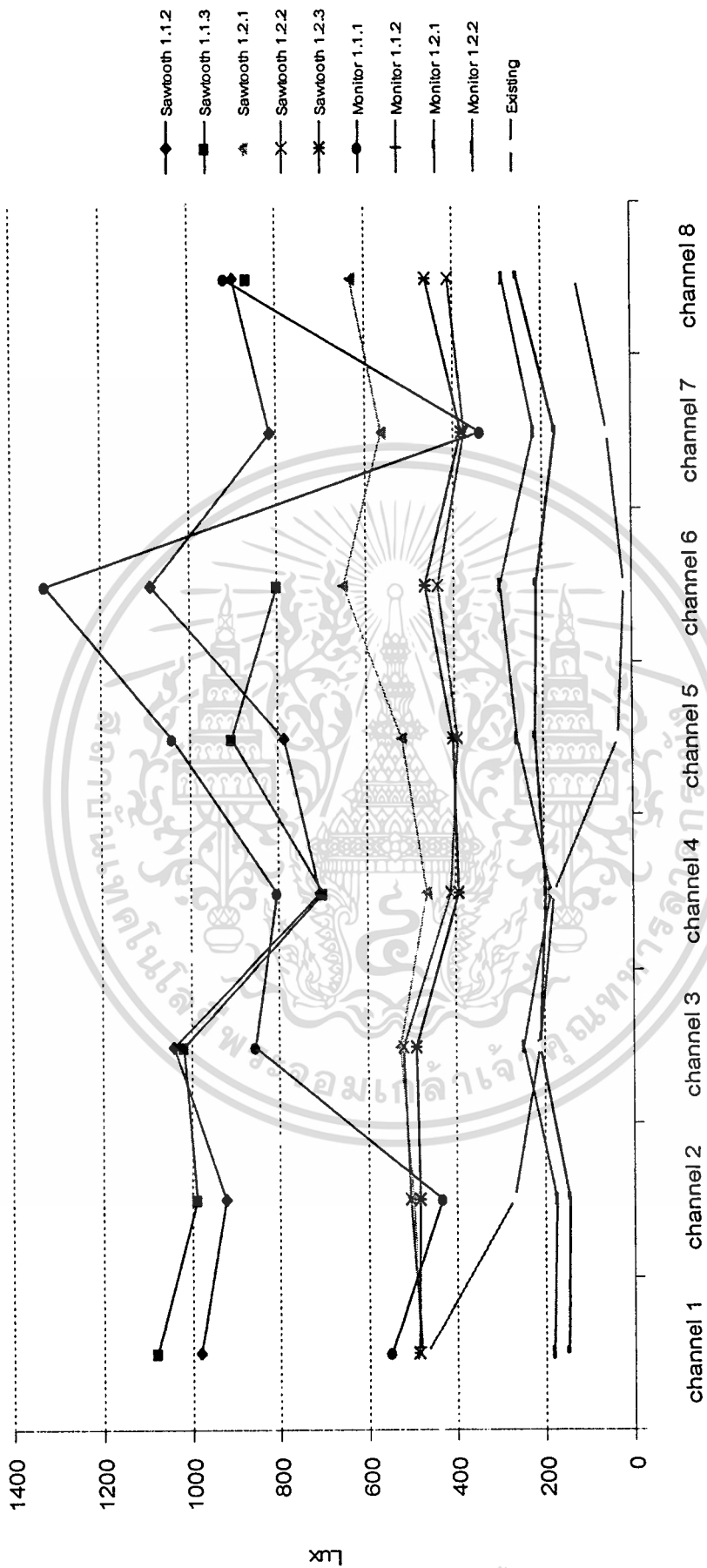


รูปที่ 4.91 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ Average Daylight Factor (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546



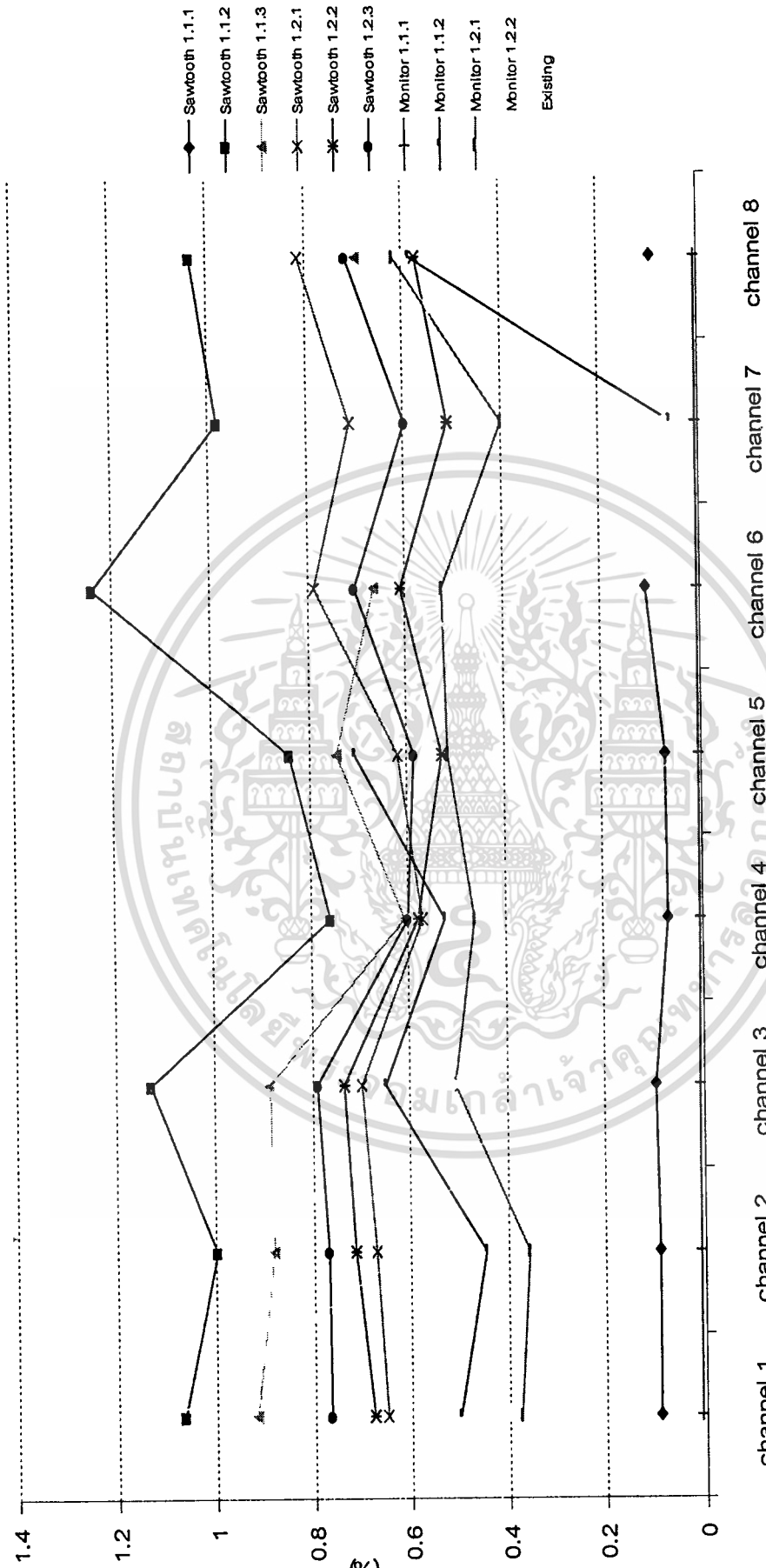
รูปที่ 4.92 กราฟแสดงค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง Uniformity (%) ของหลังคาแบบ มอนิเตอร์ Monitor 1.2.2 เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



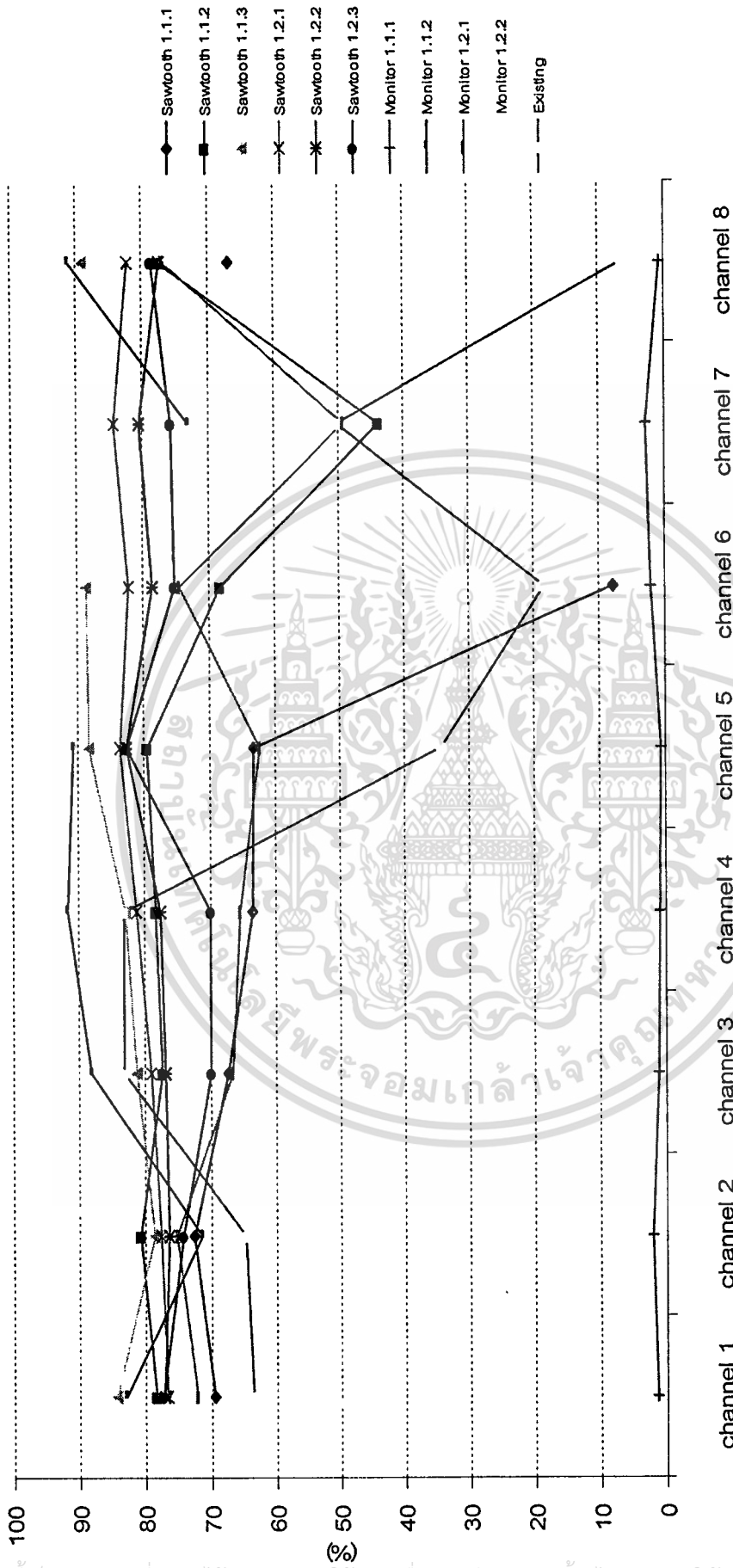
รูปที่ 4.93 กราฟแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าปริมาณการส่องสว่างของทุกจุดที่ทำการวัด โดยเปรียบเทียบผลจากหลังคาแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.94 กราฟแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าได้ไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) ของหลังคาแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.95 กราฟแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของการส่องสว่าง (Uniformity) ของหลังคาแต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบแบบร่างทางสถาปัตยกรรม

ในการทดสอบแบบร่างทางสถาปัตยกรรมทั้ง 10 แบบ สามารถสรุปได้จากกราฟแสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าปริมาณการส่องสว่างของทุกจุดที่ทำการวัดบนพื้นที่ศึกษา ดังรูปที่ 4.93 ในหน้าที่ 178 จะเห็นว่าหลังคาแต่ละแบบให้ปริมาณการส่องสว่างที่มีปริมาณมากขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของปริมาณการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาที่ไม่พอเพียงตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ถึงแม้ว่าหลังคาแบบมอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 และ 1.2.2 จะให้ปริมาณการส่องสว่างอยู่ในระดับเพียงแค่ว่า 200 – 300 ลักซ์ แต่พบว่ามี ความแตกต่างของระดับปริมาณการส่องสว่างในแต่ละจุด ไม่แตกต่างกันมากนัก นั้นหมายความว่า มีกระจายการส่องสว่างที่ดีขึ้นในพื้นที่ศึกษา และพบว่าหลังคาแบบพื้นเลื่อย ที่มีอัตราส่วนแบบ 3.5 : 1 จะให้ปริมาณการส่องสว่างที่มีปริมาณมากกว่าหลังคาชนิดอื่นๆ

ในการทำงานเดียวกันเมื่อพิจารณาด้วยกราฟแสดงวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเดไลท์แฟคเตอร์ของหลังคาแต่ละแบบดังรูปที่ 4.94 หน้า 179 พบว่า หลังคาพื้นเลื่อยมีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ในแต่ละจุดไม่แตกต่างกันมากนัก และมีช่วงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ที่ตรงตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในช่วงร้อยละ 0.8 – 1.5 ทั้งนี้อธิบายได้ว่าเนื่องจากหลังคาพื้นเลื่อยเป็นชุดหลังคาต่อเนื่อง ในขณะที่หลังคาแบบมอนิเตอร์ จะมีช่วงแผ่นหลังคา (Slab) เป็นช่วงเว้นระหว่างชุดหลังคา ทำให้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ในแต่ละจุดมีค่าต่างกัน

ในกรณีของการพิจารณาด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity) ดังรูปที่ 4.95 ในหน้า 180 พบว่า หลังคาแบบพื้นเลื่อยมีค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสงในระดับมากกว่า ร้อยละ 70 และมีค่าความต่างในแต่ละจุดไม่เกินร้อยละ 30 ตามที่มาตรฐานกำหนด ในขณะที่หลังคามอนิเตอร์บางชนิดจะให้ค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสงต่ำกว่าร้อยละ 70 และบางจุดมีค่าความต่างมากกว่าร้อยละ 30 นั้นทำให้เห็นว่าหลังคาพื้นเลื่อยมีความสม่ำเสมอในการกระจายแสงได้ดีกว่าหลังคาแบบมอนิเตอร์

สำหรับรายละเอียดในการวิเคราะห์เปรียบเทียบจากผลการทดลองของหลังคาทั้ง 10 แบบ เมื่อพิจารณานาจากจุดที่ทำการวัดค่า นั้น สามารถอ่านได้จากตารางที่ 4.3 ในหน้าถัดไป

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบการส่องสว่างห้องเขียนแบบสถาปัตยกรรม

โดยใช้ผลการทดสอบหุ่นจำลองสภาพของหลังคาทั้ง 10 แบบ โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากตำแหน่งที่ทำการวัดค่าต่างๆ

รูปทรงหลังคา	อัตราส่วนความสูงช่องเปิด	แบบหลังคา	ปริมาณการส่องสว่าง (Illuminance)	เดย์ไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor)	ความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)	สังเกตด้วยตาเปล่า	
พื้นห้อง Saw looth	3.5 : 1	1.1.1	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 1 และ 3 มีปริมาณมาก	ภาพที่ความสม่ำเสมอใกล้เคียงกับทุกจุด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน	มีการกระจายสม่ำเสมอ มีความสม่ำเสมอมากกว่าร้อยละ 70 และในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับตลอดช่วงเวลากลางวัน เพื่อเทียบอาคารเดิม	
		1.1.2	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 3 และ 6 มีปริมาณมาก	ภาพที่ความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3,4,5 และ 6 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ มีความสม่ำเสมอมากกว่าร้อยละ 70 และในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับตลอดช่วงเวลากลางวัน เมื่อเทียบอาคารเดิม	
		1.1.3	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 1,2,3 และ 5 มีปริมาณมาก	ภาพที่ความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 1,2 และ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	การกระจายแสงยังไม่ค่อยสม่ำเสมอ ผลเนื่องมาจาก การสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน	มีความสว่างมากที่รับตลอดช่วงเวลากลางวัน เมื่อเทียบอาคารเดิม	
	5 : 1	1.2.1	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 5,6,7 และ 8 มีปริมาณมาก	ภาพที่ความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3 และ 6 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ มีความสม่ำเสมอไม่แตกต่างกัน	มีความสว่างมากที่รับตลอดช่วงเวลากลางวัน เมื่อเทียบอาคารเดิม	
		1.2.2	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 1,2 และ 3 มีปริมาณมาก	ภาพที่ความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3 และ 6 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ ไม่ค่อยดี เนื่องจากมีความสม่ำเสมอค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับตลอดช่วงเวลากลางวัน เมื่อเทียบอาคารเดิม	
		1.2.3	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 1,2,3,6 และ 8 มีปริมาณมาก	ภาพที่ความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3,6 และ 8 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ มีความสม่ำเสมอไม่แตกต่างกัน	มีความสว่างมากที่รับตลอดช่วงเวลากลางวัน เมื่อเทียบอาคารเดิม	
	มอนิเตอร์ Monitor	3.5 : 1	1.1.1	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 3,4,5,6,7 และ 8 มีปริมาณมาก	ภาพที่ความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3,4,5 และ 6 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ ไม่ค่อยดี เนื่องจากมีความสม่ำเสมอค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับแต่มีแสงบางส่วน เนื่องจากหลังคาเปิดไม่ต่อเนื่อง
			1.1.2	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 3,4,5 และ 8 มีปริมาณมาก	ภาพที่ไม่ค่อยความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3,4 และ 5 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ ไม่ค่อยดี เนื่องจากมีความสม่ำเสมอค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 1 และ 2 ค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับแต่มีแสงบางส่วน เนื่องจากหลังคาเปิดไม่ต่อเนื่อง
		5 : 1	1.2.1	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 3,4,5,6 และ 8 มีปริมาณมาก	ภาพที่ไม่ค่อยความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3,5,6 และ 8 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ ไม่ค่อยดี เนื่องจากมีความสม่ำเสมอค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30 โดยเฉพาะจุดที่ 7 ค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับแต่มีแสงบางส่วน เนื่องจากหลังคาเปิดไม่ต่อเนื่อง
1.2.2	ทุกจุดที่ทำการวัดมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ จุดที่ 3,5,6 และ 8 มีปริมาณมาก	ภาพที่ไม่ค่อยความสม่ำเสมอ ในจุดที่ 3,5,6 และ 8 มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม	มีการกระจายสม่ำเสมอ ไม่ค่อยดี เนื่องจากมีความสม่ำเสมอค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับแต่มีแสงบางส่วน ค่อนข้างแตกต่างกันมากกว่าร้อยละ 30	มีความสว่างมากที่รับแต่มีแสงบางส่วน เนื่องจากหลังคาเปิดไม่ต่อเนื่อง		

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงคุณภาพการส่องสว่างสำหรับห้องปฏิบัติการเขียนแบบสถาปัตยกรรมด้วยการออกแบบให้แสงสว่างจากธรรมชาติในระนาบหลังคาเพื่อศึกษาถึงรูปแบบของหลังคาและสัดส่วนความสูงของช่องเปิด รวมไปถึงวัสดุปิดผิวของหลังคาและฝ้าเพดาน เพื่อช่วยในการสะท้อนและกระจายแสงลงบนพื้นที่เป้าหมายโดยใช้หลังคาแบบฟันเลื่อย (Saw tooth) และหลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor) โดยมีการเลือกใช้สัดส่วนของความสูงของช่องเปิดที่อัตราส่วน 3.5 : 1 และ 5:1 และมีการเลือกใช้วัสดุสลับระหว่างวัสดุผนังหลังคา 2 ชนิดคือ โลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสี ซิงคาลูม ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 95 และกระเบื้องลอนคู่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 85 โดยมีการเรียงอันดับและจัดหมู่ กับวัสดุฝ้าเพดานซึ่งใช้วัสดุใยหินบอร์ดทาสีที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 80 และวัสดุซิงคาลูม (Zinc alum) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 95 โดยศึกษาลักษณะของการให้ค่าปริมาณการส่องสว่าง ลักษณะของเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight Factor) และความสม่ำเสมอของการกระจายแสงสว่างบนพื้นที่ศึกษาภายใต้หลังคาแต่ละแบบด้วยการทดสอบหุ่นจำลองทางกายภาพได้สภาพห้องฟ้าจริง โดยควบคุมปัจจัยอื่นๆให้คงที่ เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับลักษณะสภาพการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาเดิม (Existing) ซึ่งมีค่าปริมาณการส่องสว่างไม่เพียงพอ มีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ Daylight factor และความสม่ำเสมอในการกระจายแสงต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งในการวิจัยเพื่อการออกแบบปรับปรุงครั้งนี้ สามารถแยกสรุปประเด็นในการวิจัยต่างๆได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการให้ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ศึกษา

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยตัวแปรของการออกแบบปรับปรุงสภาพการส่องสว่างด้วยการให้แสงสว่างธรรมชาติจากระนาบด้านบน ด้วยการออกแบบทรงหลังคา สัดส่วนความสูงของช่องเปิด และการเลือกใช้วัสดุปิดผิว เพื่อปรับปรุงค่าปริมาณการส่องสว่างของพื้นที่ศึกษาเดิมซึ่งมีปัญหาในเรื่องปริมาณการส่องสว่างเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ 20 – 100 – 300 ลักซ์ ณ ตำแหน่งกลางพื้นที่ศึกษา (ตำแหน่งที่ทำการวัดในจุดที่ 4,5,6 และ 7) นั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรงของหลังคาแบบ พับเหลี่ยมและมอเนเตอร์ สามารถเพิ่มปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ศึกษาได้มากขึ้นกว่าสภาพที่เป็นอยู่เดิม โดยหลังคาแบบพับเหลี่ยม จะให้ปริมาณการส่องสว่างได้ดี โดยให้ปริมาณการส่องสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ 400 – 600 – 800 ลักซ์ ในขณะที่หลังคาแบบมอเนเตอร์ ให้ค่าปริมาณการส่องสว่างเฉลี่ยที่ 300 -550 – 700 ลักซ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณการส่องสว่างสำหรับกิจกรรมการเขียนแบบมาตรฐานที่ 500 – 750- 100 ลักซ์ แล้วนั้น หลังคาทั้งสองแบบสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ดี และทำให้ตำแหน่งบริเวณจุดทำการวัดที่ 4,5,6 และ 7 มีค่าปริมาณการส่องสว่างในระดับดังกล่าว

เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนสัดส่วนขนาดความสูงของช่องเปิดของหลังคาทั้งสองแบบ พบว่าสัดส่วนที่ 3.5:1 ในหลังคาแบบพับเหลี่ยมให้ค่าปริมาณการส่องสว่างมากเป็นสองเท่า ของสัดส่วนที่ 5:1 โดยเฉลี่ย ในขณะที่สัดส่วนที่ 3.5:1 ของหลังคาแบบมอเนเตอร์ ก็ให้ปริมาณการส่องสว่างเป็นอัตราสองเท่าของสัดส่วน 5:1 ภายใต้เงื่อนไขการใช้วัสดุปิดผิวชนิดเดียวกัน

สำหรับวัสดุปิดผิวที่เลือกใช้นั้น ในกรณีของวัสดุฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดมีค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนแสงที่ร้อยละ 80 เมื่อวัสดุผนังหลังคาเป็นโลหะซิงคาลูม (Zinc alum) มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ร้อยละ 95 จะให้ปริมาณการส่องสว่างมากกว่า การใช้วัสดุปิดผิวในทางกลับกัน เฉลี่ยถึงร้อยละ 15 แต่อย่างไรก็ดี ในกรณีนี้ จะทำให้ความสม่ำเสมอในการกระจายแสงเกิดความแตกต่างกันมากขึ้นในแต่ละจุดที่ทำการวัด

5.2 สรุปผลในเรื่องเดไลท์แฟคเตอร์และความสม่ำเสมอในการกระจายแสง

การปรับปรุงสภาพการส่องสว่างสำหรับพื้นที่เขียนแบบสถาปัตยกรรมซึ่งเป็นกิจกรรมที่นอกจากจะต้องการใช้ปริมาณการส่องสว่างที่มากเพียงพอแล้ว หัวใจสำคัญของการกำหนดสภาพการส่องสว่างที่ดีในแง่ของคุณภาพการส่องสว่างจะต้องคำนึงถึงเรื่องเดไลท์แฟคเตอร์ (Daylight factor) และความสม่ำเสมอในการกระจายแสงสว่าง(Uniformity) ที่ดีด้วย ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดค่ามาตรฐานของค่า เดไลท์แฟคเตอร์ไว้ที่ร้อยละ 0.5 – 1.5 และค่า Uniformity ไว้ที่ 70% โดยที่แต่ละจุดที่ทำการวัดมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 30

รูปทรงหลังคาแบบพับเหลี่ยมและมอเนเตอร์ สามารถเพิ่มค่าเดไลท์แฟคเตอร์เฉลี่ยในแต่ละจุดที่ทำการวัดมากขึ้นกว่าสภาพเดิมของพื้นที่ศึกษา ซึ่งเคยพบว่าจุดทำการวัดที่ 7 เป็นจุดที่มีค่าเดไลท์แฟคเตอร์วิกฤตที่สุดคือมีค่าไม่ถึงร้อยละ 0.1 แต่เมื่อเปลี่ยนหลังคาด้วยทรงพับเหลี่ยมและมอเนเตอร์แล้วพบว่า ในจุดที่เคยมีปัญหาในเรื่อง ค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ มีค่าเพิ่มมากขึ้นอยู่ในระดับร้อยละ 0.5 – 1.2 แต่จะสังเกตเห็นว่า หลังคาแบบพับเหลี่ยมให้ค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ ในแต่ละจุดที่ทำการวัดมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ส่วนค่าสม่ำเสมอของการกระจายแสง ของหลังคา

แบบพื้นเลื่อยจะมีค่ามากกว่าร้อยละ 70 ทุกจุดที่ทำการวัด แต่แต่ละจุดมีค่าความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 30 ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ในขณะที่หลังคาแบบมอนิเตอร์จะมีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ และความสม่ำเสมอของการกระจายแสง แตกต่างกันเกินกว่าร้อยละ 30 ในบางจุดที่ทำการวัด จึงสรุปได้ว่า หลังคาแบบพื้นเลื่อยนั้น ให้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์และค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสงได้ดีกว่าหลังคาแบบ มอนิเตอร์เมื่อควบคุมปัจจัยอื่นๆให้คงที่

เมื่อทดลองเปลี่ยนสัดส่วนความสูงของช่องเปิดของหลังคาทั้งสองชนิดพบว่า สัดส่วน 3.5:1 ให้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ เฉลี่ย มีค่าระดับตั้งแต่ร้อยละ 0.8 – 1.2 และค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสง (Uniformity) ที่ร้อยละ 80 ในขณะที่สัดส่วน 5:1 ให้ค่าเฉลี่ยเดไลท์แฟคเตอร์ ที่ร้อยละ 0.4 – 1.0 และค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสง ที่ร้อยละ 70 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในแบบ สัดส่วน 3.5:1 นั้นหมายความว่า สัดส่วนความสูงของช่องเปิดที่ 3.5:1 จะให้อัตราระดับการส่องสว่างและความสม่ำเสมอในการกระจายแสงที่มากกว่าแบบสัดส่วนที่ 5:1

สำหรับวัสดุปิดผิวที่เลือกใช้ ในกรณีที่ใช้วัสดุโลหะชุบอะลูมิเนียมสังกะสีซิงคาลูม (Zinc alum) เป็นฝ้าเพดานนั้น สำหรับหลังคาแบบมอนิเตอร์จะให้ค่าระดับการส่องสว่างและความสม่ำเสมอในการกระจายแสงมีค่าแตกต่างกันมากในแต่ละจุดที่ทำการวัด ในขณะที่หลังคาแบบพื้นเลื่อยก็มีลักษณะเดียวกันกับหลังคาแบบมอนิเตอร์ แต่เมื่อนำเอาวัสดุซิงคาลูม (Zinc alum) เป็นวัสดุบุหลังคา ในหลังคาแบบพื้นเลื่อยและมอนิเตอร์ นั้นมีค่าเดไลท์แฟคเตอร์ และค่าความสม่ำเสมอในการกระจายแสงไม่แตกต่างกันมากนัก การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนแสงค่อนข้างมากอย่างโลหะซิงคาลูม (Zinc alum) มีโอกาสทำให้ค่าเดไลท์แฟคเตอร์ และค่าสม่ำเสมอในการกระจายแสง (Uniformity) มีค่าแตกต่างกันมาก และมีความสม่ำเสมอในการกระจายแสงไม่ดี

5.3 สรุปผลในเรื่องของการมองเห็นและภาพรวมสัดส่วนของอาคาร

เมื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายทางกายภาพ พบว่าพื้นที่ภายใต้หลังคาแบบพื้นเลื่อยมีแสงสว่างที่ให้ความสบายตาในแง่ของการมองเห็นได้ดีกว่าพื้นที่ภายใต้หลังคาแบบมอนิเตอร์เนื่องจากช่องเปิดของหลังคาแบบพื้นเลื่อยมีความถี่ของการเปิดต่อเนื่องมากกว่าแบบหลังคามอนิเตอร์ ซึ่งมีระยะห่างของหลังคาแต่ละช่วงจะทำให้เกิดการบังเงาเกิดขึ้น

ในเรื่องของทิศทางการให้แสงสว่าง การเกิดเงาและแสงบาดตานั้น หลังคาแบบพื้นเลื่อยจะทำให้เกิดเงาในทิศใต้ เนื่องจากมีการบังค้ำทิศทางการรับแสงจากทางทิศเหนือเท่านั้น ในขณะที่หลังคาแบบมอนิเตอร์ มีสภาพการเกิดเงาน้อยกว่าแต่ในขณะเดียวกันช่องเปิดทางทิศใต้ก็จะมีโอกาสทำให้เกิดแสงบาดตาได้ ทั้งนี้ควรมีการคำนึงถึงขนาดระยะของกันสาดให้เหมาะสม

สำหรับรูปทรงของหลังคาเมื่อพิจารณาจากภายนอก ทั้งหลังคาแบบพื้นเลื้อย และ มอนิเตอร์ ที่ขนาดสัดส่วนช่องเปิด 3.5:1 จะมีความสูงมากจนทำให้อาจจะมีปัญหาในเรื่องของการ ป้องกันน้ำฝน และมีผลทำให้สัดส่วนของอาคารโดยรวมผิดไปจากวัตถุประสงค์ของการออกแบบ อาคารเดิมไปบ้าง แต่อย่างไรก็ดี ในเรื่องดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบในแง่ของความรู้สึก เท่านั้น

5.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.4.1 ด้านปัญหาและอุปสรรค

การออกแบบปรับปรุงสภาพการส่องสว่างสำหรับห้องปฏิบัติการเขียนแบบด้วยการให้แสง สว่างจากธรรมชาติในระนาบด้านบนด้วยหลังคาแบบพื้นเลื้อยและมอนิเตอร์ นี้ เป็นไปตาม วัตถุประสงค์และขั้นตอนของการวิจัย ซึ่งเป็นงานวิจัยในเชิงวิทยาศาสตร์กายภาพ ดังนั้น ขั้นตอน การเก็บข้อมูลเพื่อนำไปสู่การวิจัยนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญอีกประการ หนึ่งของการเก็บข้อมูลคือ ความเหมาะสมของประเภทและสภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการใช้เครื่องมือที่ถูกต้องตามกรรมวิธีที่ผู้ผลิตเครื่องมือชนิดนั้นๆกำหนด ด้วยเหตุนี้จึงถือว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการทำวิจัยเป็นอย่างมาก ผู้ทำวิจัยจะต้อง ทำความเข้าใจการใช้เครื่องมือให้ถูกต้องและฝึกใช้เครื่องมือให้เกิดความชำนาญจนมี ความสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องมือได้ รู้จักวิธีการจัดการและการซ่อมบำรุงเครื่องมือ เพื่อให้เครื่องมือสามารถอ่านค่าและเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เพราะหากว่าเครื่องมือ เก็บข้อมูลและอ่านค่ามาผิดพลาด ก็จะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลผิดพลาดไปด้วย และเนื่องจากการ วิจัยครั้งนี้ได้เลือกการทดสอบกับสภาพท้องฟ้าจริง ดังนั้นต้องมีการวางแผนการทดลองตามสภาพ อากาศและเวลาให้ถูกต้อง สอดคล้องกับสภาพท้องฟ้าที่ต้องการทำการทดลอง ซึ่งเป็นเรื่อง ที่กำหนดและ ควบคุมได้ยาก ฉะนั้นจึงต้องมีการคาดการณ์แผนงานให้มีเวลามากพอที่จะทำการ ทดลองซ้ำ เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่ได้เก็บมาในแต่ละครั้ง และต้องเผื่อเวลาสำหรับกรณี ที่ เครื่องมือขัดข้อง หรือสภาพท้องฟ้าที่ไม่เอื้ออำนวยในการเก็บบันทึกข้อมูล หรือไม่สามารถทำกับ วัดค่าแสงสว่างได้

5.4.2 ด้านความประหยัด

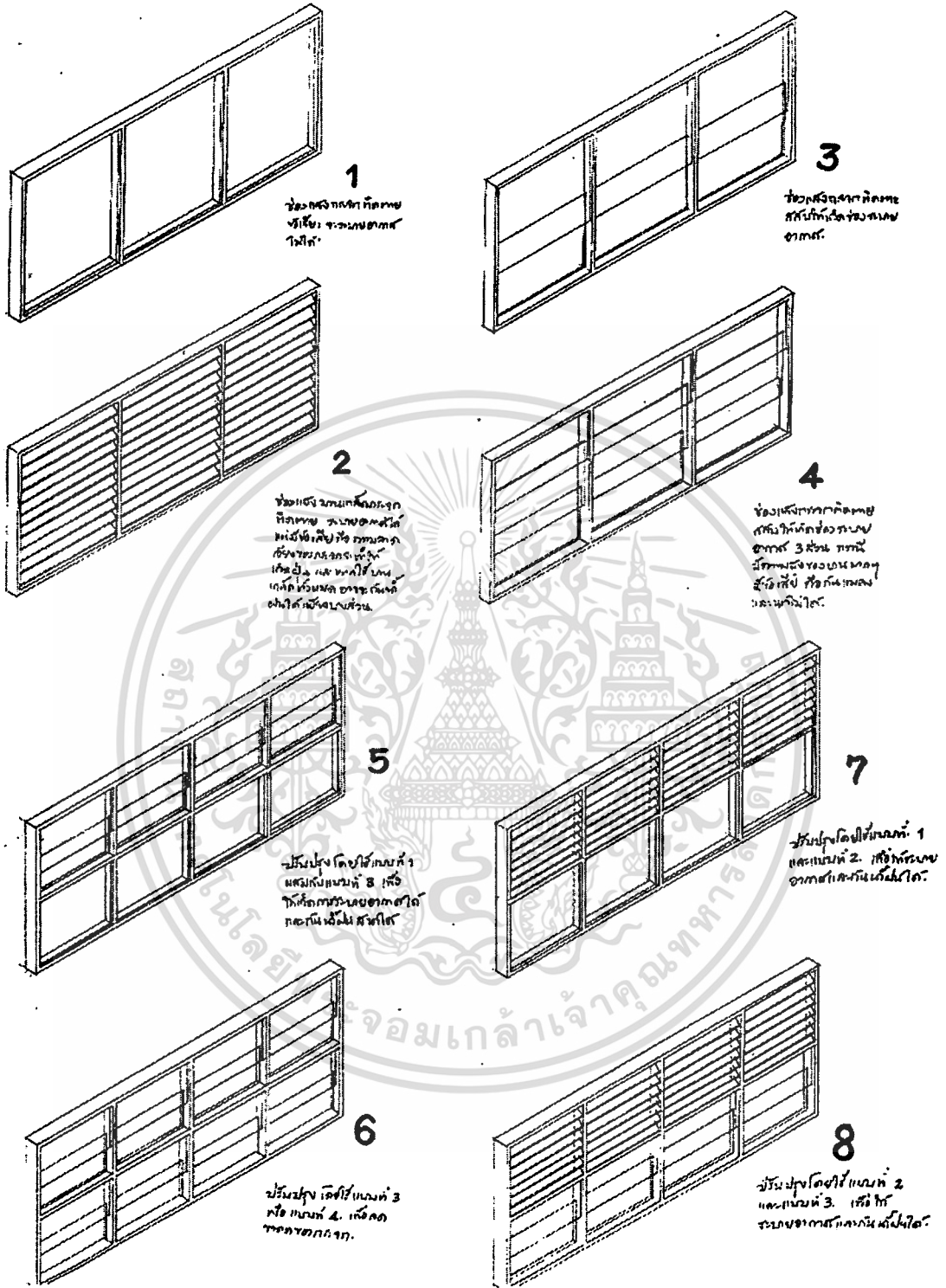
ในการวิจัยครั้งนี้จะมีความสมบูรณ์มากขึ้น หากนำประเด็นเรื่อง ประสิทธิภาพของการ ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการทำให้เกิดแสงประดิษฐ์ของพลังงานไฟฟ้า นำมาเปรียบเทียบกับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ แต่เนื่องจากหน่วยงานที่รับผิดชอบอาคารที่เป็นกรณีศึกษา ไม่เคยบันทึกการใช้พลังงานที่ใช้เพื่อแสงสว่าง จึงทำให้ไม่สามารถนำค่าสถิติดังกล่าว มาประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบผลในเชิงการประหยัดพลังงานได้ แต่อย่างไรก็ดี สำหรับผู้วิจัยที่จะจัดทำงานวิจัยในลักษณะดังกล่าว อาจจะต้องเพิ่มเติมนการพิจารณาในหัวข้อประเด็นดังกล่าว เพื่อให้เห็นตัวเลขในการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิตแสงสว่างจากหลอดไฟฟ้า เมื่อเทียบกับการลงทุนในราคาค่าก่อสร้างเพื่อปรับปรุงทรงหลังคาของอาคารให้ได้ขนาดช่องเปิดที่ต้องการเพื่อการนำแสงสว่างธรรมชาติจากระนาบด้านบนเข้ามาใช้ในพื้นทีศึกษา ในการคำนวณหาประสิทธิภาพดังกล่าวอาจจะต้องใช้ความรู้ในการประเมินผลอีกแขนงหนึ่ง และจะต้องมีความแม่นยำในหลักการเพื่อการทำการศึกษาวิจัยในประเด็นดังกล่าว นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงภาวะเศรษฐกิจในเรื่องอัตราการคิดค่าใช้จ่ายพลังงานในแต่ละภาวการณ์มีความแตกต่างกัน และเคลื่อนไหวตลอดเวลา ในอนาคต และจะต้องคำนึงถึงสภาวะการเงินและอัตราเงินเฟ้อที่เหมาะสมด้วย

5.4.3 ด้านเทคโนโลยีการก่อสร้าง

ในการออกแบบปรับปรุงสภาพการส่องสว่างในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งประเด็นการศึกษาในเรื่องของการใช้แสงสว่างธรรมชาติจากระนาบด้านบนเป็นหลัก ซึ่งในความเป็นจริง ในการประยุกต์การนำแบบดังกล่าวมาใช้ในการปฏิบัติงานการก่อสร้างจริง ยังต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงเทคโนโลยีการก่อสร้างควบคู่ไปกับการออกแบบ ถึงแม้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำวิจัยจะไม่ได้แสดงรายละเอียดการออกแบบในเชิงเทคนิคการก่อสร้างก็ตาม แต่จากแบบร่างทางสถาปัตยกรรมที่ได้ถูกออกแบบไว้ในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการก่อสร้างไว้ในระดับหนึ่งเพื่อให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย และสามารถนำไปใช้ในการออกแบบรายละเอียดในการก่อสร้างในอนาคตต่อไปได้ ซึ่งผู้วิจัยได้จัดทำแบบสถาปัตยกรรมไว้ทั้งหมด 5 แบบ และรายละเอียดการติดตั้งและก่อสร้างไว้ดังต่อไปนี้

5.4.3.1 แบบช่องแสงควรมีการปรับเปลี่ยนจากที่ใช้ในการทดลองเป็นกระจกติดตาย ให้เป็นบานกระจกเกล็ดติดตาย และเป็นบานกระจกระบายอากาศ เพื่อให้สามารถระบายอากาศได้ แต่ทั้งนี้การเลือกใช้แบบช่องแสงจะต้องคำนึงถึงการป้องกันฝนสาด และป้องกันการเก็บกักฝุ่น โดยผู้วิจัยได้เสนอแบบด้วยวิธีการเรียงอันดับและสลับหมุน โดยได้แบบทั้งหมด 8 แบบ ดังรูปที่ 5.1 ส่วนวัสดุที่ใช้ในการประกอบเป็นบานช่องแสงจะใช้กระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร และวงกบเป็นวัสดุอะลูมิเนียม



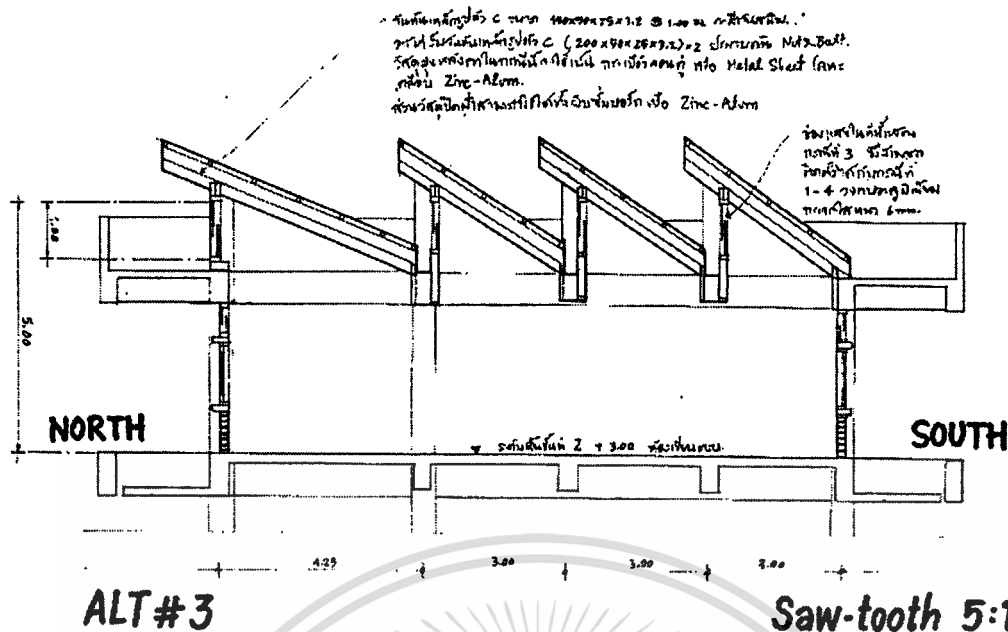
รูปที่ 5.1 แสดงแบบช่องแสงประเภทต่างๆที่ได้ออกแบบไว้เป็นทางเลือก

5.4.3.2 แบบหลังคาแบบพื้นเลื่อย นั้น สามารถเสนอได้เป็นสามแบบ ได้ออกแบบให้เป็น

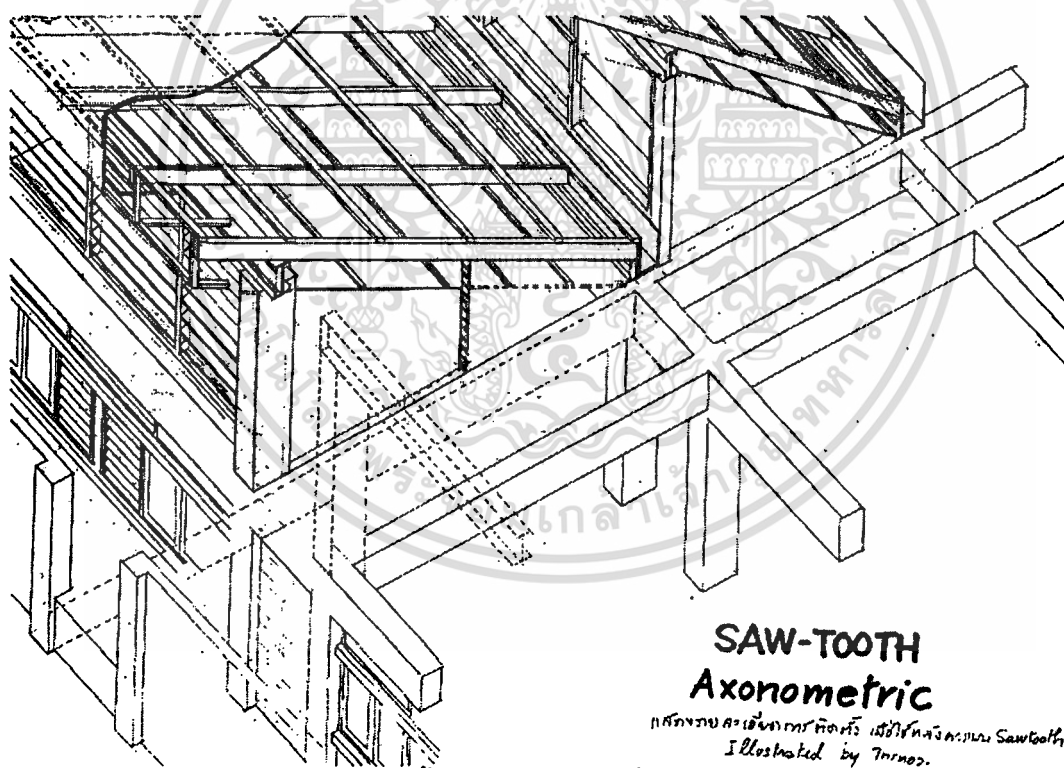
โครงสร้างที่ติดตั้งด้วยระบบติดตั้งแบบแห้ง เพิ่มรายละเอียดของขยายคา เพื่อให้มีความสามารถใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบพื้นเอียง ทางเลือกที่ 3 (Alternative 3)

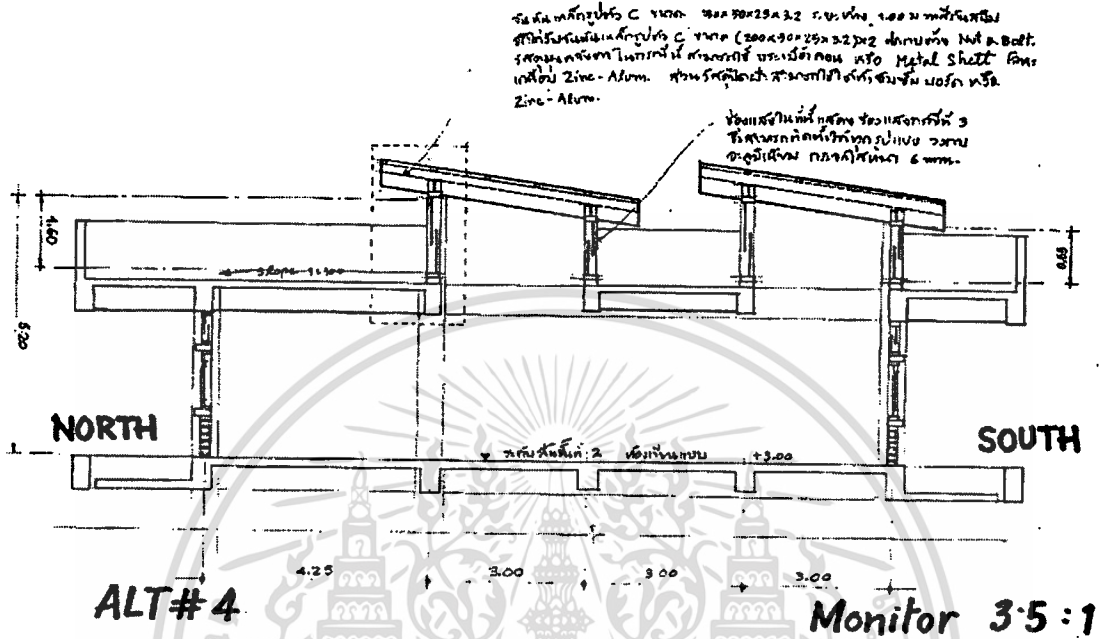


รูปที่ 5.5 แสดงรายละเอียดการติดตั้งหลังคาแบบพื้นเอียง (Saw tooth) ด้วยภาพสามมิติ

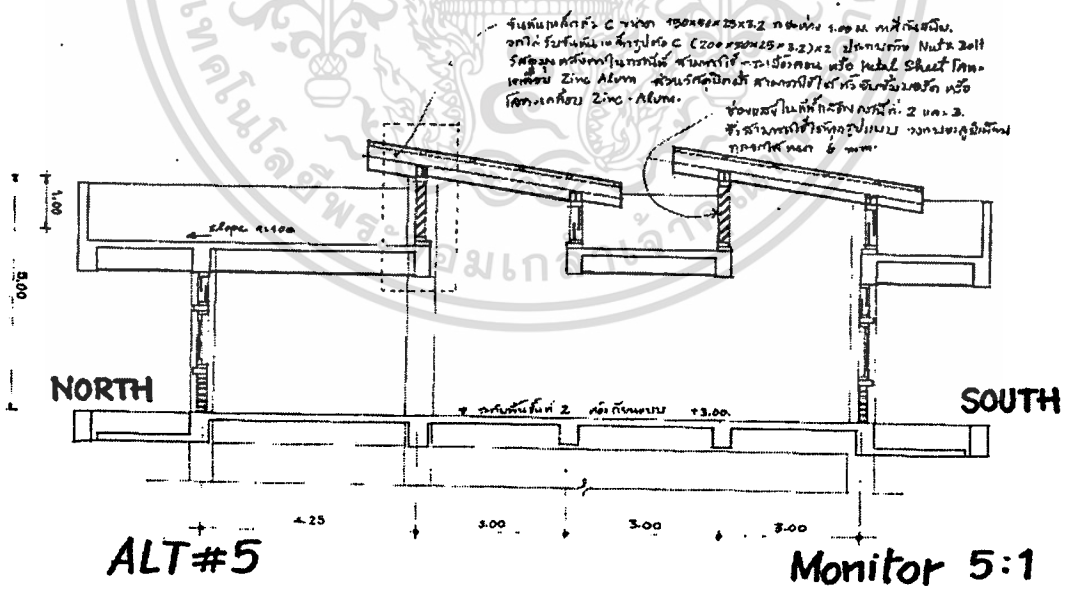
5.4.3.2 แบบหลังคาแบบมอนิเตอร์ นั้น ได้ออกแบบให้เป็นโครงสร้างที่ติดตั้งด้วยระบบติดตั้งแบบแห้งเช่นกัน เพิ่มรายละเอียดของชายคา เพื่อให้มีความสามารถในการป้องกันน้ำฝนได้เหมือนหลังคาแบบพื้นเอียง และยังคงขนาดและสัดส่วนของช่องเปิดเอาไว้ตามที่ได้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และบางแบบสามารถใช้ทั้งวัสดุผนังหลังคาและกรุฝ้าเพดานทุกชนิดที่เลือกไว้ในกรททดลอง แต่ ปัญหาในการก่อสร้างจะพบว่ามีส่วนจะต้องทำงานในระบบเปียก คือ ต้องมีการเทคอนกรีต เพื่อเป็นหลังคาระหว่างหลังคามอนิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งอาจจะมีความยุ่งยาก ซ้ำซ้อนกว่า หลังคาแบบพื้นเรียบ โดยแบบทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบดังนี้

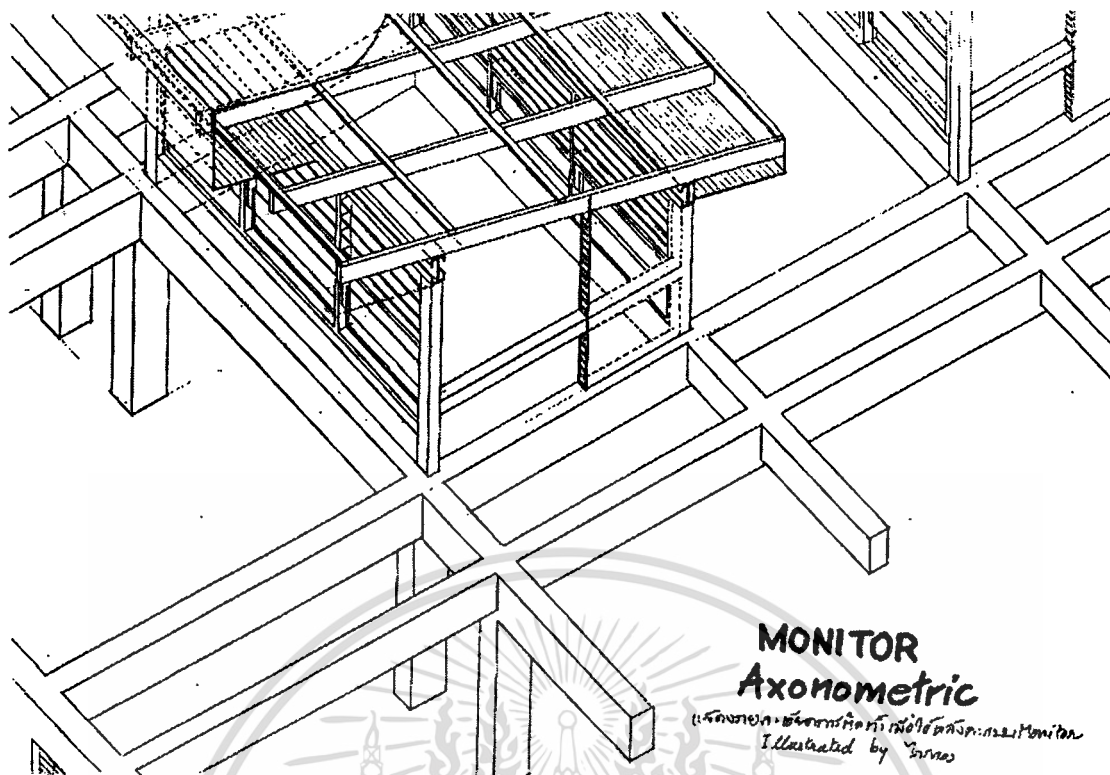


รูปที่ 5.6 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบมอนิเตอร์ ทางเลือกที่ 4 (Alternative 4)



รูปที่ 5.7 แบบแสดงแบบปรับปรุงหลังคาแบบมอนิเตอร์ ทางเลือกที่ 5 (Alternative 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงรายละเอียดการติดตั้งหลังคาแบบมอนิเตอร์ (Monitor) ด้วยภาพสามมิติ

5.4.4 ด้านการออกแบบ

ในการให้แสงสว่างธรรมชาติจากระนาบด้านบนกับพื้นที่อาคาร นอกจากจะใช้การออกแบบด้วยหลังคาแบบพื้นเลื้อย และมอนิเตอร์ แล้ว ยังมีวิธีการออกแบบการให้แสงสว่างจากระนาบด้านบนวิธีอื่นๆอีกมาก เช่น

- วิธีสกายไลท์ (Skylight)
- วิธีเอเทรียม (Atrium)
- วิธีไลท์ไปป์ (Light Pipe) หรือไลท์สแตค (Light stack)
- วิธีไลท์เชฟ (Light Shelves)

ซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภท ตามลักษณะของขนาดอาคาร ลักษณะโครงสร้างหลักของอาคาร การศึกษาการใช้ช่องเปิดด้านบนเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารด้วยวิธีดังกล่าว สำหรับในประเทศไทย และเขตอากาศร้อนชื้นแล้วจะต้องคำนึงถึงวิธีการป้องกันแสงแดดตรงที่จะเข้ามาในพื้นที่ใช้งาน และต้องคำนึงถึงกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาภายใต้หลังคาแต่ละรูปแบบให้เหมาะสม

บรรณานุกรม

1. ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540, เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย, 2542, "เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน" วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ธนบูรณ์ ศศิภาณุเดช, 2533, การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น
4. พิบูลย์ ดิษฐอุตม, 2537, การออกแบบระบบแสงสว่าง Illumination Engineering. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น
5. ตรึงใจ บุรณสมภพ, 2539, การออกแบบที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน : กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์อัมรินทร์พรินติ้ง
6. วรวรรณ โจนไพบูลย์, 2543, " การวิจัยโดยการใช้กล่องจำลองแสงอาทิตย์ Mirror Box ", หน้า 50-73 ใน คู่มือการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยทางเทคโนโลยีอาคาร : สภาคณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์แห่งประเทศไทย สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาปัตยกรรมเขตร้อนและเทคโนโลยีอาคาร
7. M. David Egan and Victor Olgyay. 2002. Architectural Lighting. New York : Mc Graw-Hill
8. Claude L.Robbins, 1986. Daylight Design & Analysis. New York : Van Nostrand.
9. Andras Majoros. 1998. Daylighting , Brisbane : The University of Queensland Printery.
10. T.Muneer, 1977. Solar Radiation and Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings. Oxford : Architectural Press
11. Derek Phillips and John Howard, 1964. Lighting in Architectural Design. New York : McGraw-Hill
12. M.David Egan, 1983. Concepts in Architectural lighting. New York :McGraw-Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Benjamin H.Evans, 1981. Daylight in Architecture”,Architectural Record Book. New York. : Mc.Graw- Hill.
14. Moore, Fuller, 1991. Concepts and Practice of Architectural Daylight/Fuller Moore. New York : Van Norstrand.
15. Guzowski Mary.2000. Daylighting for sustainable design. New York : McGraw-Hill
16. Myerson,Jeremy, 1985.” Better Lighting. London : Octopus Conran
17. Baker,Torquil, 1977.Concepts in Practice Lighting : Lighting Design in Architecture. London, B.T. Batsford
18. Ander,Gregg.D.1995.Daylighting Performance and Design. New York : Van Nostrand
19. Futagawa,Yukio,Ed., 1994. Light and Space:Modern Architecture.Tokyo : A.D.A.Edita
20. Maggie Toy, 1997 . Light in Architecture. London : Acadamy Groups.
21. Millet,Marrietta S., 1996. Light Revealing Architecture. New York : Van Nostrand,
22. Michel, Lou., 1996. Light : the Shape of Space : Designing with Space and Light. New York : Van Norstrand
23. Szogolay,SV. 1996. Solar Geometry. Brisbane : University of Queensland Prinery.
24. SR.Hastings, 1994. Passive Solar Commercial and Institutional Buildings.London : John Wiley and Sons.
25. Vaughn Bradshaw,P.E., 1993. Building Control System Second Edition. New York : John Wley and Sons.

ภาคผนวก ก.
ตารางแสดงค่าที่ได้จากการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ - ก 1 แสดงค่าเฉลี่ยแสงที่ตกกระทบบนระนาบทั้งหมดรายเดือน พศ. 2542 กรุงเทพฯ

Monthly Average of Global Illuminance 1998 Bangkok, Evg (Klux)

ที่มา : รายงานการบันทึกผลข้อมูล โครงการวิจัยแสงธรรมชาติ ด้วยการใช้มาตรวัดปริมาณแสงธรรมชาติชนิดโพเทนโพลีเอทิลีนแห่งประเทศไทย จ.ปทุมธานี
ที่ตั้ง : ละติจูดที่ 14.08 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 100.62 องศาตะวันออก ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 14 เมตร

เวลา	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
5.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	0	3.2	7.939286	15.926667	15.266667	16.416	15.428571	10.97	13.277778	12.15	8.15	4.746667
8.00	15.8375	19.490476	30.45	42.988235	38.677778	36.065385	37.842857	30.196667	36.446429	34.759091	29.3875	28.858824
9.00	35.996	45.688182	60.19	70.447059	64.36875	55.977778	53.996429	51.85	55.642857	53.6625	54.35	51.565217
10.00	63.816667	68.255556	79.726667	92.717647	74.061111	78.888889	72.562143	81.933333	76.714286	70.333333	63.65625	71.104
11.00	82.646154	82.662963	85.531034	100.425	88.26875	85.433333	79.203571	79.8	80.832143	74.752174	75.464706	78.217241
12.00	82.076471	91.588462	89.573333	108.04666	92.27333	77.703704	81.664286	82.727586	87.993103	73.542308	86.55625	83.265517
13.00	80.788889	88.823077	93.310345	96.53125	76.3	74.5	85.019231	78.589286	87.903571	75.034783	79.766667	80.082143
14.00	63.705882	80.877778	80.331034	99.25	69.576471	68.603704	80.196154	69.546429	81.6	58.333333	68.726667	71.855556
15.00	52.822222	65.625926	72.686207	83.58	58.094118	52.365385	61.811538	51.848276	54.489286	41.430235	45.25627	55.068
16.00	33.294444	46.792953	51.837931	55.964286	43.388235	40.103704	45.943478	39.988866	37.707407	27.704545	33.55	34.682609
17.00	17.286957	20.4	28.92	25.53125	25.085214	22.663636	30.595455	21.988	18.9	11.221429	11.7	12.125
18.00	0	3.7	5.825	6.37778	7.214286	7.2	8.561111	6.205556	3.65	0	0	0
19.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตาราง ผ - ก 2 แสดงค่าเฉลี่ยแสงกระจายจากห้องฟ้าตกกระทบบนพื้นทั้งหมดรายเดือน พศ. 2542 กรุงเทพฯ

Monthly Average of Diffused Illuminance 1998 Bangkok, Evd (Klux)

ที่มา : รายงานการบันทึกผลข้อมูล โครงการวิจัยแสงธรรมชาติ ด้วยการศึกษาวัดปริมาณแสงธรรมชาติตลอดปี 2542 สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จ.ปทุมธานี

ที่ตั้ง : ละติจูดที่ 14.08 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 100.62 องศาตะวันออก ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 14 เมตร

เวลา	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
5.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.00	0	3.014286	6.817857	11.426667	12.416666	13.468	12.014286	9.916667	10.416519	10.309091	7.3625	4.7533333
8.00	13.754167	16.180952	19.7375	20.964706	26.977778	24.103846	23.321429	24.783333	22.232143	23.531818	17.5125	14.347059
9.00	25.708	28.988182	30.396667	31.017647	39.375	36.1	34.264286	36.613333	31.064286	32.020833	26.10625	20.3
10.00	35.066667	37.233333	39.670000	35.523529	49.308556	42.77037	43.867157	46.87	43.767857	37.7	33.4375	24.76
11.00	35.176923	44.411111	42.496552	35.475	54.225	48.266667	48.071429	50.763333	43.975	41.56087	37.935294	32.527586
12.00	45.417647	47.276923	41.976667	38.92	52.3	46.57037	47.246429	52.724138	48.482759	48.9	38.28125	33.324138
13.00	51.461111	48.711538	44.741379	41.8	44.841176	44.912	47.657692	55.571429	47.042857	43.121739	35.75	33.025
14.00	41.770588	43.425926	40.924138	41.164286	41.935294	46.392593	45.334615	51.217857	42.251852	35	34.18	31.648148
15.00	39.072222	37.537037	39.855172	37.98	30.470588	40.242308	38.488462	38.493103	35.192857	31.317391	28.34375	26.488
16.00	27.05	29.774074	28.734483	27.121429	25.470588	30.455556	30.804348	31.444828	25.914815	23.518182	21.22	19.485217
17.00	15.056522	15.870733	19.232	16.53125	17.542875	18.795455	21.781818	20.656	14.82	10.221429	11.3	9.2375
18.00	0	3.4	5.2375	5.855556	6.985714	7.1375	7.62222	6.583333	3.95	0	0	0
19.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ผ - ก 3 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ศึกษา (Existing)

บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

ลำดับ	วันและเวลาที่บันทึกข้อมูล	opus 200 #340				opus 200 # 1091				opus 200 # 1117				opus 200 # 1130				opus#1135
		1		2		3		4		5		6		7		8		9
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)
51	15.01.2003 07:00:00	87	4.64186	58.53	3.122866	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	1874.24
56	15.01.2003 07:15:00	146.44	3.50557	84.33	2.018744	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	4177.35
61	15.01.2003 07:30:00	205.89	2.89919	113.1	1.592588	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	7101.65
66	15.01.2003 07:45:00	382.78	3.14598	231.15	1.899767	94.63	0.777742	87	0.715032	13.74	0.112926	6.94	0.057038	-	#VALUE!	1.83	0.01504	12167.28
71	15.01.2003 08:00:00	416.13	2.34415	242.06	1.363578	120.57	0.679198	106.8	0.601853	18.32	0.103201	6.08	0.05115	-	#VALUE!	16.48	0.092835	17751.83
76	15.01.2003 08:15:00	455.26	1.961	261.0	1.136673	141.94	0.617608	123.6	0.537836	22.51	0.097945	13.35	0.058088	-	#VALUE!	54.95	0.239097	22962.3
81	15.01.2003 08:30:00	494.43	1.66171	281.75	0.948623	164.84	0.554005	140.4	0.471932	25.95	0.067214	15.49	0.05206	3.66	0.012301	53.11	0.178495	29754.27
86	15.01.2003 08:45:00	523.43	1.44006	294.64	0.810618	183.15	0.503884	158.7	0.438699	29.76	0.061876	18.7	0.051448	-	#VALUE!	66.08	0.236824	36347.68
91	15.01.2003 09:00:00	552.43	1.30012	309.52	0.728439	198.41	0.466648	167.9	0.39512	31.67	0.074534	20.3	0.047775	-	#VALUE!	106.23	0.250007	42490.84
96	15.01.2003 09:15:00	565.48	1.16375	317.46	0.653327	212.15	0.436801	180.1	0.370843	34.72	0.071453	21.9	0.04507	-	#VALUE!	120.88	0.248768	48581.27
101	15.01.2003 09:30:00	579.98	1.03433	329.37	0.587396	227.41	0.405561	193.8	0.345675	38.92	0.06941	25.64	0.045726	0	0	135.53	0.241703	56072.95
106	15.01.2003 09:45:00	582.89	0.96504	332.34	0.550233	233.52	0.388623	198.4	0.328494	40.45	0.06697	26.16	0.043344	12.82	0.021225	141.03	0.233494	60399.88
111	15.01.2003 10:00:00	603.17	0.9158	348.21	0.528694	245.73	0.373098	207.6	0.315157	42.35	0.064301	27.24	0.041359	75.09	0.114011	210.62	0.319788	65962.33
116	15.01.2003 10:15:00	616.22	0.88964	359.13	0.518652	250.31	0.361495	213.7	0.308594	44.26	0.06392	28.65	0.041685	76.75	0.11373	217.95	0.314781	69242.98
121	15.01.2003 10:30:00	619.12	0.83307	359.13	0.483236	254.88	0.34296	216.7	0.291626	44.26	0.059555	28.31	0.038093	76.82	0.103501	208.79	0.280942	74317.77
126	15.01.2003 10:45:00	620.57	0.7933	359.13	0.457812	257.94	0.329735	218.3	0.278998	44.64	0.057065	28.31	0.03619	86.74	0.114718	225.27	0.287971	78226.5
131	15.01.2003 11:00:00	607.52	0.75894	349.21	0.436246	256.41	0.320317	218.3	0.272648	44.26	0.055291	27.24	0.034029	36.46	0.048048	175.62	0.219841	80048.84
136	15.01.2003 11:15:00	606.07	0.7308	347.22	0.418681	257.94	0.311026	218.8	0.265013	45.02	0.054285	28.31	0.034136	86.08	0.103796	210.62	0.253967	82931.93
141	15.01.2003 11:30:00	600.27	0.71112	344.25	0.407819	257.94	0.305571	221.3	0.262177	45.41	0.053795	28.65	0.034177	76.75	0.093292	205.13	0.243009	84412.39
146	15.01.2003 11:45:00	619.12	0.68664	355.16	0.394068	271.67	0.301431	232	0.257404	47.7	0.052926	29.91	0.033187	76.82	0.085347	206.98	0.229632	90126.66
151	15.01.2003 12:00:00	600.27	0.66915	347.22	0.396331	265.57	0.304891	225.9	0.259336	46.55	0.053442	28.65	0.033122	75.09	0.086208	195.97	0.224986	87103.17
156	15.01.2003 12:15:00	617.67	0.66107	358.13	0.394889	277.78	0.306291	236.6	0.260852	49.6	0.054691	30.96	0.03416	64.1	0.070679	181.32	0.199831	90691.39
161	15.01.2003 12:30:00	620.57	0.68012	357.14	0.391413	279.3	0.306103	236.6	0.259272	49.22	0.053943	29.91	0.03278	78.75	0.086307	186.81	0.204737	91243.89
166	15.01.2003 12:45:00	617.67	0.6779	355.16	0.38979	277.78	0.304865	235	0.257958	47.31	0.051923	27.78	0.030469	67.77	0.074378	179.49	0.196991	91115.69
171	15.01.2003 13:00:00	624.92	0.69158	357.14	0.395234	277.78	0.307408	233.5	0.258428	46.55	0.051515	27.24	0.030146	53.11	0.058775	157.51	0.174311	90361.72
176	15.01.2003 13:15:00	617.67	0.69138	351.19	0.393096	270.15	0.302367	228.9	0.256259	45.41	0.050829	25.64	0.0287	9.16	0.010253	106.23	0.118908	89338.13
181	15.01.2003 13:30:00	604.62	0.70906	343.25	0.402551	257.94	0.302503	218.3	0.255956	42.35	0.049687	22.44	0.026317	-	#VALUE!	75.09	0.088063	85268.62
186	15.01.2003 13:45:00	597.37	0.72718	338.29	0.411801	254.88	0.310266	213.7	0.260113	41.21	0.050165	21.37	0.026014	32.97	0.040134	119.05	0.14492	82148.96
191	15.01.2003 14:00:00	601.72	0.75247	339.29	0.424291	254.88	0.318734	212.2	0.265299	40.45	0.050584	20.3	0.025388	27.47	0.034352	111.72	0.139709	79968.42
196	15.01.2003 14:15:00	590.13	0.76685	332.34	0.431862	244.2	0.317328	203	0.263777	37.01	0.048093	17.63	0.022909	9.16	0.011803	80.44	0.078539	76955.13
201	15.01.2003 14:30:00	587.23	0.81569	328.37	0.456122	236.57	0.328607	196.9	0.27349	35.49	0.049297	16.56	0.023003	9.16	0.012724	80.59	0.111843	71991.76
206	15.01.2003 14:45:00	578.53	0.85795	320.44	0.475209	228.94	0.339516	190.8	0.282925	32.81	0.048657	14.42	0.021385	1.83	0.002714	60.44	0.089632	67431.32
211	15.01.2003 15:00:00	579.98	0.91307	318.44	0.5029	225.89	0.355623	187.7	0.295547	32.43	0.051055	12.29	0.019348	-	#VALUE!	7.33	0.01154	63519.54
216	15.01.2003 15:15:00	578.53	1.00218	313.49	0.543052	213.68	0.370153	175.5	0.30405	26.62	0.049578	9.08	0.015729	-	#VALUE!	3.66	0.00634	57727.41
221	15.01.2003 15:30:00	568.38	1.08216	308.53	0.58742	213.68	0.406832	170.9	0.325458	26.33	0.050131	8.01	0.01525	-	#VALUE!	-	#VALUE!	52522.69
226	15.01.2003 15:45:00	543.73	1.1549	282.66	0.621619	195.36	0.414951	158.7	0.337148	22.89	0.048819	5.34	0.011342	-	#VALUE!	-	#VALUE!	47080.28
231	15.01.2003 16:00:00	504.56	1.25114	269.84	0.669068	169.41	0.420063	138.9	0.344387	19.06	0.04731	2.14	0.005306	-	#VALUE!	-	#VALUE!	40329.67
236	15.01.2003 16:15:00	468.33	1.43361	249.01	0.762247	140.42	0.429641	116	0.355089	13.74	0.04206	0	0	-	#VALUE!	-	#VALUE!	32667.89
241	15.01.2003 16:30:00	443.68	1.69395	234.13	0.893899	123.63	0.472014	100.7	0.384583	11.45	0.043716	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	26192
246	15.01.2003 16:45:00	368.28	2.16371	199.4	1.171511	80.69	0.475243	68.68	0.403507	4.2	0.024676	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	17020.76
251	15.01.2003 17:00:00	349.44	2.32842	168.49	1.259961	73.26	0.488152	62.66	0.419688	2.67	0.017791	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	15007.63
256	15.01.2003 17:15:00	308.84	3.41234	171.63	1.896324	53.42	0.590233	45.79	0.505929	0.38	0.004199	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	9050.67
261	15.01.2003 17:30:00	239.24	4.55272	141.87	2.899776	21.37	0.40667	24.42	0.464711	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	5254.88
266	15.01.2003 17:45:00	175.44	5.60723	115.08	3.878064	-	#VALUE!	4.56	0.146381	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	3126.82
271	15.01.2003 18:00:00	107.3	14.2027	87.3	11.55541	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	755.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 4 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใต้หลังคาฟันเลื่อยSaw tooth 1.1.1
บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

ลำดับ	วันที่และเวลาที่เก็บข้อมูล	opus 200 #364		opus 200 # 1091		opus 200 # 1117		opus 200 # 1120		#1135								
		1		2		3		4		5		6		7		8		9
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)
111	03.04.2003 08:00:00	728.79	0.10585	748.01	0.11156	768.01	0.114394	558.22	0.083265	572.83	0.085322	2248.24	0.334872	#VALUE!	708.1	0.1056193	671373.63	
114	03.04.2003 08:15:00	823.03	0.09784	840.96	0.09987	870.88	0.103524	636.76	0.075892	625.86	0.074401	2257.86	0.268398	#VALUE!	827.84	0.0884078	841236.26	
117	03.04.2003 08:30:00	817.31	0.08933	836.24	0.09129	867.22	0.09479	633.08	0.069194	672.22	0.073475	2158.81	0.235864	#VALUE!	847.89	0.0826876	914890.11	
121	03.04.2003 08:45:00	912.32	0.06347	924.15	0.06456	967.03	0.06848	706.65	0.064658	721.56	0.068022	2208.41	0.202081	#VALUE!	974.36	0.0891504	1062939.56	
124	03.04.2003 09:00:00	842.06	0.07995	855.43	0.08108	1002.44	0.085073	735.90	0.062458	733	0.062207	2256.18	0.191474	#VALUE!	1023.2	0.0868352	1178324.18	
127	03.04.2003 09:15:00	1024.88	0.0786	1042.43	0.07781	1083.94	0.081012	797.01	0.059588	848.83	0.063281	2208.81	0.164934	#VALUE!	1122.71	0.0639089	1337994.51	
130	03.04.2003 09:30:00	1068.76	0.07353	1087.45	0.07482	1124.54	0.077368	826.92	0.058992	894.17	0.061519	2141.48	0.147334	#VALUE!	1180.1	0.0811908	1453488.01	
133	03.04.2003 09:45:00	1115.31	0.07088	1135.91	0.07219	1186.87	0.074147	858.84	0.054456	924.73	0.05677	2127.75	0.135227	#VALUE!	1222.22	0.0787771	1673461.54	
137	03.04.2003 10:00:00	1116.07	0.06893	1130.19	0.07062	1167.89	0.073179	886	0.054283	940.17	0.05891	2043.12	0.128002	#VALUE!	1250.61	0.0783623	1685934.07	
140	03.04.2003 10:15:00	1182.62	0.07002	1186.29	0.07018	1224.36	0.073737	908.56	0.054569	1014.71	0.061111	2100.96	0.12653	#VALUE!	1333.84	0.0803366	1860438.56	
143	03.04.2003 10:30:00	1337.76	0.07511	1288.3	0.07239	1157.81	0.065007	875.15	0.049137	1222.89	0.068681	2062.73	0.115818	#VALUE!	1283.27	0.0720616	1781043.96	
148	03.04.2003 10:45:00	1384.31	0.08156	1328.98	0.0783	1517.09	0.089388	1148.57	0.067733	1308.17	0.07688	1947.42	0.114743	#VALUE!	1703.3	0.1035895	1987187.8	
151	03.04.2003 11:00:00	1530.45	#VALUE!	1488.02	#VALUE!	1680.1	#VALUE!	1281.14	#VALUE!	1450.89	#VALUE!	1841.04	#VALUE!	#VALUE!	1920.84	#VALUE!	-	
155	03.04.2003 11:15:00	1688.29	#VALUE!	1556.25	#VALUE!	1824.78	#VALUE!	1392.84	#VALUE!	1656.38	#VALUE!	1604.7	#VALUE!	#VALUE!	2110.5	#VALUE!	-	
158	03.04.2003 11:30:00	1403.39	0.12098	1303.8	0.1124	1569.29	0.135287	1238.28	0.106577	1437.45	0.123921	1211.89	0.104459	#VALUE!	1875.15	0.1618547	1159672.53	
161	03.04.2003 11:45:00	1260.14	0.09202	1180.58	0.08569	1416.36	0.102811	1087.61	0.078047	1283.87	0.083179	1337.91	0.087118	#VALUE!	1695.87	0.1231071	1377837.86	
164	03.04.2003 12:00:00	1629.27	0.09188	1514.42	0.08822	1853.79	0.104319	1412.7	0.078488	1682.67	0.094884	888.59	0.048879	#VALUE!	2155.68	0.1213078	1777032.97	
167	03.04.2003 12:15:00	1111.49	0.06397	1008.82	0.05811	1590.09	0.091555	1193.33	0.069031	1428.37	0.082098	622.56	0.035833	#VALUE!	1893.77	0.1080006	1737300.11	
170	03.04.2003 12:30:00	1488.1	#VALUE!	1363.79	#VALUE!	1721.92	#VALUE!	1288.07	#VALUE!	1478.09	#VALUE!	1024.8	#VALUE!	#VALUE!	1883.7	#VALUE!	-	
173	03.04.2003 12:45:00	1401.48	0.08037	1348.44	0.07733	1557.08	0.088298	1178.88	0.067607	1363.58	0.078199	689.0	0.032683	#VALUE!	1950.43	0.1061187	1747336.28	
176	03.04.2003 13:00:00	1457.19	0.11036	1411.4	0.1069	1523.81	0.115408	1213.37	0.081897	1408.9	0.105558	288.24	0.020318	#VALUE!	1904.15	0.1442148	1320357.14	
180	03.04.2003 13:15:00	688.37	0.11082	539.15	0.10155	770.45	0.145112	537.24	0.101188	635.29	0.119655	582.72	0.109754	#VALUE!	721.31	0.1358568	530834.07	
183	03.04.2003 13:30:00	1500.89	#VALUE!	1420.18	#VALUE!	1684.68	#VALUE!	1287.24	#VALUE!	1457.26	#VALUE!	248.34	#VALUE!	17.17	#VALUE!	1900.84	#VALUE!	-
188	03.04.2003 13:45:00	1234.36	0.10478	1193.15	0.10129	1365.01	0.115035	1060.74	0.080053	1200.4	0.101908	1887.04	0.144072	#VALUE!	1555.32	0.1328894	1177912.09	
189	03.04.2003 14:00:00	1425.9	0.08064	1348.08	0.07823	1535.71	0.086848	1148.88	0.086027	1345.45	0.076086	1838.28	0.092646	#VALUE!	1721.82	0.0973768	1788324.18	
192	03.04.2003 14:15:00	703.8	0.12024	647.13	0.11059	792.74	0.135473	618.74	0.105738	768.24	0.130944	1580.38	0.270071	#VALUE!	907.51	0.1550862	885184.84	
195	03.04.2003 14:30:00	1327.08	0.07839	1278.56	0.07343	1448.11	0.083358	1023.81	0.058894	1178.24	0.067823	1233.36	0.070996	#VALUE!	1508.24	0.0868189	1737225.27	
198	03.04.2003 14:45:00	1090.89	0.08495	1117.88	0.06556	1134.31	0.067535	790.6	0.047071	864.82	0.051478	812.98	0.048402	#VALUE!	1189.28	0.0708007	1879587.91	
201	03.04.2003 15:00:00	1015.72	0.083	1081.73	0.06709	1045.79	0.064865	713.37	0.044247	768.58	0.047547	747.1	0.046339	#VALUE!	1085.32	0.0680785	1612252.75	
204	03.04.2003 15:15:00	833.68	0.08187	1022.59	0.08787	980.01	0.063718	648.86	0.043053	688	0.045864	233.75	0.015515	#VALUE!	968.25	0.0642652	150648.35	
207	03.04.2003 15:30:00	898.34	0.0639	928.49	0.06805	927.05	0.065873	626.98	0.044851	672.89	0.047813	422.31	0.030008	#VALUE!	917.89	0.0652218	1407335.18	
210	03.04.2003 15:45:00	864.82	0.06421	898.2	0.0687	871.49	0.064718	583.94	0.043364	617.16	0.045831	144.84	0.010756	#VALUE!	808.39	0.0621115	1346593.41	
213	03.04.2003 16:00:00	818.18	0.06882	851.27	0.06876	834.55	0.067405	558.3	0.045093	582.91	0.047081	106.64	0.008524	#VALUE!	786.94	0.0635601	1238104.4	
216	03.04.2003 16:15:00	758.17	0.06638	791.36	0.07138	778.69	0.070236	621.06	0.046898	541.81	0.048852	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	712.15	0.064234	1106981.32	
219	03.04.2003 16:30:00	707.04	0.07289	741	0.07849	727.41	0.075089	485.35	0.050101	503.86	0.061991	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	643.47	0.0684237	968736.28	
222	03.04.2003 16:45:00	649.42	0.07748	686.29	0.08178	668.5	0.078758	448.05	0.053098	451.28	0.053842	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	588.9	0.0679942	838158.34	
225	03.04.2003 17:00:00	602.11	0.08675	647.13	0.09324	618.3	0.088798	407.81	0.058876	408.64	0.058876	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	498.47	0.071888	694088.93	
228	03.04.2003 17:15:00	544.87	0.10818	593.71	0.11897	558.78	0.111571	370.88	0.074319	360.29	0.072197	81.27	0.018285	#VALUE!	435.59	0.0672869	499803.46	
231	03.04.2003 17:30:00	498.03	0.11519	548.83	0.12786	602.14	0.118613	333.03	0.07734	313.85	0.072906	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	368.13	0.0854915	430604.4	
234	03.04.2003 17:45:00	343.03	0.12145	378.98	0.13347	357.14	0.128448	246.42	0.068891	238.71	0.083483	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	258.16	0.0917559	282445.05	
236	03.04.2003 17:55:00	257.17	0.14985	277.78	0.16186	278.58	0.161148	182	0.118784	183.33	0.108823	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	188.63	0.1163203	171620.88	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ม - ก 5 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้ดังกล่าวที่เสนอ Saw tooth 1.1.2

บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546

No	Time	opus 200 #364				opus 200 # 1091				opus 200 # 1117				opus 200 # 1120				opus#1135		
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)		
157	04.04.2003 08:00:00	645.6	1.07006	644.46	1.0581901	653.54	1.0632401	433.48	0.7184583	444.23	0.73631	470.09	0.7791172	1012.00	1.8775354	1448.94	2.40327	65331.96		
160	04.04.2003 08:15:00	734.13	1.036586	723.82	1.0220296	773.5	1.0621794	526.26	0.7430912	555.37	0.784178	584.58	0.825423	908.53	1.3675574	1307.89	1.848449	70821.89		
163	04.04.2003 08:30:00	775.34	1.036806	778.53	1.0448028	811.66	1.0876683	623.32	0.8352748	593.32	0.790074	622.86	0.834858	868.42	1.1876369	844.02	1.131022	74824.54		
166	04.04.2003 08:45:00	598.29	1.198775	562.42	1.1623328	761.8	1.8010626	521.67	1.008867	444.57	0.834586	475.12	0.908606	904.33	1.8011038	707.57	1.48747	47568.68		
169	04.04.2003 09:00:00	910.41	0.889158	894	0.8731312	897.74	0.8787839	608.59	0.9683806	701.43	0.885058	728.95	0.709981	861.84	0.84117219	820.21	0.801084	102380.11		
172	04.04.2003 09:15:00	961.78	0.861681	856.05	0.8382379	895.12	0.8734089	684.07	0.8004014	784.56	0.871047	790.42	0.863744	862.36	0.890512	745.24	0.8219829	783.27	0.853723	119818.85
175	04.04.2003 09:30:00	1016.67	0.848687	960.92	0.8270289	1051.59	0.8778845	725.27	0.8053185	800.82	0.86837	827.35	0.890512	745.24	0.8219829	783.27	0.853723	119818.85		
178	04.04.2003 09:45:00	1071.43	0.838287	1039	0.8138844	1120.57	0.8777594	773.81	0.808137	856.27	0.868907	863.74	0.888987	863.01	0.5428462	838.13	0.657303	127662.55		
181	04.04.2003 10:00:00	1114.83	0.834007	1077.92	0.8063217	1168.19	0.8738468	808.22	0.8053248	885.85	0.870127	822.71	0.880219	574.78	0.4298405	877.58	0.656488	133863.61		
184	04.04.2003 10:15:00	1187.81	0.820319	1142.02	0.7886859	1241.15	0.8571563	859.58	0.5933568	942.52	0.850918	908.72	0.889703	410.01	0.283189	828.18	0.841705	144788.53		
187	04.04.2003 10:30:00	1167.86	0.808144	1136.88	0.7885002	1217.85	0.8427331	848.78	0.5859895	868.36	0.858981	907.85	0.863521	101.31	0.0700882	934.07	0.048308	144623.81		
190	04.04.2003 10:45:00	1245.42	#VALUE!	1198.23	#VALUE!	1303.11	#VALUE!	907.81	#VALUE!	1007.68	#VALUE!	1059.58	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	996.17	#VALUE!	#VALUE!		
193	04.04.2003 11:00:00	1289.08	#VALUE!	1208.03	#VALUE!	1332.42	#VALUE!	922.18	#VALUE!	1030.48	#VALUE!	1082.30	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1050.83	#VALUE!	#VALUE!		
196	04.04.2003 11:15:00	1298.7	#VALUE!	1208.03	#VALUE!	1327.84	#VALUE!	920.84	#VALUE!	1047.28	#VALUE!	1111.42	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1084.55	#VALUE!	#VALUE!		
199	04.04.2003 11:30:00	1322.12	#VALUE!	1280.68	#VALUE!	1368.75	#VALUE!	958.49	#VALUE!	1108.72	#VALUE!	1111.42	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1084.55	#VALUE!	#VALUE!		
202	04.04.2003 11:45:00	1487.87	#VALUE!	1388	#VALUE!	1508.55	#VALUE!	1038.89	#VALUE!	1208.11	#VALUE!	1208.13	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	1191.7	#VALUE!	#VALUE!		
205	04.04.2003 12:00:00	1403.39	0.954181	1326.17	0.9010075	1537.85	1.0458128	1085.93	0.7247454	1193.78	0.787862	1248.4	0.84745	#VALUE!	1211.54	0.823748	147076.47			
208	04.04.2003 12:15:00	1419.03	0.978904	1331.65	0.9180259	1558.17	1.0735088	1073.28	0.740378	1176.22	0.811404	1284.19	0.872089	#VALUE!	1225.58	0.845455	14981.08			
211	04.04.2003 12:30:00	1488.84	1.078007	1365.81	1.0033106	1525.34	1.1209842	1054.64	0.7748419	1235.92	0.800881	1221.89	0.89772	#VALUE!	1210.01	0.888892	138110.35			
214	04.04.2003 12:45:00	1409.48	0.989122	1317.54	0.9217905	1474.88	1.0317184	1023.2	0.7158614	1154.08	0.807415	2347.07	1.842081	#VALUE!	1182.54	0.82734	142922.99			
217	04.04.2003 13:00:00	1455.26	1.025632	1358.36	0.9573262	1545.79	1.0884206	1089.9	0.7540293	1188.37	0.843181	2037.82	1.438187	#VALUE!	1234.74	0.870203	141891.03			
220	04.04.2003 13:15:00	1435.82	1.080782	1294.84	0.9744938	1491.78	1.1228888	1014.96	0.7639747	1203.75	0.80608	1918.62	1.444172	#VALUE!	1167.89	0.878087	132652.56			
223	04.04.2003 13:30:00	1527.01	1.148596	1361.56	1.04489	1648.35	1.2377076	1133.09	0.8508108	1287.03	0.888401	1978.04	1.483762	#VALUE!	1302.5	0.978017	133177.86			
226	04.04.2003 13:45:00	1483.9	1.156482	1342.34	1.0481858	1605.31	1.2511141	1077.83	0.8397836	1220.54	0.95124	1834.68	1.429878	#VALUE!	1236.57	0.983733	128310.44			
229	04.04.2003 14:00:00	1343.1	1.378056	1162.62	1.1928788	1432.54	1.488624	934.37	0.9586684	1073.14	1.10107	1808.68	1.848488	#VALUE!	1077.53	1.105574	87483.37			
232	04.04.2003 14:15:00	1358.51	2.789	1219.08	2.5008324	1474.38	3.0248124	983.21	2.0170305	1113.77	2.284871	2007.8	4.118541	#VALUE!	1126.98	2.311971	48745.42			
235	04.04.2003 14:30:00	1118.38	2.111427	1014.19	1.9147572	1231.38	2.3248047	831.5	1.5688445	928.78	1.755356	1597.28	3.015812	#VALUE!	934.07	1.763493	52867.03			
238	04.04.2003 14:45:00	708.94	1.848141	844.08	1.4946238	763.43	1.7715891	608.8	1.1737419	547.99	1.271647	1228.95	2.854178	#VALUE!	533.58	1.238207	43082.95			
241	04.04.2003 15:00:00	1087.84	1.348864	1005.8	1.2453821	1181.78	1.4385187	781.75	0.9678833	801.89	1.18721	1534.49	1.800008	#VALUE!	924.3	1.144499	80762.38			
244	04.04.2003 15:15:00	722.3	1.743886	687.05	1.5863338	798.53	1.8279125	528.91	1.278378	598.34	1.43878	1233.97	2.978207	#VALUE!	637.08	1.538071	41418.41			
247	04.04.2003 15:30:00	877.27	1.078917	623.09	1.4902073	787.08	1.8222825	508.24	1.2073708	588.38	1.321732	1118.79	2.853037	#VALUE!	588.8	1.422029	42084.78			
250	04.04.2003 15:45:00	859.28	1.474093	783.27	1.3508529	841.88	1.4442432	558	0.9572477	630.25	1.081192	1127.53	1.834275	#VALUE!	658.73	1.13005	58292.12			
253	04.04.2003 16:00:00	895.53	1.481211	834.86	1.362273	972.83	1.5874039	656.9	1.0718888	726.28	1.185009	1340.75	2.187753	#VALUE!	748.39	1.222806	61284.34			
256	04.04.2003 16:15:00	838.36	1.534119	777.83	1.4283408	870.27	1.5852625	580.59	1.084827	634.28	1.163408	1187.84	2.178387	#VALUE!	657.81	1.208685	64818.23			
259	04.04.2003 16:30:00	887.19	1.58975	845.8	1.472806	738.82	1.6884303	493.59	1.1287805	538.58	1.228022	1210.13	2.782642	#VALUE!	683.19	1.285877	43804.86			
262	04.04.2003 16:45:00	998.87	1.802814	585.88	1.5148718	806.23	1.823054	403.85	1.0812239	437.18	1.170458	1218.51	3.258951	#VALUE!	487.85	1.252838	37361.19			
265	04.04.2003 17:00:00	528.94	1.881036	494.51	1.5775781	670.51	1.8200321	378.98	1.2028367	407.83	1.300415	688.35	2.198154	#VALUE!	408.73	1.309924	31348.15			
268	04.04.2003 17:15:00	448.48	8.20023	427.73	8.7550378	488.73	8.5533136	307.08	8.2855002	323.02	8.61177	713.88	14.61172	#VALUE!	338.44	8.947864	4885.53			
271	04.04.2003 17:30:00	347.22	7.394724	327.38	6.9721828	387.36	8.2495431	254.88	5.4281844	258.22	5.528083	805.86	17.18238	#VALUE!	282.82	5.887282	4685.51			
274	04.04.2003 17:45:00	261.83	18.46701	243.06	18.803546	282.97	18.503237	183.46	11.988338	180.16	10.47277	570.15	37.28178	#VALUE!	177.88	11.81708	1528.3			
278	04.04.2003 17:58:00	173.23	111.2731	169.41	108.81937	198.58	126.27184	128.98	81.584748	124.81	80.2361	338.13	217.1955	#VALUE!	120.88	77.84846	158.88			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 6 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคาหินเสี้ยน -Saw tooth 1.1.3

บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

ชั่วโมง	หมายเลขบันทึกข้อมูล	opus 200 #304				opus 200 # 1091				opus 200 # 1117				opus 200 # 1120				opus#1136
		1		2		3		4		5		6		7		8		9
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)
15	06.04.2003 08:00:00	568.53	1.028069	573.49	1.047126	554.33	1.012142	370.27	0.676707	447.59	0.817247	406.89	0.742915	#VALUE!	405.28	0.739994	54788.01	
18	06.04.2003 08:15:00	605.77	0.981408	600.9	0.907871	665.36	0.980964	585.16	0.663318	726.95	0.824044	657.89	0.74578	#VALUE!	670.45	0.759098	88217.34	
21	06.04.2003 08:30:00	600.87	0.678557	863.1	0.841723	877.29	0.855581	693.71	0.579005	744.75	0.726304	698.36	0.649856	#VALUE!	678.16	0.659413	102538.88	
24	06.04.2003 08:45:00	639.12	1.025246	608.68	0.973207	636.14	1.020488	428.74	0.884556	526.16	0.843421	472.1	0.75732	0.00	4.81248E-06	478.45	0.787507	82338.22
27	06.04.2003 09:00:00	1082.89	0.898992	990.54	0.823503	1065.78	0.899395	732.3	0.605983	918.68	0.780679	833.52	0.650438	#VALUE!	880.38	0.712687	120723.44	
30	06.04.2003 09:15:00	1249.24	0.881744	1132.86	0.781484	1214.29	0.837635	828.14	0.571263	1075.15	0.741855	947.87	0.653555	#VALUE!	991.15	0.68371	144986.42	
33	06.04.2003 09:30:00	1296.55	0.815321	1211.08	0.781574	1251.22	0.786818	946.51	0.534206	1094.63	0.688346	984.88	0.618318	#VALUE!	1008.27	0.63404	158022.22	
36	06.04.2003 09:45:00	1303.42	0.798072	1180.89	0.729152	1222.22	0.748364	827.84	0.508679	1085.56	0.664678	968.2	0.59282	#VALUE!	1010.87	0.618846	183321.12	
39	06.04.2003 10:00:00	1325.17	0.785981	1188.44	0.691589	1253.66	0.743203	656.01	0.509834	1113.43	0.680151	828.56	0.491845	#VALUE!	1043.3	0.618571	188663	
42	06.04.2003 10:15:00	1477.03	0.831329	1395.51	0.785184	1416.38	0.797182	895.35	0.594590	1287.36	0.724575	1155.98	0.650487	#VALUE!	1180.3	0.664316	177870.94	
45	06.04.2003 10:30:00	1486.57	0.757906	1362.56	0.684682	1380.66	0.704058	946.97	0.622289	1250.76	0.637882	1117.28	0.588829	#VALUE!	1190.42	0.609919	198141.54	
48	06.04.2003 10:45:00	1807.17	0.856007	1368.87	0.76007	1421.55	0.810209	878.55	0.558282	1282.74	0.738794	1154.84	0.658198	#VALUE!	1229.59	0.700801	175454.82	
51	06.04.2003 11:00:00	1638.08	0.786727	1386.27	0.710611	1443.83	0.738518	922.37	0.507597	1323.83	0.677036	1178.3	0.601877	#VALUE!	1260.73	0.644863	195503.86	
54	06.04.2003 11:15:00	1332.04	0.889332	1232.07	0.828784	1280.88	0.848029	868	0.562538	1155.07	0.776869	1021.57	0.687189	#VALUE!	1104.79	0.73166	148856.95	
57	06.04.2003 11:30:00	1652.17	1.037834	1478.56	0.8286	1548.17	0.971385	1058.81	0.684863	1438.13	0.903208	1260.44	0.791811	#VALUE!	1364.14	0.850458	159224.88	
60	06.04.2003 11:45:00	1527.01	#VALUE!	1388.22	#VALUE!	1407.51	#VALUE!	863.37	#VALUE!	1294.41	#VALUE!	1158.38	#VALUE!	#VALUE!	1228.33	#VALUE!	-	
63	06.04.2003 12:00:00	1463.82	#VALUE!	1333.94	#VALUE!	1358.84	#VALUE!	927.96	#VALUE!	1251.43	#VALUE!	1124.08	#VALUE!	#VALUE!	1198.72	#VALUE!	-	
66	06.04.2003 12:15:00	1477.03	#VALUE!	1323.84	#VALUE!	1351.95	#VALUE!	923.99	#VALUE!	1248.75	#VALUE!	1121.62	#VALUE!	#VALUE!	1203.85	#VALUE!	-	
69	06.04.2003 12:30:00	1493.82	#VALUE!	1336.81	#VALUE!	1370.57	#VALUE!	937.12	#VALUE!	1268.57	#VALUE!	1135.84	#VALUE!	#VALUE!	1232.19	#VALUE!	-	
72	06.04.2003 12:45:00	1485.04	#VALUE!	1330.13	#VALUE!	1363.25	#VALUE!	934.98	#VALUE!	1263.88	#VALUE!	1134.23	#VALUE!	#VALUE!	1235.04	#VALUE!	-	
75	06.04.2003 13:00:00	1469.02	#VALUE!	1318.83	#VALUE!	1343.1	#VALUE!	927.66	#VALUE!	1253.45	#VALUE!	1124.91	#VALUE!	#VALUE!	1224.92	#VALUE!	-	
78	06.04.2003 13:15:00	1447.27	#VALUE!	1307.62	#VALUE!	1322.95	#VALUE!	916.36	#VALUE!	1238.34	#VALUE!	1112.2	#VALUE!	#VALUE!	1208.36	#VALUE!	-	
81	06.04.2003 13:30:00	1448.89	#VALUE!	1307.23	#VALUE!	1322.95	#VALUE!	918.41	#VALUE!	1234.85	#VALUE!	1108.53	#VALUE!	#VALUE!	1211.17	#VALUE!	-	
84	06.04.2003 13:45:00	1445.74	#VALUE!	1313.34	#VALUE!	1324.48	#VALUE!	924.91	#VALUE!	1234.98	#VALUE!	1108.68	#VALUE!	#VALUE!	1208.32	#VALUE!	-	
87	06.04.2003 14:00:00	1423.81	#VALUE!	1288.08	#VALUE!	1306	#VALUE!	911.78	#VALUE!	1217.19	#VALUE!	1093	#VALUE!	#VALUE!	1198.2	#VALUE!	-	
90	06.04.2003 14:15:00	1360.85	0.729182	1232.45	0.680479	1263.43	0.677081	890.34	0.47178	1167.83	0.625848	1047.54	0.581384	#VALUE!	1148.84	0.618281	185598.51	
93	06.04.2003 14:30:00	1368.87	0.734273	1248.08	0.689583	1273.2	0.683054	887.97	0.476394	1173.2	0.629408	1055.17	0.588084	#VALUE!	1158.68	0.620543	196398.05	
96	06.04.2003 14:45:00	1322.5	0.758599	1205.74	0.6888	1232.91	0.705344	858.58	0.481783	1128.54	0.645636	1014.79	0.580558	#VALUE!	1112.58	0.636504	174785.48	
99	06.04.2003 15:00:00	1287.93	0.773887	1181.86	0.708945	1180.71	0.720447	824.18	0.502889	1074.48	0.655827	968.79	0.589617	#VALUE!	1058.27	0.644516	183885.84	
102	06.04.2003 15:15:00	1185.52	0.786138	1084.32	0.70997	1103.79	0.718114	772.56	0.501239	997.59	0.647214	898.02	0.583284	#VALUE!	978.1	0.633271	154138.14	
105	06.04.2003 15:30:00	1125.23	0.774883	1044.34	0.71919	1048.15	0.722472	734.13	0.505541	938.16	0.646041	847.07	0.583314	#VALUE!	915.84	0.630533	145216.73	
108	06.04.2003 15:45:00	1048.83	0.795298	970.7	0.7375	974.05	0.740145	703.3	0.534412	864.98	0.657252	781	0.593454	#VALUE!	833.91	0.633658	131802.58	
111	06.04.2003 16:00:00	912.7	0.623852	849.36	0.786678	898.35	0.810899	830.04	0.588708	753.82	0.680438	681.33	0.615005	#VALUE!	720.27	0.650154	110784.48	
114	06.04.2003 16:15:00	831.81	0.82561	821.5	0.815377	815.63	0.809551	575.06	0.578804	673.23	0.688212	648.98	0.645136	#VALUE!	640.81	0.635635	100750.82	
117	06.04.2003 16:30:00	781.44	0.874877	770.78	0.862131	746.84	0.835152	587.93	0.587953	624.21	0.698208	585.04	0.654395	#VALUE!	588.5	0.658383	88401.71	
120	06.04.2003 16:45:00	718.93	0.948182	694.44	0.913062	671.55	0.882986	470.7	0.618886	568.13	0.748987	518.15	0.678843	#VALUE!	498.98	0.657383	78085.17	
123	06.04.2003 17:00:00	648.88	1.011524	643.32	1.003197	607.45	0.947281	423.99	0.681173	499.87	0.779868	453.18	0.706892	#VALUE!	457.17	0.712914	64128.98	
126	06.04.2003 17:15:00	569.96	1.068485	571.56	1.083634	528.08	1.001441	368.44	0.688703	424.08	0.804218	388.56	0.733048	#VALUE!	392.31	0.74387	52731.99	
129	06.04.2003 17:30:00	430.02	1.147883	440.71	1.176088	406.73	1.090748	283.27	0.675594	321.34	0.867536	285.34	0.788151	#VALUE!	305.13	0.814278	37472.53	
132	06.04.2003 17:45:00	291.13	1.21775	298.38	1.248878	287.24	1.201478	186.41	0.829817	225.84	0.943818	210.36	0.879802	#VALUE!	208.79	0.88497	23907.2	
135	06.04.2003 18:00:00	186.8	1.220223	180.48	1.288885	170.84	1.230228	115.38	0.830371	128.59	0.911048	123.85	0.882048	#VALUE!	115.48	0.830847	13864.99	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 7 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคาพื้นที่โดย Saw tooth 1.2.1 บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

ชั่วโมง	วันและเวลาที่ทำการทดลอง	opus 200 #364		opus 200 # 1091		opus 200 # 1117		opus 200 # 1130		opus#1135								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9								
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)						
1633	21.04.2003 08:00:00	344.17	0.74737	348.76	0.7573155	365.23	0.7931021	308.88	0.6707372	312.09	0.6790107	399.19	0.8451315	336.73	0.7312139	372.41	0.8086635	46050.82
1636	21.04.2003 08:15:00	385.95	0.7008714	394.64	0.7164709	413.46	0.7508286	342.84	0.622222	350.06	0.6357329	440.71	0.8003137	381.76	0.6932444	426.4	0.7743272	56067.16
1639	21.04.2003 08:30:00	413.23	0.6805832	423.92	0.6778721	441.24	0.7053596	359.81	0.5751668	397.83	0.5880074	496.27	0.7453721	405.96	0.6489935	457.11	0.7307291	62555.33
1642	21.04.2003 08:45:00	461.39	0.6274479	463.6	0.6444613	481.38	0.6681777	388.58	0.5415843	398.89	0.5558185	508.14	0.7035872	442.23	0.6147544	500.42	0.6856458	71936.05
1645	21.04.2003 09:00:00	480.01	0.6144278	476.67	0.6127126	517.55	0.6824802	420.67	0.5384708	434.22	0.5558162	548.02	0.6989227	479.24	0.6134422	541.63	0.6933033	78123.09
1648	21.04.2003 09:15:00	507.87	0.6090648	526.16	0.6312715	569.14	0.6829117	466.85	0.5598618	488.21	0.5857179	607.84	0.7290011	541.06	0.6481234	506.89	0.7280883	83382.41
1651	21.04.2003 09:30:00	573.87	1.0913589	602.40	1.1142908	459.86	0.8505	397.02	0.7342788	422.01	0.7804973	508.43	0.8403291	459.21	0.8492979	504.24	0.9325798	54089.37
1654	21.04.2003 09:45:00	508.43	0.6357316	528.99	0.6626886	420.48	0.6257605	351.99	0.4401218	367.83	0.4509279	456.4	0.5684238	408.30	0.5081051	453.87	0.5675107	79675.58
1657	21.04.2003 10:00:00	584.65	0.5998163	613.74	0.5949107	673.00	0.6624302	554.6	0.5375851	597.34	0.5790138	748.72	0.7238109	678.56	0.6548341	755.88	0.7328889	103165.06
1660	21.04.2003 10:15:00	614.13	0.6402587	637.97	0.5612311	676.28	0.694933	550.4	0.4941946	589.83	0.6278029	754.92	0.6841137	688.15	0.6053752	774.67	0.6814001	113673.51
1663	21.04.2003 10:30:00	622.9	0.5283061	650.37	0.5495163	684.83	0.6786326	567.57	0.4796562	624.43	0.5278988	782.87	0.6915539	720.86	0.6091569	806.62	0.6615365	118353.17
1666	21.04.2003 10:45:00	628.39	0.5172485	658.01	0.5407891	688.34	0.6659861	572.34	0.4703633	630.63	0.5181853	788.88	0.6483213	727.84	0.5979626	818.36	0.6709899	121690.4
1669	21.04.2003 11:00:00	630.53	0.5069308	661.82	0.5320872	693.22	0.657332	578.92	0.4836297	644.08	0.5178247	803.57	0.6496067	744.62	0.5988564	833.91	0.6704434	124361.87
1672	21.04.2003 11:15:00	628.96	#VALUE!	661.83	#VALUE!	690.93	#VALUE!	575.21	#VALUE!	661.06	#VALUE!	813.3	#VALUE!	761.41	#VALUE!	849.83	#VALUE!	-
1675	21.04.2003 11:30:00	643.12	#VALUE!	678.89	#VALUE!	707.57	#VALUE!	588.56	#VALUE!	691.01	#VALUE!	836.1	#VALUE!	791.83	#VALUE!	878.89	#VALUE!	-
1678	21.04.2003 11:45:00	648.42	#VALUE!	688.72	#VALUE!	728.02	#VALUE!	605.16	#VALUE!	703.41	#VALUE!	873.02	#VALUE!	820.55	#VALUE!	910.03	#VALUE!	-
1681	21.04.2003 12:00:00	666.46	#VALUE!	691.58	#VALUE!	727.72	#VALUE!	608.49	#VALUE!	715.24	#VALUE!	883.51	#VALUE!	840.96	#VALUE!	928.53	#VALUE!	-
1684	21.04.2003 12:15:00	645.8	#VALUE!	679.37	#VALUE!	713.22	#VALUE!	597.15	#VALUE!	710.09	#VALUE!	880.27	#VALUE!	845.54	#VALUE!	931.78	#VALUE!	-
1687	21.04.2003 12:30:00	618.68	0.732506	656.94	0.7833184	693.36	0.8389012	505.95	0.7128807	601.92	0.6481019	743.86	1.0430944	712.38	1.0037395	778.1	1.0935206	70972.6
1690	21.04.2003 12:45:00	628.01	0.5108093	668.4	0.5411732	708.35	0.5730618	697.72	0.4663962	717.15	0.5823865	882.55	0.7167053	838.25	0.681642	928.72	0.7541992	123139.88
1693	21.04.2003 13:00:00	608.55	0.5183855	647.88	0.5509914	689.26	0.5881741	587.8	0.4968885	703.6	0.5683694	888.63	0.7387175	820.74	0.6978999	909.84	0.7737641	117588.23
1696	21.04.2003 13:15:00	595.43	0.5245917	638.12	0.5630369	688.95	0.6069856	582.38	0.5219048	699.98	0.6167034	869.58	0.7661261	820.17	0.7225944	907.36	0.7964114	113603.61
1699	21.04.2003 13:30:00	598.86	0.5335052	631.3	0.5624049	688.04	0.5951354	575.97	0.5131132	683.76	0.6091399	850.89	0.7578525	801.09	0.7136654	890.57	0.7933903	112250.6
1702	21.04.2003 13:45:00	614.89	0.4949844	643.99	0.5200303	678.18	0.5467487	586.46	0.4721079	698.07	0.5618654	869.39	0.6998702	801.47	0.6481837	902.59	0.7265966	124221.61
1705	21.04.2003 14:00:00	600.2	0.4980856	628.77	0.5226248	683.48	0.550583	573.88	0.4760776	676.7	0.5616704	843.83	0.7002659	787.51	0.6369305	878.45	0.7273361	120501.37
1708	21.04.2003 14:15:00	588.94	0.5118244	618.13	0.5369823	653.69	0.587874	567.77	0.4932336	663.16	0.5781008	824.75	0.7164774	740.6	0.6436483	862.41	0.7405062	115111.8
1711	21.04.2003 14:30:00	568.07	0.5288791	598.57	0.5517585	630.65	0.5832786	544.87	0.503942	630.53	0.5831676	786.78	0.7276809	698.92	0.6445707	802.43	0.7421553	108121.57
1714	21.04.2003 14:45:00	553.46	0.5371068	581.69	0.5645017	611.57	0.5934987	526.56	0.5110007	602.87	0.5850558	754.92	0.7326129	663.73	0.6441175	785.99	0.7433558	103044.87
1717	21.04.2003 15:00:00	533.81	0.5623677	563	0.5825725	598.13	0.6096109	506.33	0.5239323	571.2	0.5910575	717.34	0.742278	630.15	0.6620569	727.28	0.7525429	96840.34
1720	21.04.2003 15:15:00	618.64	0.5807848	540.67	0.6055504	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	600.2	0.672224	694.25	0.77756	89285.71
1723	21.04.2003 15:30:00	497.75	0.6906001	517.21	0.6135862	541.82	0.642782	471.04	0.588813	524.84	0.622638	660.87	0.7840157	573.87	0.6880842	664.49	0.7883102	84282.96
1726	21.04.2003 15:45:00	481.72	0.6208467	498.7	0.6427306	517.65	0.6670249	454.25	0.585443	498.47	0.6437231	630.72	0.8128798	547.16	0.7081886	632.25	0.8148517	77590.81
1729	21.04.2003 16:00:00	458.02	0.6589901	471.04	0.6772826	485.04	0.6974229	440.32	0.6331216	468.75	0.6740001	593.52	0.8534027	518.45	0.7425863	591.23	0.85011	69547.47
1732	21.04.2003 16:15:00	428.45	0.6948048	442.04	0.714968	483.62	0.7497104	418.09	0.6729958	415.52	0.6720738	625.6	0.8501204	480.74	0.7452139	529.99	0.8672209	61826.54
1735	21.04.2003 16:30:00	405.6	0.7507302	413.8	0.7859077	438.49	0.8116087	394.73	0.7306108	408.56	0.7825071	508.43	0.9410595	445.86	0.8252479	497.94	0.9216495	54027.4
1738	21.04.2003 16:45:00	335.78	0.7485644	341.69	0.7817397	361.42	0.8057244	312.88	0.6975127	310.21	0.6915604	391.29	0.8723145	340.16	0.7583288	393.01	0.8781488	44858.53
1741	21.04.2003 17:00:00	291.32	0.6716862	293.8	0.6790686	307.08	0.618821	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	290.56	0.6889812	337.68	1.01038	33421.09		
1744	21.04.2003 17:15:00	243.44	0.8886517	244.39	0.8921196	259.31	0.9485834	223.02	0.6141107	216.54	0.7904561	272.83	0.9952067	236	0.8814826	278.06	1.0077275	27394.31
1747	21.04.2003 17:30:00	185.25	0.9383519	187.18	0.9480267	195.82	0.9918924	168.08	0.8513803	164.34	0.7817827	194.79	0.8866751	186.55	0.8436303	196.31	0.9643744	19742.06
1750	21.04.2003 17:45:00	131.46	0.982783	134.69	1.0069781	140.25	1.0488188	119.24	0.891468	119.81	0.8957295	153.01	1.143941	126.97	0.9642119	152.82	1.1425205	13375.89
1753	21.04.2003 18:00:00	72.6	0.9613357	76.5	1.014376	71.12	0.9430372	68.71	0.7917429	62.39	0.8272791	86.09	1.1282767	68.49	0.9081636	86.96	1.1358346	7541.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 8 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใต้หลังคาที่เลือกใช้ Saw tooth 1.2.2 บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

วันที่	เวลาการบันทึก	opus 200 #364		opus 200 # 1091		opus 200 # 1117		opus 200 # 1130		opus#1135								
		1		2		3		4		5		6		7		8		9
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)
808	20.04.2003 08:00:00	372.41	0.79159	386.14	0.820775	400.79	0.851915	313.84	0.867085	288.55	0.809087	331.58	0.704803	281.21	0.697737	316.93	0.671537	47045.79
811	20.04.2003 08:15:00	413.61	0.784486	421.44	0.778638	434.52	0.803114	342.45	0.832843	320.13	0.591889	361.72	0.689559	305.82	0.583241	336.02	0.628603	54104.4
814	20.04.2003 08:30:00	486.46	0.72178	480.01	0.742746	497.56	0.769902	363.58	0.609008	371.45	0.574786	417.08	0.845325	358.95	0.652329	380.91	0.804877	64826.37
817	20.04.2003 08:45:00	382.52	0.78112	398.31	0.815408	433.81	0.88606	336.87	0.694231	306.82	0.624496	366.87	0.749182	305.44	0.62372	348.65	0.707872	48670.7
820	20.04.2003 09:00:00	553.48	0.644822	582.84	0.679051	604.7	0.70452	478	0.554575	451.58	0.526124	507.87	0.591473	439.94	0.512562	490.2	0.559488	85831.5
823	20.04.2003 09:15:00	500.61	0.612678	521.41	0.638132	538.31	0.658815	456.4	0.562241	398.16	0.487292	443.95	0.543332	363.09	0.468948	416.96	0.512748	81708.79
826	20.04.2003 09:30:00	637.43	0.603806	658.56	0.623968	677.99	0.64919	464.93	0.522178	433.46	0.486833	486.49	0.546303	422.01	0.473973	472.57	0.530759	86036.63
829	20.04.2003 09:45:00	352.37	1.089828	368.97	1.141274	270.76	0.837497	208.33	0.644393	186.39	0.576529	220.73	0.682747	185.08	0.572415	213.68	0.660941	32328.87
832	20.04.2003 10:00:00	648.61	0.679464	687.77	0.719378	659.04	0.689327	521.99	0.545988	529.8	0.554148	558.99	0.584679	478.1	0.500072	530.75	0.555142	95806.23
835	20.04.2003 10:15:00	655.53	0.612885	687.39	0.642652	702.23	0.658528	559.37	0.522964	536.87	0.501741	604.68	0.586144	518.84	0.483015	558.61	0.522253	109661.54
838	20.04.2003 10:30:00	629.58	0.563550	681.44	0.592111	683.46	0.611823	537.24	0.460929	523.7	0.498808	574.44	0.51423	497.75	0.443578	534.95	0.478879	111708.79
842	20.04.2003 10:45:00	633.97	0.545484	676.75	0.581432	698.57	0.601087	546.21	0.469973	524.46	0.461259	584.36	0.502798	501.95	0.43189	548.45	0.472781	116221.61
845	20.04.2003 11:00:00	845.03	0.547145	674.22	0.571905	700.85	0.584494	583	0.477563	642.58	0.480242	604.09	0.503935	518.73	0.440011	582.04	0.478749	117990.11
848	20.04.2003 11:15:00	638.12	0.536496	673.46	0.565234	697.95	0.585881	552.91	0.463627	528.61	0.444571	585.7	0.491655	505	0.423913	654.22	0.48523	119128.21
851	20.04.2003 11:30:00	611.45	0.68185	648.86	0.723132	678.64	0.757669	534.38	0.595732	507.29	0.565531	570.05	0.635497	498.35	0.545532	541.82	0.604026	89701.47
854	20.04.2003 11:45:00	543.15	0.717907	586.8	0.779264	616.3	0.814139	475.82	0.628298	449.29	0.593517	518.35	0.684746	444.9	0.587718	495.84	0.635501	75896.63
857	20.04.2003 12:00:00	622.71	0.659356	688.69	0.698377	688.58	0.720174	536.29	0.560099	506.38	0.627817	572.15	0.597551	493.74	0.61566	548.02	0.570261	85749.08
860	20.04.2003 12:15:00	672.31	#VALUE!	716.96	#VALUE!	748.63	#VALUE!	582.07	#VALUE!	657.65	#VALUE!	628.14	#VALUE!	535.52	#VALUE!	592.57	#VALUE!	-
863	20.04.2003 12:30:00	625	#VALUE!	656.48	#VALUE!	678.33	#VALUE!	534.39	#VALUE!	516.11	#VALUE!	583.95	#VALUE!	487.07	#VALUE!	638.29	#VALUE!	-
866	20.04.2003 12:45:00	603.63	#VALUE!	638.55	#VALUE!	664.38	#VALUE!	623.6	#VALUE!	606.96	#VALUE!	554.41	#VALUE!	481.34	#VALUE!	528.46	#VALUE!	-
869	20.04.2003 13:00:00	610.88	#VALUE!	638.74	#VALUE!	663.92	#VALUE!	625.41	#VALUE!	606.95	#VALUE!	552.5	#VALUE!	473.71	#VALUE!	511.98	#VALUE!	-
872	20.04.2003 13:15:00	602.88	#VALUE!	630.63	#VALUE!	649.88	#VALUE!	614.18	#VALUE!	498.7	#VALUE!	641.08	#VALUE!	465.32	#VALUE!	499.66	#VALUE!	-
875	20.04.2003 13:30:00	600.96	0.503497	627.86	0.528035	648.42	0.544098	514.54	0.431093	500.42	0.419263	544.58	0.456345	467.41	0.391606	503.09	0.4215	119357.14
878	20.04.2003 13:45:00	585.32	0.514389	611.65	0.537528	633.39	0.558634	502.71	0.44179	488.02	0.42888	533.23	0.468611	458.64	0.40306	494.51	0.434584	113789.38
881	20.04.2003 14:00:00	588.18	0.523398	612.22	0.54479	634.31	0.564447	504.82	0.449041	490.89	0.436845	536.86	0.47773	460.74	0.409994	497.37	0.442589	112377.29
872	20.04.2003 13:15:00	602.88	#VALUE!	630.63	#VALUE!	648.88	#VALUE!	614.18	#VALUE!	498.7	#VALUE!	641.08	#VALUE!	465.32	#VALUE!	499.66	#VALUE!	-
875	20.04.2003 13:30:00	600.96	0.503497	627.86	0.528035	648.42	0.544098	514.54	0.431093	500.42	0.419263	544.58	0.456345	467.41	0.391606	503.09	0.4215	119357.14
878	20.04.2003 13:45:00	585.32	0.514389	611.65	0.537528	633.39	0.558634	502.71	0.44179	488.02	0.42888	533.23	0.468611	458.64	0.40306	494.51	0.434584	113789.38
881	20.04.2003 14:00:00	588.18	0.523398	612.22	0.54479	634.31	0.564447	504.82	0.449041	490.89	0.436845	536.86	0.47773	460.74	0.409994	497.37	0.442589	112377.29
884	20.04.2003 14:15:00	571.01	0.541874	596.38	0.565741	621.34	0.589419	494.51	0.469104	478.95	0.452447	528.94	0.498988	451.39	0.4282	489.35	0.46421	105416.75
887	20.04.2003 14:30:00	546.59	0.557328	571.2	0.582422	595.06	0.608781	473.71	0.483016	456.4	0.464347	505.57	0.515502	435.17	0.443719	472.18	0.481456	98073.26
890	20.04.2003 14:45:00	524.84	0.566382	544.87	0.587966	567.82	0.612839	468.56	0.50562	435.36	0.469794	482.9	0.520447	414.19	0.44895	450.43	0.486056	92670.33
893	20.04.2003 15:00:00	513.97	0.577008	532.85	0.594203	552.81	0.620611	438.94	0.493898	425.44	0.47782	471.23	0.529026	404.65	0.45428	440.13	0.494111	89075.09
896	20.04.2003 15:15:00	497.37	0.578202	512.82	0.596163	528.39	0.614263	421.05	0.489478	408.84	0.475284	450.63	0.523886	388.43	0.451557	423.15	0.49192	86020.15
899	20.04.2003 15:30:00	473.8	0.587819	486.87	0.603599	512.67	0.635585	408.46	0.50839	383.09	0.474837	421.44	0.522482	362.1	0.448915	387.21	0.482443	80861.17
902	20.04.2003 15:45:00	448.1	0.606442	466.12	0.621376	485.2	0.655189	396.71	0.522193	364.77	0.492567	403.31	0.544609	353.62	0.473735	386.71	0.522193	74054.95
905	20.04.2003 16:00:00	423.34	0.631644	431.93	0.64446	458.4	0.685447	367.25	0.547955	339.4	0.506401	387.48	0.578139	329.29	0.491316	358.1	0.534302	67021.98
908	20.04.2003 16:15:00	358.29	0.682671	368.11	0.697571	410.1	0.781388	326.82	0.622329	308.84	0.589976	343.22	0.653858	291.32	0.555069	316.32	0.602703	52483.52
911	20.04.2003 16:30:00	300.86	0.730087	307.35	0.745836	317.77	0.771122	251.07	0.809263	231.42	0.661579	263.28	0.638893	219.21	0.53195	241.53	0.588113	41208.79
914	20.04.2003 16:45:00	292.28	0.790484	293.99	0.795119	303.27	0.820217	238.67	0.845501	218.83	0.691843	248.97	0.673359	207	0.559847	228.13	0.6197	36974.38
917	20.04.2003 17:00:00	234.28	0.818982	253.93	0.819835	263.13	0.819835	207	0.728119	188.25	0.647586	213.68	0.74897	172.66	0.603575	196.74	0.684257	28608.23
920	20.04.2003 17:15:00	200.81	0.970664	200.89	0.972393	208.79	1.010632	165.03	0.788815	144.8	0.700994	170.94	0.827422	136.41	0.680282	157.78	0.763722	20688.34
923	20.04.2003 17:30:00	171.32	1.036577	170.75	1.053128	177.05	1.071247	139.84	0.848107	118.43	0.722615	144.04	0.871519	114.09	0.690305	134.12	0.811497	16527.47
926	20.04.2003 17:45:00	118.09	1.075336	118.82	1.088289	124.85	1.138893	97.87	0.891212	78.86	0.724479	101.11	0.920715	80.51	0.73313	98.44	0.896402	10981.68
929	20.04.2003 18:00:00	84.1	0.916674	68.96	0.957574	69.29	0.990895	53.23	0.761226	37.2	0.531806	53.96	0.772094	38.3	0.562017	51.32	0.733911	6992.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๘ - ก 9 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใต้หลังคาฟันเลื่อย Saw tooth 1.2.3

บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

#ผู้รู้	#มุมเงยหลังคาฟันเลื่อย	opus 200 #584		opus 200 # 1081		opus 200 # 1117		opus 200 # 1130		opus#1135									
		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)
14	22.04.2003 08:00:00	278.69	0.8710257	272.25	0.8478558	270.6	0.8427171	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	213.67	0.6660455	240	0.747421	32110.42				
17	22.04.2003 08:15:00	368.58	0.7821571	378.6	0.765764	368.05	0.7504122	278.54	0.5863726	278.54	0.5863726	327.19	0.6652956	302.86	0.6160273	334.44	0.680038	49178.84	
20	22.04.2003 08:30:00	437.27	0.7528807	428.21	0.7338370	418.21	0.7166201	313.26	0.5939633	320.32	0.551519	372.21	0.640862	328.72	0.565982	363.86	0.660578	56078.59	
23	22.04.2003 08:45:00	485.92	0.7257853	475.62	0.7104009	448.89	0.6674889	335.97	0.5018153	361.91	0.5405601	418.29	0.6218737	359.81	0.6374235	430.78	0.643426	66950.93	
26	22.04.2003 09:00:00	515.11	0.7050346	507.29	0.6943313	486.42	0.6657864	384.77	0.4928332	389.58	0.5332208	445.67	0.6099916	381.18	0.6217237	481.5	0.631658	73061.66	
29	22.04.2003 09:15:00	567.57	0.6907783	561.47	0.6833541	529	0.6436355	398.63	0.482974	436.13	0.5308063	497.18	0.605108	426.5	0.521519	517.02	0.628255	82163.84	
32	22.04.2003 09:30:00	600.77	0.6801153	595.81	0.6844177	448.72	0.5154527	339.02	0.3894384	468.75	0.5384615	534.19	0.6136337	480.93	0.5264786	565.58	0.638182	97653.57	
35	22.04.2003 09:45:00	474.28	0.7572781	491.83	0.785296	639.04	1.0209481	482.1	0.7897822	373.93	0.5970487	448.72	0.7184648	384.23	0.6134946	453.68	0.724384	62828.73	
38	22.04.2003 10:00:00	621.6	0.8397379	554.03	0.8919478	681.93	1.0978575	530.37	0.853857	433.46	0.6678386	539.72	0.8689088	471.42	0.7589618	542.96	0.874126	82114.82	
41	22.04.2003 10:15:00	687.77	0.7181049	710.09	0.7393445	725.58	0.7554728	547.35	0.5809899	583	0.5861846	680.9	0.7089519	688.48	0.8104211	697.5	0.728236	96043.19	
44	22.04.2003 10:30:00	551.17	0.7698286	568.15	0.7936448	585.93	0.7804441	431.74	0.6030188	453.49	0.6333972	554.89	0.7751501	483.44	0.6752289	563.36	0.788862	71596.48	
47	22.04.2003 10:45:00	714.09	0.6962507	644.65	0.6285455	641.48	0.6254547	500.42	0.4878188	580.74	0.5862321	662.58	0.6460275	605.35	0.5802273	687.58	0.670403	102982.19	
50	22.04.2003 11:00:00	542.01	0.7763587	591.42	0.8471299	605.82	0.8674695	470.85	0.8744295	448.67	0.844092	547.54	0.7842777	490.12	0.7020312	551.36	0.789749	68814.59	
53	22.04.2003 11:15:00	684.78	0.7125337	670.02	0.7291402	678.11	0.7378441	517.78	0.6834971	588.09	0.6377936	631.87	0.687824	587.42	0.6382515	652.09	0.706628	81891.79	
56	22.04.2003 11:30:00	787.16	#VALUE!	780.68	#VALUE!	758.77	#VALUE!	567.98	#VALUE!	629.2	#VALUE!	707.8	#VALUE!	645.03	#VALUE!	743.28	#VALUE!	-	
59	22.04.2003 11:45:00	787.13	#VALUE!	757.02	#VALUE!	735.2	#VALUE!	549.83	#VALUE!	612.79	#VALUE!	684.14	#VALUE!	452.53	#VALUE!	720.58	#VALUE!	-	
62	22.04.2003 12:00:00	735.65	0.6045766	730.5	0.6003432	708.78	0.5825014	528.46	0.4343017	587.8	0.4830888	667.24	0.5401363	589.1	0.4877006	684.84	0.570873	121880.4	
65	22.04.2003 12:15:00	743.67	#VALUE!	729.65	#VALUE!	708.16	#VALUE!	527.13	#VALUE!	591.8	#VALUE!	657.62	#VALUE!	568.15	#VALUE!	688.83	#VALUE!	-	
68	22.04.2003 12:30:00	735.09	#VALUE!	718	#VALUE!	692.48	#VALUE!	516.3	#VALUE!	583.79	#VALUE!	642.93	#VALUE!	568.32	#VALUE!	685.1	#VALUE!	-	
71	22.04.2003 12:45:00	732.41	#VALUE!	712.76	#VALUE!	690.63	#VALUE!	513.58	#VALUE!	583.79	#VALUE!	642.74	#VALUE!	565.75	#VALUE!	686.82	#VALUE!	-	
74	22.04.2003 13:00:00	730.68	#VALUE!	707.23	#VALUE!	682.84	#VALUE!	508.96	#VALUE!	581.5	#VALUE!	637.78	#VALUE!	549.84	#VALUE!	679.95	#VALUE!	-	
77	22.04.2003 13:15:00	721.92	#VALUE!	697.12	#VALUE!	672.01	#VALUE!	506	#VALUE!	577.5	#VALUE!	631.88	#VALUE!	544.3	#VALUE!	675.18	#VALUE!	-	
80	22.04.2003 13:30:00	717.72	0.5781193	691.96	0.5554415	688.19	0.5363912	505	0.4053673	578.45	0.4843262	632.82	0.5078694	543.15	0.4359906	675.84	0.642582	124578.37	
83	22.04.2003 13:45:00	698.6	0.5843862	674.41	0.5633446	652.47	0.5450178	494.7	0.4132302	587.96	0.4744254	621.67	0.5192068	531.9	0.4443039	681.06	0.652193	119715.35	
86	22.04.2003 14:00:00	686.62	0.5913066	662.58	0.5709037	641.18	0.5521744	488.78	0.4208268	580.33	0.4825476	614.89	0.5286338	524.85	0.4518205	652.28	0.581734	116119.12	
89	22.04.2003 14:15:00	652.77	0.6011888	638.93	0.5796648	618.66	0.5620853	473.33	0.4293513	642.56	0.482187	594.67	0.6394172	508.52	0.4594575	630.15	0.571601	110243.06	
92	22.04.2003 14:30:00	650.56	0.6135808	627.86	0.5921711	608.97	0.5743548	466.84	0.4403038	532.09	0.5018449	683.6	0.5504260	497.37	0.4660984	617.18	0.582096	106028.79	
95	22.04.2003 14:45:00	620.23	0.6278299	601.53	0.6087069	584.25	0.5912207	447.78	0.4531022	508.33	0.512371	558.23	0.5849802	474.86	0.4803332	590.28	0.587323	98820.97	
98	22.04.2003 15:00:00	599.05	0.6350323	578.64	0.6133963	562.86	0.5968897	432.88	0.4588812	485.73	0.5148056	538.48	0.588704	453.11	0.4803283	562.04	0.588796	84333.79	
101	22.04.2003 15:15:00	547.54	0.6533535	529.04	0.6312783	518.48	0.618291	397.78	0.474652	441.47	0.5267852	491.64	0.6868507	413.23	0.4930877	514.16	0.613523	83804.56	
104	22.04.2003 15:30:00	427.35	0.7230698	417.81	0.7069282	415.45	0.7029382	321.88	0.6442439	340.54	0.5761886	390.53	0.6807709	326.62	0.6526361	403.31	0.682364	59102.18	
107	22.04.2003 15:45:00	385.38	0.7828577	382.71	0.7774338	389.65	0.7916317	304.3	0.6181524	308.49	0.626664	368.3	0.7440987	303.91	0.6173602	373.36	0.75844	49227.34	
110	22.04.2003 16:00:00	375.84	0.805892	368.87	0.7869582	371.49	0.7985648	291.32	0.6248607	295.9	0.6344813	347.22	0.7445238	268.27	0.6181207	354.26	0.759682	46836.52	
113	22.04.2003 16:15:00	402.83	0.7803428	388.77	0.7548562	390.57	0.7564066	306.39	0.5933766	311.93	0.6041057	363.06	0.7031277	298.76	0.6785996	370.88	0.718272	61635	
116	22.04.2003 16:30:00	348.13	0.7522505	361.53	0.7789681	345.54	0.7445154	270.72	0.583305	268.62	0.5787802	317.46	0.684013	258.48	0.5590437	321.47	0.682653	48411.4	
119	22.04.2003 16:45:00	258.89	0.7888313	277.56	0.8455953	290.54	0.8210734	211.77	0.6450943	202.04	0.6154547	247.09	0.7525848	200.89	0.6119516	245.54	0.747985	32827.78	
122	22.04.2003 17:00:00	274.82	0.6858009	272.44	0.6778103	281.59	0.6972918	221.89	0.7142822	210.43	0.6780121	258.61	0.8329274	209.29	0.674339	258.13	0.831703	31086.32	
125	22.04.2003 17:15:00	212.53	0.933465	211.2	0.9278234	218.78	0.9653061	173.42	0.7616877	160.64	0.705556	200.89	0.8823403	182.55	0.713945	198.41	0.871448	22767.86	
128	22.04.2003 17:30:00	148.71	0.9421851	148.76	0.9617521	156.14	1.0027242	120.36	0.7730751	107.79	0.6922228	140.22	0.9004867	111.23	0.7143142	134.88	0.886193	15571.58	
131	22.04.2003 17:45:00	120.96	0.962246	122.67	0.9758492	126.98	1.0101356	97.87	0.7785633	85.85	0.6829433	113.32	0.9014682	88.52	0.7041833	108.17	0.860501	12370.59	
134	22.04.2003 18:00:00	78.88	0.930012	78.41	0.9485203	81.04	0.9803352	60.67	0.7338208	48.84	0.5908141	70.59	0.8539223	62.27	0.6323065	65.82	0.79822	8266.56	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 10 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใต้หลังคาของอินเตอร์โคโนร์ Monitor 1.1.1
บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

No. / No. บันทึก	Time / เวลาบันทึก	opus 200 #364				opus 200 # 1091				opus 200 # 1117				opus 200 # 1120				#1135
		1		2		3		4		5		6		7		8		9
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)
14	05.04.2003 08:00:00	258.03	2.040382	261.75	2.085978	348.9	2.778114	308.3	2.45695	384.48	3.063898	344.51	2.74552	876.96	7.785892	359.38	2.863864	12548.08
17	05.04.2003 08:15:00	414.38	3.131609	397.97	3.007497	672.95	4.329837	510.99	3.861599	665.17	5.026752	560.56	4.387346	905.98	8.846576	565.11	4.2705893	13232.6
20	05.04.2003 08:30:00	532.28	1.863865	470.66	1.471975	767.4	2.398399	704.52	2.201877	901.89	2.818729	751.13	2.34755	843.71	2.636895	774.24	2.4197768	31996.34
23	05.04.2003 08:45:00	578.99	4.478041	608.33	3.910271	845.24	6.527585	778.3	6.018355	994.87	7.890836	821.84	6.345338	778.4	5.988237	867.84	6.7005861	12948.72
26	05.04.2003 08:00:00	428.11	3.493338	387.67	3.163352	626.37	5.111122	673.67	4.880278	725.81	6.820911	812.12	4.994843	753.36	6.147348	638.28	5.2083081	12255.04
29	05.04.2003 08:15:00	641.41	5.622277	526.61	4.807434	978.33	8.890604	917.58	8.329158	1178.91	10.70133	1581.17	14.35277	747.13	6.78193	1035.26	9.3973768	11016.48
32	05.04.2003 08:30:00	651.71	7.542844	528.94	6.098765	1015.87	11.7576	963.37	11.14997	1243.04	14.38685	2951.47	34.1601	781.62	8.048413	1062.86	12.846862	8640.11
35	05.04.2003 08:45:00	674.98	8.196588	533.42	6.477661	1073.26	13.03308	1028.25	12.46222	1324.3	18.09157	2491.35	28.52496	748.78	8.092775	1138.82	13.841351	8234.89
38	05.04.2003 10:00:00	688.87	20.08899	528.86	15.40009	1097.37	31.95638	1055.28	30.72884	1361.23	38.63897	2247.01	65.43285	694.26	20.21683	1198.2	34.891543	2434.07
41	05.04.2003 10:15:00	708.18	7.273291	632.28	5.486728	1150.79	11.81907	1108.68	11.30563	1432.75	14.71491	2078.79	21.36027	678.08	8.984152	1244.64	12.782948	9736.72
44	05.04.2003 10:30:00	736.03	10.34753	548.45	7.72448	1190.48	18.73844	1150.49	18.17424	1485.81	20.88836	1900.82	26.72281	573.44	8.061745	1316.77	18.811901	7113.1
47	05.04.2003 10:45:00	736.03	58.66744	544.48	43.40018	1231.68	88.17469	1194.14	95.18245	1644.67	123.1145	1721.18	137.1917	585.08	45.04137	1330.63	108.05382	1254.68
50	05.04.2003 11:00:00	757.4	45.82186	652.12	33.4025	1249.08	75.56753	1212.78	73.37032	1597.4	94.82556	1948.18	117.8227	691.15	41.81363	1353.67	83.728289	1852.83
53	05.04.2003 11:15:00	764.27	26.46458	544.41	21.37394	1240.23	47.81407	1203.3	46.39032	1651.28	68.80585	1604.1	84.15535	304.96	14.07015	1404.73	54.155988	2603.86
56	05.04.2003 11:30:00	768.18	220.173	654.41	159.3178	1253.39	380.1713	1215.2	348.2054	1564.04	448.4497	1891.78	543.6248	474.24	138.2798	1401.82	402.77584	347.89
59	05.04.2003 11:45:00	775.34	258.5242	658.61	188.2592	1250.31	416.8951	1210.01	403.4577	1855.31	518.5922	2260.78	753.8195	463	154.3796	1428.12	478.51629	296.91
62	05.04.2003 12:00:00	772.68	327.5821	658.61	238.8889	1285.71	645.2319	1228.24	621.2841	1906.01	680.637	1855.18	788.7181	623.76	284.5138	1417.7	601.20436	235.81
65	05.04.2003 12:15:00	781.44	344.7783	658.99	248.6314	1290.0	588.4242	1251.63	552.3188	1812.73	711.5508	1892.77	835.107	413.98	182.6517	1449.38	638.47055	226.65
68	05.04.2003 12:30:00	778.01	198.481	646.78	95.9179	1266.63	226.7948	1253.36	218.8864	1621.46	284.4417	2217.12	388.9343	61.87	84.53118	1456.88	255.57056	570.05
71	05.04.2003 12:45:00	776.48	18.95988	652.88	13.95136	1284.8	32.42082	1243.88	31.3853	1804.67	40.49221	1781.14	44.44058	349.27	8.813473	1442.09	38.389673	3862.91
74	05.04.2003 13:00:00	741.78	6.732498	630.37	4.098826	1223.75	8.457431	1182.84	8.141269	1527.44	11.80442	1896.46	14.65629	198.64	1.819581	1387.88	10.57138	12938.56
77	05.04.2003 13:15:00	758.93	11.85459	642.58	6.546667	1253.05	18.73792	1210.32	18.06484	1562.36	24.61014	1745.7	27.49809	-13.66	-0.21649	1398.69	22.000523	6348.44
80	05.04.2003 13:30:00	760.07	30.07236	646.78	21.83349	1248.17	48.38417	1208.43	47.89316	1560.01	61.7222	1740.32	68.85621	-84.81	-3.75118	1391.24	55.04478	2527.47
83	05.04.2003 13:45:00	760.07	212.8213	649.45	153.8472	1244.51	348.4656	1201.18	336.3275	1554.3	435.2075	1918.29	637.4055	31.07	6.89987	1375.85	385.28348	357.14
86	05.04.2003 14:00:00	743.28	46.64713	640.67	33.93183	1213.06	78.12981	1167.28	73.25673	1512.87	94.93268	1789.35	112.2669	-157.14	-8.86187	1333.12	83.664594	1593.41
89	05.04.2003 14:15:00	746.61	54.27822	548.4	40.04485	1206.35	88.41162	1157.51	84.83221	1502.26	110.0984	1758.6	128.9732	-145.79	-10.6847	1318.37	96.894687	1364.47
92	05.04.2003 14:30:00	725.35	13.0545	549.07	9.8819	1168.11	21.04108	1111.11	18.99723	1441.48	25.94307	1773.0	31.82561	-154.82	-2.78638	1290.21	22.680659	5556.32
95	05.04.2003 14:45:00	714.67	13.61385	548.31	10.44492	1141.94	21.75314	1078.87	20.56694	1401.19	26.69167	1830.50	31.23302	-87.31	-1.85369	1222.59	23.289489	5248.54
98	05.04.2003 15:00:00	681.47	83.14666	538	65.64178	1072.95	130.9114	1002.14	122.2718	1305.83	158.3253	1413.28	172.4353	-158.65	-18.478	1133.33	138.27843	818.6
101	05.04.2003 15:15:00	657.43	32.52157	626.56	26.04773	1023.81	80.64555	950.24	47.00621	1238.34	61.25787	1338.06	68.19079	-161.11	-7.96976	1073.60	53.11152	2021.52
104	05.04.2003 15:30:00	614.7	70.47291	601.37	57.48008	918.5	105.3024	844.93	96.89787	1102.01	126.3411	1428.06	163.8381	-189.72	-18.4577	952.75	109.22901	872.25
107	05.04.2003 15:45:00	656.82	82.87967	487.26	54.15625	859.28	95.50421	781.78	88.88718	1020.42	113.414	1220.54	135.8563	-184.98	-20.5595	878.59	87.780439	899.73
110	05.04.2003 16:00:00	545.25	22.44723	484.38	18.1171	774.73	31.89462	700.85	28.85308	919.02	37.83488	1065.42	43.86195	-177.9	-7.32391	788.17	32.365994	2428.03
113	05.04.2003 16:15:00	487.26	130.5732	428.59	114.3182	678.67	181.8394	603.17	161.6341	788.05	210.8413	914.99	245.1939	-150.67	-40.3757	724.68	194.19567	373.17
116	05.04.2003 16:30:00	412.85	4.915039	373.17	4.42843	588.06	6.977367	515.57	6.137935	665.84	7.928921	896.86	10.87725	74.18	0.883124	591.59	7.0428454	8398.73
119	05.04.2003 16:45:00	362.87	4.635908	333.87	4.265412	488.87	6.220089	423.38	5.408962	544.96	6.962227	755.49	8.651889	28.51	0.364234	493.5	6.3047916	7827.36
122	05.04.2003 17:00:00	328.24	48.8018	313.64	46.91698	422.47	63.19671	380.2	53.68182	457.66	68.48073	854.55	127.831	8.50	0.985789	418.55	62.75991	668.5
125	05.04.2003 17:15:00	248.87	33.38472	251.83	34.05547	331.2	44.78884	275.64	37.27535	343.83	46.49882	730.98	98.85188	-29.12	-3.93796	285.67	38.631723	739.47
128	05.04.2003 17:30:00	219.02	3.806818	230.85	4.012543	265.26	4.810043	235.96	4.013633	264.93	4.604908	778.67	13.56191	-96.21	-1.67228	240.62	4.1806228	5753.21
131	05.04.2003 17:45:00	146.14	1.437379	162.55	1.598781	190.78	1.878441	154.46	1.519211	180.98	1.780052	614.13	6.040354	280.2	2.56923	146.08	1.4367884	10167.12
134	05.04.2003 18:00:00	74.02	0.731181	90.43	0.893257	101.04	0.998081	81.81	0.806109	87.3	0.862338	551.68	6.449429	282.36	2.591857	65.64	0.648384	10123.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 11 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.1.2
บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546

ลำดับ	วันที่และเวลา	opus 200 #364		opus 200 # 1091		opus 200 # 1117		opus 200 # 1120		#1135								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9								
		Lumiance (lux)	Daylight Factor (%)	Lumiance (lux)	Daylight Factor (%)	Lumiance (lux)	Daylight Factor (%)	Lumiance (lux)	Daylight Factor (%)	Lumiance (lux)	Daylight Factor (%)							
18	07.04.2003 08:00:00	313.84	0.5494783	308.98	0.537834	397.74	0.6930084	328.31	0.5686821	432.48	0.7535393	-	#VALUE!	-	#VALUE!	346.12	0.6030684	57903.18
22	07.04.2003 08:15:00	419.72	0.5289098	383.47	0.483138	647.82	0.8990482	454.62	0.6726812	563.32	0.7478257	-	#VALUE!	-	#VALUE!	478.10	0.6024731	79371.18
26	07.04.2003 08:30:00	648.83	0.4981981	473.9	0.421833	718.47	0.6401194	598.21	0.533123	788.39	0.8096588	-	#VALUE!	-	#VALUE!	643.21	0.6722702	112396.21
28	07.04.2003 08:45:00	365.64	0.4912868	323.18	0.434364	491.58	0.6499747	397.74	0.5345628	628.61	0.7103175	-	#VALUE!	-	#VALUE!	428.66	0.5732987	74404.78
31	07.04.2003 09:00:00	695.24	0.4423087	468.27	0.346474	782.68	0.581578	665.14	0.4942497	996.18	0.96993	-	#VALUE!	-	#VALUE!	738.36	0.5471716	134657.7
34	07.04.2003 09:15:00	632.25	0.4360984	490.89	0.338921	847.99	0.5857085	717.64	0.4956754	848.9	0.8554072	-	#VALUE!	11.29	0.007798	796.03	0.6498196	144780.2
37	07.04.2003 09:30:00	666.97	0.4140284	504.81	0.313368	938.87	0.5834339	798.48	0.4933023	1054.33	0.8544881	-	#VALUE!	24.05	0.0148283	848.63	0.6255542	181092.4
40	07.04.2003 09:45:00	732.22	0.4198485	542.58	0.310982	1007.94	0.5776998	857.45	0.4914201	1128.52	0.8465058	-	#VALUE!	87.97	0.0504172	939.29	0.6383088	174484.13
43	07.04.2003 10:00:00	747.86	0.4136285	541.44	0.299677	1033.88	0.5722332	870.27	0.4918781	1158.78	0.8413619	-	#VALUE!	75.82	0.0419848	971.89	0.6378122	180674.6
48	07.04.2003 10:15:00	795.18	0.4120808	571.56	0.296208	1103.48	0.571849	928.49	0.4816833	1235.32	0.8401715	-	#VALUE!	135.78	0.0703644	1043.3	0.5406823	192967.03
49	07.04.2003 10:30:00	818.07	0.4131781	576.78	0.290908	1128.98	0.5691878	963.98	0.4888721	1261.17	0.8388722	-	#VALUE!	153.97	0.0778848	1087.93	0.5494748	187994.51
52	07.04.2003 10:45:00	840.58	#VALUE!	581.5	#VALUE!	1161.78	#VALUE!	984.51	#VALUE!	1298.43	#VALUE!	-	#VALUE!	140.06	#VALUE!	1121.82	#VALUE!	-
56	07.04.2003 11:00:00	857.78	#VALUE!	583.78	#VALUE!	1182	#VALUE!	1020.45	#VALUE!	1327.86	#VALUE!	-	#VALUE!	155.77	#VALUE!	1148.12	#VALUE!	-
58	07.04.2003 11:15:00	882.41	#VALUE!	575.4	#VALUE!	1188.26	#VALUE!	1017.7	#VALUE!	1318.93	#VALUE!	-	#VALUE!	154.12	#VALUE!	1140.34	#VALUE!	-
61	07.04.2003 11:30:00	877.98	#VALUE!	592.57	#VALUE!	1227.41	#VALUE!	1047.01	#VALUE!	1350.62	#VALUE!	-	#VALUE!	168.71	#VALUE!	1167.84	#VALUE!	-
64	07.04.2003 11:45:00	873.4	#VALUE!	596.38	#VALUE!	1217.84	#VALUE!	1038.18	#VALUE!	1338.74	#VALUE!	-	#VALUE!	147.82	#VALUE!	1158.24	#VALUE!	-
67	07.04.2003 12:00:00	897.05	#VALUE!	612.79	#VALUE!	1248.34	#VALUE!	1082.27	#VALUE!	1382.72	#VALUE!	-	#VALUE!	181.76	#VALUE!	1198.72	#VALUE!	-
70	07.04.2003 12:15:00	842.87	0.4368198	581.8	0.307968	1172.18	0.6098783	990.84	0.5156215	1300.48	0.8767441	-	#VALUE!	142.7	0.0742594	1075.21	0.5895286	182184.22
73	07.04.2003 12:30:00	895.53	0.4682133	612.41	0.320872	1255.19	0.6576573	1058.25	0.5528887	1377.35	0.7218831	-	#VALUE!	151.07	0.0791532	1187.3	0.6220863	180857.76
76	07.04.2003 12:45:00	880.04	0.4418418	608.21	0.312485	1182	0.6123848	1003.36	0.5154715	1308.88	0.8729345	-	#VALUE!	148.32	0.0781887	1131.62	0.5813131	180488.98
79	07.04.2003 13:00:00	841.73	0.4541276	587.96	0.31723	1173.69	0.6332255	986.29	0.5321038	1272.58	0.8888537	-	#VALUE!	135.97	0.0728725	1110.5	0.5891334	186361.04
82	07.04.2003 13:15:00	778.01	0.4609804	564.78	0.32872	1078.82	0.6380883	898.96	0.5328448	1175.21	0.8883285	-	#VALUE!	118.87	0.0710244	1018.89	0.6041788	188772.88
85	07.04.2003 13:30:00	832.57	0.4447977	578.16	0.307812	1156.88	0.6179042	978.33	0.5226894	1284.88	0.8883368	-	#VALUE!	116.12	0.0620987	1121.66	0.598243	187178.49
88	07.04.2003 13:45:00	867.29	#VALUE!	592.95	#VALUE!	1208.79	#VALUE!	1023.81	#VALUE!	1360.48	#VALUE!	-	#VALUE!	118.8	#VALUE!	1179	#VALUE!	-
91	07.04.2003 14:00:00	835.24	#VALUE!	678.07	#VALUE!	1158.73	#VALUE!	883.21	#VALUE!	1305.62	#VALUE!	-	#VALUE!	114.41	#VALUE!	1134.11	#VALUE!	-
94	07.04.2003 14:15:00	812.35	0.4157047	574.25	0.293882	1125.88	0.5785829	948.11	0.4851774	1258.81	0.8431487	-	#VALUE!	-	#VALUE!	1087.53	0.5616402	185416.14
97	07.04.2003 14:30:00	718.48	0.4352572	638	0.328922	883.52	0.5958192	823.28	0.4987332	1104.37	0.8880308	-	#VALUE!	-	#VALUE!	861.71	0.5785488	186070.21
100	07.04.2003 14:45:00	718.88	0.4298087	634.57	0.319085	861.38	0.585749	824.48	0.4921013	1112.42	0.8888819	-	#VALUE!	-	#VALUE!	866.39	0.5708275	187542.74
103	07.04.2003 15:00:00	643.7	0.448415	500.81	0.348735	889.35	0.6058075	727.41	0.5087292	983.49	0.8851199	-	#VALUE!	-	#VALUE!	835.73	0.5821871	143650.06
106	07.04.2003 15:15:00	573.49	0.4223818	467.41	0.344252	827.53	0.6084848	642.25	0.4793024	942.19	0.8839331	-	#VALUE!	-	#VALUE!	796.77	0.5880032	136776.34
109	07.04.2003 15:30:00	561.88	0.4468809	453.3	0.308641	781.14	0.621487	618.98	0.4932338	883.09	0.7025774	-	#VALUE!	-	#VALUE!	739.73	0.5885218	126692.82
112	07.04.2003 15:45:00	531.14	0.488117	441.85	0.387758	722.83	0.63434	580.59	0.6095132	818.61	0.7166393	-	#VALUE!	-	#VALUE!	678.01	0.6058845	113948.94
116	07.04.2003 16:00:00	810.63	0.4798991	425.06	0.399557	688.29	0.6441736	557.08	0.6238562	782.88	0.7171085	-	#VALUE!	-	#VALUE!	618.04	0.5808687	106382.78
118	07.04.2003 16:15:00	478.24	0.4782742	405.22	0.402712	630.95	0.6270453	513.13	0.5099545	722.25	0.7177803	-	#VALUE!	-	#VALUE!	588.2	0.5845598	100622.71
121	07.04.2003 16:30:00	457.88	0.4812522	393.38	0.41347	585.54	0.6258389	485.04	0.5097885	689.35	0.7245374	-	#VALUE!	-	#VALUE!	548.02	0.5779443	88143.47
122	07.04.2003 16:38:00	431.85	0.5078877	378.13	0.444843	557.39	0.6567294	452.89	0.6326874	647.04	0.7811982	-	#VALUE!	-	#VALUE!	610.88	0.6010137	85003.05
131	07.04.2003 17:25:00	257.17	0.8183049	258.84	0.622704	308	0.7381184	236.04	0.5632707	324.02	0.7785102	-	#VALUE!	-	#VALUE!	284.83	0.6821126	41727.72
132	07.04.2003 17:30:00	234.28	0.8248993	240.77	0.64221	278.81	0.7458088	212.45	0.6886718	291.12	0.7785087	-	#VALUE!	-	#VALUE!	254.53	0.6789125	37490.84
135	07.04.2003 17:45:00	157.87	0.8417532	186.74	0.677381	190.78	0.7750439	143.77	0.5840857	191.06	0.7781814	-	#VALUE!	-	#VALUE!	165.8	0.6735626	24618.38
139	07.04.2003 18:00:00	78.37	0.6786324	80.81	0.659631	97.68	0.7095336	72.65	0.6277192	93.68	0.6804782	-	#VALUE!	-	#VALUE!	73.43	0.6333851	13788.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 12 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ได้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1
บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

ชั่วโมง	หมายเลขการบันทึก	opus 200 #384		opus 200 # 1091				opus 200 # 1117				opus 200 # 1130				opus#1135		
		1		2		3		4		5		6		7		8		9
		Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Luminance (lux)
16	23.04.2003 08:00:00	184.45	0.361898	153.58	0.337977	221.88	0.488232	182.88	0.424483	228.05	0.498779	213.87	0.470655	177.81	0.391299	285.19	0.563593	45440.93
19	23.04.2003 08:15:00	178.33	0.337174	171.32	0.322114	252.79	0.475293	211.2	0.367096	283.86	0.496731	246.69	0.463806	206.04	0.387394	305.44	0.574285	53188.13
22	23.04.2003 08:30:00	185.55	0.316399	180.4	0.309056	285.98	0.482714	254.31	0.411472	304.11	0.492048	281.97	0.468226	236.81	0.381539	347.79	0.582722	61804.84
25	23.04.2003 08:45:00	201.47	0.268165	198.18	0.264839	301.63	0.431425	270.91	0.387498	341.31	0.498818	314.03	0.448181	262.71	0.376757	388.33	0.552572	69614.84
28	23.04.2003 09:00:00	213.29	0.271285	211	0.268372	321.47	0.408979	288.65	0.367135	382.9	0.497012	351.99	0.447898	293.23	0.372961	428.07	0.545736	78822.25
31	23.04.2003 09:15:00	240.38	0.272663	241.63	0.273998	372.6	0.422941	336.92	0.382189	433.84	0.492105	402.55	0.456613	334.44	0.378356	484.78	0.549888	88160.03
34	23.04.2003 09:30:00	186.63	0.263313	175.52	0.248972	263.93	0.380195	218.78	0.311754	282.13	0.371828	257.17	0.384791	207.78	0.294704	307.35	0.435697	70497.84
37	23.04.2003 09:45:00	178.68	0.24827	182.99	0.22713	230.85	0.321834	185.74	0.272888	232.75	0.324862	234.09	0.32633	188.3	0.262497	280.26	0.390892	71734.2
40	23.04.2003 10:00:00	168.65	0.508363	153.77	0.46351	217.88	0.656154	182.77	0.550925	217.3	0.855009	218.06	0.857299	174.95	0.527353	265.19	0.789384	33175.14
43	23.04.2003 10:15:00	139.84	0.467554	124.2	0.40638	170.37	0.657448	135.45	0.44319	155.49	0.508761	168.65	0.65182	132.97	0.438076	202.99	0.66418	30562.5
46	23.04.2003 10:30:00	222.83	0.467296	228.75	0.479713	361.63	0.768167	322.23	0.675781	363.58	0.825379	382.89	0.780579	307.73	0.645343	454.44	0.953009	47884.75
49	23.04.2003 10:45:00	158.35	0.397973	145.95	0.366609	205.86	0.516875	171.13	0.430082	204.71	0.514487	222.07	0.558117	170.94	0.429815	257.75	0.64779	39798.15
52	23.04.2003 11:00:00	129.54	0.508863	120.96	0.473282	168.74	0.652406	142.51	0.557601	169.99	0.663123	183.15	0.718614	137.63	0.539681	207.19	0.810878	25567.89
55	23.04.2003 11:15:00	134.69	0.483717	129.78	0.43389	198.82	0.563194	132.78	0.478888	158.3	0.567735	178.14	0.643362	130.3	0.487951	190.59	0.694473	27844.78
58	23.04.2003 11:30:00	188.03	0.278884	198.37	0.28058	305.44	0.429856	272.44	0.385414	336.16	0.473093	331.77	0.469911	294.8	0.372862	388.43	0.549551	71058.32
61	23.04.2003 11:45:00	188.93	0.274317	170.37	0.27997	258.98	0.422286	234.47	0.385305	288.08	0.473403	281.97	0.463382	218.21	0.360229	322.42	0.529834	60853.02
64	23.04.2003 12:00:00	110.66	0.344674	107.22	0.33428	153.01	0.47704	132.78	0.413989	157.97	0.492504	168.48	0.525209	124.01	0.388827	191.74	0.597789	32074.88
67	23.04.2003 12:15:00	108.94	0.362859	103.79	0.345706	145.57	0.484867	124.98	0.418219	148.82	0.495025	152.43	0.507717	117.33	0.398005	181.24	0.603877	30022.88
70	23.04.2003 12:30:00	121.91	0.395979	114.85	0.373046	158.36	0.514339	133.83	0.43502	159.11	0.516808	168.08	0.545943	130.69	0.424496	198.89	0.639621	30789.79
73	23.04.2003 12:45:00	158.73	0.3597	153.58	0.34803	218.4	0.497185	188.26	0.428885	229.7	0.520529	237.71	0.538978	185.82	0.421089	277.01	0.627738	44128.43
76	23.04.2003 13:00:00	168.27	0.367875	161.97	0.344476	232.56	0.494806	199.84	0.42523	242.48	0.516704	232.02	0.535893	193.45	0.411427	290.75	0.618364	47012.23
79	23.04.2003 13:15:00	163.88	0.361969	157.39	0.348066	228.65	0.501234	193.84	0.428233	233.62	0.516427	232.75	0.514724	182.98	0.404814	281.21	0.621893	45218.41
82	23.04.2003 13:30:00	188.68	0.341205	185.44	0.335346	272.82	0.493363	235.42	0.425729	286.17	0.517504	278.54	0.503706	223.98	0.405041	338.83	0.812734	55298.08
85	23.04.2003 13:45:00	194.02	0.354985	187.54	0.342848	277.21	0.506777	270.16	0.493871	288.8	0.529794	278.89	0.511858	224.93	0.411202	338.78	0.621184	54700.55
88	23.04.2003 14:00:00	160.84	0.352778	155.49	0.341468	228.84	0.50277	328.14	0.720621	229.32	0.603805	224.55	0.493129	177.81	0.380485	271.1	0.596357	45535.71
91	23.04.2003 14:15:00	235.82	0.313738	233.71	0.311194	358.78	0.475041	328.43	0.439855	378.51	0.504002	360.77	0.49038	296.86	0.385281	435.94	0.580472	75100.88
94	23.04.2003 14:30:00	231.23	0.290896	231.8	0.300834	380.04	0.492895	337.3	0.437483	385.67	0.500087	388.49	0.475321	298	0.388492	441.66	0.572813	77103.71
97	23.04.2003 14:45:00	253.74	0.297755	254.31	0.298424	368.54	0.428948	323.95	0.380144	431.55	0.508409	408.17	0.478826	331.99	0.389543	486.68	0.571102	85217.72
100	23.04.2003 15:00:00	235.82	0.324842	251.64	0.348929	385.95	0.532086	343.6	0.473711	374.5	0.518312	390	0.496321	290.37	0.400325	425.25	0.58828	72533.68
103	23.04.2003 15:15:00	217.49	0.327828	210.43	0.318993	314.6	0.473915	274.92	0.414411	347.79	0.523912	322.8	0.486287	271.48	0.408959	397.4	0.588645	86383.24
106	23.04.2003 15:30:00	236	0.347719	228.27	0.333383	338.73	0.496133	295.52	0.435415	358.48	0.528179	347.22	0.511589	280.29	0.412931	408.61	0.603514	87870.88
109	23.04.2003 15:45:00	238.57	0.387082	223.79	0.347281	331.96	0.515111	290.58	0.450889	351.23	0.545013	338.83	0.525771	272.25	0.422457	393.39	0.810433	84444.37
112	23.04.2003 16:00:00	197.27	0.398121	181.62	0.363775	262.52	0.525813	227.03	0.454728	271.48	0.543759	265.78	0.532302	210.43	0.421479	308.78	0.814483	49928.51
115	23.04.2003 16:15:00	191.83	0.407053	175.71	0.372853	251.28	0.532883	218.92	0.460053	258.51	0.548259	252.02	0.534494	198.56	0.422335	292.66	0.820685	47151.1
118	23.04.2003 16:30:00	173.42	0.427588	158.63	0.388191	220.35	0.5433	188.45	0.487112	225.31	0.55553	221.89	0.546804	173.42	0.427588	258.7	0.637857	40557.89
121	23.04.2003 16:45:00	118.09	0.415523	105.88	0.372559	148.62	0.522948	127.06	0.447805	150.14	0.528297	150.14	0.528297	113.13	0.39807	173.04	0.808875	28418.94
124	23.04.2003 17:00:00	71.73	0.406516	63.34	0.361616	86.61	0.494488	72.69	0.414987	81.85	0.467282	88.14	0.503203	62.77	0.358382	100.54	0.573986	17815.8
127	23.04.2003 17:15:00	72.6	0.444444	63.91	0.391785	84.71	0.519295	70.97	0.435085	78.56	0.487724	84.52	0.51813	60.1	0.388429	97.87	0.599989	18312.6
130	23.04.2003 17:30:00	73.07	0.432585	68.59	0.384163	90.05	0.533109	78.12	0.450641	86.04	0.508369	88.48	0.529735	86.08	0.385165	105.88	0.828425	18891.48
133	23.04.2003 17:45:00	25.95	0.303919	24.8	0.290451	28.81	0.337414	25.95	0.303919	27.47	0.321721	33.39	0.391054	18.79	0.19864	40.84	0.475964	8538.48
136	23.04.2003 18:00:00	0.78	0.019568	1.83	0.039393	1.34	0.034501	0.95	0.02446	#VALUE!	#VALUE!	2.1	0.054069	#VALUE!	5.15	0.132598	3883.93	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 13 แสดงการบันทึกผลการทดลองการเก็บข้อมูลปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ใต้หลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.2
บันทึกผลการทดลองทุกๆ 15 นาที ของแต่ละชั่วโมง เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

ลำดับ	วันที่และเวลาที่บันทึกผล	opus 200 #364		opus 200 # 1001		opus 200 # 1117		opus 200 # 1130		opus#1136								
		1		2		3		4		5		6		7		8		9
		Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)	Daylight Factor DF (%)	Illuminance (lux)
17	24.04.2003 08:00:00	82.99	0.50953	70.4	0.432082	87.19	0.5361083	62.58	0.364089	80.32	0.4629434	96.69	0.6112061	87.38	0.5362723	102.26	0.627595	16293.98
20	24.04.2003 08:15:00	197.65	0.38658	182.2	0.367423	248.54	0.4951541	184.28	0.371838	263.28	0.6309285	287.32	0.5784074	224.17	0.4520565	301.82	0.608848	49588.8
23	24.04.2003 08:30:00	231.8	0.394849	213.26	0.363319	299.22	0.492658	217.3	0.370149	313.64	0.5342551	344.17	0.5862599	282.32	0.4468385	358.82	0.812578	58708.04
26	24.04.2003 08:45:00	178.72	0.402845	183.86	0.36734	228.84	0.6094858	167.51	0.375477	230.65	0.5170059	285.38	0.6948538	204.52	0.4584351	271.87	0.808953	44612.84
29	24.04.2003 09:00:00	285.98	0.360848	258.46	0.318313	387.87	0.4758048	275.49	0.337979	423.53	0.5195988	481.31	0.5859482	348.84	0.4256132	477.24	0.868514	81510.99
32	24.04.2003 09:15:00	208.98	0.321108	285.22	0.315827	406.38	0.4498559	308.87	0.33991	456.21	0.5084871	478.67	0.5300354	382.14	0.4231489	520.07	0.575878	90308.07
35	24.04.2003 09:30:00	287.7	0.381316	270.34	0.358307	378.41	0.4988921	277.97	0.36842	395.87	0.5246843	445.28	0.5901721	338.59	0.450091	480.38	0.810159	75448.19
38	24.04.2003 09:45:00	274.34	0.4484084	258.41	0.433725	367.72	0.6060936	258.46	0.438884	385.73	0.6186427	425.25	0.7193225	270.53	0.4678092	424.49	0.718037	69118.13
41	24.04.2003 10:00:00	188.99	0.410599	158.49	0.385196	220.73	0.5331056	157.01	0.37921	222.26	0.5368012	294.8	0.6366435	191.74	0.4630894	262.13	0.633065	41404.63
44	24.04.2003 10:15:00	188.84	0.393411	178.47	0.36888	242.48	0.503028	172.85	0.35858	244.01	0.608203	286.81	0.600891	227.79	0.4725543	288.8	0.682482	48203.88
47	24.04.2003 10:30:00	221.12	0.405321	208.62	0.382225	290.58	0.5329074	207.78	0.380832	291.7	0.534067	347.22	0.6364673	254.88	0.4672046	340.74	0.624569	54554.26
50	24.04.2003 10:45:00	244.58	0.381277	234.06	0.364924	331.77	0.5171874	240.19	0.374433	340.54	0.5308688	398.18	0.6208829	291.32	0.4541397	391.48	0.810279	64147.88
53	24.04.2003 11:00:00	385.87	0.3203	392.64	0.317525	668.91	0.4603077	430.68	0.348362	613.17	0.4961187	688.05	0.5500662	515.88	0.4172391	680.14	0.650304	123583.41
56	24.04.2003 11:15:00	270.34	0.318127	271.86	0.318915	398.25	0.4862933	294.70	0.348953	418.15	0.4932412	478.82	0.5848355	352.58	0.4148804	475.82	0.559893	84978.71
59	24.04.2003 11:30:00	88.9	0.317882	90.2	0.324032	128.73	0.4638788	91.38	0.32675	125.15	0.4475021	150.53	0.538254	109.51	0.3915777	155.11	0.554831	27968.36
62	24.04.2003 11:45:00	28.38	0.298807	29	0.294943	34.91	0.3850499	21.75	0.221207	28.57	0.3007394	42.74	0.4348844	27.47	0.2793819	43.31	0.440482	9832.42
64	24.04.2003 13:20:00	195.93	0.349941	178.53	0.377898	248.68	0.1700831	180.67	0.783743	-	#VALUE!	-	#VALUE!	212.34	0.8211268	277.01	1.201954	23062.2
66	24.04.2003 13:30:00	204.14	0.214178	183.72	0.1947855	247.83	0.2625232	181.43	0.23417	231.45	0.2685726	297.81	0.3157218	214.25	0.2713563	282.58	0.2995434	8432.69
69	24.04.2003 13:45:00	311.55	0.388715	310.02	0.384816	456.92	0.6871673	348.51	0.433833	488.83	0.6081313	552.88	0.8882888	411.9	0.6112757	627.32	0.654542	80583.19
72	24.04.2003 14:00:00	317.27	0.420107	313.07	0.414645	460.93	0.6103312	351.42	0.485326	498.79	0.6578146	560.9	0.7427045	418	0.5534863	538	0.712382	75521.29
75	24.04.2003 14:15:00	306.25	0.688139	301.82	0.858384	448.62	1.270197	342.83	0.975018	491.07	1.3888187	558.94	1.6811088	408.75	1.1568063	530.75	1.509488	35181.4
78	24.04.2003 14:30:00	250.11	0.355306	241.91	0.343657	351.99	0.5000365	264.23	0.375365	372.98	0.6298549	422.96	0.8008564	310.4	0.4408538	408.8	0.582181	70392.86
81	24.04.2003 14:45:00	298.78	0.3411	288.84	0.327805	412.85	0.4713887	316.7	0.381582	450.83	0.5144828	504.24	0.5757004	370.5	0.4230089	486.73	0.554567	87587.23
84	24.04.2003 15:00:00	288.38	0.348888	271.87	0.330801	384.81	0.4885862	298.19	0.383093	423.15	0.5152511	472.18	0.6749528	346.7	0.4208437	453.3	0.551983	82125
87	24.04.2003 15:15:00	272.05	0.359337	255.07	0.338909	358.05	0.4742514	288.27	0.380782	393.58	0.6186404	442.04	0.5838886	323.37	0.4271235	425.44	0.581943	76708.79
90	24.04.2003 15:30:00	184.28	0.396522	224.17	0.541145	315.17	0.7808182	243.44	0.587682	211.77	0.6112113	248.78	0.8006632	178	0.4298908	238.87	0.578148	41425.14
93	24.04.2003 15:45:00	187.89	0.358323	141.37	0.301722	190.87	0.4075818	144.42	0.308231	234.66	0.5008281	288.78	0.575741	191.93	0.4096307	257.75	0.550108	48854.4
96	24.04.2003 16:00:00	138.84	0.378121	168.27	0.454995	234.66	0.5345107	180.48	0.48801	182.58	0.4938886	214.06	0.5788091	153.58	0.4152738	205.85	0.55661	39882.83
99	24.04.2003 16:15:00	88.81	0.400759	77.84	0.356349	103.4	0.4773468	78.03	0.360226	95.01	0.4388143	117.14	0.5407776	80.88	0.3734292	111.42	0.514371	21881.4
102	24.04.2003 16:30:00	90.4	0.37871	87.19	0.333087	114.47	0.4372776	85.85	0.327949	126.49	0.4831942	182.43	0.5822855	105.69	0.4037378	143.85	0.549851	26177.88
105	24.04.2003 16:45:00	87.4	0.423426	78.5	0.373233	99.78	0.4858254	74.79	0.384	92.91	0.4521894	124.77	0.6072508	77.84	0.3788443	108.17	0.528459	20548.7
108	24.04.2003 17:00:00	88.28	0.381222	76.38	0.336877	98.25	0.4392006	74.78	0.334329	107.6	0.4809973	122.86	0.548213	88.48	0.3998988	124.01	0.554364	22370.19
111	24.04.2003 17:15:00	60.48	0.39736	51.89	0.340922	63.81	0.418986	48.27	0.317138	63.72	0.4188487	82.23	0.5402593	38.63	0.2408827	54.18	0.355988	15220.47
114	24.04.2003 17:30:00	26.52	0.311723	23.28	0.273639	24.04	0.2825725	18.89	0.222038	23.08	0.2712884	35.87	0.4216255	18.7	0.2188048	31.29	0.367781	8507.85
117	24.04.2003 17:45:00	12.78	0.20884	12.02	0.196421	8.18	0.1498852	8.78	0.143478	8.78	0.1434755	18.89	0.3086848	3.24	0.0529454	15.07	0.248282	6118.51
118	24.04.2003 17:55:00	6.11	0.132858	6.72	0.124378	1.14	0.0247885	1.34	0.029137	1.14	0.0247885	8.59	0.1887838	0.95	0.0206671	6.87	0.149384	4988.9
120	24.04.2003 18:00:00	2.1	0.065241	2.87	0.070235	-	#VALUE!	1.34	0.038249	-	#VALUE!	4.39	0.1154804	-	#VALUE!	2.88	0.075233	3801.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 14 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง(Lux) ไดโพลีเทคเตอร์ (DF)และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง(Uniformity) ของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

อันดับ	เวลา	#340 (lux)	#340 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	#1135 (lux)	Sum	Avg DF (%)	Uniformity (%)
1	07:00	87	4.641882	58.53	3.122866	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	1874.24	5.235967	0.7479953	6.83823213
2	08:00	416.13	2.344153	242.06	1.363578	120.57	0.679198	106.84	0.601853	18.32	0.103	9.08	0.05115	16.48	0.092835	17751.83	3.262939	0.4661341	10.24919759
3	09:00	552.43	1.300116	309.52	0.728439	198.41	0.466948	167.89	0.39512	31.67	0.075	20.3	0.047775	75.09	0.114011	42490.84	2.67221	0.3340263	12.38195889
4	10:00	603.17	0.915804	348.21	0.528694	245.73	0.373096	207.57	0.315157	42.35	0.064	27.24	0.041359	38.46	0.048046	65862.33	2.145153	0.2681441	12.69064798
5	11:00	607.52	0.758937	349.21	0.496246	256.41	0.320317	218.25	0.272646	44.26	0.055	27.24	0.034029	36.46	0.048046	80048.84	2.049765	0.2562206	12.92700276
6	12:00	600.27	0.689148	347.22	0.398631	265.57	0.304891	225.89	0.259336	46.55	0.053	28.85	0.033122	75.09	0.066208	87103.17	1.967393	0.2459241	12.258059363
7	13:00	624.92	0.691576	357.14	0.395234	277.78	0.307409	233.52	0.258428	46.55	0.052	27.24	0.030146	53.11	0.058775	90361.72	2.010819	0.2513524	10.0996281
8	14:00	601.72	0.752466	339.29	0.424291	254.88	0.318734	212.15	0.265299	40.45	0.051	20.3	0.025386	27.47	0.034352	79966.42	2.149087	0.3070124	3.758726531
9	15:00	579.98	0.913073	319.44	0.5029	228.89	0.355623	187.73	0.295547	32.43	0.051	12.29	0.019348	-	#VALUE!	63519.54	2.73729	0.456215	1.163106691
10	16:00	504.58	1.251138	269.84	0.669086	169.41	0.420063	138.89	0.344387	19.08	0.047	2.14	0.005306	-	#VALUE!	40329.67	4.507307	0.9014615	1.9735675
11	17:00	349.44	2.328416	188.49	1.255961	73.26	0.488152	62.58	0.416988	2.67	0.018	-	#VALUE!	-	#VALUE!	15007.63	-	-	-
12	18:00	107.3	14.2027	87.3	11.55541	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	755.49	-	-	-
	Sum	5634.46	11.94483	3216.25	6.703059	2087.91	4.03443	1761.31	3.424762	374.33	0.569	174.68	0.28762	269.22	0.341391	585071.7	-	-	-
	Avg	469.5383	1.085893	268.0208	0.609369	208.791	0.366766	176.131	0.311342	32.433	0.052	19.40889	0.028762	53.844	0.068278	122.71	0.179102	0.48755.98	-
	Uniformity (%)		63.46372		64.85951		83.12957		83.00455		34.392		18.44886		50.31167				6.443117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-ก 15 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) เดโตนีฟิเคเตอร์ (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง (Uniformity)

ของหลังคาพื้นที่ Saw tooth 1.1.1 เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

อันดับ เวลา	#364		#1091		#1117		#1120		#1120		#1120		#1135		Sum	Avg DF(%)	Uniformity(%)	
	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)				
1	728.79	0.108552	749.01	0.111564	768.01	0.114394	785.22	0.117322	801.94	0.120150	818.66	0.122978	835.38	0.125806	9			
2	942.08	0.079951	955.43	0.081084	1002.44	0.085073	735.96	0.062458	733	0.062207	2256.18	0.191474	1178324	0.086835	0.943618	0.1348025	61.79031443	
3	1116.07	0.069932	1130.19	0.070817	1167.89	0.073179	866	0.054263	940.17	0.05891	2043.12	0.12802	1595934	0.078362	0.649082	0.0922726	67.08689132	
4	1530.45	#VALUE!	1469.02	#VALUE!	1680.1	#VALUE!	1281.14	#VALUE!	1450.89	#VALUE!	1841.04	#VALUE!	-	#VALUE!	0.533484	0.076212	71.199995772	
5	1629.27	0.091685	1514.42	0.085222	1853.79	0.104319	1412.7	0.079498	1682.57	0.094684	868.59	0.048879	1777033	0.121308	0.625594	0.0893706	54.69208475	
6	1457.19	0.110363	1411.4	0.106895	1523.81	0.115409	1213.37	0.091897	1406.9	0.106555	268.24	0.020316	1320357	0.144215	0.69565	0.0993785	20.44276249	
7	1425.9	0.080636	1348.06	0.076234	1535.71	0.086846	1149.88	0.065027	1345.45	0.076086	1638.28	0.092646	1768324	0.097376	0.574849	0.0821213	79.18348877	
8	1015.72	0.063	1081.73	0.067094	1045.79	0.064865	713.37	0.044247	766.58	0.047547	747.1	0.046339	-	#VALUE!	0.399169	0.0570241	77.59311083	
9	816.16	0.06592	851.27	0.068756	834.55	0.067405	588.3	0.045093	582.91	0.047081	105.54	0.008524	1238104	0.06356	0.36634	0.0523343	16.28822203	
10	602.11	0.086751	647.13	0.093238	616.3	0.088796	407.81	0.058757	408.64	0.058876	-	#VALUE!	694065.9	0.071819	0.458236	0.0763727	76.93415418	
11	257.17	0.149848	277.78	0.161857	276.56	0.161146	192	0.111874	183.33	0.106823	-	#VALUE!	171620.9	0.11632	0.807868	0.1346447	79.33673285	
Sum		0.906638		0.92276		0.961432		0.696408		0.744091		0.871069						
Avg DF(%)		0.090664		0.092276		0.096143		0.069641		0.074409		0.108884						
Uniformity(%)		69.48755		72.71048		67.4672		63.53569		63.27295		7.828836						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 16 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ได้ไลท์เมตร (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity) ของหลังคาพื้นที่ Saw tooth 1.1.2 เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546

อันดับ เวลา	#364 (lux)	#364 DF (%)	#364 (lux)	#364 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1120 (lux)	#1120 DF (%)	#1120 (lux)	#1120 DF (%)	#1120 (lux)	#1120 DF (%)	#1135 (lux)	Sum	Avg DF (%)	Uniformity (%)	
1 08:00	645.6	1.07008	644.46	1.06819	653.54	1.08224	433.46	0.718458	444.23	0.73631	470.09	0.779172	1012.09	1.677535	1449.94	2.40327	60331.96	9.536256	60331.96	2.40327	60331.96	9.536256	1.192032	60.2717345	
2 09:00	910.41	0.889158	894	0.872131	897.74	0.876784	609.58	0.59535	701.43	0.688056	726.95	0.709981	861.84	0.841722	820.21	0.801064	102390.1	6.272246	102390.1	0.801064	102390.1	6.272246	0.784031	75.93457653	
3 10:00	1114.93	0.834007	1077.92	0.806322	1168.19	0.873947	809.22	0.605325	895.85	0.670127	922.71	0.690219	574.76	0.429941	877.59	0.656468	133683.6	5.566255	133683.6	0.656468	133683.6	5.566255	0.695782	61.79243318	
4 11:00	1269.08	#VALUE!	1208.03	#VALUE!	1332.42	#VALUE!	922.16	#VALUE!	1030.49	#VALUE!	1062.39	#VALUE!	-	#VALUE!	1030.83	#VALUE!	-	-	-	#VALUE!	-	-	-	-	-
5 12:00	1403.39	0.954191	1325.17	0.901007	1537.85	1.045613	1065.93	0.724745	1158.76	0.787862	1246.4	0.84745	-	-	1211.54	0.823748	147076.5	6.084617	147076.5	0.823748	147076.5	6.084617	0.869231	83.37777013	
6 13:00	1455.28	1.025632	1358.36	0.957326	1545.79	1.069421	1069.9	0.754029	1196.37	0.843161	2037.82	1.436187	-	-	1234.74	0.870203	141891	6.975959	141891	0.870203	141891	6.975959	0.996566	75.66279326	
7 14:00	1343.1	1.378056	1162.62	1.192879	1432.54	1.469824	934.37	0.958668	1073.14	1.10107	1606.68	1.648496	-	-	1077.53	1.105574	97463.37	8.854588	97463.37	1.105574	97463.37	8.854588	1.264941	75.78916753	
8 15:00	1087.84	1.346964	1005.8	1.245382	1161.78	1.438517	781.75	0.967963	901.89	1.116721	1534.49	1.900005	-	-	924.13	1.144469	80762.36	9.160022	80762.36	1.144469	80762.36	9.160022	1.308575	73.97081585	
9 16:00	895.53	1.461271	834.86	1.362273	972.83	1.587404	656.9	1.071889	726.28	1.185099	1340.75	2.187753	-	-	749.39	1.222808	61284.34	10.0785	61284.34	1.222808	61284.34	10.0785	1.439785	74.44783001	
10 17:00	526.94	1.681036	494.51	1.577578	570.51	1.820032	376.98	1.202636	407.63	1.300415	689.35	2.199154	-	-	408.73	1.303924	31346.15	11.08477	31346.15	1.303924	31346.15	11.08477	1.583539	75.94606651	
Sum		10.64039		9.984089		11.28468		7.599085		8.425821		12.39842			2.949198					10.33153					
Avg DF (%)		1.064039		0.998409		1.128468		0.759908		0.842582		1.239842			0.963066					1.033153					
Uniformity (%)		78.38117		80.76067		77.43656		78.34502		79.53255		68.35148			43.73466					77.53583					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้
 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-ก 18 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ได้ที่เพดาน (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)

ของหลังคาที่เลือก Saw tooth 1.2.1 เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

no.	อันดับเวลา	#364 (lux)	DF (%)	#364 (lux)	DF (%)	#1091 (lux)	DF (%)	#1091 (lux)	DF (%)	#1117 (lux)	DF (%)	#1117 (lux)	DF (%)	#1130 (lux)	DF (%)	#1130 (lux)	DF (%)	#1135 (lux)	DF (%)	Avg DF (%)	Uniformity (%)	
1	8:00	344.17	0.74737	348.75	0.757316	365.23	0.793102	308.88	0.670737	312.69	0.679011	389.19	0.845132	336.73	0.731214	372.41	0.808694	46050.82	6.032574	0.7540718	88.94872303	
2	09:00	480.01	0.614428	478.67	0.612713	517.55	0.66248	420.67	0.539471	494.22	0.555815	546.02	0.698923	479.24	0.613442	541.63	0.693303	78123.09	4.989575	0.6236968	86.353533521	
3	10:00	584.55	0.566616	613.74	0.594911	673.08	0.65243	554.6	0.537585	597.34	0.579014	746.72	0.723811	675.56	0.654834	755.88	0.73269	103165.1	5.041891	0.6302364	85.29896356	
4	11:00	630.53	0.506931	661.82	0.532087	693.22	0.557332	576.92	0.46383	644.08	0.517825	803.57	0.646051	744.62	0.598656	833.91	0.670443	124381.9	4.493155	0.5616444	82.58422845	
5	12:00	656.48	#VALUE!	691.58	#VALUE!	727.72	#VALUE!	606.49	#VALUE!	715.24	#VALUE!	883.51	#VALUE!	840.96	#VALUE!	928.53	#VALUE!	-	-	-	-	
6	13:00	609.55	0.518386	647.89	0.550991	689.26	0.586174	587.8	0.499888	703.6	0.598369	868.63	0.738717	820.74	0.69799	909.84	0.773764	117586.2	4.96428	0.620535	80.55765412	
7	14:00	600.2	0.498086	629.77	0.522625	663.46	0.550583	573.68	0.476078	676.7	0.56157	843.83	0.700266	767.51	0.636931	876.45	0.727336	120501.4	4.673474	0.5841842	81.49442432	
8	15:00	533.81	0.552368	563	0.582572	589.13	0.609611	506.33	0.523932	571.2	0.591058	717.34	0.742278	630.15	0.652057	727.26	0.752543	96640.34	5.006419	0.6258023	83.7216993	
9	16:00	456.92	0.65699	471.04	0.677293	485.04	0.697423	440.32	0.633122	468.75	0.674	593.52	0.853403	516.45	0.742586	591.23	0.85011	69547.47	5.784926	0.7231158	87.55465082	
10	17:00	291.32	0.871665	293.8	0.879086	307.08	0.918821	-	#VALUE!	-	#VALUE!	-	#VALUE!	290.56	0.869391	337.68	1.01038	33421.09	4.549343	0.9098686	95.55128779	
11	18:00	72.5	0.961336	76.5	1.014375	71.12	0.943037	59.71	0.791743	62.39	0.827279	85.09	1.128277	68.49	0.908164	85.66	1.135835	7541.59	7.710045	0.9637557	82.15182472	
Sum		6.494175		6.72968		6.970994		5.135386		5.83941		7.076857		7.105265		8.155098						
Avg DF (%)		0.649417		0.672397		0.697099		0.570598		0.620438		0.786317		0.710527		0.81551						
Uniformity (%)		76.69729		77.72565		78.98199		81.28829		83.46116		82.16157		84.25532		82.21157						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ ผ - 19 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) เดลต้าเพ็คเตอร์ (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)

ของหลังคาที่นเลียย Saw tooth 1.2.2 เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

no.	#364	#364	#364	#1091	#1091	#1091	#1117	#1117	#1117	#1130	#1130	#1130	#1130	#1130	#1135						
chn.	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	(lux)	DF (%)	(lux)	DF (%)	(lux)	(lux)	Sum	Avg DF(%)	Uniformity(%)			
1	08:00	372.41	0.79159	386.14	0.820775	400.79	0.851915	313.84	0.667095	286.55	0.609087	331.58	0.704803	281.21	0.597737	315.93	0.671537	47045.79	5.714539	0.7143174	83.67944355
2	09:00	553.46	0.644822	582.84	0.679051	604.7	0.70452	476	0.554575	451.58	0.526124	507.67	0.591473	439.94	0.512562	480.2	0.559468	85831.5	4.772595	0.5965744	85.91760062
3	10:00	649.61	0.679464	687.77	0.719378	659.04	0.689327	521.98	0.545969	529.8	0.554148	558.99	0.594679	478.1	0.500072	530.75	0.555142	95606.23	4.828179	0.6035224	82.8589007
4	11:00	645.03	0.547145	674.22	0.571905	700.85	0.594494	563	0.477563	542.58	0.460242	594.09	0.503935	518.73	0.440011	562.04	0.476749	117890.1	4.072046	0.5090058	86.44527491
5	12:00	622.71	0.650356	668.69	0.698377	689.56	0.720174	536.29	0.560099	505.38	0.527817	572.15	0.597551	493.74	0.51566	546.02	0.570261	95749.08	4.840297	0.6050371	85.22787591
6	13:00	610.88	#VALUE!	638.74	#VALUE!	663.92	#VALUE!	525.41	#VALUE!	505.95	#VALUE!	552.5	#VALUE!	473.71	#VALUE!	511.68	#VALUE!	-			
7	14:00	588.18	0.523398	612.22	0.54479	634.31	0.564447	504.62	0.449041	490.69	0.436645	536.86	0.47773	460.74	0.409994	497.37	0.442589	112377.3	3.848633	0.4810792	85.22378086
8	15:00	513.97	0.577008	532.85	0.598203	552.81	0.620611	439.94	0.493898	425.44	0.47762	471.23	0.529026	404.65	0.45428	440.13	0.494111	89075.09	4.244756	0.5305945	85.61710861
9	16:00	423.34	0.631644	431.93	0.64446	459.4	0.685447	367.25	0.547955	339.4	0.506401	387.48	0.578139	329.29	0.491316	358.1	0.534302	67021.98	4.619664	0.5774579	85.08263382
10	17:00	234.28	0.818982	253.93	0.887674	263.13	0.919835	207	0.723619	185.25	0.647596	213.68	0.74697	172.66	0.603575	195.74	0.684257	28606.23	6.032497	0.7540621	80.04311369
11	18:00	64.1	0.916674	66.96	0.957574	69.29	0.990895	53.23	0.761226	37.2	0.531996	53.99	0.772094	39.3	0.562017	51.32	0.733911	6992.67	6.226377	0.7782971	68.35251154
Sum		6781083		7122188		7341665		5781039		5277656		60864		5087225				5722328			
Avg DF(%)		0.678108		0.712219		0.734166		0.578104		0.527766		0.60864		0.508722				0.572233			
Uniformity(%)		77.18496		76.49191		76.88267		77.67478		82.73468		78.49138		80.59283				77.34429			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ -ก 20 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) เติโตนีฟิคเตอร์ (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity) ของหลังคาพื้นเรียบ Saw tooth 1.2.3 เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2566

ลำดับเวลา	#364 (lux)	#364 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	Sum	Avg DF (%)	Uniformity (%)
1 08:00	279.69	0.871026	272.25	0.847856	270.6	0.842717	-	-	-	-	213.87	0.666045	240	0.747421	32110.42	3.975065	0.795013	83.77793969	
2 09:00	515.11	0.705035	507.29	0.694331	486.42	0.665766	364.77	0.499263	389.58	0.533221	381.18	0.521724	461.5	0.631658	73061.66	4.86099	0.607624	82.16650899	
3 10:00	521.6	0.839738	554.03	0.891948	681.93	1.097857	530.37	0.853857	433.46	0.697839	471.42	0.758952	542.96	0.874126	62114.62	6.883227	0.860403	81.10602527	
4 11:00	542.01	0.776357	591.42	0.84713	605.62	0.867469	470.85	0.67443	449.67	0.644092	490.12	0.702031	551.36	0.789749	69814.56	6.085536	0.760692	84.67185584	
5 12:00	735.65	0.604576	730.5	0.600343	708.79	0.582501	528.46	0.434302	587.8	0.483069	569.1	0.467701	694.64	0.570873	121680.4	4.2835	0.535438	81.11155025	
6 13:00	730.69	-	707.23	-	682.84	-	509.96	-	581.5	-	549.64	-	679.95	-	-	-	-	-	
7 14:00	686.62	0.591307	662.58	0.570604	641.18	0.552174	488.78	0.42093	560.33	0.482548	524.65	0.451821	652.28	0.561734	116119.1	4.16065	0.520081	80.93539847	
8 15:00	599.05	0.635032	578.64	0.613396	562.88	0.59669	432.88	0.458881	485.73	0.514906	453.11	0.480326	562.04	0.595799	94333.79	4.463735	0.557967	82.24165897	
9 16:00	375.84	0.805892	366.87	0.786658	371.49	0.796565	291.32	0.624661	295.9	0.634481	288.27	0.618121	354.28	0.759662	46636.52	5.770563	0.72132	85.69294624	
10 17:00	274.92	0.885801	272.44	0.87781	281.59	0.907292	221.69	0.714292	210.43	0.678012	209.29	0.674339	258.13	0.831703	31036.32	6.402177	0.800272	84.72269753	
11 18:00	76.88	0.930012	78.41	0.94852	81.04	0.980335	60.67	0.733921	48.84	0.590814	52.27	0.632307	65.82	0.79622	8266.56	6.466051	0.808256	73.09735838	
Sum		7.644774		7.678597		7.889368		5.414536		5.258981		5.973366		7.158945					
Avg DF (%)		0.764477		0.76786		0.788937		0.601615		0.584331		0.597337		0.715894					
Uniformity (%)		77.34781		74.31094		69.98969		69.96663		82.58117		75.63918		78.46596					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ภายนอกองค์กร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 22 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ดัชนีเพคเตอร์ (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)

ของห้องควบคุมอุณหภูมิ Monitor 1.1.2 เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546

อันดับเวลา	#364 (lux)	#364 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1120 (lux)	#1120 DF (%)	#1120 (lux)	#1120 DF (%)	#1135 (lux)	Sum	Avg DF (%)	Uniformity (%)	
1	08:00	313.64	0.546476	308.68	0.537834	397.74	0.693009	326.31	0.568552	432.48	0.753539	-	-	-	8	57393.16	3.70248	0.6170799	87.15793635
2	09:00	595.24	0.442309	466.27	0.346474	782.66	0.581576	665.14	0.49425	896.18	0.66593	-	-	-	8	134575.7	3.07771	0.5129517	67.54517909
3	10:00	747.86	0.413926	541.44	0.299677	1033.88	0.572233	870.27	0.481678	1158.76	0.641352	-	-	-	8	180674.6	2.988644	0.4269491	70.19030616
4	11:00	857.75	#VALUE!	583.79	#VALUE!	1192	#VALUE!	1020.45	#VALUE!	1327.66	#VALUE!	-	-	-	-	-	-	-	-
5	12:00	897.05	#VALUE!	612.79	#VALUE!	1246.34	#VALUE!	1062.27	#VALUE!	1382.72	#VALUE!	-	-	-	-	-	-	-	-
6	13:00	841.73	0.454127	587.99	0.31723	1173.69	0.633225	986.26	0.532104	1272.59	0.686584	-	-	-	185351	3.295277	0.4707538	67.38776292	
7	14:00	835.24	#VALUE!	578.07	#VALUE!	1158.73	#VALUE!	983.21	#VALUE!	1303.82	#VALUE!	-	-	-	-	-	-	-	-
8	15:00	643.7	0.448415	500.61	0.348735	869.35	0.605608	727.41	0.506729	983.49	0.68512	-	-	-	143550.1	3.176794	0.5294657	65.86554802	
9	16:00	510.53	0.479899	425.06	0.399557	685.29	0.644174	557.08	0.523656	762.88	0.717109	-	-	-	106382.8	3.345353	0.5575589	71.66187115	
10	16:35	431.55	0.507688	378.13	0.444843	557.39	0.655729	452.69	0.532557	647.04	0.761196	-	-	-	85003.05	3.503027	0.5838379	76.19287499	
11	17:30	234.28	0.524899	240.77	0.64221	279.61	0.745809	212.45	0.566672	291.12	0.77651	-	-	-	37490.84	4.035012	0.672502	84.26320104	
12	18:00	79.37	0.576532	90.81	0.659631	97.68	0.709534	72.65	0.527719	93.68	0.680478	-	-	-	13766.79	3.687279	0.6145466	85.87132107	
Sum			4.494272			5.840897			4.733917		6.367817				5.263643				
Avg DF (%)			0.499364			0.648989			0.525991		0.707535				0.057419				
Uniformity (%)			82.8908			88.17307			91.57538		90.64593				73.0858				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-ก-23 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ได้โดยแฟคเตอร์ (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity)

ของหลังคามอนิเตอร์ Monitor 1.2.1 เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

ลำดับเวลา	#364 (lux)	DF (%)	#364 (lux)	DF (%)	#1091 (lux)	DF (%)	#1091 (lux)	DF (%)	#1091 (lux)	DF (%)	#1117 (lux)	DF (%)	#1117 (lux)	DF (%)	#1130 (lux)	DF (%)	#1130 (lux)	DF (%)	#1135 (lux)	DF (%)	Sum	Avg DF (%)	Uniformity (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1 08:00	164.45	0.361898	153.58	0.337977	221.88	0.424463	192.88	0.424463	226.65	0.498779	213.87	0.470655	177.81	0.391299	265.19	0.583593	45440.93	0.4446184	3.556947	0.4446184	76.01512086			
2 09:00	213.29	0.271285	211	0.268372	321.47	0.408879	288.65	0.367135	382.9	0.487012	351.99	0.447698	293.23	0.372961	429.07	0.545736	78622.25	0.3961347	3.169077	0.3961347	67.74763204			
3 10:00	168.65	0.508363	153.77	0.46351	217.68	0.656154	182.77	0.550925	217.3	0.655009	218.06	0.657299	174.95	0.527353	265.19	0.799364	33175.14	0.6022469	4.817975	0.6022469	76.96340647			
4 11:00	129.54	0.506853	120.96	0.473282	166.74	0.652406	142.51	0.557601	169.99	0.665123	183.15	0.716614	137.93	0.539681	207.19	0.810676	25557.69	0.6152796	4.922237	0.6152796	76.92148711			
5 12:00	110.65	0.344974	107.22	0.33428	153.01	0.47704	132.78	0.413969	157.97	0.492504	168.46	0.525209	124.01	0.386627	191.74	0.597789	32074.86	0.4465491	3.572393	0.4465491	74.858619			
6 13:00	168.27	0.357875	161.97	0.344476	232.56	0.494606	199.94	0.42523	242.48	0.515704	252.02	0.535993	193.45	0.411427	290.75	0.618364	47019.23	0.4629595	3.703676	0.4629595	74.40738699			
7 14:00	160.64	0.352778	155.49	0.341468	228.94	0.50277	328.14	0.720621	229.32	0.503605	224.55	0.493129	177.81	0.390485	271.1	0.595357	45535.71	0.4875267	3.900214	0.4875267	70.04093492			
8 15:00	235.62	0.324842	251.64	0.346929	385.95	0.532098	343.6	0.473711	374.5	0.516312	360	0.496321	290.37	0.400325	425.25	0.58628	72533.65	0.4596022	3.676818	0.4596022	70.67902045			
9 16:05	197.27	0.395121	181.62	0.363775	262.52	0.525813	227.03	0.454728	271.48	0.543759	265.76	0.532302	210.43	0.421479	306.78	0.614463	49926.51	0.4814301	3.851441	0.4814301	75.56126455			
10 17:00	71.73	0.409516	63.34	0.361616	86.61	0.494468	72.69	0.414997	81.85	0.467292	88.14	0.503203	62.77	0.358362	100.54	0.579996	17515.8	0.4479313	3.58345	0.4479313	80.00382367			
11 17:45	25.95	0.303919	24.8	0.290451	28.81	0.337414	25.95	0.303919	27.47	0.321721	33.39	0.391054	16.79	0.19664	40.64	0.475964	8538.46	0.3276352	2.621082	0.3276352	60.0178731			
Sum		4.137424		3.926136		5.569931		5.1073		5.66682		5.769479		4.396638		6.801581								
Avg DF (%)		0.376129		0.356921		0.506357		0.4643		0.515165		0.524498		0.399694		0.618326								
Uniformity (%)		72.12531		75.19073		66.63564		65.45746		62.44999		74.55778		49.19751		76.97629								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คำนวณไว้สำหรับใช้ประกอบการพิจารณาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่าการมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ - ก 24 แสดงผลการคำนวณหาค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) เดโกลิฟิคเตอร์ (DF) และ ค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (Uniformity) ของหลังคาชนิดโคมไฟ Monitor 1.2.2 เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

ชั่วโมง	#364 (lux)	#364 DF (%)	#364 (lux)	#364 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1091 (lux)	#1091 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1117 (lux)	#1117 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	#1130 (lux)	#1130 DF (%)	#1135 (lux)	#1135 (lux)	Sum	Avg DF (%)	Uniformity (%)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1 08:00	82.99	0.50933	70.4	0.432062	87.19	0.535106	62.58	0.384069	80.32	0.492943	99.59	0.611208	87.38	0.536272	102.26	0.627595	16293.96	4.128585	0.5160731	74.42137028						
2 09:00	285.98	0.350848	259.46	0.318313	387.67	0.475605	275.49	0.337979	423.53	0.519599	461.31	0.565948	346.84	0.425513	477.34	0.585614	81510.99	3.579419	0.4474274	71.14291786						
3 10:00	169.99	0.410559	159.49	0.385199	220.73	0.533106	157.01	0.37921	222.26	0.536801	264.8	0.639544	191.74	0.463089	262.13	0.633095	41404.53	3.980603	0.4975754	76.21150987						
4 11:00	395.87	0.3203	392.44	0.317525	568.91	0.460308	430.59	0.348392	613.17	0.496119	686.05	0.555086	515.68	0.417239	680.14	0.550304	123593.4	3.465274	0.4331592	73.30445848						
5 11:45	29.38	0.298807	29	0.294943	34.91	0.35505	21.75	0.221207	29.57	0.30074	42.74	0.434684	27.47	0.279382	43.31	0.440482	9832.42	2.625295	0.3281618	67.40789525						
6 13:20	195.93	0.849941	179.53	0.778798	246.68	1.070093	180.67	0.783743	-	#VALUE!	212.34	0.921127	277.01	1.201664	23052.2	5.605365	0.9342275	83.36274146								
7 14:00	317.27	0.420107	313.07	0.414545	460.93	0.610331	351.42	0.465326	496.79	0.657815	560.9	0.742704	418	0.553486	538	0.712382	75521.29	4.576696	0.572087	72.46193995						
8 15:00	286.36	0.348688	271.67	0.330801	384.81	0.468566	298.19	0.363093	423.15	0.515251	472.18	0.574953	345.7	0.420944	453.3	0.551963	82125	3.574259	0.4467823	74.04066281						
9 16:00	139.84	0.378121	168.27	0.454995	234.66	0.634511	180.48	0.48801	182.58	0.493689	214.06	0.578809	153.58	0.415274	205.85	0.558661	36982.83	4.000018	0.5000023	75.62393532						
10 17:00	85.28	0.381222	75.36	0.36877	98.25	0.439201	74.79	0.394329	107.6	0.480997	122.86	0.549213	89.48	0.399997	124.01	0.554354	22370.19	3.476189	0.4345236	76.94147602						
11 17:55	6.11	0.132858	5.72	0.124378	1.14	0.024789	1.34	0.029137	1.14	0.024789	8.59	0.186784	0.95	0.020657	6.87	0.149384	4598.9	0.692774	0.0865968	23.85436284						
Sum																										
Avg DF (%)																										
Uniformity (%)																										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ-ก 25 แสดงการเปรียบเทียบบริเวณที่ค่าเฉลี่ยค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแต่ละแบบ

I lluminance	(lux)	(lux)	(lux)	(lux)	(lux)	(lux)	(lux)	(lux)
แบบหลังคา	channel 1	channel 2	channel 3	channel 4	channel 5	channel 6	channel 7	channel 8
Sawtooth 1.1.1	1047.35545	1039.58545	1118.63182	826.340909	915.751818	1335.14778		1203.26909
Sawtooth 1.1.2	984.120909	925.012727	1042.70636	707.93	787.361818	1088.70545	816.23	900.516364
Sawtooth 1.1.3	1080.9	991.51	1018.45364	700.994545	907.296364	801.225455		867.336364
Sawtooth 1.2.1	478.185455	497.869091	525.626364	463.54	518.621	647.742	561.000909	632.770909
Sawtooth 1.2.2	479.815455	503.299091	517.981818	409.869091	390.892727	434.565455	372.006364	408.116364
Sawtooth 1.2.3	485.278182	483.787273	488.58	389.975	404.324	465.564	382.083636	460.269091
Monitor 1.1.1	546.917273	433.315455	855.920909	806.749091	1041.23909	1325.33818	337.311818	918.473636
Monitor 1.1.2	984.120909	925.012727	1042.70636	707.93	787.361818	1088.70545	816.23	900.516364
Monitor 1.2.1	149.641818	144.126364	209.651818	194.267273	216.537273	214.49	169.05	253.949091
Monitor 1.2.2	181.363636	174.946364	247.807273	184.937273	258.011	293.308	217.196364	288.201818
Existing	469.538333	268.020833	208.791	176.131	32.433	19.4088889	53.844	122.71

ตารางที่ ผ-ก 26 แสดงการเปรียบเทียบบริเวณที่ค่าเฉลี่ยค่าเดโกลท์แฟกเตอร์ (%) ของหลังคาแต่ละแบบ

Daylight Factor	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
แบบหลังคา	channel 1	channel 2	channel 3	channel 4	channel 5	channel 6	channel 7	channel 8
Sawtooth 1.1.1	0.09066379	0.09227599	0.09614322	0.06964084	0.07440912	0.10888364		0.09514909
Sawtooth 1.1.2	1.06403937	0.99840888	1.12846806	0.75990846	0.84258209	1.23984186	0.98306595	1.03315286
Sawtooth 1.1.3	0.91731821	0.88094066	0.88777269	0.60754299	0.74277276	0.66631697		0.69433059
Sawtooth 1.2.1	0.64941747	0.6723968	0.69709935	0.57059839	0.62043788	0.78631741	0.71052653	0.8155098
Sawtooth 1.2.2	0.67810826	0.71221881	0.73416645	0.57810387	0.52776561	0.60864004	0.50872248	0.57223284
Sawtooth 1.2.3	0.76447742	0.76785966	0.78893675	0.6016151	0.58433125	0.70365851	0.59733658	0.71589448
Monitor 1.1.1	0.00764477	0.0076786	0.00788937	0.00601615	0.00584331	0.00703659	0.00597337	0.00715894
Monitor 1.1.2	0.49936359	0.44402136	0.64898859	0.52599082	0.70753526		0.05741874	0.58484919
Monitor 1.2.1	0.37612946	0.35692146	0.50635741	0.46430001	0.51516547	0.52449805	0.39969439	0.61832556
Monitor 1.2.2	0.400071	0.38076681	0.50969679	0.37586316	0.45187417	0.54389338	0.44118002	0.59667693
Existing	1.08589333	0.60936901	0.36676638	0.31134198	0.05172944	0.02876203	0.06827823	0.17910206

ตารางที่ ผ-ก 27 แสดงการเปรียบเทียบบริเวณที่ค่าเฉลี่ยค่าความสม่ำเสมอของการกระจายแสง (%) ของหลังคาแต่ละแบบ

Uniformity	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
แบบหลังคา	channel 1	channel 2	channel 3	channel 4	channel 5	channel 6	channel 7	channel 8
Sawtooth 1.1.1	69.4875539	72.7104848	67.4672017	63.5356855	63.2729482	7.82883607		66.8005033
Sawtooth 1.1.2	78.3811695	80.7606731	77.4365594	78.3450245	79.5325506	68.3514839	43.7346562	77.5358347
Sawtooth 1.1.3	84.3400457	78.5047489	81.1521493	82.775846	88.2675219	88.5339502		89.0887955
Sawtooth 1.2.1	76.6972937	77.7256473	78.9819917	81.2882865	83.461162	82.1615726	84.2553169	82.2115652
Sawtooth 1.2.2	77.1849561	76.4919129	76.8826719	77.6747789	82.7346752	78.491381	80.5928346	77.3442889
Sawtooth 1.2.3	77.347815	74.3109363	69.9896855	69.9666306	82.5811695	75.2543744	75.6391827	78.4659637
Monitor 1.1.1	1.32584826	2.12891503	1.12806349	0.96544814	0.79225542	2.0765855	2.83688014	0.67528195
Monitor 1.1.2	82.8907993	71.4448703	88.1730722	91.5753829	90.6459287		73.0858018	91.2004436
Monitor 1.2.1	72.1253078	75.1907344	66.6356354	65.4574563	62.4498993	74.5577837	49.1975066	76.9762861
Monitor 1.2.2	33.20857	32.6650234	4.86338878	7.75213037	5.48571662	34.3419875	4.68224142	25.0359183
Existing	63.463718	64.8595069	83.1295699	83.0045528	34.3923115	18.4488594	50.3116747	6.44311737

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ ณ ที่นี้

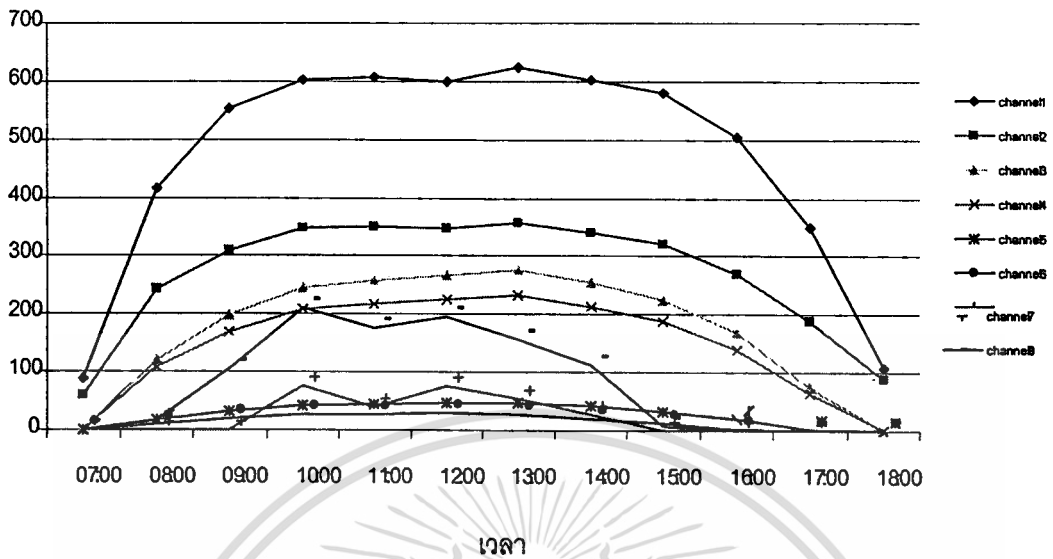
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
 กราฟแสดงผลการทดลอง



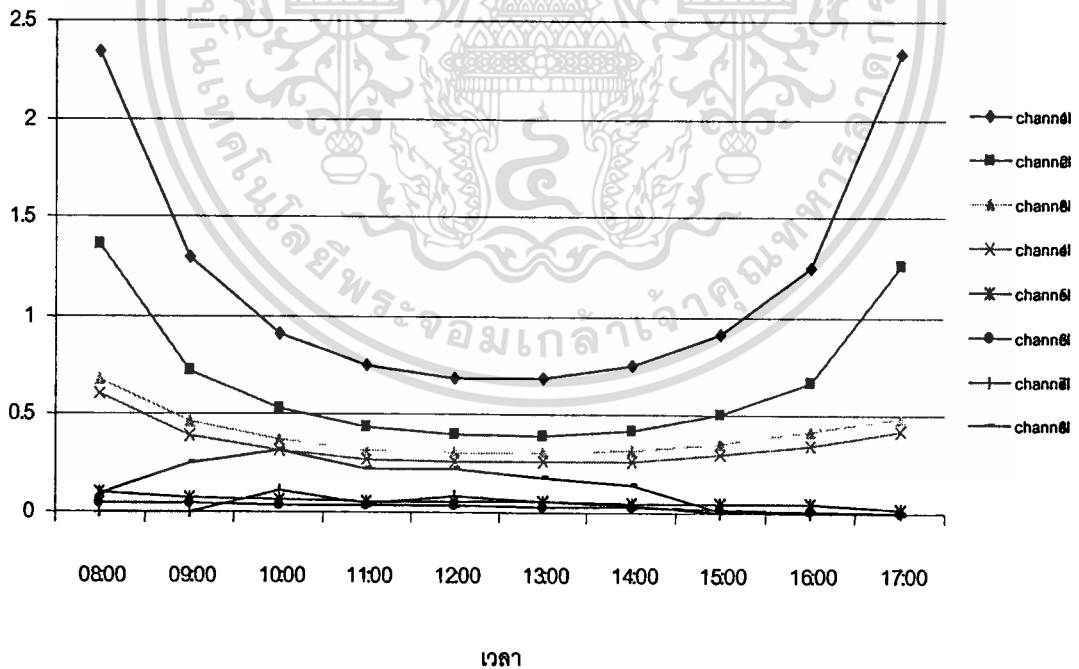
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณการส่องสว่าง (lux)



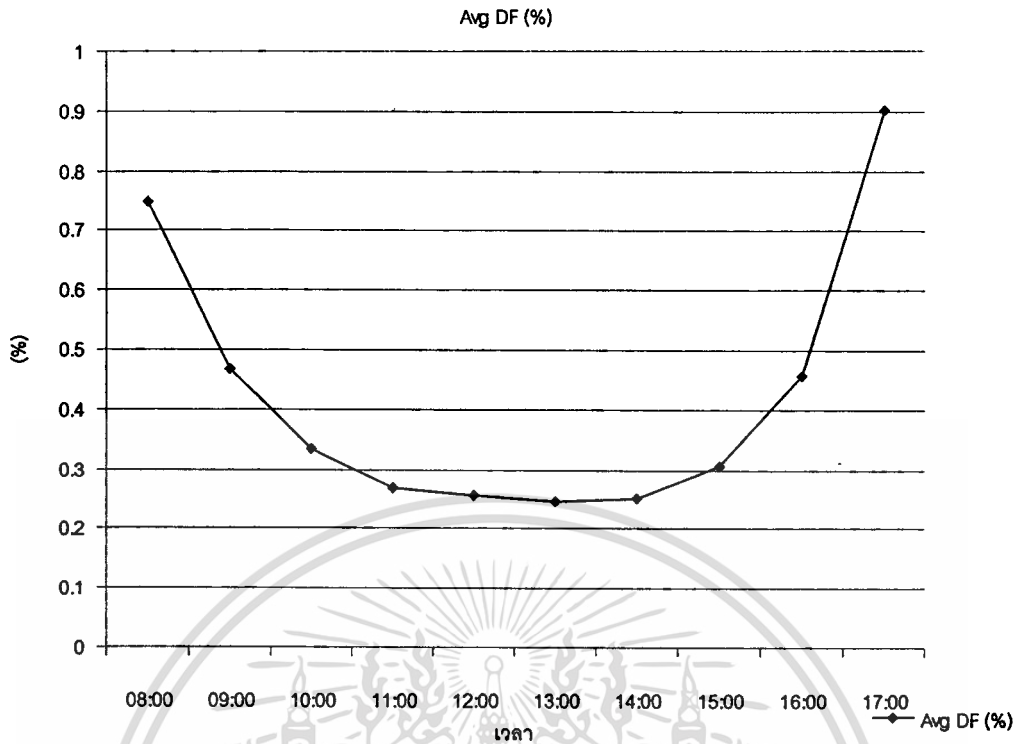
รูปที่ ผ - ข 1 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน บันทึกเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

Daylight factor (%)

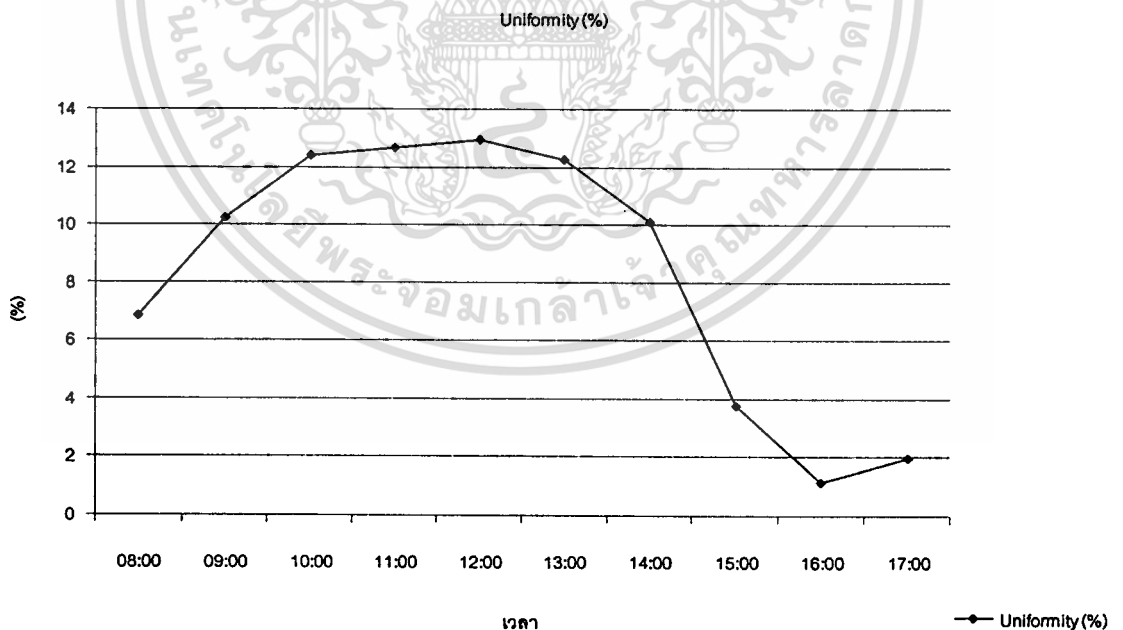


รูปที่ ผ - ข 2 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน บันทึกเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

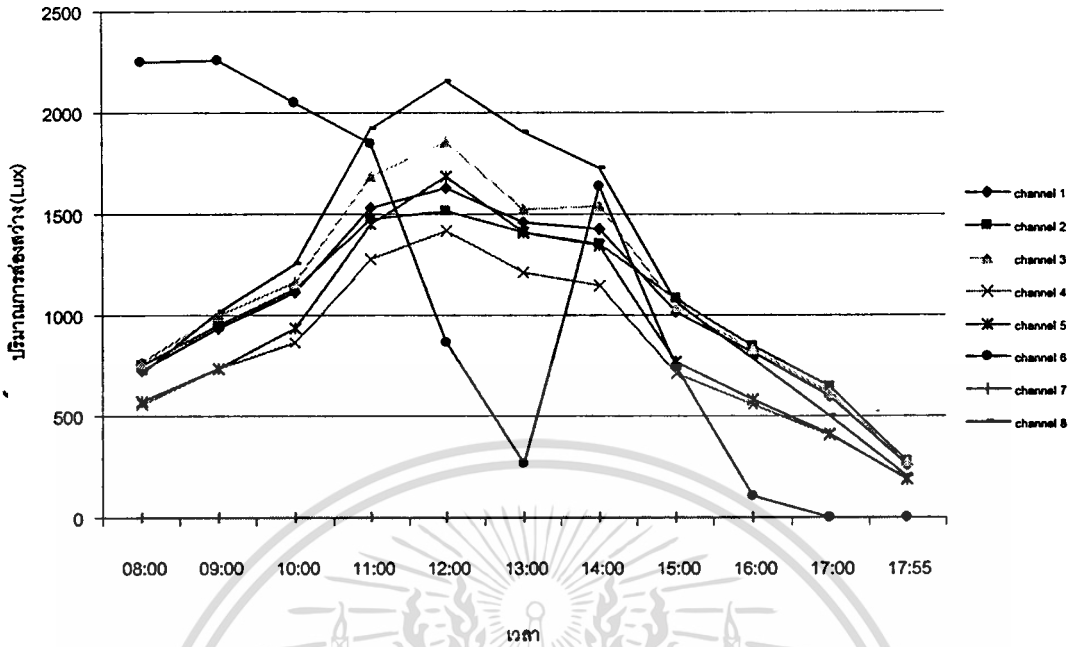


รูปที่ ผ - ข 3 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย (DF) ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน บันทึกเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

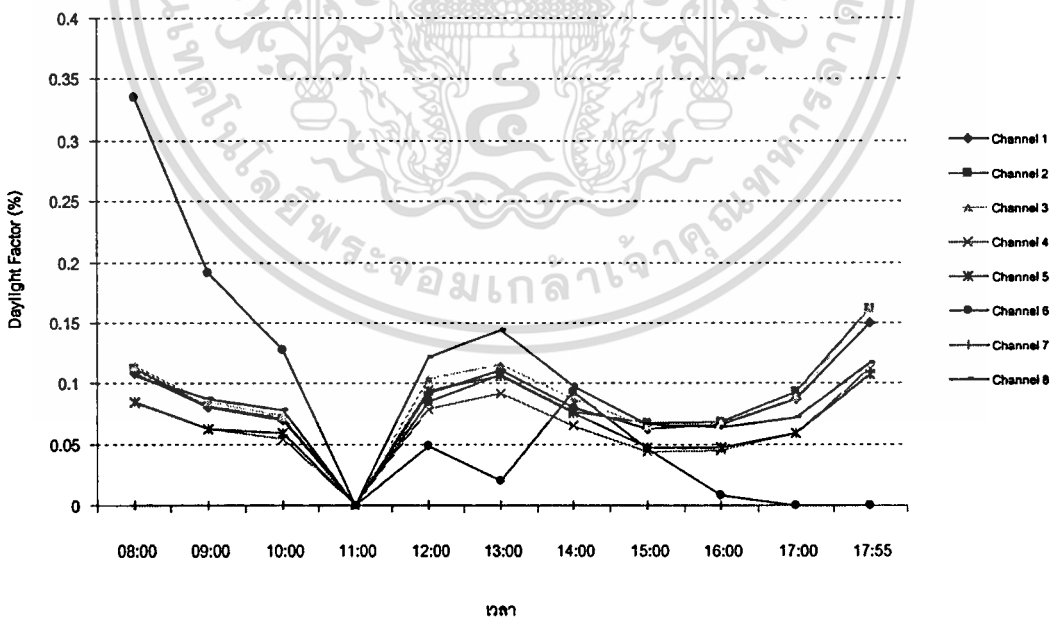


รูปที่ ผ - ข 4 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง ที่ได้จากการทดลองของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน บันทึกเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

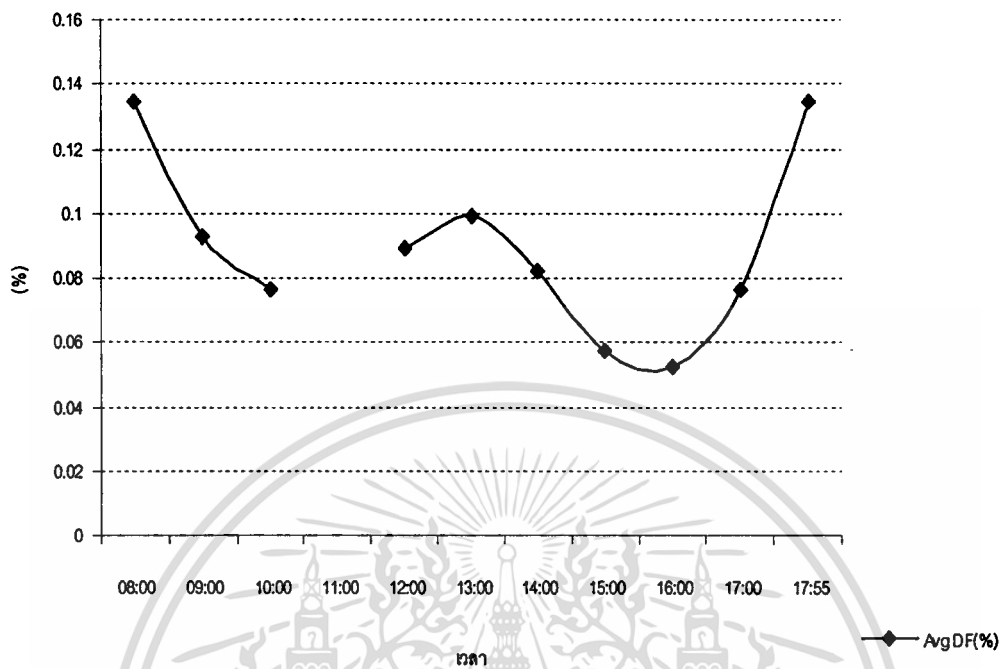


รูปที่ ๕ - ข 5 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

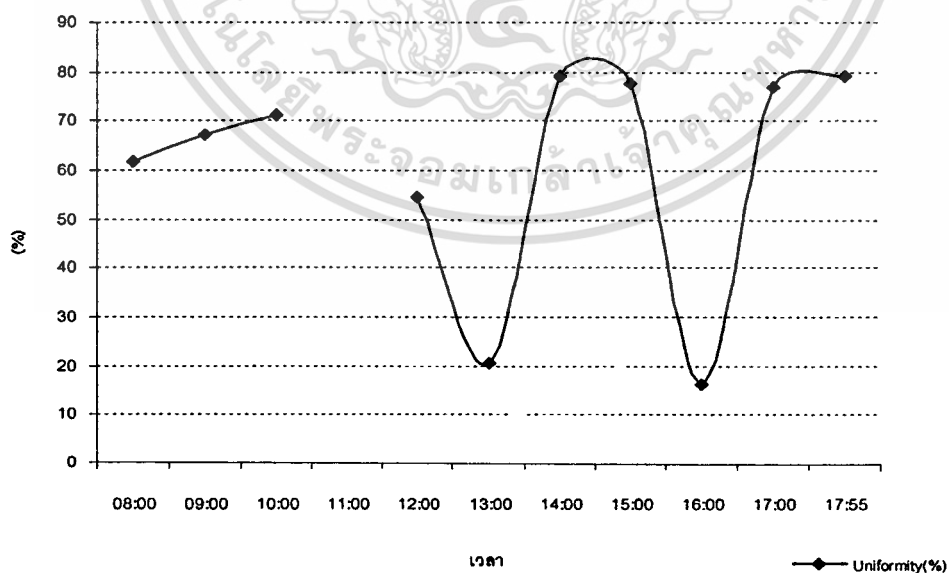


รูปที่ ๕ - ข 6 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

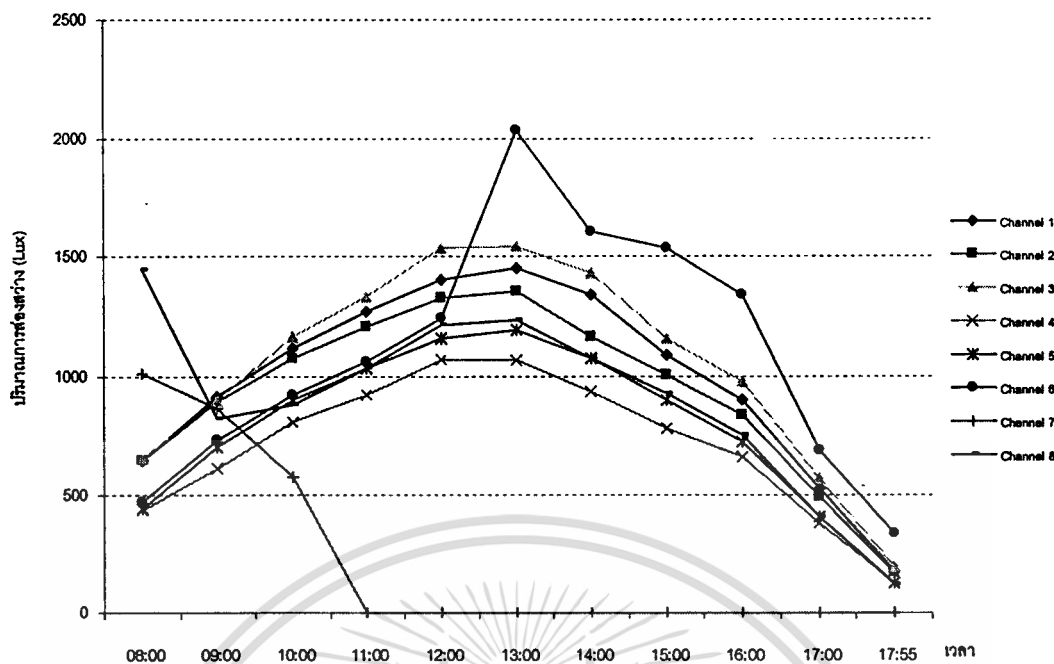


รูปที่ ผ - ข 7 แสดงค่าเดฟิเควนซ์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

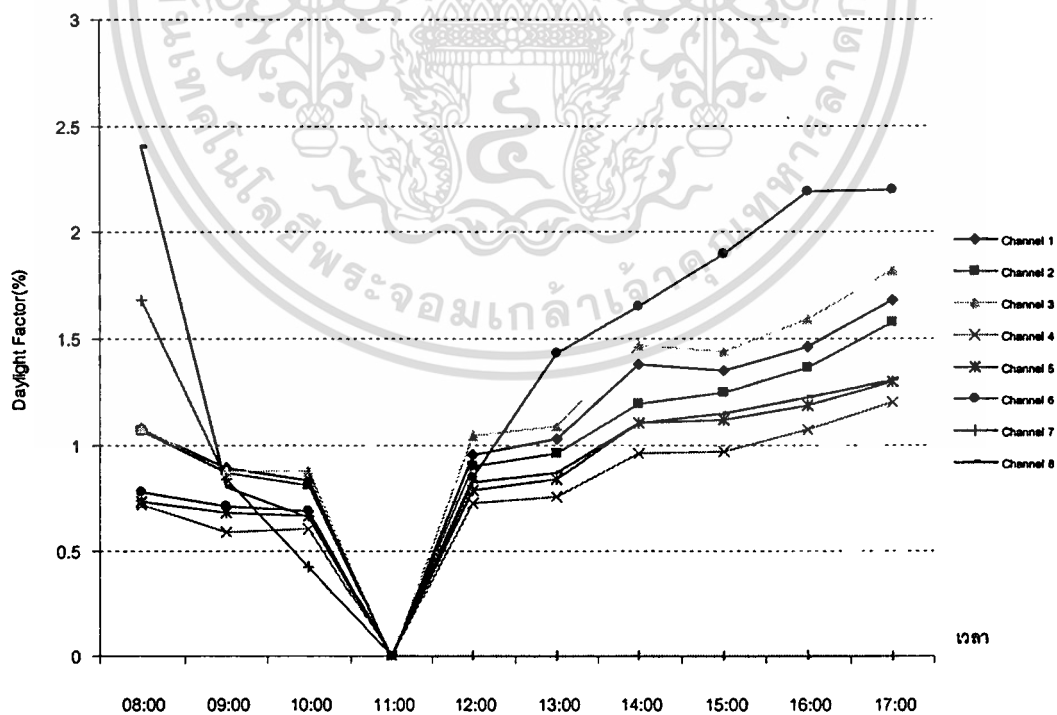


รูปที่ ผ - ข 8 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

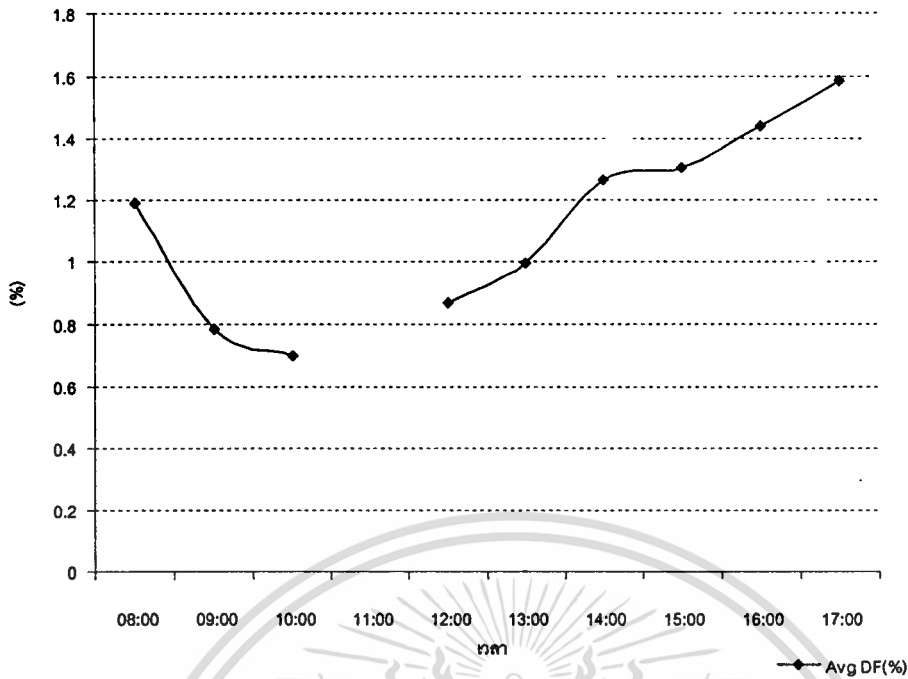


รูปที่ ผ - ข 9 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเหลี่ยม (Saw tooth 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546

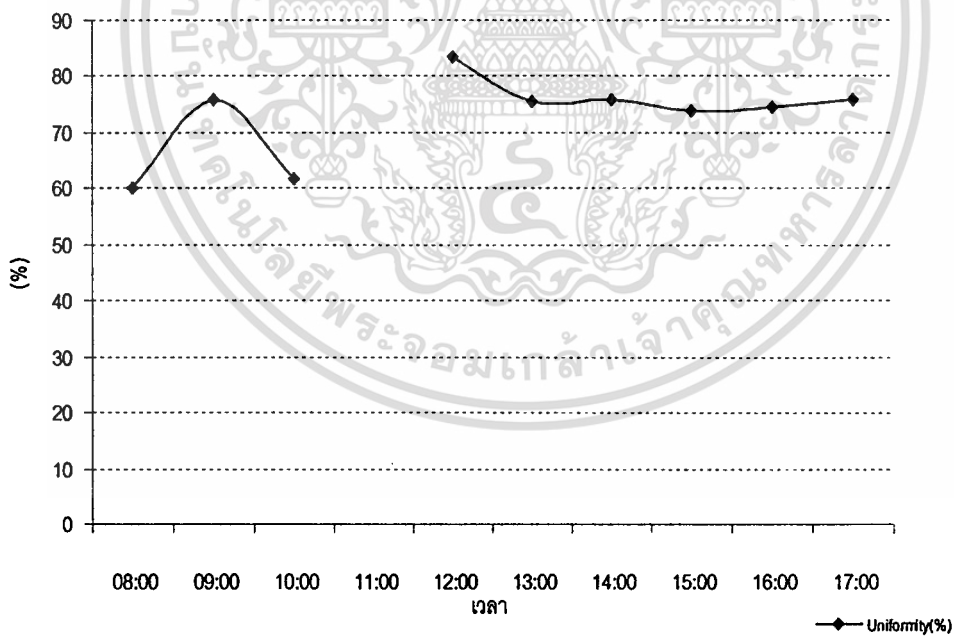


รูปที่ ผ - ข 10 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเหลี่ยม (Saw tooth 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546

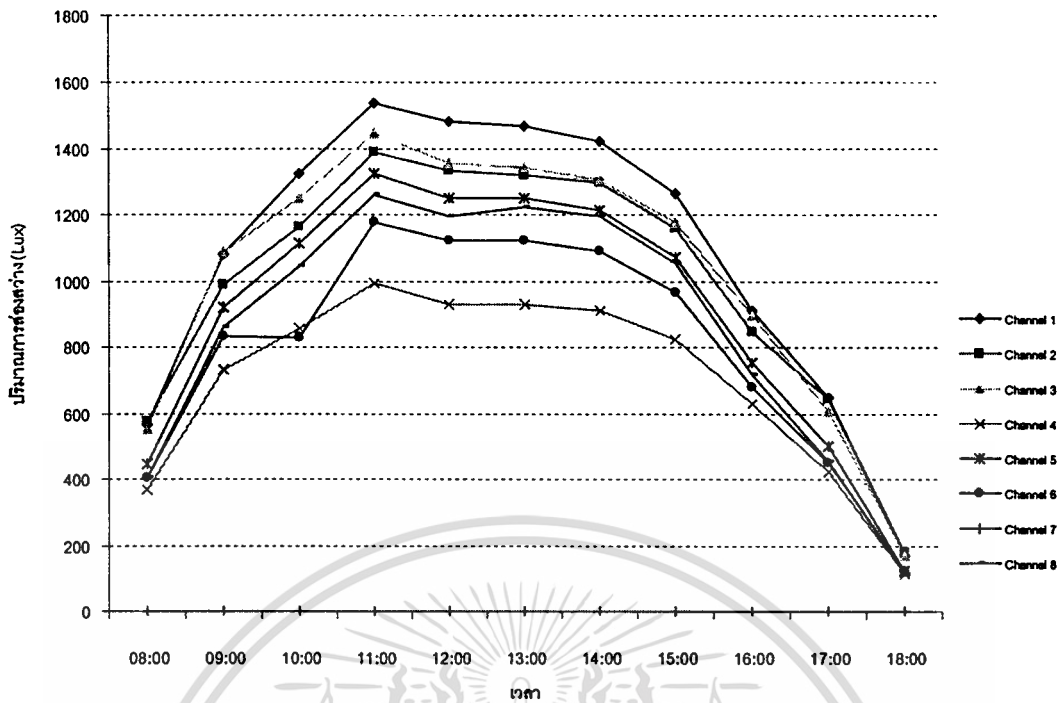
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



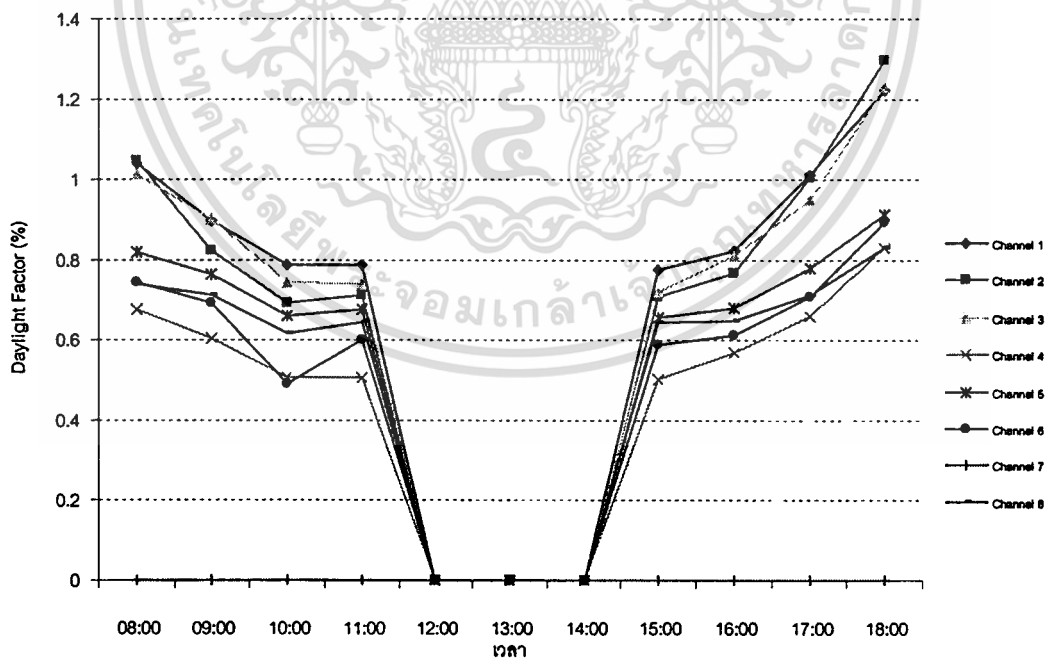
รูปที่ ๘ - ข 11 แสดงค่าเดไฟท์แพคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเดี่ยว (Saw tooth 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546



รูปที่ ๘ - ข 12 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาพื้นเดี่ยว (Saw tooth 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546

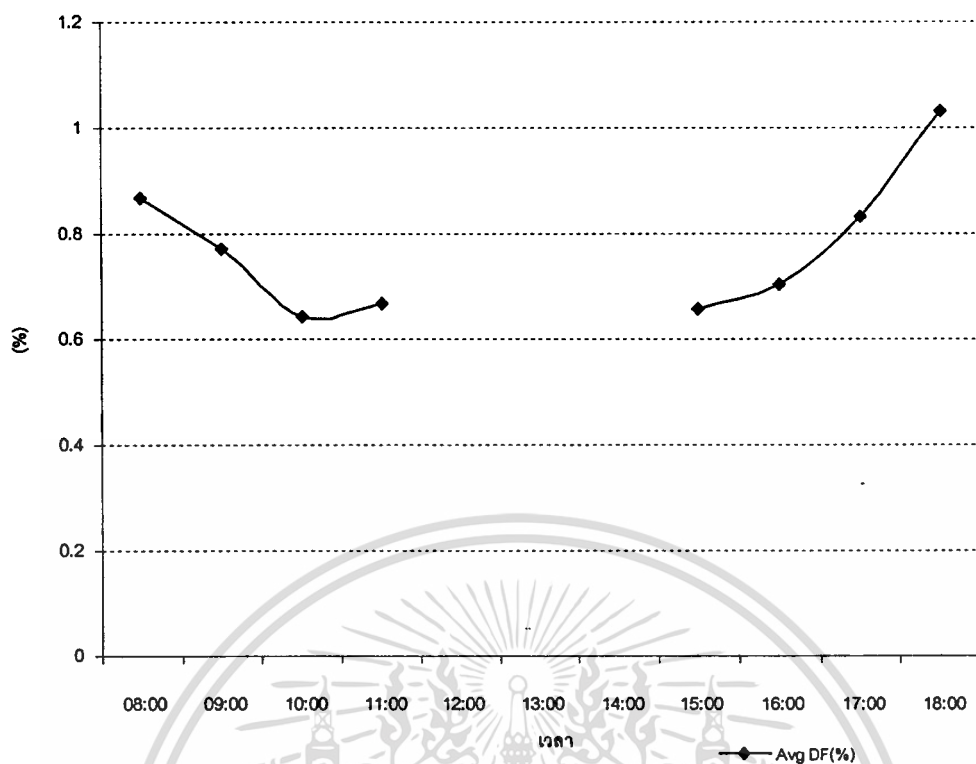


รูปที่ ผ - ข 13 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

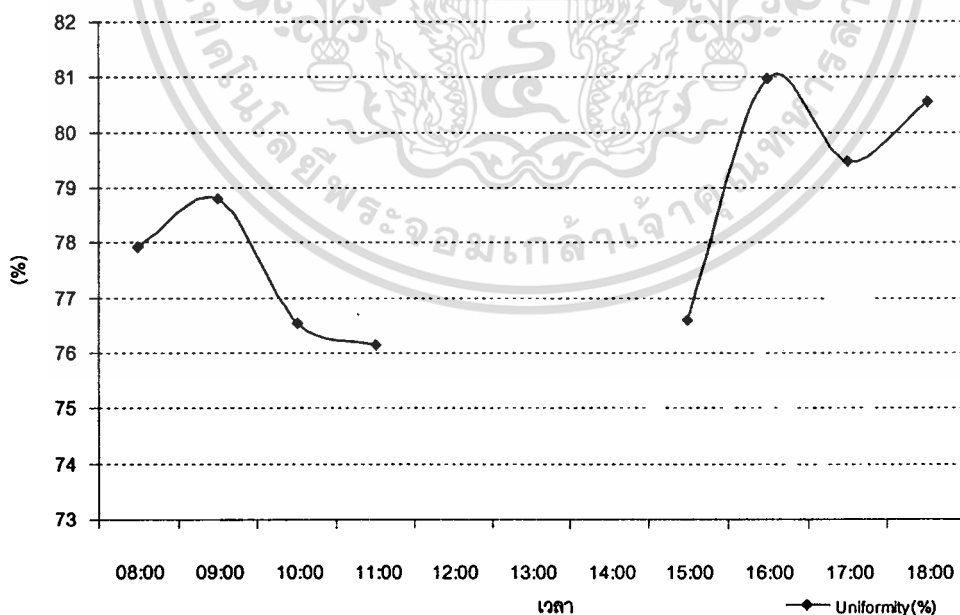


รูปที่ ผ - ข 14 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

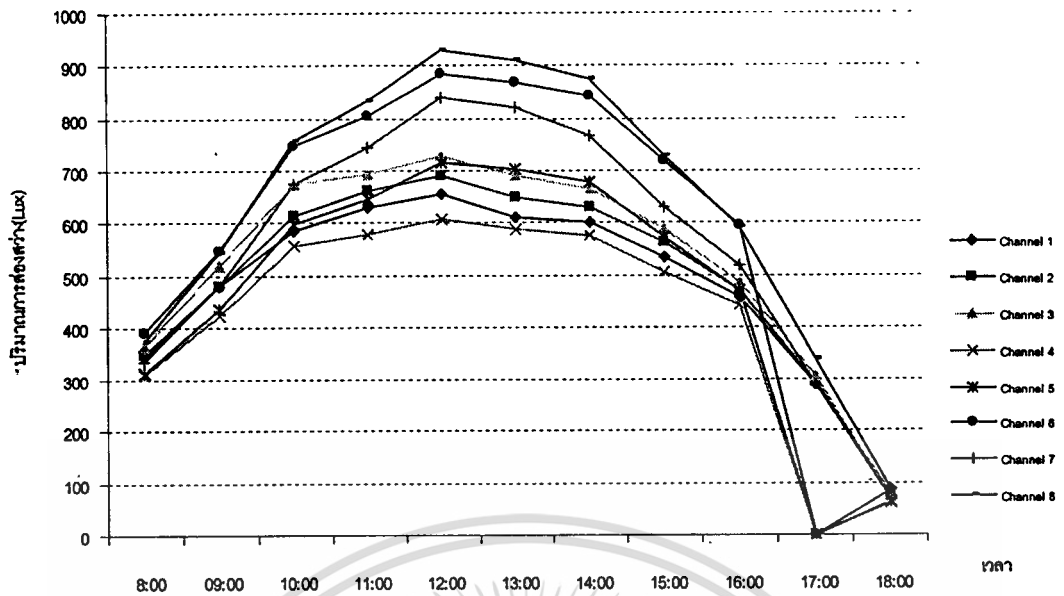


รูปที่ ผ - ข 15 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

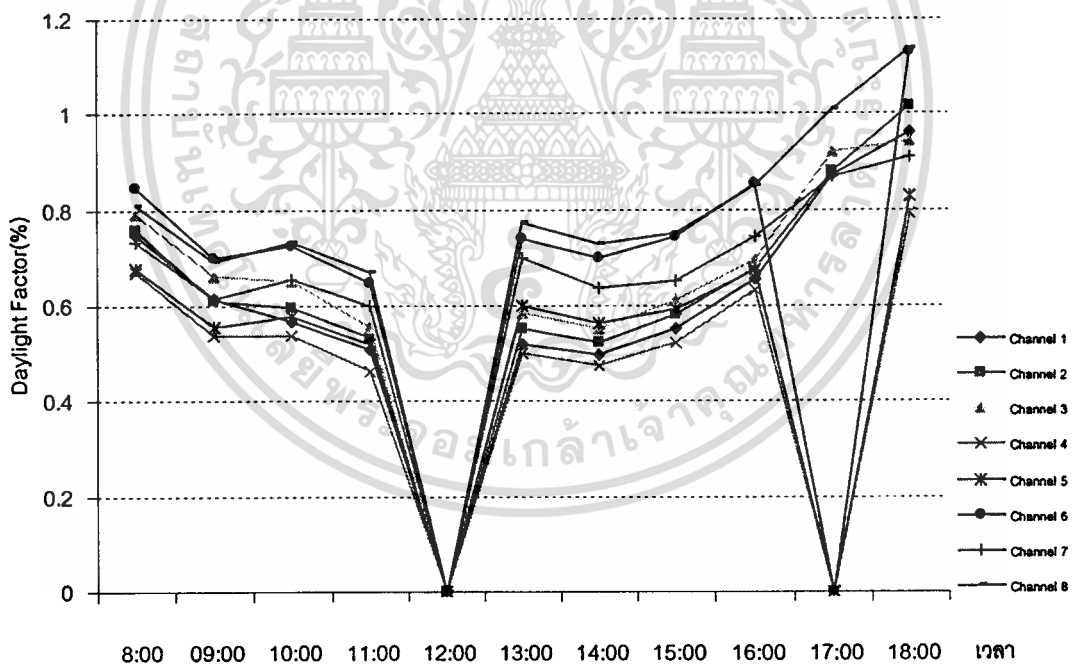


รูปที่ ผ - ข 16 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.1.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

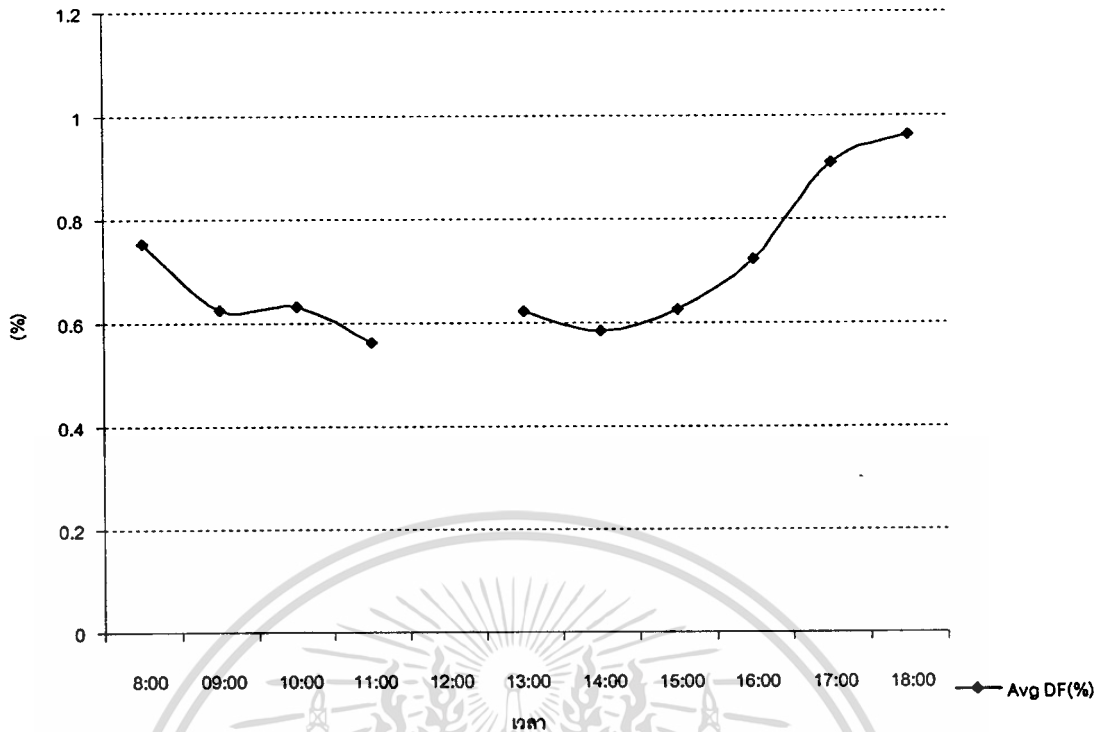
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



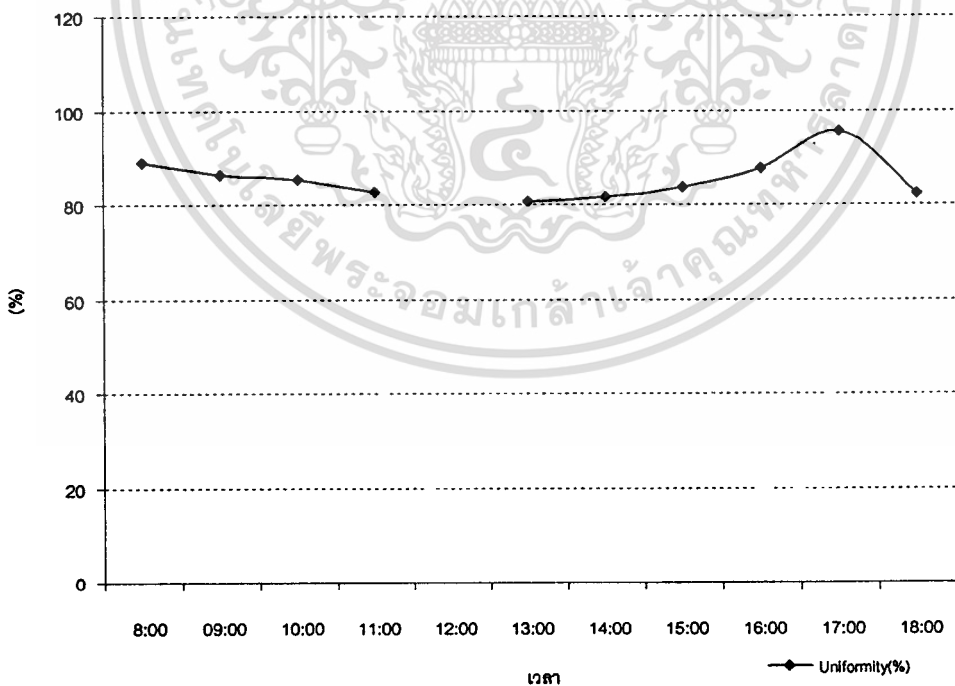
รูปที่ ๘ - ข 17 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546



รูปที่ ๘ - ข 18 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

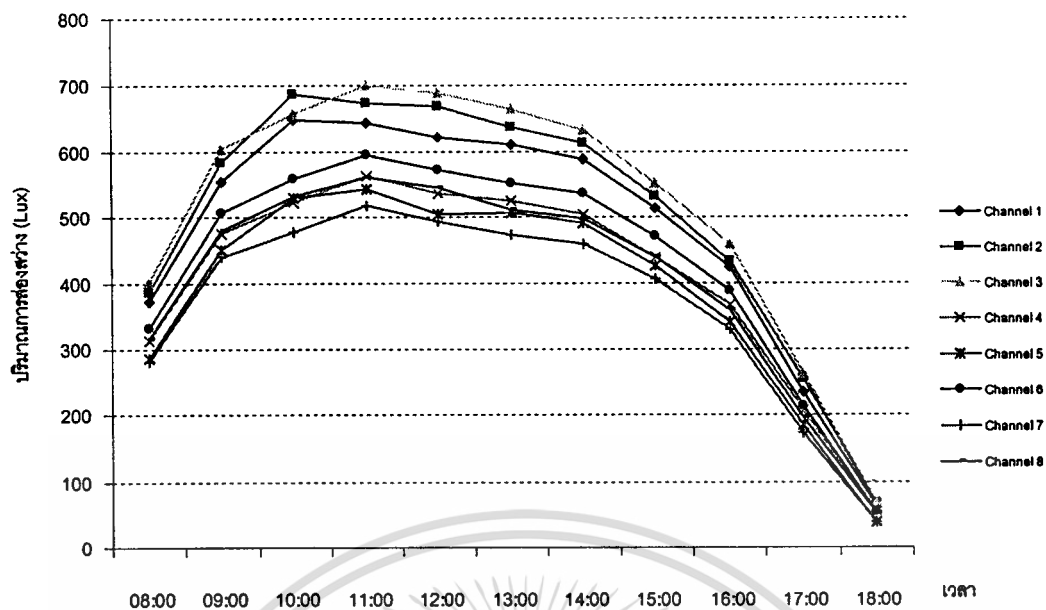


รูปที่ ผ - ข 19 แสดงค่าเดฟิเควนซ์เฉลี่ย (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

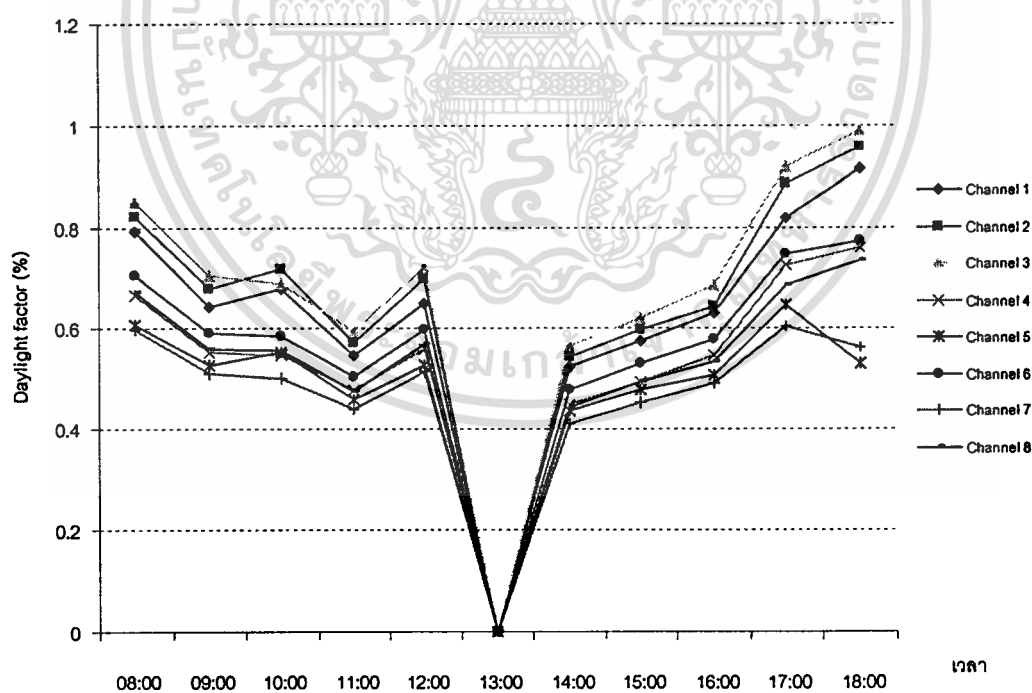


รูปที่ ผ - ข 20 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

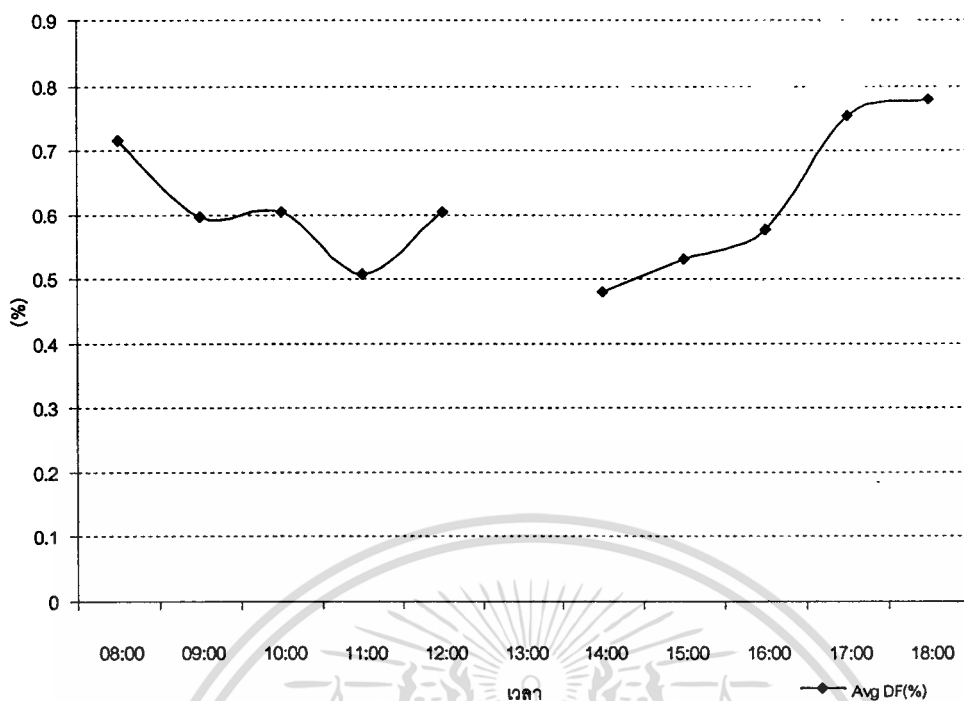


รูปที่ ๘ - ข 21 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

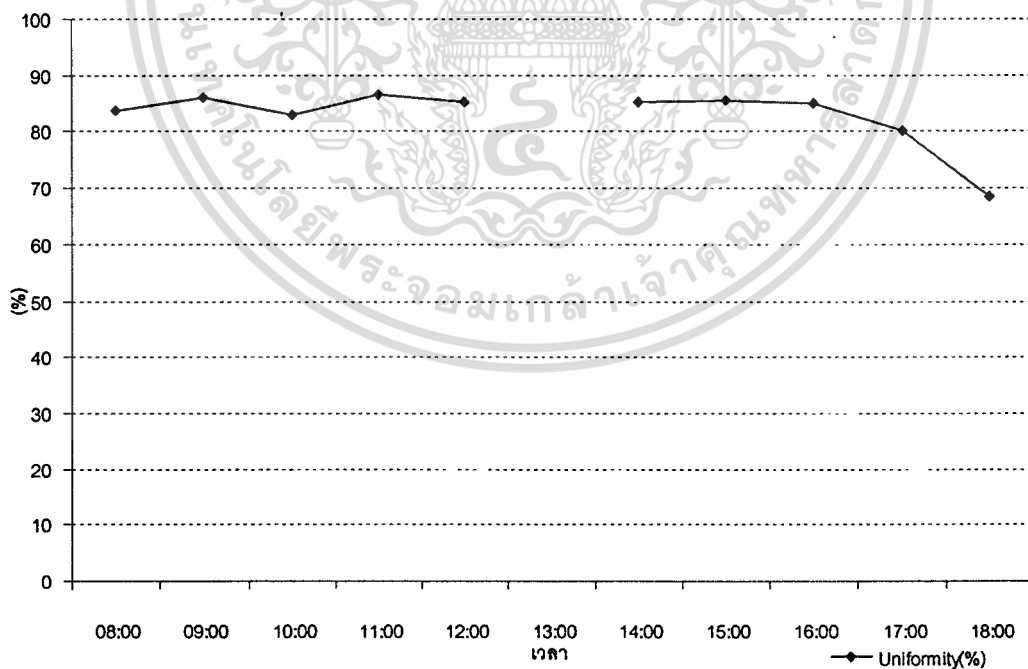


รูปที่ ๘ - ข 22 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

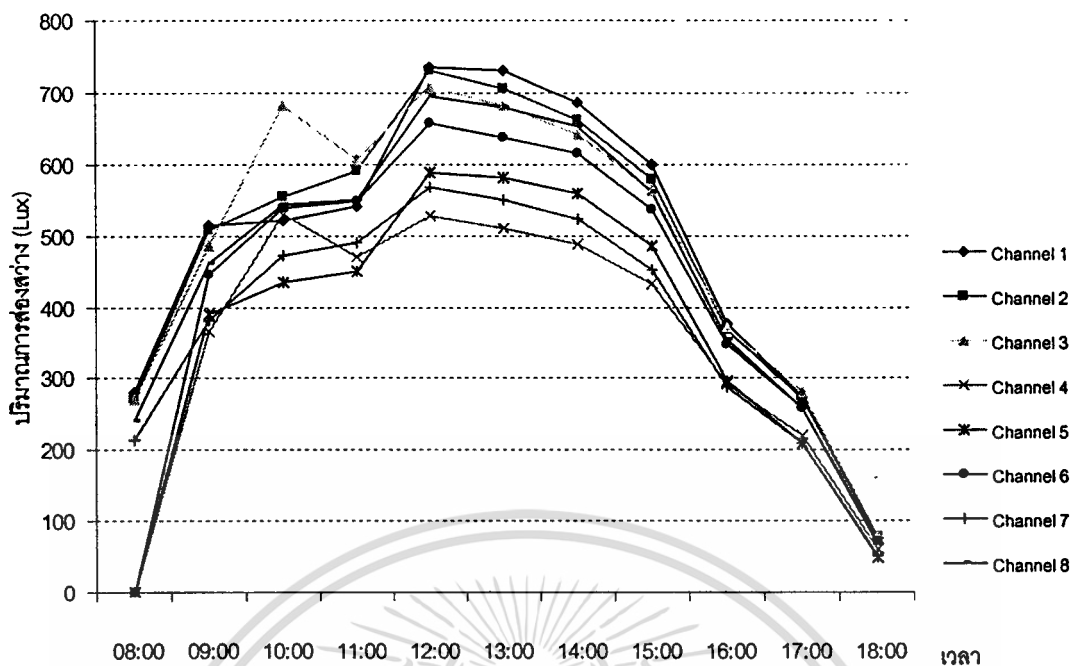


รูปที่ ผ - ข 23 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย (Saw tooth 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

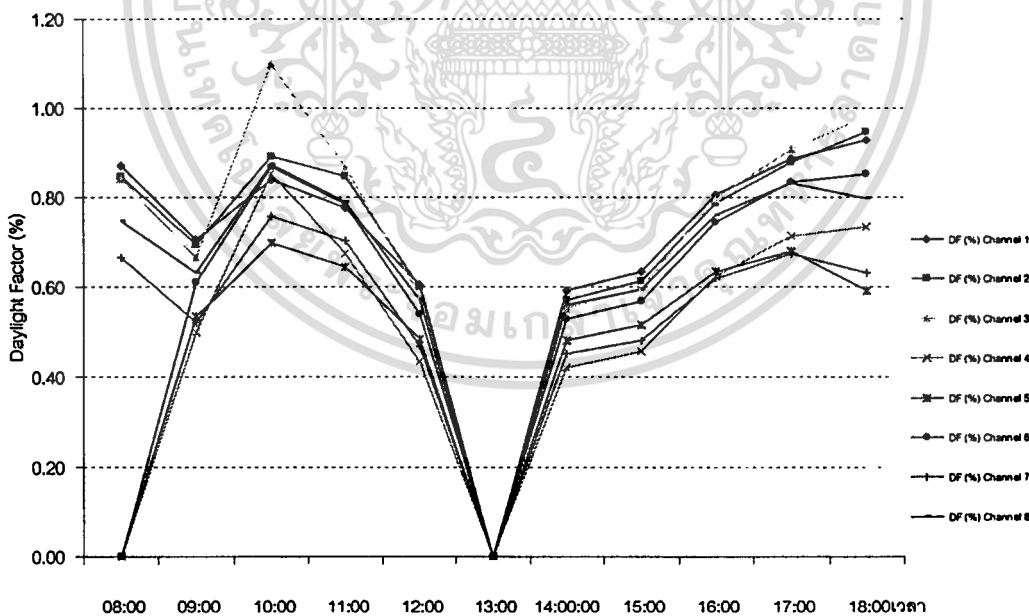


รูปที่ ผ - ข 24 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย (Saw tooth 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

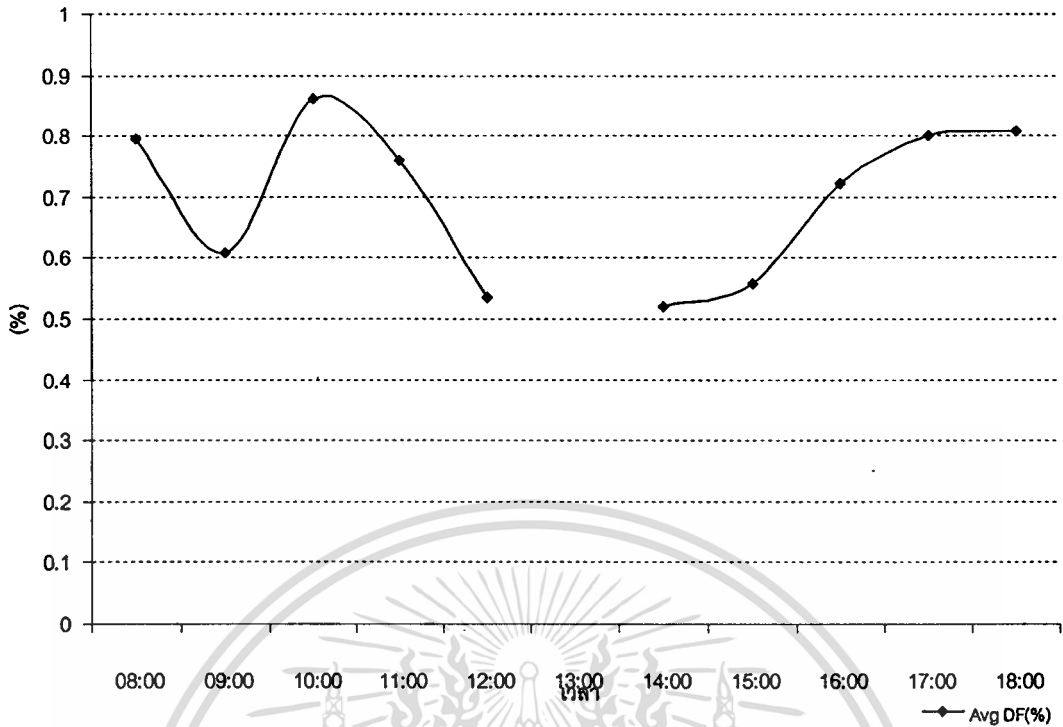
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



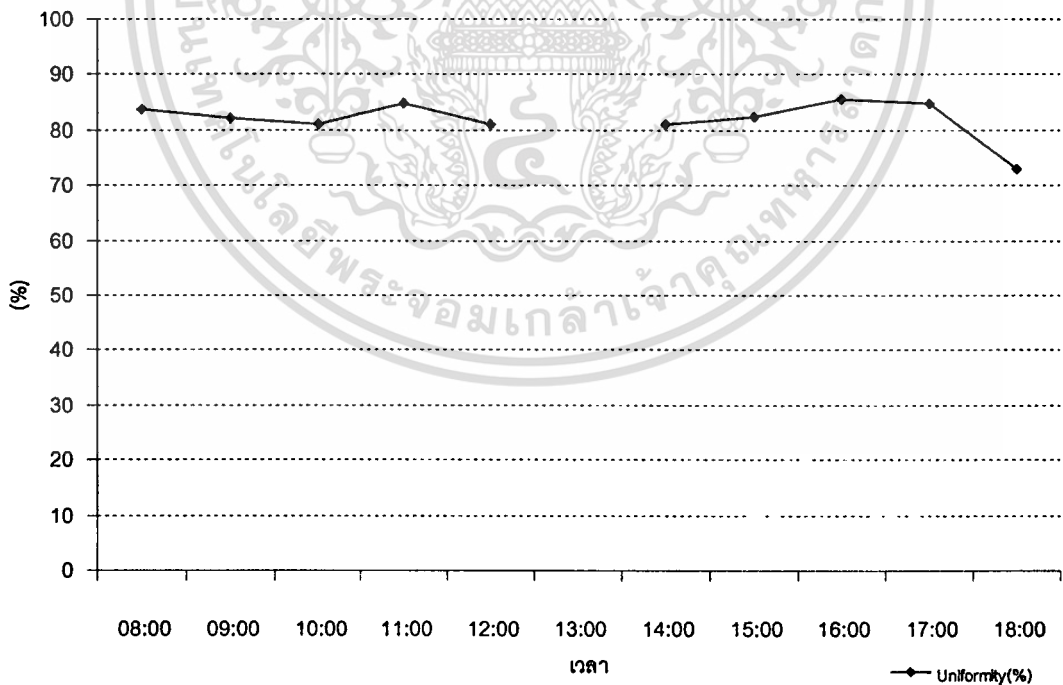
รูปที่ ผ - ข 25 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546



รูปที่ ผ - ข 26 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคาฟันเลื่อย (Saw tooth 1.2.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

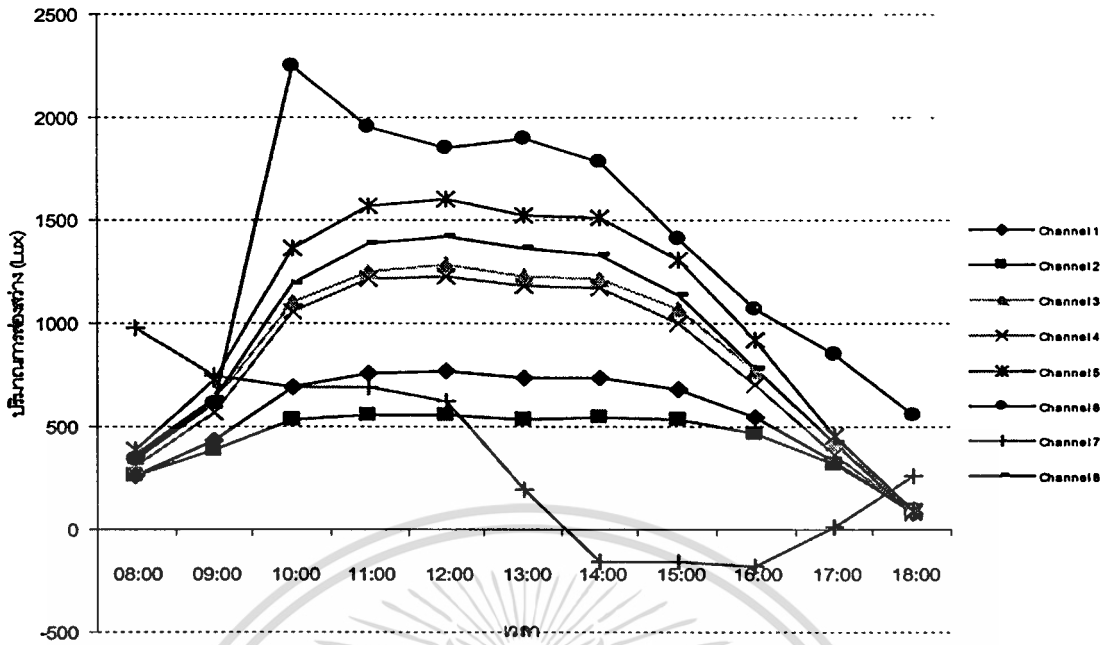


รูปที่ ผ - ข 27 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย (Saw tooth 1.2.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

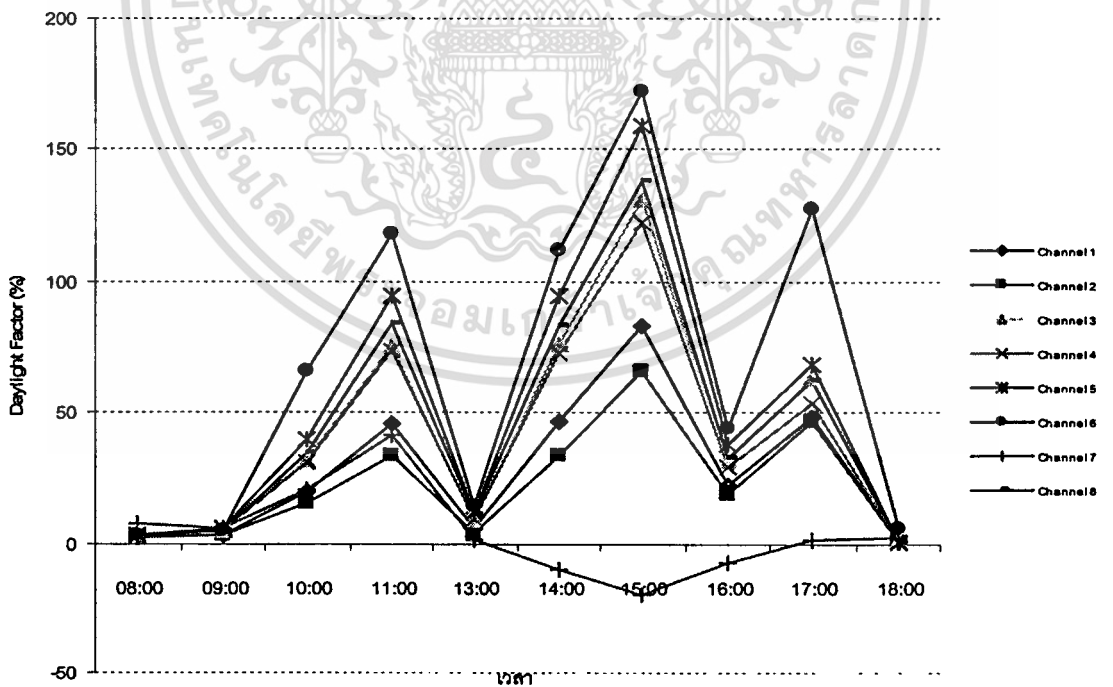


รูปที่ ผ - ข 28 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคาพื้นเลื่อย (Saw tooth 1.2.3) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

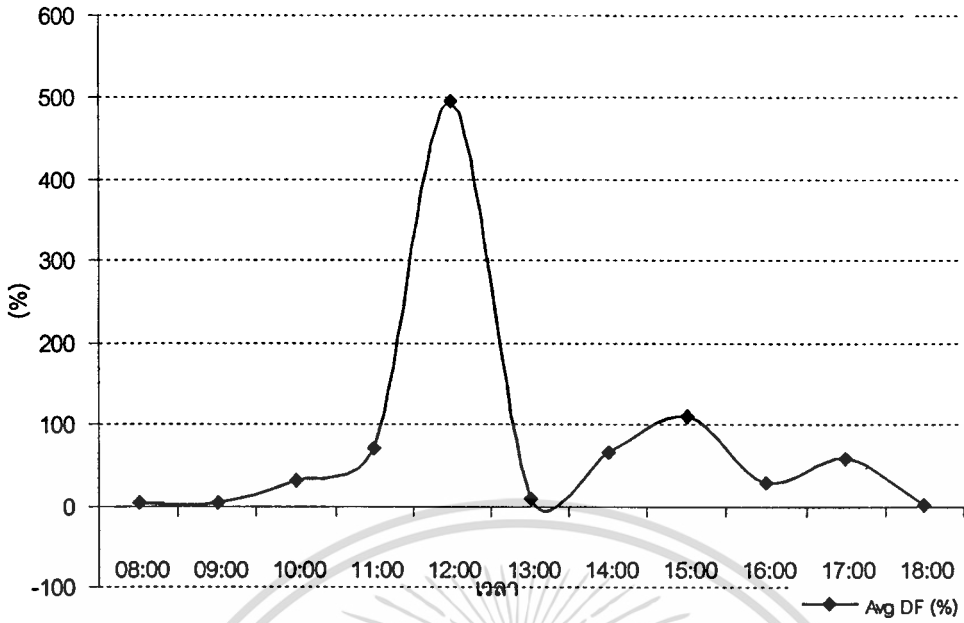


รูปที่ ผ - ข 29 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

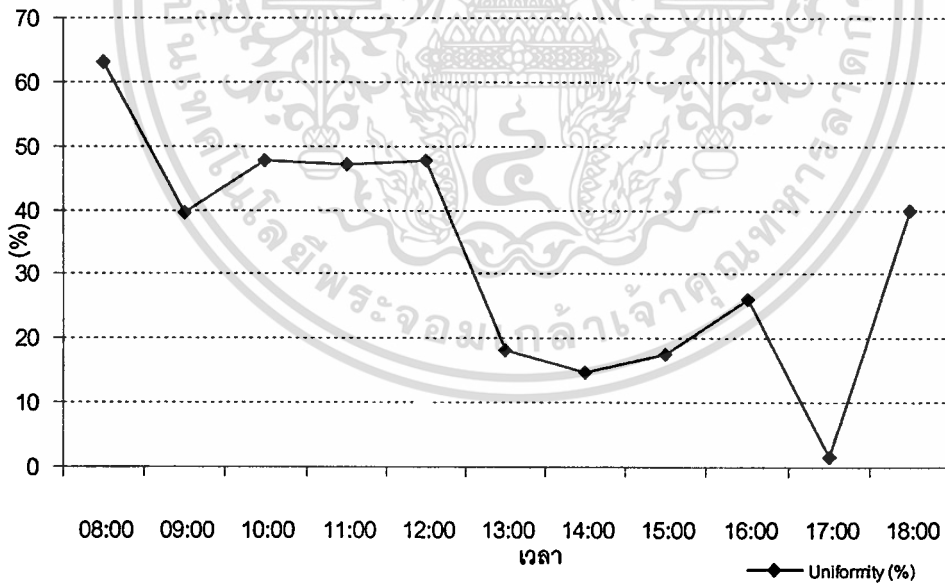


รูปที่ ผ - ข 30 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

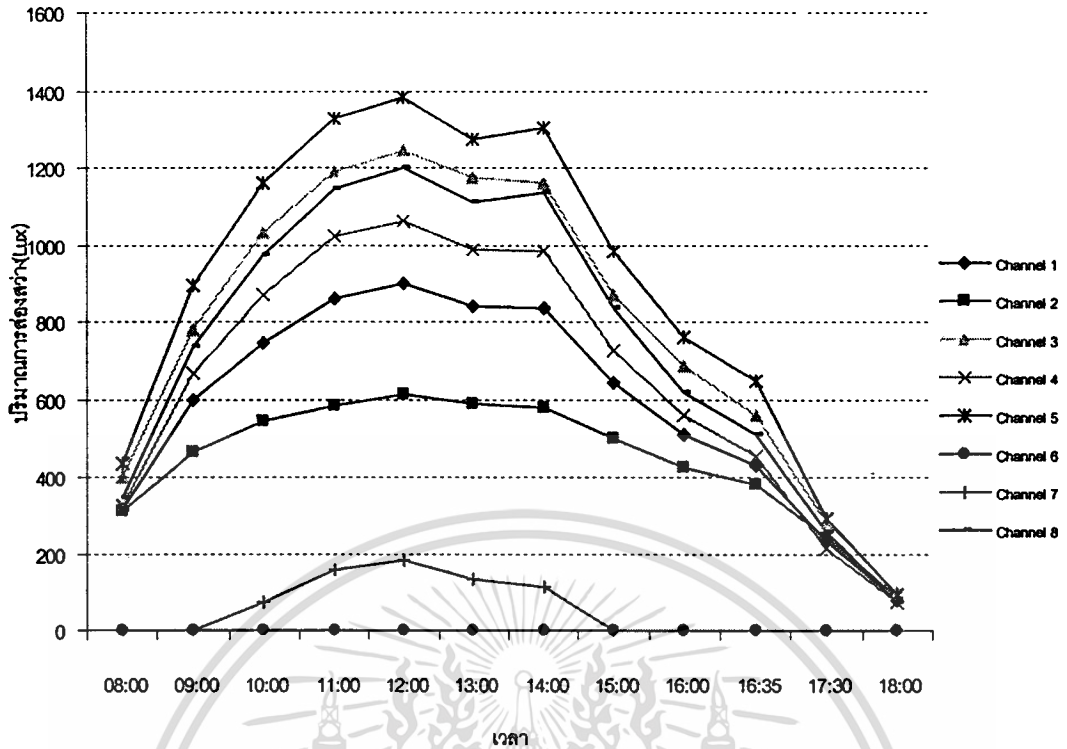


รูปที่ ผ - ข 31 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

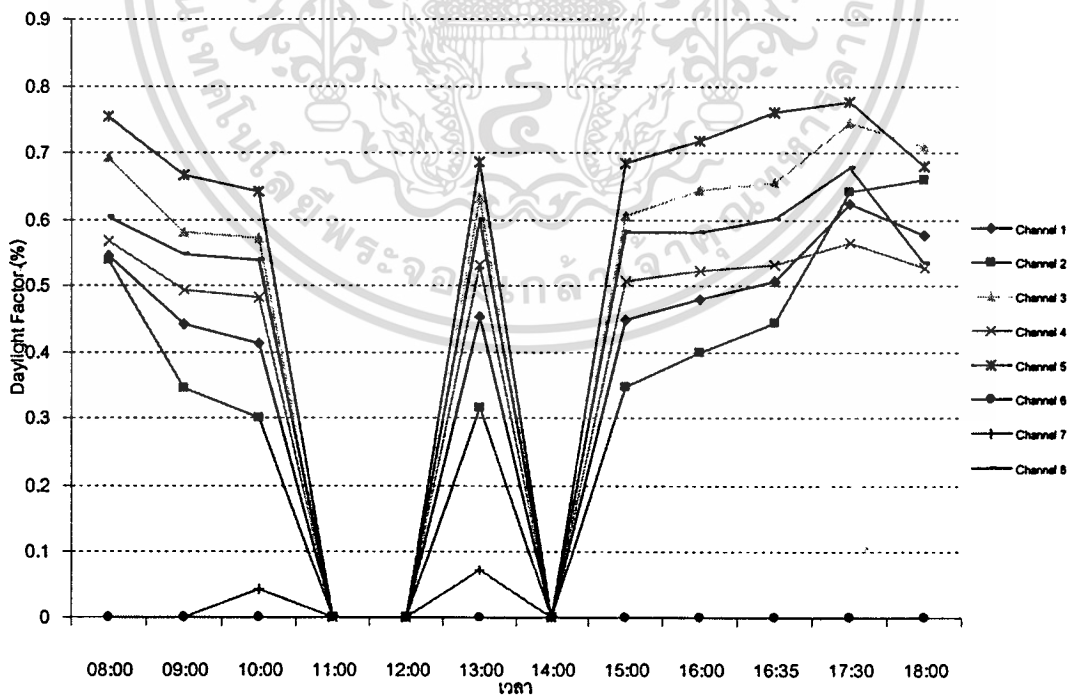


รูปที่ ผ - ข 32 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

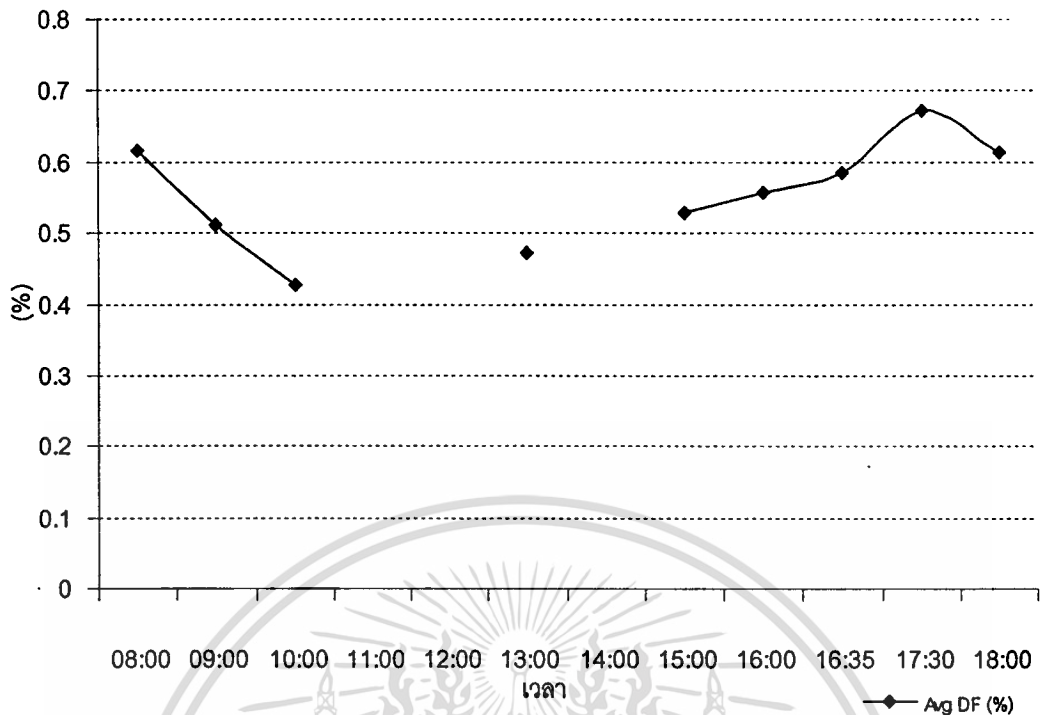


รูปที่ ๘ - ข 33 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546

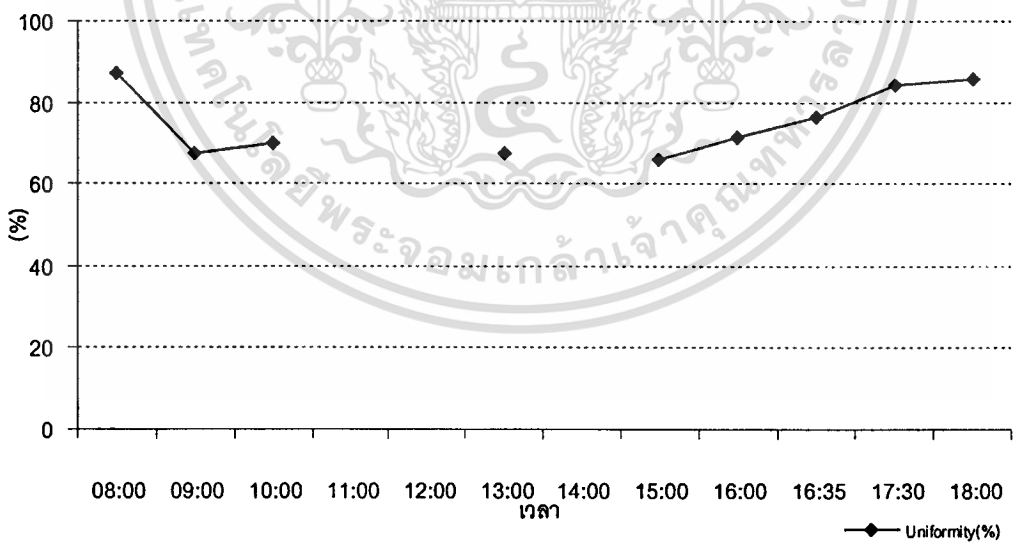


รูปที่ ๘ - ข 34 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546

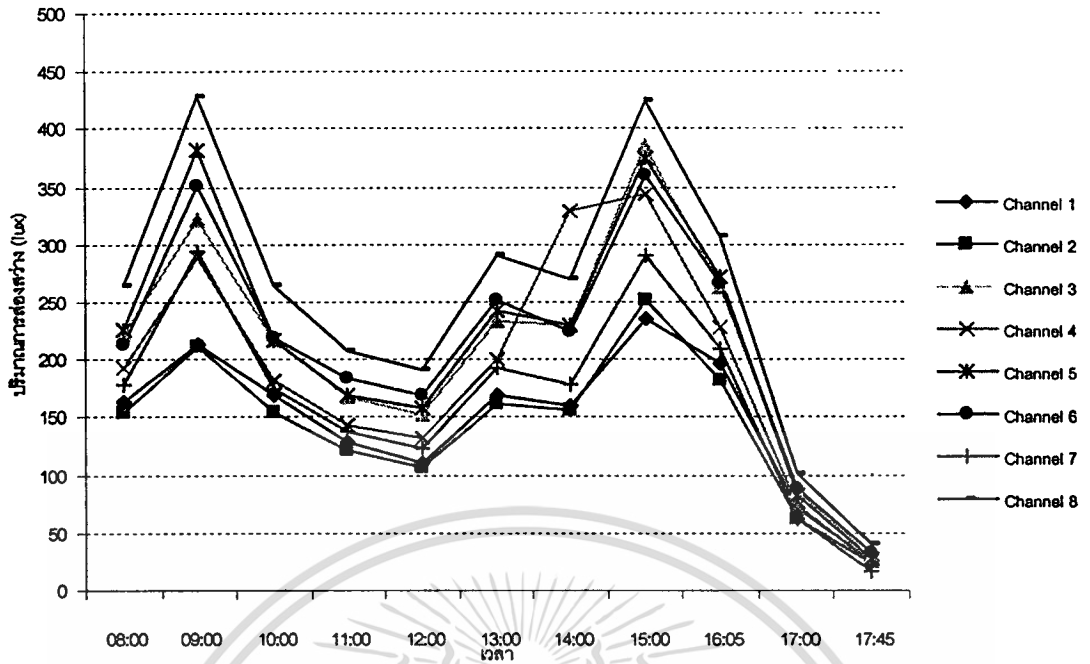
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



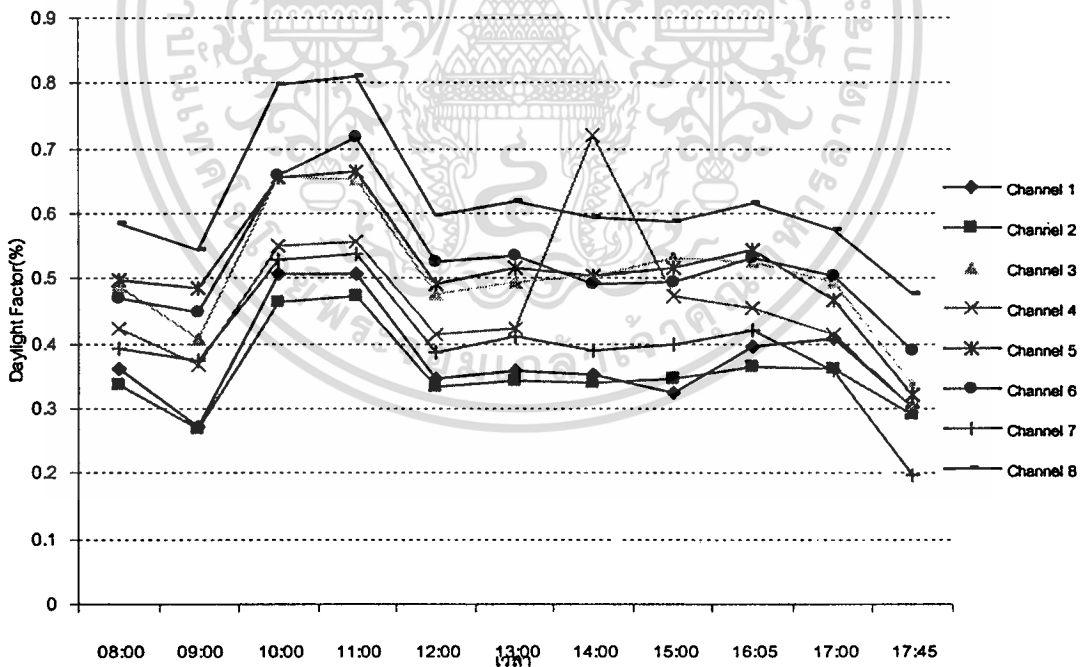
รูปที่ ผ - ข 35 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546



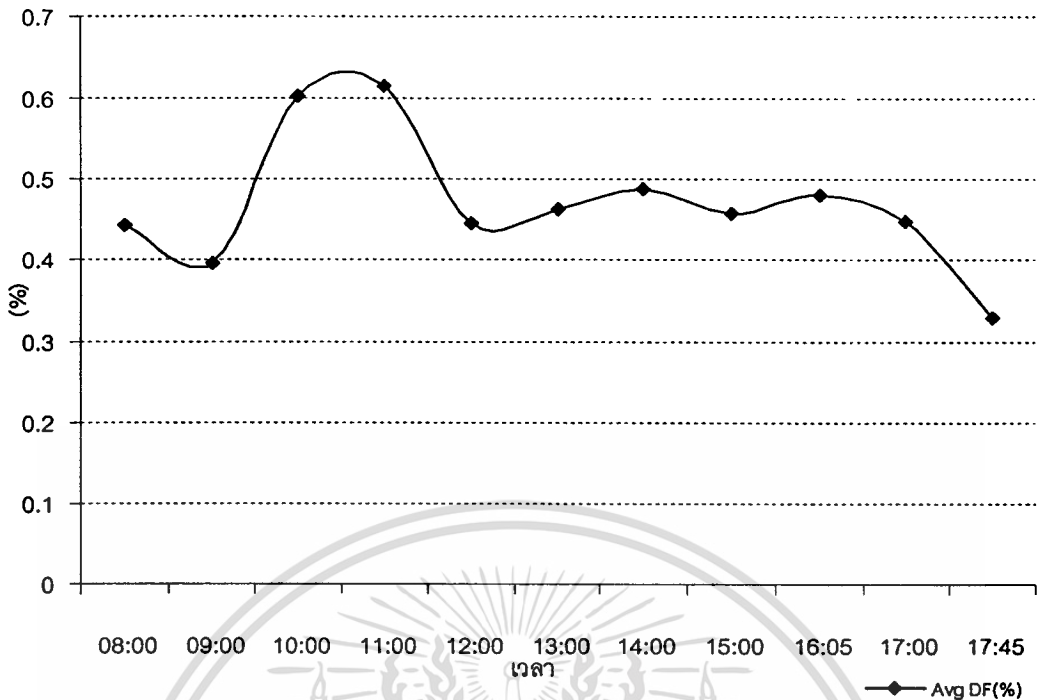
รูปที่ ผ - ข 36 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.1.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546



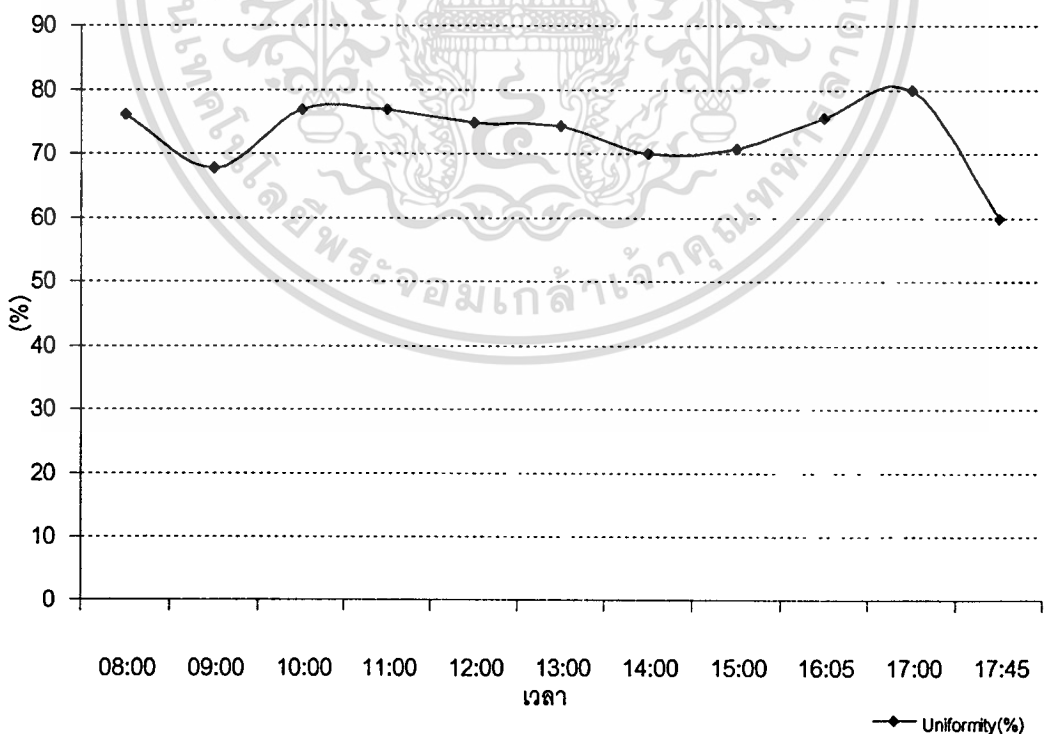
รูปที่ ผ - ข 37 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546



รูปที่ ผ - ข 38 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

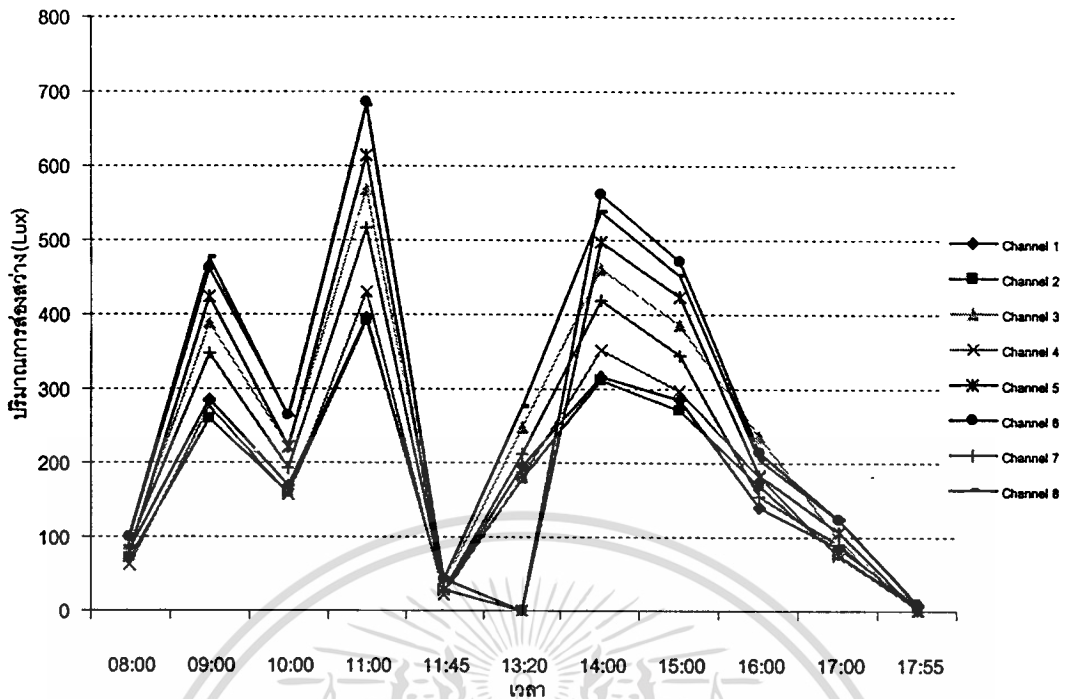


รูปที่ ผ - ข 39 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย(DF)ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

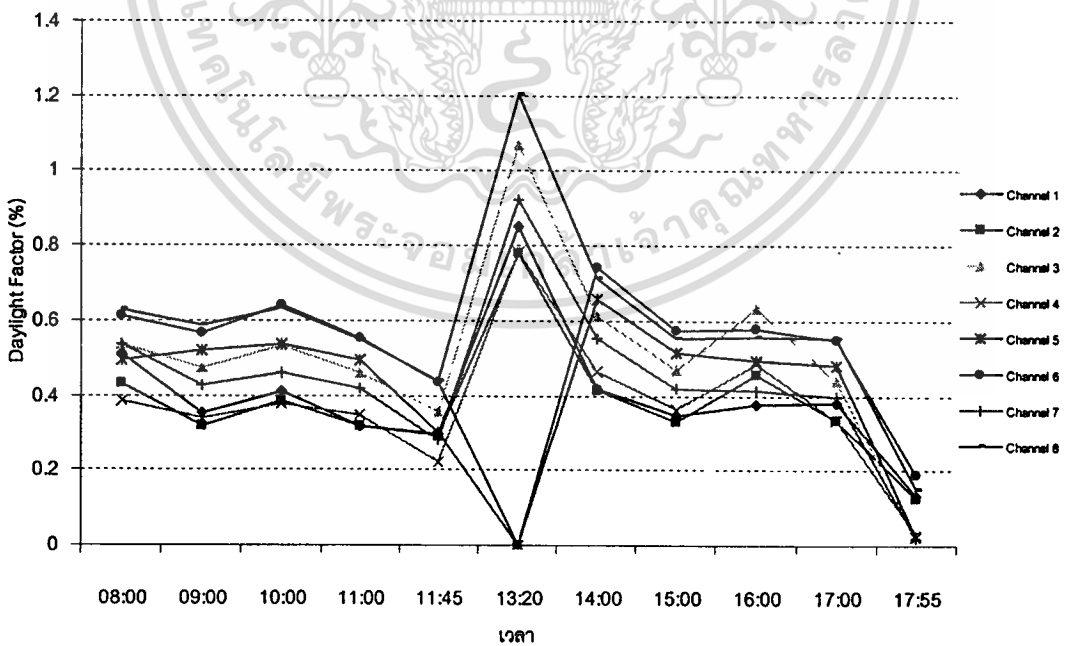


รูปที่ ผ - ข 40 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.1) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

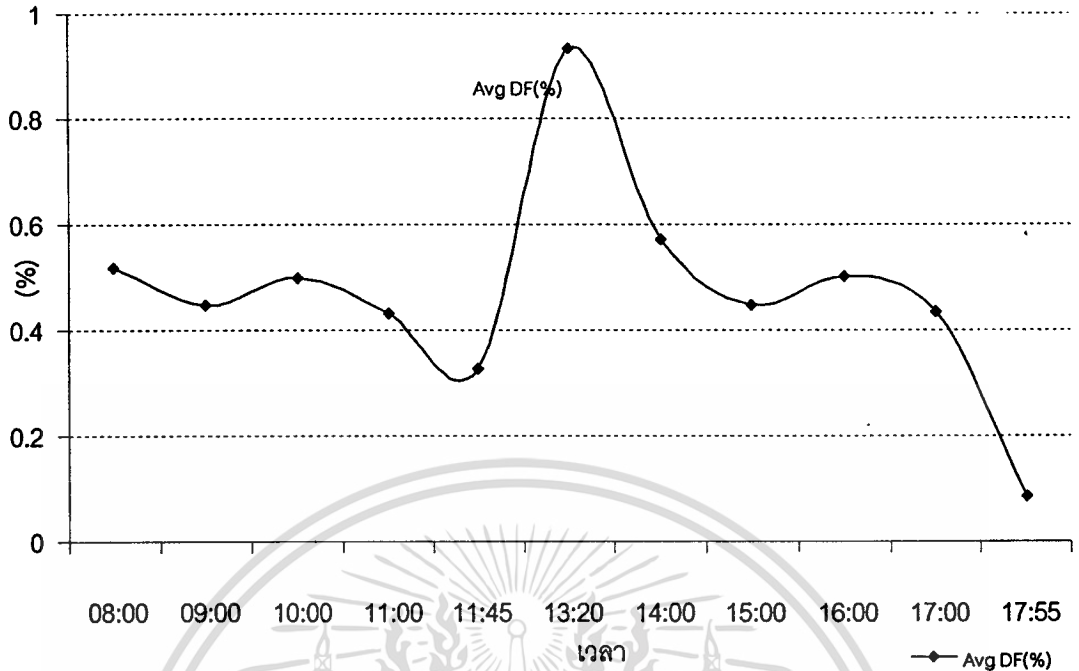


รูปที่ ๒ - ข 41 แสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

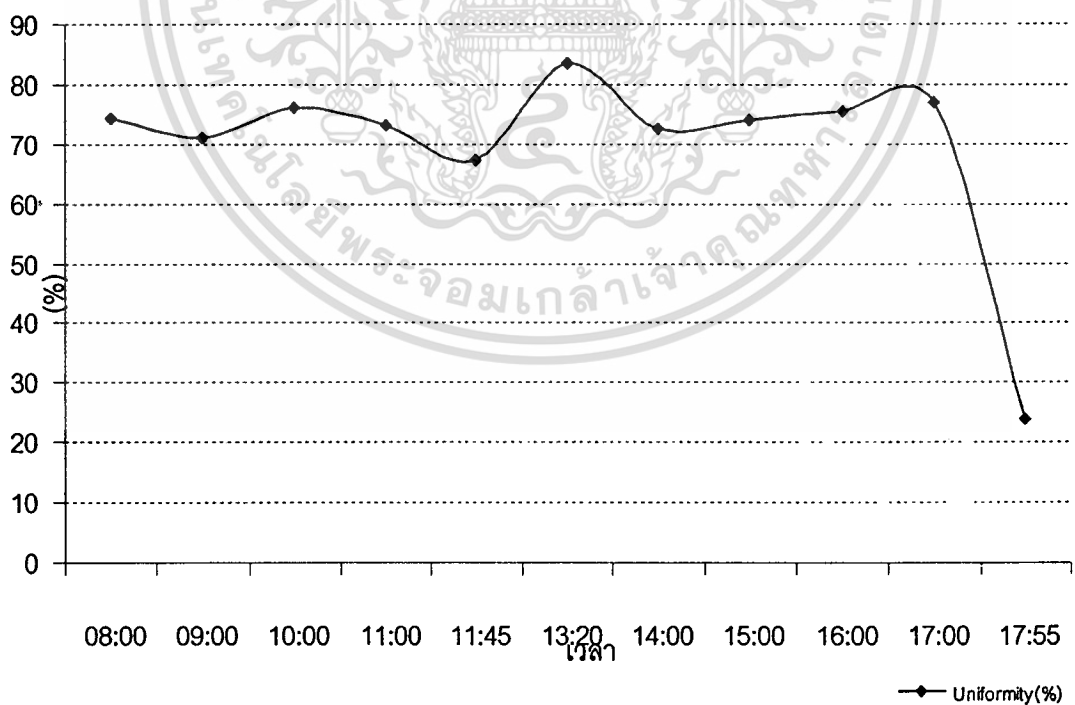


รูปที่ ๒ - ข 42 แสดงค่าเดไลท์แฟคเตอร์ (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

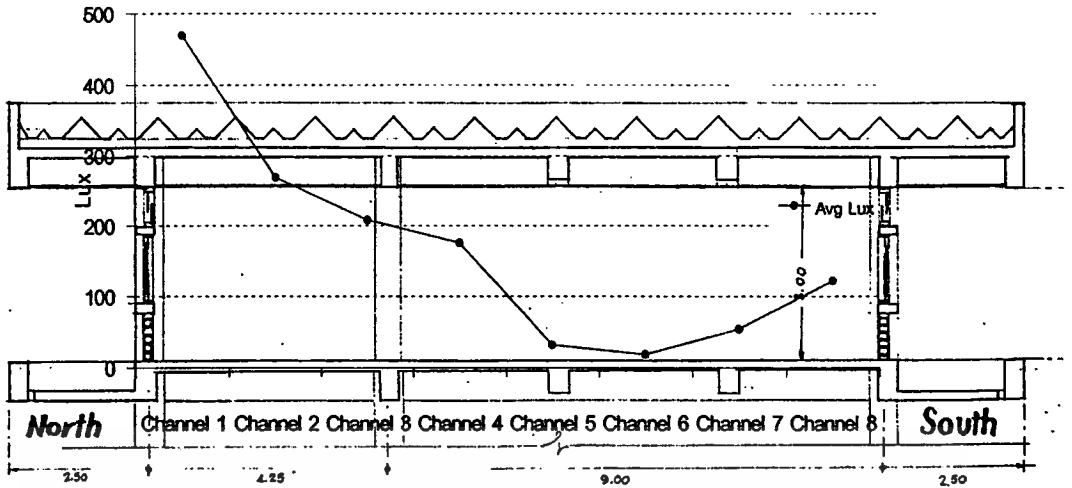


รูปที่ ผ - ข 43 แสดงค่าเดฟิแคเตอร์เฉลี่ย (DF) ที่ได้จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

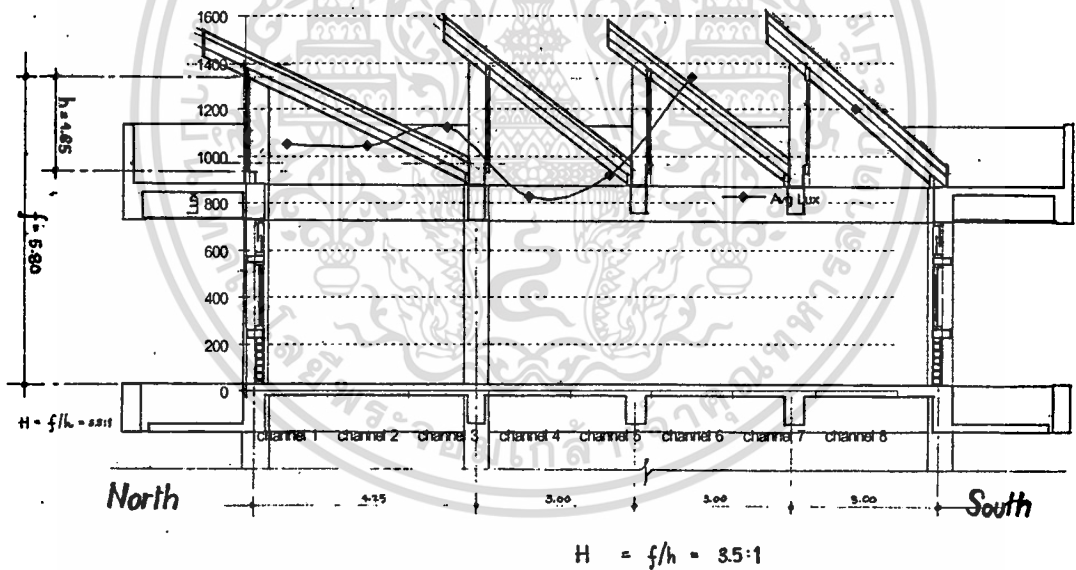


รูปที่ ผ - ข 44 แสดงค่าความสม่ำเสมอการกระจายแสง จากการทดลองของหลังคามอนิเตอร์ (Monitor 1.2.2) เมื่อเทียบกับเวลาตลอดทั้งวัน เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

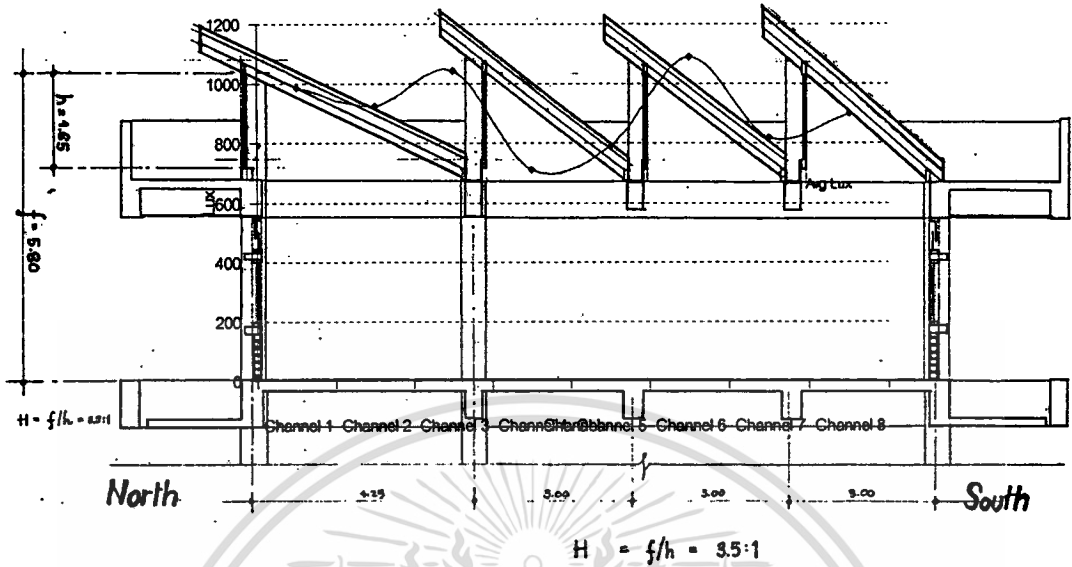


รูปที่ ผ-ข 45 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของพื้นที่ศึกษา (Existing) เมื่อวันที่ 15 มกราคม 2546

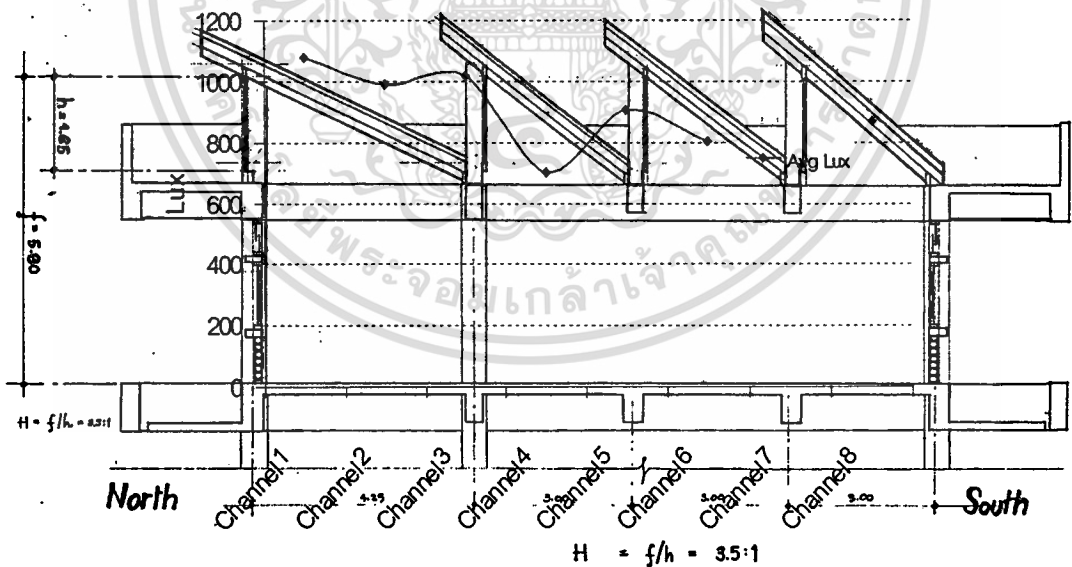


รูปที่ ผ-ข 46 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.1.1 เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2546

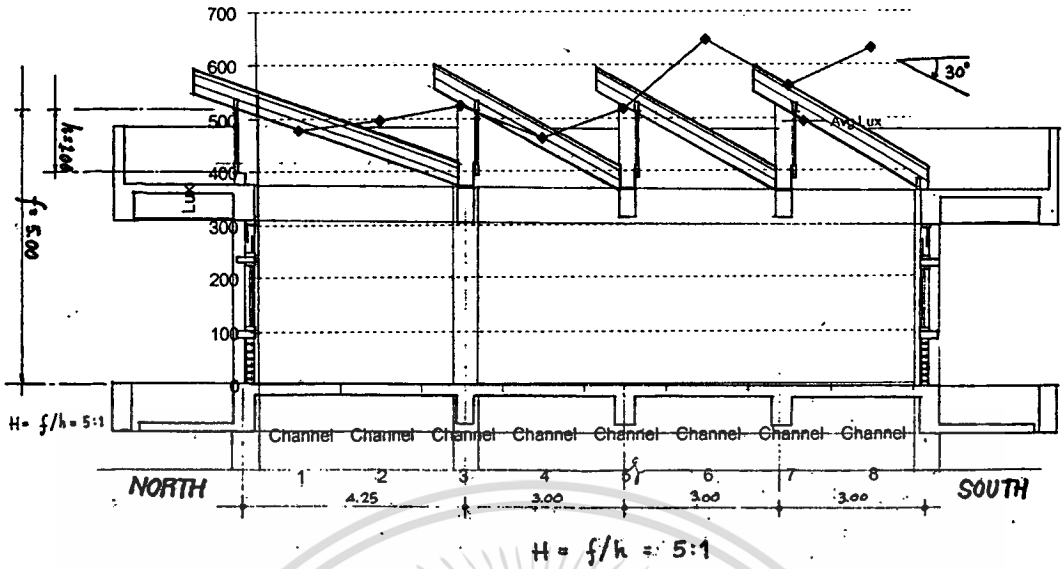
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



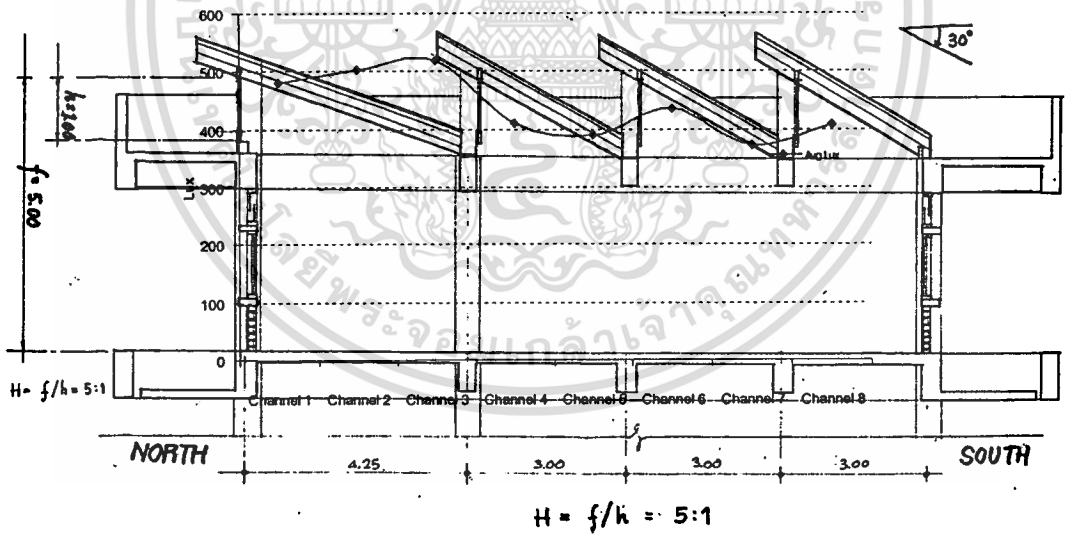
รูปที่ ผ-ข 47 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.1.2 เมื่อวันที่ 4 เมษายน 2546



รูปที่ ผ-ข 48 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.1.3 เมื่อวันที่ 6 เมษายน 2546

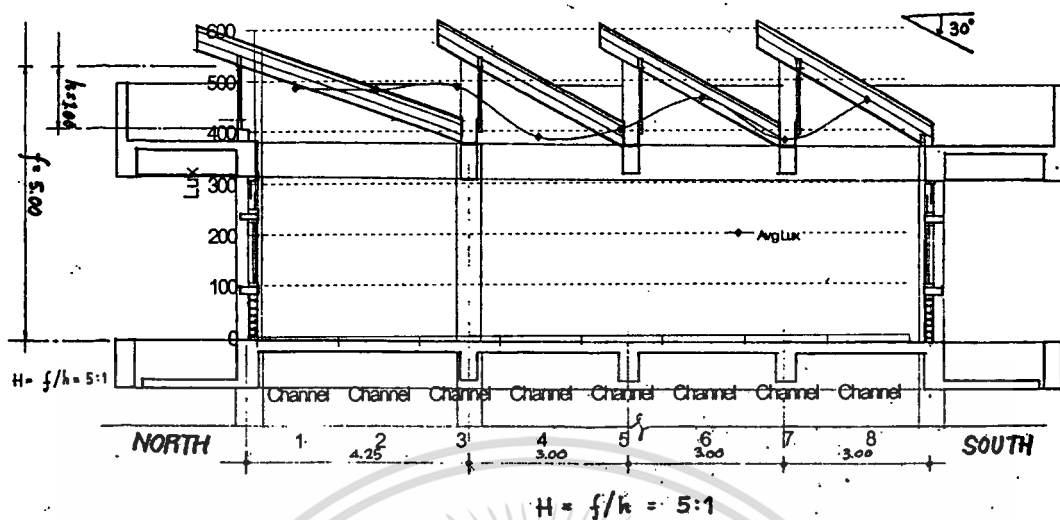


รูปที่ ผ-ข 49 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.2.1
เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2546

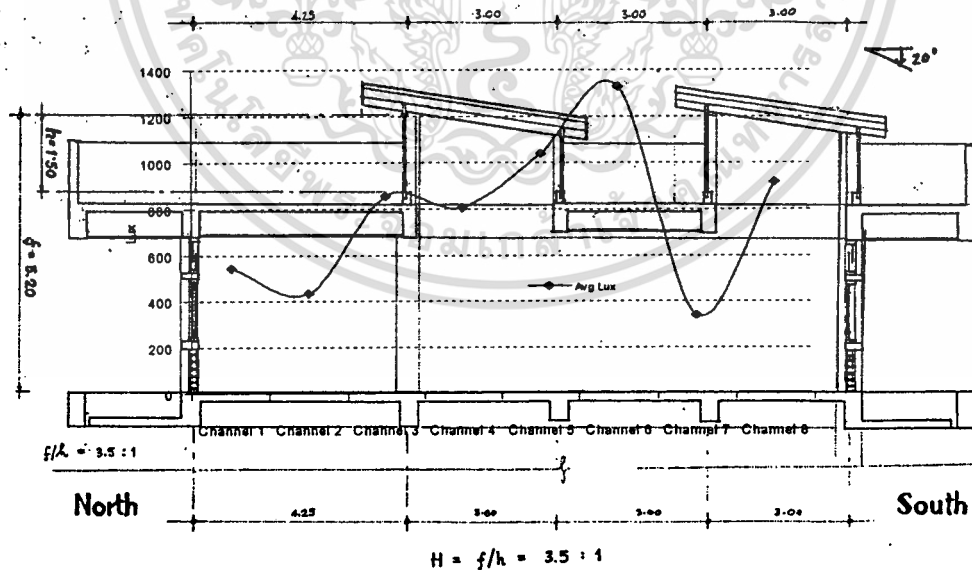


รูปที่ ผ-ข 50 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.2.2
เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

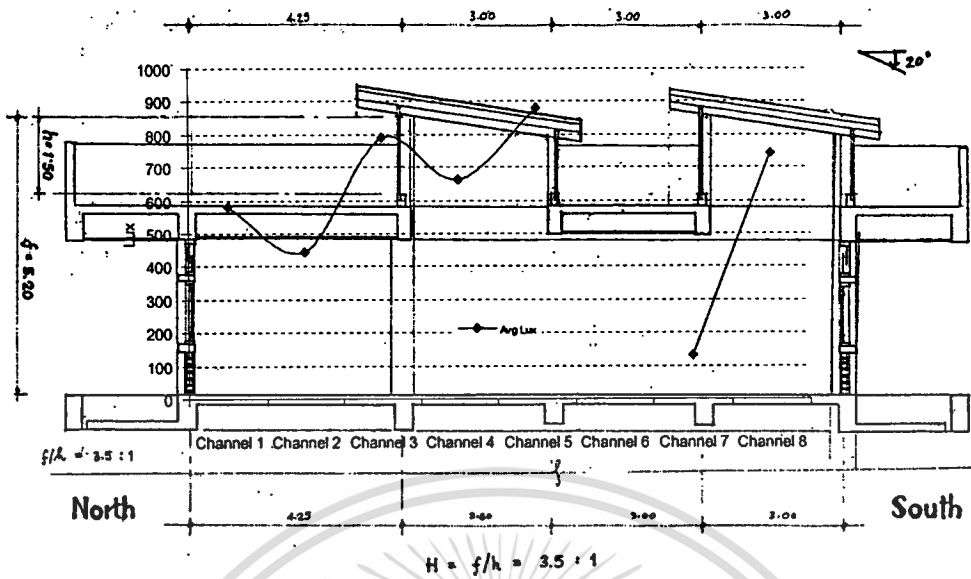


รูปที่ ผ-ข 51 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Saw tooth 1.2.3 เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2546

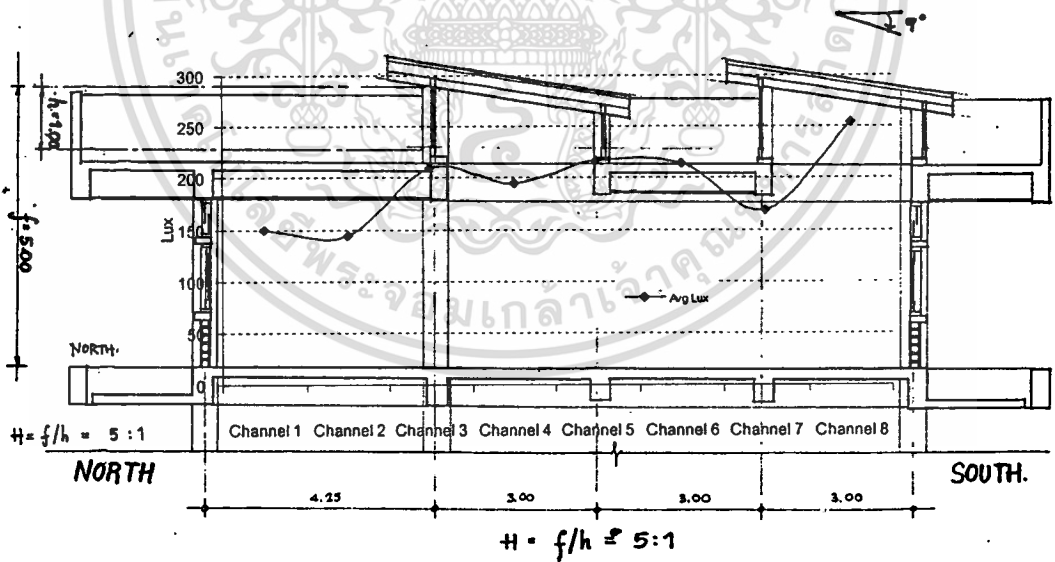


รูปที่ ผ-ข 52 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.1.1 เมื่อวันที่ 5 เมษายน 2546

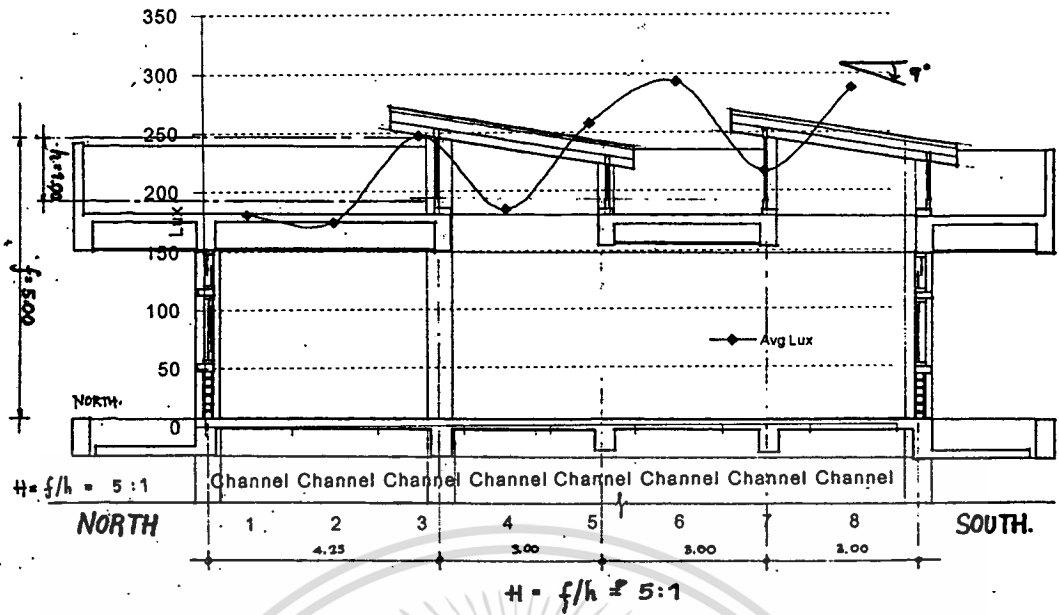
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ-ข 53 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.1.2 เมื่อวันที่ 7 เมษายน 2546



รูปที่ ผ-ข 54 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.2.1 เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2546



รูปที่ ผ-ข 55 กราฟแสดงค่าปริมาณการส่องสว่าง (Lux) ของหลังคาแบบ Monitor 1.2.2 เมื่อวันที่ 24 เมษายน 2546



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
รายละเอียดเครื่องมือทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LI-210SA PHOTOMETRIC SENSOR

LI-COR, Inc. Toll Free: 1-800-447-3576 (U.S. & Canada) • Phone: 402-487-3576 • FAX: 402-487-2819 • E-mail: envsales@env.li.cor.com • Internet: http://www.li.cor.com

MEASURES ILLUMINANCE AS RELATED TO THE CIE STANDARD OBSERVER CURVE

The LI-210SA Photometric Sensor utilizes a filtered silicon photodiode to provide a spectral response that matches the CIE curve within $\pm 5\%$ with most light sources. This photodiode and filter combination is placed within a fully cosine-corrected sensor head to provide the proper response to radiation at various angles of incidence.

Some of the applications for the LI-210SA Photometric Sensor include interior and industrial lighting, outdoor illuminance, passive solar energy, architecture and lighting models, illumination engineering, and biological sciences that require illuminance measurements. The LI-210SA is a research grade photometric sensor that is very reasonably priced.

LI-210SA SPECIFICATIONS

Absolute Calibration: $\pm 5\%$ traceable to NBS.

Sensitivity: Typically 30 μA per 100 klux.

Linearity: Maximum deviation of 1% up to 100 klux.

Stability: $< \pm 2\%$ change over a 1 year period.

PHOTOMETRIC SENSORS

Photometry refers to the measurement of visible radiation (light) with a sensor having a spectral responsivity curve equal to the average human eye. This curve is known as the CIE Standard Observer Curve (photopic curve).

Photometric sensors are used to measure lighting conditions where the eye is the primary receiver, such as illumination of work areas, interior lighting, television screens, etc. Although photometric measurements have been used in the past in plant science, PPFD and irradiance are the preferred measurements.

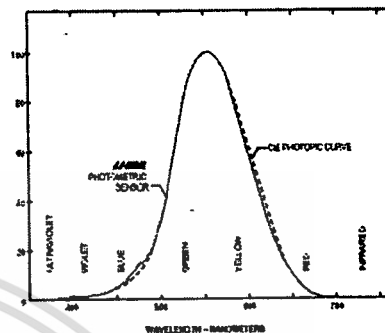


Figure 1. Typical spectral response of LI-COR Photometric Sensors vs. Wavelength and the CIE Standard Observer Curve.

Response Time: 10 μs .

Temperature Dependence: $\pm 0.15\%$ per $^{\circ}\text{C}$ maximum.

Cosine Correction: Cosine corrected up to 80° angle of incidence.

Azimuth: $< \pm 1\%$ error over 360° at 45° elevation.

Tilt: No error induced from orientation.

Operating Temperature: -20 to 65°C .

Relative Humidity: 0 to 100%.

Detector: High stability silicon photovoltaic detector (blue enhanced).

Sensor Housing: Weatherproof anodized aluminum case with acrylic diffuser and stainless steel hardware.

Size: 2.38 Dia. \times 2.54 cm H (0.94" \times 1.0").

Weight: 28 g (1 oz.).

Cable Length: 10 ft. standard.

ORDERING INFORMATION

The LI-210SA Photometric Sensor cable terminates with a BNC connector that connects directly to the LI-250 Light Meter or LI-1400 DataLogger. The 2290 Millivolt Adapter should be ordered if the LI-210SA will be used with a strip chart recorder or datalogger that measures millivolts. The 2290 uses a 604 Ohm precision resistor to convert the LI-210SA output from microamps to millivolts. The Photometric Sensor can also be ordered with bare leads (without the connector) and is designated LI-210SZ. The 2003S Mounting and Leveling Fixture is recommended for each sensor unless other provisions for mounting are made. Other accessories are described on the Accessory Sheet.

LI-210SA Photometric Sensor (with BNC connector)

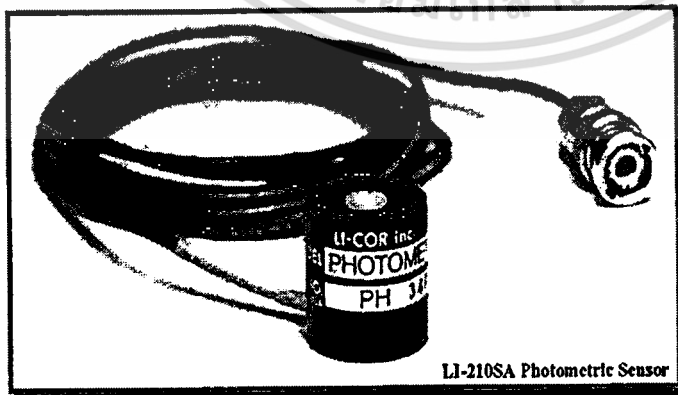
LI-210SZ Quantum Sensor (with bare leads)

2003S Mounting and Leveling Fixture

2222SB-50 Extension Cable (50 ft.)

2222SB-100 Extension Cable (100 ft.)

2290 Millivolt Adapter



LI-210SA Photometric Sensor

รูปที่ ผ-ค 1 แสดงรายละเอียดเครื่องวัดแสง Photometric sensor ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

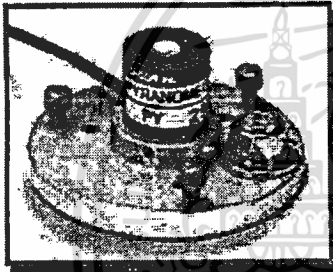
SENSOR ACCESSORIES

LI-COR, Inc. Toll Free: 1-800-447-3576 (U.S. & Canada) • Phone: 402-467-3576 • FAX: 402-467-2619 • E-mail: envsales@env.li-cor.com • Internet: http://www.li-cor.com

ACCESSORIES FOR TERRESTRIAL SENSORS

2003S Mounting and Leveling Fixture

The 2003S is for use with all LI-COR terrestrial type sensors (2.38 cm Dia.). The base is anodized aluminum with stainless steel leveling screws and a weatherproof spirit level.
Size: 7.6 cm Dia. (3.0")
Weight: 95 g (0.21 lbs).

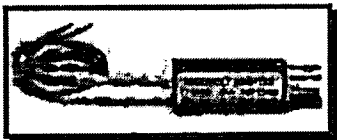


2222SB Extension Cable

This cable is for use with LI-COR terrestrial type sensors. Standard length is 15.2 m (50 ft) or 30.4 m (100 ft). Custom lengths up to 304 m (1000 ft) may be ordered. Cable lengths up to 1000 feet can be used with LI-COR readout instruments. For mV applications, consult LI-COR.

Millivolt Adapters

Millivolt adapters are used only for connecting sensors to a user's datalogger or stripchart recorder, not the LI-1400 or other LI-COR readout devices.



2290 Millivolt Adapter

For LI-190SA Quantum Sensor, LI-191SA Line Quantum Sensor, or

LI-210SA Photometric Sensor (604 Ohm resistance).

2220 Millivolt Adapter

For LI-200SA Pyranometer Sensor (147 Ohm resistance).

2291 Millivolt Adapter

For LI-192SA Underwater Quantum Sensor or LI-193SA Spherical Quantum Sensor (1210 Ohm resistance).

Type SZ Sensors

Type SZ sensors have the same specifications as the type SA sensors except that they are terminated with bare wires for connection to the terminal blocks for the LI-1400 DataLogger or other current measuring devices. These sensors can be converted to millivolt output by connecting a resistor across the leads and measuring the voltage across the resistor.

ACCESSORIES FOR UNDERWATER SENSORS

2222UWB Underwater Cable

This 2-wire shielded cable is used with underwater sensors and has a waterproof connector on the sensor end. The other end of the cable is fitted with a BNC connector for attaching the cable directly to the readout instrument for type "SA" sensors (also attaches to the calconnector of "SB" type sensors). Standard cable lengths are 3, 10, 30, 50, 75 and 100 meters. Custom lengths over 100 meters can also be ordered.

2009S Lowering Frame

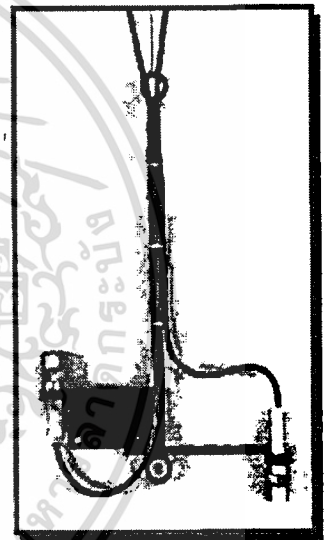
The 2009S Lowering Frame provides for the placement of two underwater cosine sensors, one each for downwelling or upwelling radiation (shown above right),

or a single LI-193SA Spherical Quantum Sensor. The 2009S provides stability for proper orientation of the sensor(s), minimizes shading effects, and features a lower mounting ring for stabilizing weight attachment if necessary.

Construction: Anodized aluminum.

Size: 51.4 L (20.3") x 35.6 cm W (14.0")

Weight: 327 g (0.72 lbs).



Underwater Sensors

Require 2222UWB Underwater Cable. The 2009S Lowering Frame is an accessory.

100L Lubricant

Provides lubrication between the sensor and the underwater cable.

รูปที่ ผ-ค 2 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์ประกอบเครื่องวัดแสง Photometric sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายไกรทอง โชติวุฒิปัทธนา เกิดเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2508 ที่จังหวัดพระนคร จบ การศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนไตรมิตรวิทยาลัย ปีการศึกษา 2526 สำเร็จการศึกษา สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรม) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าวิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2531 บริหารธุรกิจบัณฑิต (การ จัดการงานก่อสร้าง) สาขาวิชาวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ปีการศึกษา 2541 ได้เข้ารับการฝึกอบรม วุฒิบัตรฝึกอบรมหลักสูตรข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบ และ การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารควบคุม เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน รุ่นที่ 4 กรมพัฒนาและ ส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539 และวุฒิบัตรการ ฝึกอบรม กฎหมายอาคารและการก่อสร้าง JICA Japan International Cooperation Agency. ณ กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น พ.ศ. 2545 ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรม (กส.) ภาควิชาสถาปนิก หมายเลขทะเบียน สด. 2824 ก.

ปี พ.ศ. 2532 รับตำแหน่งสถาปนิกโครงการ บริษัท นิวอิมพีเรียลไฮเต็ล จำกัด (มหาชน) ปี พ.ศ. 2535 รับตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการโครงการก่อสร้าง บริษัท คริสเตียนี และนิลเสน จำกัด (มหาชน) ปี พ.ศ. 2538 รับตำแหน่งผู้จัดการโครงการก่อสร้าง บริษัท แพลน คอนซัลแตนท์ส จำกัด เข้ารับราชการในตำแหน่ง อาจารย์ระดับ 4 สังกัด ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 เป็นอาจารย์พิเศษ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล นครราชสีมา ปี พ.ศ. 2541 อาจารย์พิเศษ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ปี พ.ศ. 2544 และ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ระดับ 6 ประจำภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และตำแหน่งรองผู้อำนวยการฝ่าย วิชาการ สำนักทะเบียนและประมวลผล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง