ผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร โดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง

นายเศรษฐวัฒก์ ศรีวิโรจน์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-3124-8
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECT OF HEAT TRANSMITTANCE FROM UTILIZATION OF DAYLIGHTING IN BUILDINGS THROUGH SIDE-GLAZINGS

MR. SETHAWAT SRIVIROTE

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University

Academic Year 2002
ISBN 974-17-3124-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารโดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง
โดย	นายเศรษฐวัฒก์ ศรีวิโรจน์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

.....กรรมการ
(อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เศรษฐวัฒก์ ศรีวิโรจน์ : ผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารโดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง (THE EFFECT OF HEAT TRANSMITTANCE FROM UTILIZATION OF DAYLIGHTING IN BUILDINGS THROUGH SIDE-GLAZINGS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ , 299 หน้า. ISBN 974-17-3124-8.

แสงธรรมชาติได้ถูกนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมกันอย่างนิยมแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพของแสงสูงที่สุด แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงความร้อนอันเกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจกและสะสมอยู่ภายในอาคาร วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อค้นหาปรัชญาการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของปริมาณความส่องสว่างที่ได้รับและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น

วิธีการวิจัยกระทำโดยการจำลองหุ่นจำลอง และกำหนดเกณฑ์การเลือกกระจกทดสอบให้มีค่าการส่องผ่านของแสง (VT) สูง และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ต่ำ เพื่อส่งผลให้มีค่าคูลเนสเรโช (Coolness Ratio, VT/SC) สูงที่สุดในแต่ละประเภทกระจก กำหนดกระจกทดสอบ 4 ประเภท ได้แก่ กระจกใส กระจกสี กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ และกระจกฮีตสต็อป โดยเริ่มจากการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการส่องผ่านของแสงธรรมชาติผ่านกระจกด้านข้างประเภทต่างๆ ในแต่ละทิศทาง โดยไม่มีอุปกรณ์บังแสงตรงจากดวงอาทิตย์ วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและความส่องสว่างในการใช้พลังงานเพิ่มเติมในส่วนของแสงประดิษฐ์และพลังงานในการทำความเย็นในอาคาร จากนั้นจึงเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังในแต่ละทิศทางและแต่ละช่วงเวลาการใช้งาน โดยใช้หลักการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์พิจารณาในรูปแบบของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานตามที่กำหนด

ผลการวิจัยสรุปว่า ช่องแสงกระจกที่เหมาะสมกับภูมิอากาศเขตร้อนชื้นในอาคารปรับอากาศควรมีพื้นที่ช่องแสงน้อยที่สุด และเป็นประเภทกระจกที่ให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาได้มาก แต่ความร้อนผ่านเข้ามาได้น้อย โดยการพิจารณาถึงค่าคูลเนสเรโชที่มีค่าสูง ซึ่งได้แก่ กระจกฮีตสต็อป (1.45) และกระจกสี (1.33) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนพื้นที่และช่วงเวลาการใช้งาน โดยช่วงเวลากลางวัน กระจกควรมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำเพื่อลดการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ส่วนช่วงเวลากลางคืน กระจกควรมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงเพื่อนำความร้อนที่สะสมอยู่ภายในออกสู่ภายนอกด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร พื้นที่ของช่องแสงกระจกควรอยู่ระหว่าง 20-30 % ของพื้นที่ผนังในแต่ละด้าน เนื่องจากการมีอัตราส่วนของพื้นที่ช่องแสงต่อผนังมากแม้จะได้แสงธรรมชาติเพิ่มขึ้น แต่ความร้อนก็จะส่งผ่านสู่ภายในอาคารเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารที่ถูกต้องนั้นจะต้องป้องกันมิให้แสงตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่พื้นที่ใช้งานภายในอาคาร ผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบอาคารปรับอากาศในส่วนของช่องแสงกระจกด้านข้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2545

4474219925 MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: DAYLIGHTING / GLASS / HEAT TRANSMISSION / SIDE-GLAZINGS / SOLAR HEAT GAIN
SETHAWAT SRIVIROTE: THE EFFECT OF HEAT TRANSMITTANCE FROM UTILIZATION OF DAYLIGHTING IN BUILDINGS THROUGH SIDE-GLAZINGS. THESIS ADVISOR: ASSISTANT PROFESSOR DR. VORASUN BURANAKARN, 299 pp. ISBN 974-17-3124-8.

Daylighting is more favorable in architectural work because of its highest light efficacy. However, the utilization of daylight causes solar heat gain through glazing that increases the cooling load energy in buildings. The principal objective of this research is to investigate the concept of side-lighting in air-conditioned buildings which is appropriate to the light level and solar heat gain.

Simulated models were used to collect data under real condition. The criteria of glazing selection were the glasses in which the visible light transmittance (VT) is high, but the shading coefficient (SC) is low, for highest coolness ratio (VT/SC) in each type of glasses. The selected tested-glazings were 4 types:- clear float glass, tinted float glass, solar reflective glass, and Heat-Stop glass. The first experiment was the study in the effect of heat transmission and daylight distribution in the interior space through side-glazings on each directional facing without shading devices. The collected temperature and inside illumination data were analyzed to the energy of added artificial lighting and cooling load in buildings. After that, compared the energy used with the glazing areas on each directional facing and each working period. The evaluation was based on economic analysis, using the life-cycle costing approach over the period of glazings' lifetime.

The results conclude that the suitable glazing, used in air-conditioned buildings in hot-humid country, must has the least area, and allow natural light to interior space but reduce excessive solar heat gain. Thus, the considerate performance of the glass must be high in coolness ratio such as Heat-Stop glass (1.45) and tinted float glass (1.33), depending on percentages of glazing on each directional facing and period of times. In the daytime, the glasses must have low U-value to reduce solar heat gain. In the night-time, high U-value is needed to rapidly transfer stored heat out to the outside space by conduction. Glazing areas should be about 20-30% in each directional wall, as the more area there is, daylight illumination exceeds, but the more heat gain to interior space will be over, resulting in wastage of the energy especially in cooling load. Moreover, the right way for utilization of daylight must prevent direct sun transmitting inside interior spaces. This research can be effectively applied as fundamental data for air-conditioned buildings design criteria in regard to side-glazings.

Department Architecture Student's signature .....

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

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดียิ่ง เนื่องด้วยความกรุณา ความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและน้ำใจจากบุคคล และหน่วยงาน ดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อมูลเทคนิคต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ ซึ่งเป็นผู้ประศาสน์วิชา ให้ข้อคิด ให้ข้อมูล คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดหลักสูตรการศึกษา โดยเฉพาะในช่วงระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้ข้อคิด และคำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความครบถ้วนและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์พิรัส พัชรเศวต อาจารย์คมกฤช ชูเกียรติมั่น ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างดีระหว่างการศึกษา

ขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกๆ ท่าน ผู้ซึ่งประศาสน์ความรู้ในด้านต่างๆ ระหว่างการศึกษา รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำคณะทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกและช่วยเหลืออย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือในส่วนของทุนอุดหนุนการศึกษา

ขอขอบคุณ บริษัท Thai-German Specialty Glass จำกัด สำหรับข้อมูลที่เป็นประโยชน์และวัสดุกระจกทดสอบที่ใช้ในการทำการวิจัยทุกชิ้น

ขอขอบคุณ คุณอเนก ทองปิยะภูมิ สำหรับคำแนะนำในส่วนของการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ขอขอบคุณ คุณรุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ และคุณพรรณจิรา ทิศาวิภาต สำหรับคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้

ขอขอบคุณ คุณสุวัฒน์ ตปนียากร สำหรับคำแนะนำและความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิจัยทุกๆ ชิ้น

ขอขอบคุณ คุณอัครวัฒน์ ใจดี สำหรับคำแนะนำช่วยเหลือการใช้เครื่องมือ Campbell Data Logger

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้อง ปริญญาโทกลุ่มสาขาวิชา Environment Technology รุ่นปี 2544 ทุกท่าน ตั้งแต่ พี่เอ พี่จั้ม พี่หลิน พี่ชด พี่สร้อย เพื่อนโอ น้องเพชร น้องผึ้ง น้องมอส น้องทราย ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขตลอดช่วงเวลาสองปีที่ได้ร่วมเรียนอยู่ด้วยกัน คอยให้ความบันเทิงใจ ความร่วมมือ และความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ทุกอย่างตลอดมาและตลอดไป

ขอขอบคุณเพื่อนๆ สถาปัตย์ ลาดกระบัง ที่คอยถามไถ่ทุกข์สุข และเป็นกำลังใจให้อย่างดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณอโณทัย เพชรมณี ผู้ให้กำลังใจ ความเข้าใจ ความห่วงใย ความช่วยเหลือตลอดเวลา

ท้ายที่สุดขอกราบเท้าขอบพระคุณคุณแม่ ที่คอยห่วงใยและให้การสนับสนุนลูกมาตลอด จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี พร้อมด้วยความระลึกถึงคุณพ่อ ผู้ที่ลูกรู้สึกถึงความปรารถนาดีตลอดเวลา และขอขอบคุณญาติ พี่น้องทุกคน ที่ถามไถ่ถึงและให้ความสนับสนุนอย่างดีเสมอมา

จึงขอขอบคุณทุกๆ ท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย ขอบคุณมาก...ขอบคุณมากครับ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตารางประกอบ ..... ญ

สารบัญรูปภาพประกอบ ..... ฏ

สารบัญแผนภูมิประกอบ ..... ฐ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ถ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 ความสำคัญของปัญหา 2

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 5

1.6 ระเบียบวิธีวิจัย 7

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9

บทที่ 2 ทฤษฎี แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับแสงสว่าง 10

2.1.1 พฤติกรรมของแสง 11

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง 14

2.1.3 คุณสมบัติอื่นๆ ของแสง 18

2.2 ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ 19

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ 19

2.2.2 แสงธรรมชาติกับสภาพท้องฟ้า 21

2.2.3 การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน 24

2.2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับทิศทางและตำแหน่งดวงอาทิตย์ 25

2.2.5 การคำนวณค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ 28

2.2.6 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ 38

2.2.7 การคำนวณความสว่างที่ช่องแสงด้านข้าง 44

2.2.8 การคำนวณความสว่างเฉลี่ยภายในห้อง 45

2.2.9 การวิเคราะห์การเพิ่มปริมาณความต้องการค่าความส่องสว่างภายใน 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับความร้อน 47
2.3.1 แหล่งกำเนิดความร้อน 47
2.3.2 ทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ 50
2.3.3 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนของการแผ่รังสี 53
2.3.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน 53
2.3.5 คุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของกระจก 56
2.4 หลักการการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 60

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย และวัสดุอุปกรณ์

3.1 การกำหนดชนิดของกระจกที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบ 62
3.2 การกำหนดขนาดและวัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลอง 64
3.2.1 หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ 64
3.2.2 การตรวจสอบหุ่นจำลอง 66
3.2.3 ตำแหน่งที่ทำการวัดปริมาณความส่องสว่างและอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบ 67
3.3 การกำหนดขั้นตอนการทดสอบ 68

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง 77
4.1.1 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด 77
4.1.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกแต่ละชนิด 88
4.1.3 การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างในทิศทาง 4 ทิศ 93
4.2 การทดสอบพฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคาร 103
4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายใน และปริมาณความร้อนที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง ในขนาดสัดส่วนพื้นที่ของช่องแสงกระจกต่อพื้นที่ผนังต่างๆ โดยเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลาการใช้งาน 122

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 133
5.1.1 บทสรุปในการเลือกใช้ชนิดของกระจก 133
5.1.2 บทสรุปในการออกแบบขนาดพื้นที่ของช่องแสงกระจกด้านข้าง 134
5.1.3 บทสรุปในการกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสมในการประหยัดพลังงาน 140
5.2 ข้อเสนอแนะ 161

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 162

บรรณานุกรม 163

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง 166

ภาคผนวก ข. ข้อมูลการคำนวณการใช้พลังงานจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างในสัดส่วนต่างๆ กัน ใน 4 ทิศทาง 172

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 299

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงค่าประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ	3
1.2	แสดงสัดส่วนของความร้อนเฉลี่ยที่เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ของอาคารสำนักงาน จำแนกตามตำแหน่งในแต่ละทิศทาง	3
2.1	แสดงค่าความส่องสว่างมาตรฐาน ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตราฐาน CIE	16
2.2	ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท (Sky zenith illuminance) สำหรับท้องฟ้าลักษณะ Overcast sky , ZL = 0.409 ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์	32
2.3	แสดงค่าประมาณเดไลท์ แฟคเตอร์ สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ	42
2.4	Portions of Total Solar Spectral Irradiance	49
2.5	Whole Window Properties of Single-Glazed with Clear Glass	58
2.6	Whole Window Properties of Bronze or Gray Single-Glazed Tinted Glass	58
3.1	แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางแสงสว่างของกระจกทดสอบแต่ละชนิด	63
3.2	แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของกระจกทดสอบแต่ละชนิด	63
3.3	แสดงการเปรียบเทียบ Coolness Ratio และราคาของกระจกทดสอบแต่ละชนิด	63
3.4	แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ภายในอาคารทั่วๆ ไป	66
3.5	แสดงรูปแบบของช่องแสงกระจกด้านข้างตามสัดส่วนพื้นที่ของช่องแสงต่อพื้นที่ผนังด้านหนึ่งๆ	73
5.1	บทสรุปของการเลือกใช้ช่องแสงกระจกด้านข้าง	139

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ	10
2.2	พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ	12
2.3	แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย	13
2.4	แสงตกกระทบตัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน	13
2.5	แสงทะลุผ่านตัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย	14
2.6	ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous flux)	15
2.7	แสดงค่ามุม 1 สเตอเรเดียน	15
2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง candelas, lumens, lux and foot – candles	16
2.9	Annual Motion of the Earth about the Sun	19
2.10	Apparent Daily Path of the Sun Showing Solar Altitude (β) and Solar Azimuth (ϕ)	20
2.11	รูปแสดงท้องฟ้าแบบ Clear Sky	21
2.12	รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริ่ง (Bearing Angle)	22
2.13	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุมอัลติจูด (a_t, altitude) และมุมอะซิมุท (a_s, azimuth)	25
2.14	ค่าของมุมต่างๆ มี่ใช้ในสมการ	32
2.15	ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูดและมุมอัลซิมุท	35
2.16	ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง ตามมุมอัลติจูดและอัลซิมุท	36
2.17	ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน ในแต่ละมุมอัลติจูดและอัลซิมุท	37
2.18	แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธีลูเมน	40
2.19	แสดงลักษณะของผลรวมเดไลท์ แฟคเตอร์ (Total Daylight Factor ; DF.)	41
2.20	แสดงพฤติกรรมของวัตถุโปร่งใสต่อรังสีดวงอาทิตย์	52
2.21	แสดงการเกิดปรากฏการณ์ Greenhouse Effect	52
2.22	แสดงการส่งผ่านความร้อนผ่านกระจกในลักษณะต่างๆ	56
3.1	แสดงภาพตัดกระจกแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ	62
3.2	แสดงอาคารห้องทดลอง	64
3.3	แสดงกล่องทดสอบย่อย	65
3.4	แสดงการติดตั้งกล่องทดสอบย่อย	67
3.5	แสดงตำแหน่งการวัดค่าอุณหภูมิของกล่องทดสอบ	71
3.6	แสดงตำแหน่งการวัดค่าความส่องสว่างภายในและภายนอก	72
3.7	แสดงระยะสัดส่วน (ระยะ A, B, C) ของรูปแบบช่องแสงกระจกด้านข้างตามตารางที่ 3.5	72
3.8	แสดง Campbell Data Logger, Photometric Sensor, Pyranometer Sensor ตามลำดับ	74
3.9	เครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (Minolta T -10)	75
3.10	เครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (DX-200)	75

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	แสดงการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจก (ปรับอากาศ)	77
4.2	แสดงการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจก (ไม่ปรับอากาศ)	88
4.3	แสดงการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างในทิศ 4 ทิศ	93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิประกอบ

แผนภูมิที่		หน้า
2.1	Terrestrial and Extraterrestrial Solar Spectral Irradiances	48
2.2	Comparison of Standard Air Mass m = 1.5 Solar Spectrum with Direct Beam Spectra Through Atmospheres	48
2.3	Comparison of Direct and Diffuse Solar Spectra for Low Solar Altitude Angle	49
4.1	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Clear ในสภาวะปรับอากาศ	78
4.2	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Tinted ในสภาวะปรับอากาศ	80
4.3	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Reflective ในสภาวะปรับอากาศ	82
4.4	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Heat-Stop ในสภาวะปรับอากาศ	84
4.5	แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายในสูงสุดและต่ำสุดของกระจกสี่ชนิด	86
4.6	แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกภายนอก-ภายในในเวลา 1 วันของกระจกสี่ชนิด	86
4.7	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ (ไม่ปรับอากาศ)	89
4.8	แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายในของกระจกทั้งสี่ชนิด และอุณหภูมิอากาศ	91
4.9	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ ในสภาวะปรับอากาศ	94
4.10	แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ ในสภาวะปรับอากาศ	95
4.11	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ ในสภาวะปรับอากาศ	96
4.12	แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ ในสภาวะปรับอากาศ	97
4.13	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันออก ในสภาวะปรับอากาศ	98
4.14	แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันออก ในสภาวะปรับอากาศ	99
4.15	แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันตก ในสภาวะปรับอากาศ	100
4.16	แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันตก ในสภาวะปรับอากาศ	101
4.17	แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ)	104
4.18	แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ)	105
4.19	แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ)	106
4.20	แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ)	107
4.21	แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ)	108
4.22	แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ)	109

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

4.23 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 110

4.24 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 111

4.25 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.อ. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 112

4.26 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.อ. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 113

4.27 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.อ. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 114

4.28 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.อ. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 115

4.29 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.ต. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 116

4.30 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.ต. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 117

4.31 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.ต. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 118

4.32 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศ ต.ต. เวลา 8.00-12.00-16.00 น. (พื้นที่กระจกเท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 119

4.33 แสดงค่าความส่องสว่างภายในแต่ละทิศทางการหันช่องแสงกระจกใส Clear เมื่อมีพื้นที่ช่องแสง 10% 121

4.34 แสดงค่าความส่องสว่างภายในแต่ละทิศทางการหันช่องแสงกระจกใส Heat-Stop เมื่อมีพื้นที่ช่องแสง 10% 121

4.35 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ ในห้องที่ไม่มีการติดตั้งช่องแสงกระจก เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร 123

4.36 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ กรณีที่ไม่มีช่องแสงกระจก ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร 123

4.37 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ กรณีที่ไม่มีช่องแสง ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร 123

4.38 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือเวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจกเท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 124

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

4.39 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat-Stop ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 10% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 124

4.40 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 10%(Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 124

4.41 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือเวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจกเท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 125

4.42 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat-Stop ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 20% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 125

4.43 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 20%(Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 125

4.44 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือเวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจกเท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 126

4.45 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat-Stop ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 30% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 126

4.46 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 30%(Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 126

4.47 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือเวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจกเท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 127

4.48 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat-Stop ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 40% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 127

4.49 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 40%(Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 127

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

4.50 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือเวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจกเท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 128

4.51 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat-Stop ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 50% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 128

4.52 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 50%(Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 128

4.53 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือเวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจกเท่ากับ 60% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 129

4.54 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat-Stop ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 60% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 129

4.55 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 60%(Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 129

4.56 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือเวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจกเท่ากับ 70% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ) 130

4.57 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat-Stop ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 70% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 130

4.58 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6x6x3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจกเท่ากับ 70%(Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ 130

5.1 แสดงการใช้พลังงานในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Clear หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 135

5.2 แสดงการใช้พลังงานในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Tinted หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 135

5.3 แสดงการใช้พลังงานในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Solar Reflective หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 136

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

5.4 แสดงการใช้พลังงานในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Heat-Stop หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 136

5.5 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Clear หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 137

5.6 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Tinted หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 137

5.7 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Solar Reflective หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 138

5.8 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีใช้กระจก Heat-Stop หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ 138

5.9 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ 7:00-16:00 น. 141

5.10 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ 8:00-17:00 น. 142

5.11 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ 9:00-18:00 น. 143

5.12 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ 10:00-19:00 น. 144

5.13 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศเหนือ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน 145

5.14 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ 7:00-16:00 น. 146

5.15 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศใต้ ตั้งแต่ 8:00-17:00 น. 147

5.16 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศใต้ ตั้งแต่ 9:00-18:00 น. 148

5.17 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศใต้ ตั้งแต่ 10:00-19:00 น. 149

5.18 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศใต้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน 150

5.19 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่ 7:00-16:00 น. 151

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

แผนภูมิที่ **หน้า**

5.20 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่ 8:00-17:00 น. 152

5.21 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่ 9:00-18:00 น. 153

5.22 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่ 10:00-19:00 น. 154

5.23 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันออก เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน 155

5.24 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่ 7:00-16:00 น. 156

5.25 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่ 8:00-17:00 น. 157

5.26 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่ 9:00-18:00 น. 158

5.27 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่ 10:00-19:00 น. 159

5.28 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มความสว่าง และการปรับอากาศเมื่อพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างต่างๆ ด้านทิศตะวันตก เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน 160

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์หรือตัวย่อ	คำเต็ม	คำอธิบาย
A	Area of Fenestration	พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน
Absorpt.	Solar Absorptance	อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยกระจก ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด
COP	Coefficient of Performance	ค่าสัมประสิทธิ์การขจัดความร้อนของเครื่องปรับอากาศ
DF	Daylight Factor	อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใช้งานในอาคาร ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนแนวระนาบภายนอกอาคาร (เป็นแสงกระจายจากท้องฟ้า)
E	Illumination	ปริมาณความส่องสว่างที่ตกลงบนระนาบพื้นที่หนึ่งๆ
ERC	External Reflected Component	แสงที่ได้รับหลังจากการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆ ภายนอกอาคาร
I	Luminous Intensity	ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นผิวที่ทำการพิจารณา
IRC	Internal Reflected Component	แสงที่ได้รับหลังจากการสะท้อนของพื้นผิวต่างๆ ภายในอาคาร
L	Luminance	ค่าความสว่าง ณ จุดใดๆ บนพื้นผิวหนึ่งๆ
Q	Energy of Heat Transfer	ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา
Rad.	Solar Radiation	ปริมาณพลังงานความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกระจก
Reflect.	Solar Reflectance	อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากกระจก ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด
SC	Shading Coefficient	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจก
SP	Station Point	ตำแหน่งจุดที่พิจารณาค่าความส่องสว่างภายในอาคาร
Transmit.	Solar Transmittance	อัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด
U	U-Value	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
VT	Visible Light Transmittance	อัตราส่วนของแสงที่มองเห็นได้ที่สามารถส่องผ่านกระจก ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด
θ	Incident Angle	มุมตกกระทบของแสง
ϕ	Luminous Flux	อัตราการไหลของพลังงานการส่องสว่างเทียบกับเวลา
ω	Solid Angle	มุมที่มีจุดยอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม
β	Solar Altitude	มุมเงยของดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับแนวระดับ
α	Solar Azimuth	มุมแนวระดับของดวงอาทิตย์ วัดจากทิศใต้หมุนตามเข็มนาฬิกา
δ	Solar Declination	มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์
ρ	Material Reflectance	ค่าการสะท้อนของแสงของวัตถุ
τ	Material Transmittance	ค่าการส่องผ่านของแสงของวัตถุ
λ	Wave Length	ความยาวคลื่นแสง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา (Overview)

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมา การใช้พลังงานเพื่อตอบสนองการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงขึ้นตามลำดับ ก่อให้เกิดภาระแก่ประเทศในการเพิ่มการลงทุนเพื่อจัดหาพลังงานประเภทต่างๆ ทั้งในและนอกประเทศมาใช้ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว ส่งผลต่อเนื่องถึงความต้องการใช้พลังงานในอาคารต่างๆ ที่มีมากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในส่วนนี้สูงตามไปด้วย อีกทั้งการออกแบบอาคารที่ไม่คำนึงถึงการประหยัดพลังงานในปัจจุบัน ก็ยิ่งก่อให้เกิดการใช้พลังงานในอาคารที่เป็นไปอย่างสิ้นเปลืองและไม่มีประสิทธิภาพ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในอาคารทั่วไป นอกจากจะใช้เพื่อทำความเย็นในอาคารแล้ว อีกส่วนหนึ่งก็ใช้ในการส่องสว่างแก่พื้นที่ใช้งานภายในอาคาร เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพในการทำงานและคุณภาพชีวิตที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ขึ้นภายในอาคาร จากปรัชญาในการอยู่อาศัยของคนยุคใหม่ 7 ประการ[1] ส่วนหนึ่งได้กล่าวไว้ว่า *"ความรู้สึกร้อน-หนาวที่พอเหมาะ (Thermal Comfort) และการมีแสงสว่างที่เพียงพอ (Lighting Comfort) นั้น เป็นสิ่งที่มนุษย์ในปัจจุบันต้องการ"* ดังนั้นการพยายามควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ภายในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายทั้งในด้านอุณหภูมิและความสว่าง จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะส่งผลดีต่อการดำรงชีวิตในปัจจุบัน แต่หากการใช้พลังงานไฟฟ้าดังกล่าว เป็นไปโดยไม่คำนึงถึงแหล่งพลังงานอื่นซึ่งสามารถใช้ทดแทนในช่วงเวลาที่สามารถทำได้แล้วนั้น ก็จะเป็นการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองอย่างยิ่ง หนทางหนึ่งที่สามารถกระทำได้ คือ การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ให้ความสว่างแก่ภายในอาคาร ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าแล้ว แสงสว่างจากธรรมชาติยังถือว่าเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) อันเกิดจากดวงอาทิตย์ ซึ่งแตกต่างจากแสงประดิษฐ์อันเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จัดว่าเป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด (Non-renewable Energy) การนำแสงธรรมชาติเข้ามาทดแทนแสงประดิษฐ์ในเวลากลางวันนั้น นอกจากจะเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้แล้ว ยังจะสามารถลดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบแสงสว่างประกอบอาคาร รวมทั้งค่าใช้จ่ายอื่นๆ อันเนื่องมาจากการใช้พลังงานในการให้แสงสว่างภายในอาคารลงได้อีกมาก

---

[1] สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า 15-19.

การออกแบบอาคารในปัจจุบันจึงต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานมากขึ้นกว่าในอดีตที่ผ่านมา สืบเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ความสำนึกของผู้คนในสังคม สภาพเศรษฐกิจที่ตกต่ำในปัจจุบัน ฯลฯ ซึ่งในอาคารสามารถแบ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบต่างๆ อันได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น และจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นได้ผลสรุปว่า ระบบปรับอากาศ เป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คือ 60% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ภายในอาคาร ระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้ารองลงมาคือ ระบบแสงสว่าง ใช้ประมาณ 20% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนอีก 20% เป็นการนำไปใช้งานของระบบอื่นๆ เช่นเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งหากมีการประหยัดด้านการใช้พลังงานในอาคาร ก็จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้เป็นจำนวนมาก [2]

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร คือ พลังงานความร้อนที่เข้ามาพร้อมแสง เพราะจะกลายเป็นภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในอาคาร (Cooling Load) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแสงที่ส่องผ่านเข้ามาทางผนังโปร่งแสง แต่ถ้าเราออกแบบในลักษณะที่ไม่ให้ความสำคัญในด้านการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารแล้วนั้น ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศก็จะขึ้นอยู่กับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร เช่น จากระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ เป็นต้น รวมทั้งยังเป็นสาเหตุของการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากของอาคารอีกด้วย ดังนั้นถ้าเราสามารถเพิ่มระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ ให้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยที่มีปริมาณพลังงานความร้อนเข้ามาในอาคารน้อยที่สุด เราก็จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปกับการใช้ระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 80% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งอาคารลงได้

1.2 **ความสำคัญของปัญหา** (Statement of Problem)

การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารนั้น ในปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจและนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมกันมากขึ้น เนื่องจากแสงธรรมชาติเป็นแสงที่มีประสิทธิภาพของแสง (Efficacy) สูงสุด เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงแหล่งอื่นๆ ที่ให้ค่าการส่องสว่างเท่าเทียมกัน (ดูตารางที่ 1.1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับแสงประดิษฐ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้แทนแสงประดิษฐ์ในเวลากลางวัน จึงสามารถช่วยลดทั้งค่าใช้จ่ายเบื้องต้นเกี่ยวกับจำนวนดวงโคม และค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการใช้พลังงานในการให้ความสว่างแก่อาคารลงได้

---

[2] ตรึงใจ บูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. (กรุงเทพฯ: อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539), หน้า 1.

ตารางที่ 1.1 แสดงค่าประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ

Source : (a) Hopkinson, 1996 (b) IES, 1981

Light Source	Efficacy (lumen/watt)	Source
Sun (altitude = 7.5^{O})	90	(a)
Sun (altitude > 25^{O})	117	(a)
Sun (suggested mean)	100	(a)
Sky (clear)	*150*	*(a)*
Sky (average)	125	(a)
Global (average)	115	(a)
Incandescent (150 W)	16 - 40	(b)
Fluorescent (40 W, CWX)	50 – 80	(b)
HP Sodium	40 - 100	(b)

ที่มา : Moore, Fuller. 1991. *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*, p. 30.

แม้ว่าการใช้แสงธรรมชาติในการให้ความสว่างแก่อาคารนั้นจะมีข้อดี คือ สามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ให้ความสว่างแก่อาคารจากแหล่งกำเนิดแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ลงได้ก็ตาม แต่การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารก็มีข้อเสียเช่นกัน คือ ปริมาณความเข้มของแสงในแต่ละวันและเวลาไม่คงที่ เป็นการยากที่จะควบคุมทั้งในเรื่องปริมาณ ทิศทาง และการกระจายแสงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ อีกทั้งยังนำมาซึ่งความร้อนอันเกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกและสะสมอยู่ภายในอาคารอีกด้วย (ดูตารางที่ 1.2) โดยเฉพาะในอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศ จึงมีผลทำให้ภาระการทำความเย็นแก่อาคารเพิ่มสูงขึ้น เป็นเหตุให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศให้แก่อาคารจากการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นมาขจัดความร้อนส่วนนี้ออกไป

ตารางที่ 1.2 แสดงสัดส่วนของความร้อนเฉลี่ยที่เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ของอาคารสำนักงาน จำแนกตามตำแหน่งในแต่ละทิศทาง

Heat Source	North	East	South	West	Interior
Glass	*46*	*70*	*65*	*69*	-
Lighting	30	18	20	17	39
Occupants	20	8	11	10	55
Miscellaneous	4	4	4	4	6
Totals	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

ที่มา : Kaufman, John E. Eds. 1981. *IES Lighting Handbook : Application Volume*. p. (2-41).

ดังนั้น การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอาจไม่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานเลยก็เป็นได้ อีกทั้งยังก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานอันเนื่องมาจากปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารอีกด้วย การศึกษาถึงผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารจึงมีความจำเป็น เพื่อที่จะสามารถนำเอามาประยุกต์ใช้ร่วมกันกับการออกแบบอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นผลให้เกิดการประหยัดพลังงานในอาคารอย่างสมบูรณ์แบบ

1.3 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย** (Objectives)

1. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณความสว่าง และมีผลต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในอาคารที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง ประกอบด้วย ชนิดของกระจก ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (U-Value) ค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Shading Coefficient, SC) อัตราส่วนระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Coolness Ratio) และทิศทางการหันอาคาร

2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่าง และปริมาณความร้อนที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง ในระยะความลึกต่างๆ โดยเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลา

3. เพื่อค้นหาแนวทางการใช้แสงธรรมชาติ โดยคำนึงถึงปริมาณความสว่างที่ได้รับ และปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น ให้เหมาะสมและเข้าใกล้สภาวะน่าสบายมากที่สุด และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้กับอาคารจริง

1.4 **ขอบเขตของการวิจัย** (Scope of Research)

1. ในงานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งทำการศึกษาโดยการจำลองสภาพอาคารด้วยการสร้างกล่องทดลองเป็นหุ่นจำลอง โดยสามารถแยกศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้อย่างอิสระ เปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ได้ง่าย และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก หุ่นจำลองที่ใช้มีขนาด 0.90 X 0.90 X 0.90 เมตร และใช้อุปกรณ์เครื่องมือในการวัดและเก็บข้อมูลที่เป็นชุดเดียวกัน

2. สถานที่ที่ใช้ทดลองตั้งอยู่ในเขตปริมณฑลของกรุงเทพมหานคร (ละติจูดที่ 14 องศาเหนือ) ซึ่งเป็นตัวแทนของภูมิภาคแบบร้อนชื้น โดยในการทดลองจะใช้สถานที่เดียวกัน เพื่อควบคุมผลกระทบจากสภาพแวดล้อม และอิทธิพลภายนอกต่างๆ ที่มีผลต่อกล่องทดลองให้เหมือนกันทุกกล่อง

3. การทดลองจะเลือกใช้กระจกทดลองในแต่ละชนิดที่มีอัตราส่วนระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (Coolness Ratio) ที่สูงที่สุด เพื่อใช้เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด

4. การทดลองในทุกขั้นตอนจะไม่ใช้อุปกรณ์บังแดด (Shading Device) เพื่อให้ได้ผลกระทบโดยตรงจากจากรังสีดวงอาทิตย์ในทิศทางการหันช่องแสงทั้งสี่ทิศทาง

5. ทำการทดลองเฉพาะตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณความร้อนและแสงสว่าง ซึ่งเกิดจากแสงธรรมชาติ รังสีจากดวงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศภายนอกเท่านั้น ตัวแปรอื่นๆ เช่น ความชื้น ความเร็วลม ฯลฯ ถือว่าส่งผลกระทบต่อการทดลองเท่าเทียมกันทั้งหมด

6. เนื่องจากระยะเวลา และงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้มีจำกัด จึงเลือกเก็บข้อมูลเพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น คือ ในช่วงเดือนเมษายน ค่าที่เหลือจะใช้อัตราส่วนเปรียบเทียบ หรือสมการถดถอยทางสถิติเป็นตัวแทนของข้อมูลตลอดทั้งปี สำหรับการทดลองที่สมบูรณ์จะต้องทำการทดลองในสภาพอากาศที่ครบถ้วนตลอดทั้งปี ซึ่งจะทำให้ผลสรุปที่ได้ออกมานั้นถูกต้องชัดเจน และครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

1.5 **คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย** (Terminology)

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

แสงอาทิตย์โดยตรง (Direct Beam Sunlight) หมายถึง แสงธรรมชาติที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง นำมาใช้ในการให้ความสว่างกับอาคาร

แสงกระจาย (Diffuse Light) หมายถึง แสงธรรมชาติที่ได้จากแสงที่กระจายจากท้องฟ้า นำมาใช้ในการให้ความสว่างกับอาคาร

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

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

พื้นที่ใช้งาน (Working Area or Working Plane) หมายถึงบริเวณที่ใช้ประกอบกิจกรรมต่างๆ และระดับความสูงของพื้นที่ใช้งานจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมนั้นๆ

ความส่องสว่าง (Illumination, E) หมายถึง ปริมาณแสงสว่างโดยรวม ต่อพื้นที่ที่ส่องสว่างนั้นๆ

องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอก *(External Reflected Component, ERC)* หมายถึง แสงที่ได้รับหลังจากการสะท้อนของพื้นอาคารหรือพื้นผิวอื่นๆ ภายนอกอาคาร

องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายใน *(Internal Reflected Component, IRC)* หมายถึง แสงที่ได้รับ หลังจากการสะท้อนของพื้นผิวภายในห้อง ณ จุดอ้างอิง

ช่องแสงกระจกด้านข้าง *(Side-Glazings)* หมายถึง ช่องแสงกระจกที่ผนังด้านข้างของอาคารในแนวตั้งฉากกับพื้นระดับ

ค่าการส่องผ่านของแสง *(Visible Light Transmittance, VT)* หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณของแสงที่มองเห็นได้ที่สามารถส่องผ่านกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด (สุนทร บุญญาธิการ และ อุษณีย์ มิ่งมงคล, 2542: 62)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน *(U-Value)* หมายถึง ปริมาณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการพาต่อหนึ่งองศาความแตกต่างระหว่างด้านที่เย็นกว่าไปยังด้านที่ร้อนกว่า (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 222)

สัมประสิทธิ์การบังแดด *(Shading Coefficient, SC)* หมายถึง อัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Solar Factor) ที่ผ่านผนังกระจกหรือช่องแสงเข้ามาต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังกระจกใสที่มีความหนา 1/8 นิ้วเข้ามา โดยที่กระจกใสอ้างอิงดังกล่าว มีมุมตกกระทบในแนวตั้งฉาก (Normal Incident Angle) มีค่าการยอมให้แสงผ่าน (Solar Transmission) เท่ากับ 0.86 มีค่าการสะท้อนรังสี เท่ากับ 0.08 และมีค่าการดูดซับความร้อน เท่ากับ 0.06 ดังนั้นกระจกใสอ้างอิงจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด เท่ากับ 1 (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 222)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง *(Dry–Bulb Temperature)* หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปหรือเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยปกติจะต้องควบคุมไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนต่างๆ เช่น ดวงอาทิตย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับความร้อนระหว่างตัวรับรู้และแหล่งกำเนิดความร้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ระเบียบวิธีวิจัย (Method of Research)

การศึกษาผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร โดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง มีแนวทางวิจัยเป็นไปในเชิงการทดลอง โดยใช้หุ่นจำลองและติดตั้งเครื่องมือในการวัดและเก็บข้อมูล จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้น มาทำการวิเคราะห์และสรุปหาแนวทางที่เหมาะสมต่อไป รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานในการวิจัย มีดังต่อไปนี้

1. <u>การศึกษาค้นคว้าและเก็บข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย</u>

1.1 การศึกษาจากทฤษฎีและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาจะค้นคว้าจากหนังสือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทความในวารสาร สื่อสิ่งพิมพ์ รวมทั้งสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งที่มีอยู่ในประเทศและต่างประเทศ โดยในการค้นคว้านั้นจะกระทำไปควบคู่กับการทดลองจนกระทั่งเสร็จสิ้นการวิจัย การศึกษาจะทำการศึกษาทฤษฎีและแนวความคิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ทฤษฎีแสงสว่าง ประกอบด้วย ทฤษฎีการส่องสว่าง พฤติกรรมของแสง และคุณสมบัติอื่นๆ ของแสง
- ทฤษฎีแสงธรรมชาติ ประกอบด้วย รูปแบบของสภาพท้องฟ้า และการนำแสงธรรมชาติมาใช้
- ทฤษฎีรังสีจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วย ประเภทของรังสีจากดวงอาทิตย์ และอิทธิพลของทิศกับการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์
- ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน
- ข้อมูลเกี่ยวกับกระจก ประกอบด้วย ชนิดของกระจก คุณสมบัติทางแสงสว่าง และคุณสมบัติทางความร้อน
- การคำนวณปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น และการเพิ่มปริมาณความต้องการค่าความส่องสว่างภายใน
- หลักการการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ในส่วนของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
- ผลงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

1.2 การศึกษาและค้นคว้าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เป็นการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณความร้อนภายในอาคาร ที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติ โดยแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ตามขั้นตอนการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร คือ แบ่งเป็นการศึกษาตัวแปรภายนอก และการศึกษาตัวแปรภายในอาคาร โดยกำหนดให้ตัวแปรที่ไม่ได้ทำการศึกษาเป็นตัวแปรคงที่

2. <u>การกำหนดรายละเอียดของการวิจัย</u>

เป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลและแนวทางต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าในขั้นตอนแรก มากำหนดแนวทางที่ชัดเจนในการวิจัย เพื่อกำหนดเป็นขอบเขตของการวิจัยและใช้กำหนดสมมติฐานในแนวทางที่เหมาะสม รวมทั้งเป็นการสรุปการนิยามคำจำกัดความต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และกำหนดแนวทางในการออกแบบการทดลองต่อไป

3. การเตรียมการทดลอง

เป็นขั้นตอนการเตรียมหุ่นจำลองและเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย การจัดสร้างหุ่นจำลอง การทดสอบประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ การติดตั้งเครื่องมือกับหุ่นจำลอง และตรวจสอบการทดลองเบื้องต้นก่อนการทดลองจริง เพื่อนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

4. การเก็บข้อมูล

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารจึงจำเป็นต้องทราบค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้ามา และค่าของอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในหุ่นจำลอง โดยการเก็บข้อมูลจะกระทำภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ตลอดทั้งวัน และแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ค่าความส่องสว่างที่ตกกระทบบนระนาบนอนระหว่างภายนอกกับภายในหุ่นจำลอง และปริมาณของรังสีความร้อน ในทิศทางการหันทั้งแปดทิศ โดยเก็บข้อมูลเฉพาะแสงกระจายจากท้องฟ้า
- ค่าของอุณหภูมิอากาศภายในหุ่นจำลองที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจกเข้ามา และค่าของอุณหภูมิผิวของกระจก ทั้งภายนอกและภายในหุ่นจำลอง

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

โดยนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมาแปลผลข้อมูลเป็นตารางและแผนภูมิ และนำมาพิจารณาวิเคราะห์เปรียบเทียบความเหมาะสมในตัวแปรต่างๆ ว่ามีผลต่อปริมาณความส่องสว่างและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแตกต่างกันอย่างไร

6. การประเมินผล

ในการประเมินผล จะกำหนดเกณฑ์การประเมินในด้านต่างๆ ดังนี้

- ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากการทดลอง เมื่อนำมาปรับจากข้อมูลตัวประกอบแก้แล้วนั้น ต้องมีความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่น้อยที่สุด เพื่อความถูกต้องในการใช้ชุดข้อมูลนั้นไปคำนวณต่อไป
- มีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นปรัชญาในการออกแบบเพื่อการใช้แสงธรรมชาติที่ถูกต้อง
- มีความเป็นไปได้ และมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับอาคารจริงต่อไป

7. การสรุปผลการวิจัย

- สรุปรายละเอียดและผลการทดลองที่ได้อย่างชัดเจน
- เสนอแนวทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้เป็นปรัชญาในการออกแบบเพื่อการใช้แสงธรรมชาติที่ถูกต้อง และนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารจริงได้อย่างเหมาะสม
- เสนอแนะข้อผิดพลาด ข้อจำกัด ขอบเขต และแนวทางในการปรับปรุงการวิจัย เพื่อเป็นแนวทางในศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

1.7 **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ** (Purpose of this study)

1. สามารถทราบถึงผลกระทบจากตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความส่องสว่าง และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายในอาคาร ที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร

2. สามารถทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่าง และปริมาณความร้อนที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง

3. เพื่อใช้เป็นปรัชญาการออกแบบอาคารที่ใช้แสงธรรมชาติอย่างถูกต้อง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอาคารจริงได้

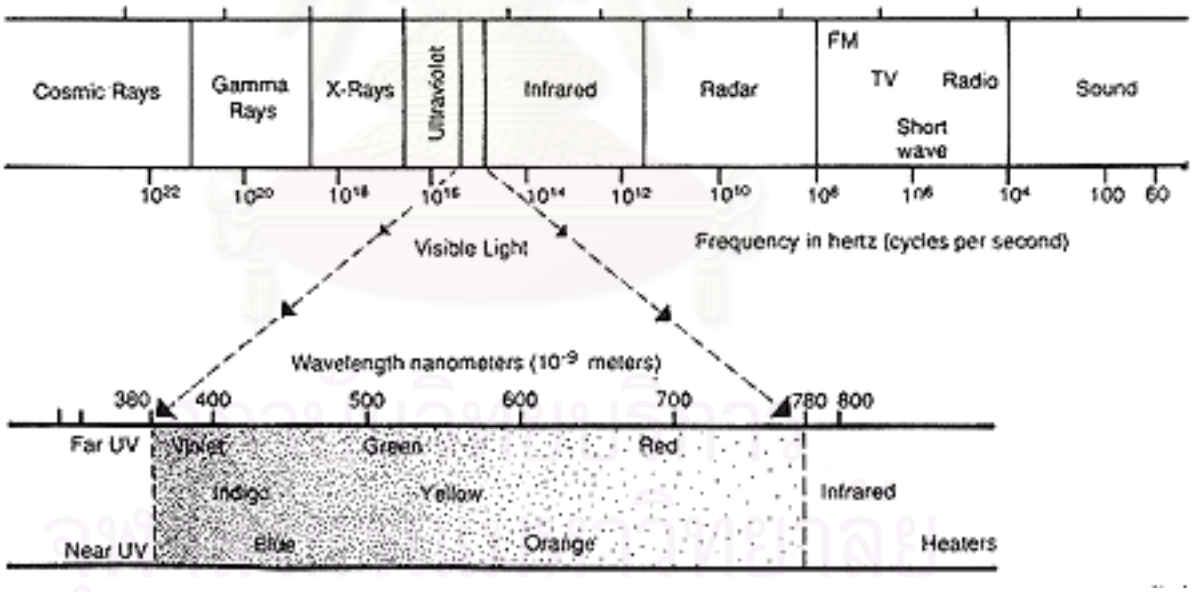
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับแสงสว่าง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้าฯลฯ แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่ของแสงจะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเคลื่อนที่ในรูปของคลื่นนี้ จะมีความยาวคลื่นเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือความถี่หรือความยาวคลื่นจะเป็นตัวกำหนดพลังงาน (พิบูลย์ ดิษฐ์อุดม, 2521) หากเราพิจารณา แสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible Light) ในคุณสมบัติของคลื่น แสงจะมีคุณสมบัติของความถี่ และความยาวคลื่นเฉพาะของตัวเอง แสงเป็นพลังงาน ที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 0.78 ไมครอน (micron) หรือ 380–760 นาโนเมตร (nanometers) โดยที่แสงในคลื่นความยาวดังกล่าวเมื่อกระทบกับเรตินาในดวงตา จะมีการกระตุ้นของพลังงานกับประสาทตาปกติ ทำให้เกิดการเห็นภาพในดวงตา



รูปที่ 2.1 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานต่างๆ

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , p. 912.

คลื่นแสง (Visible Light) จะประกอบไปด้วยสเปกตรัม(spectrum) ของแสงที่ระดับความถี่ที่แตกต่างกัน และในแต่ละสเปกตรัมของแสงจะมีความแตกต่างกันของสี ซึ่งความเข้มแสงที่แต่ละความยาวคลื่นที่แตกต่างกันออกไป จะหาได้จากการผ่านแสงในช่วงที่ต้องการทดสอบผ่านปริซึม เพื่อให้เกิดการหักเหแสงของความยาวคลื่นต่างๆ ก็จะทราบว่าแสงที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ประกอบคลื่นความยาวแสงอะไรบ้าง และแต่ละความยาวคลื่นของแสงมีความเข้ม ที่แตกต่างกันอย่างไร ซึ่งแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยจะหักเหมาก ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากจะมีการหักเหน้อย ประโยชน์ของสเปกตรัมสีของแสง จะเป็นตัวแสดงว่าแสงสีไหนมีมากกว่ากัน เช่น ถ้าแสงมีสีน้ำเงินมาก เมื่อส่องไปกระทบวัตถุที่มีสีน้ำเงินก็จะทำให้วัตถุสีน้ำเงินนั้นไม่เด่น แต่ถ้าวัตถุนั้นมีสีแดง และแสงที่ตกกระทบวัตถุเป็นสีแดงเข้ม วัตถุสีแดงก็จะเด่นขึ้นมาทันที เนื่องจากสีแดงมีความเข้มของแสงมาก ดังนั้นถ้าต้องการให้แสงที่ส่องถูกวัตถุทุกสีเด่นก็ต้องมีสเปกตรัมของสีที่มีความเข้มมาก แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมของสีทุกสีเข้มหมด เมื่อนำไปส่องวัตถุใดวัตถุนั้นก็จะเด่นหมด

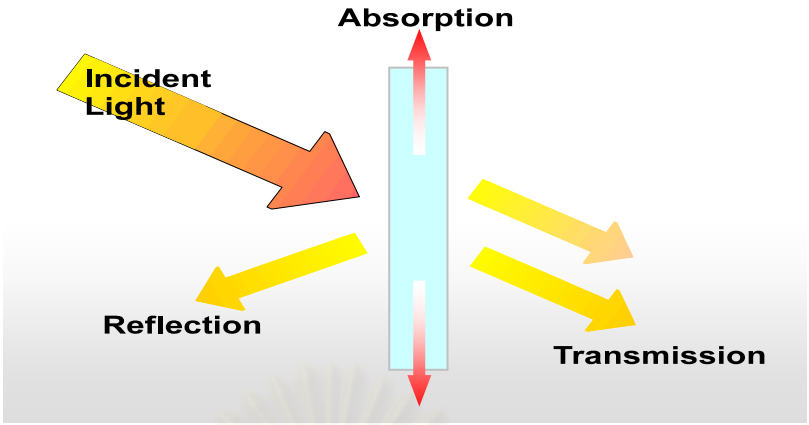
แสงนอกจากจะมีช่วงของสเปกตรัมที่แตกต่างกันแล้ว แสงยังมีคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา (Electromagnetic Radiation) เมื่อความยาวคลื่นที่แผ่ออกมามีความแตกต่างกัน ก็จะทำให้เห็นแสงสีที่แตกต่างกัน ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยสายตามนุษย์ ตามีเซลล์โคนสามแบบ ที่สามารถตอบสนองกับสีแดง เขียว และน้ำเงิน และความสัมพันธ์ของสีทั้งสามจะทำให้มองเห็นแสงสีต่างๆ ได้ การผสมของแสงสีต่างๆ จะมีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้ทราบว่า การให้แสงสว่างที่เหมาะสมสำหรับสถานที่หรือวัตถุต่างๆ ที่มีสีสันต่างๆ กัน ควรให้แสงสีแบบใด สีของแสงที่เกิดจากการผสมของสีทั้งสามคือ แดง เขียว น้ำเงินในอัตราส่วนที่เท่ากันจะได้แสงสีขาว ดังนั้นเมื่อเราทราบว่าแสงสีขาวเกิดจากการผสมกันของสีต่างๆ เมื่อนำไปส่องวัตถุสีสันเดียวกัน จึงให้ผลออกมาไม่เหมือนกัน แสงสีขาว ที่เกิดจากการผสมสี ระหว่างสีน้ำเงิน และเหลือง เมื่อนำไปส่องวัตถุที่มีสีเหลือง วัตถุนั้นก็จะเด่นขึ้นมา แต่ถ้านำไปส่องวัตถุสีแดง วัตถุนั้นก็จะไม่เด่น

แสงเมื่อผ่านแผ่นกรองแสง ซึ่งเป็นวัตถุโปร่งแสง หรือโปร่งแสงที่มีสี แผ่นกรองแสงจะยอมให้แสงที่มีสีเดียวกันกับแผ่นกรองแสง หรือสีประกอบของแผ่นกรองแสงผ่านไปได้ และจะดูดกลืนแสงสีอื่นเอาไว้หรือแสงเมื่อส่องกระทบถูกวัตถุ จะสะท้อนแสงที่เป็นสีเดียวกัน หรือสีองค์ประกอบออกมา และดูดกลืนแสงสีอื่นเอาไว้ ทำให้ไม่เห็นแสงสีอื่นเมื่อมองด้วยตาปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1 พฤติกรรมของแสง

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



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมของแสงเมื่อกระทำกับวัตถุ

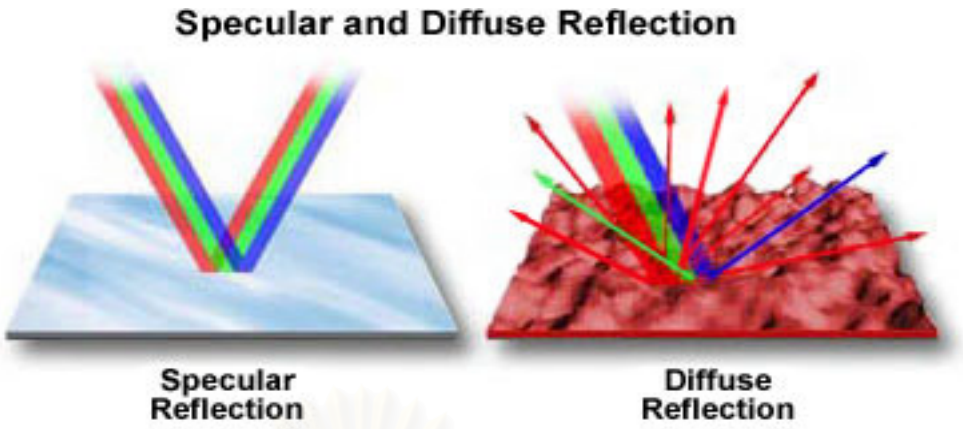
1. **การดูดกลืน** (Absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง (Medium) จะถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง ซึ่งปริมาณการถูกดูดซึมเข้าไปในตัวกลาง จะขึ้นอยู่กับค่าการดูดซึมแสงของตัวกลาง ที่แตกต่างกันไปในแต่ละวัสดุ โดยทั่วไปเมื่อแสงถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง จะเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน จากในรูปของพลังงานแสง (Light) เป็นพลังงานความร้อน (Heat)

2. **การสะท้อนของแสง** (Reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลาง แล้วเกิดการสะท้อนแสงออกมาโดยที่ความยาวคลื่น และความถี่ของคลื่นแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง การสะท้อนของแสงมีหลายลักษณะ และสามารถจำแนกออกได้เป็นแต่ละลักษณะดังนี้

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

- *การสะท้อนของแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection)* เป็นลักษณะที่เกิดขึ้น เมื่อแสงตกกระทบลงบนวัสดุหรือพื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือผิวด้าน แสงที่สะท้อนออกมาจะกระจายไปในทุกทิศทาง มุมสะท้อนของแสงจะมีทิศทางที่ไม่แน่นอน และมุมตกกระทบของแสง จะไม่เท่ากับมุมสะท้อนของแสงออกมา หากผิววัสดุนั้น มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ (Perfect Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่สะท้อนออกมา จะเป็นแสงสะท้อนที่มีการกระจายแสงอย่างสมบูรณ์ (Perfect Diffuse Reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่มีมุมสะท้อนเท่ากันทุกๆ มุมสะท้อน และมีค่าเฉลี่ยของแสงที่สะท้อนออกมาเท่ากัน แต่หากพื้นผิววัสดุไม่เรียบสม่ำเสมอ (Semi Diffuse Surface) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย (Semi Diffuse Reflection)

- *การสะท้อนแสงแบบผสม (Combined Specular and Diffuse Reflection)* เป็นลักษณะการสะท้อนแสงแบบผสม ที่เกิดจากการสะท้อนแสงแบบกระจกเงา (Specular) และแบบสะท้อนกระจาย (Diffuse Reflection) ซึ่งสภาพพื้นผิว โดยทั่วไปจะพบการสะท้อนแสงในลักษณะนี้มากที่สุด



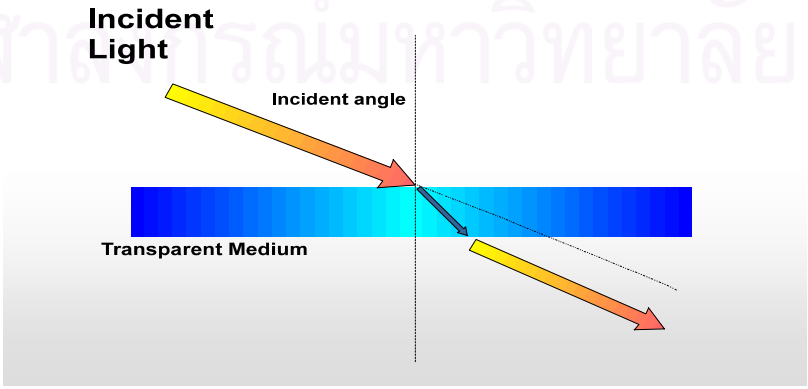
รูปที่ 2.3 แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย

3. **การส่องผ่าน** (Transmission) เกิดขึ้นเมื่อกับด้านใดด้านหนึ่ง ของตัวกลาง (Medium) แล้วสามารถทะลุไปยังอีกด้านหนึ่งของตัวกลาง หากไม่พิจารณาคุณสมบัติของตัวกลางที่แสงส่องผ่านแล้ว จากคุณสมบัติของแสง มุมที่แสงตกกระทบตัวกลาง จะเท่ากับมุมที่แสงสะท้อนออก และปริมาณของแสงจะต้องคงเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อแสงกระทบตัวกลางชนิดโปร่งแสง แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในตัวกลาง อีกส่วนจะสะท้อนกลับ ส่วนที่เหลืออีกส่วนหนึ่งจะส่องทะลุผ่านออกมา สามารถอธิบายด้วยสมการ (เมื่อ ปริมาณแสงทั้งหมด = 1)

ปริมาณแสงทั้งหมด = **ปริมาณแสงที่ถูกดูดซึม** + **ปริมาณแสงสะท้อน** + **ปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่าน**
(Absorption) (Reflection) (Transmission)

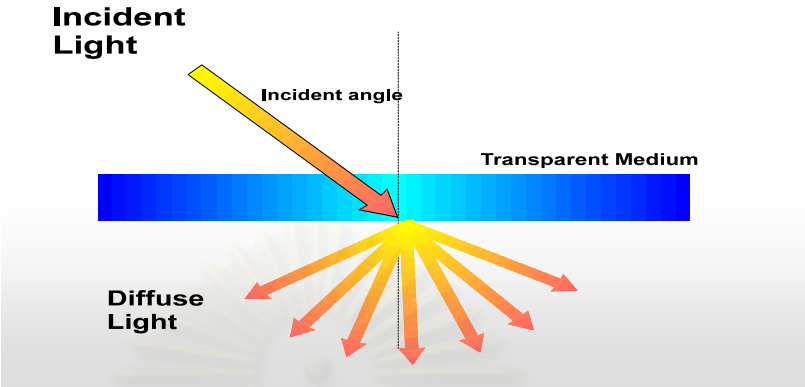
<u>ชนิดของตัวกลางที่แสงส่องทะลุผ่านได้</u> แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- *ตัวกลางชนิดโปร่งใส (Transparent Medium)* การส่องผ่านในลักษณะนี้ จะมีการหักเห (Refracted) ของแสงเกิดขึ้น หรือมีการเปลี่ยนทิศทางของแสง (Bent) ขึ้นกับคุณสมบัติของตัวกลาง โดยสามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดอีกด้านหนึ่งได้อย่างชัดเจน ตัวกลางประเภทนี้อาทิ กระจกใส เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แสงตกกระทบตัวกลาง เกิดการหักเหของแสงแล้วทะลุผ่าน

- *ตัวกลางชนิดโปร่งแสง (Translucent Method)* การส่องผ่านของแสงในลักษณะนี้ จะเป็นแบบกระจาย และไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงในอีกด้านหนึ่งได้



รูปที่ 2.5 แสงทะลุผ่านตัวกลาง และทะลุผ่านแบบกระจาย

การส่องผ่านของแสงจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุที่แสงตกกระทบมีค่าดัชนีการหักเหของแสงมากกว่าสภาพโดยรอบของวัสดุนั้น เช่น กระจกมีค่าดัชนีการหักเห 1.520 ซึ่งมากกว่าอากาศโดยรอบที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นแสงจะส่องทะลุผ่านกระจกออกมาได้ แต่เมื่อแสงผ่านตัวกลางผิวเรียบจะเกิดการหักเห หรือสะท้อนกลับ การหักเหหรือสะท้อนกลับของแสงจะขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสง ถ้ามุมตกกระทบของแสงน้อย แสงก็จะผ่านจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ถ้ามุมตกกระทบของแสงมีค่ามากเกินกว่าค่าของมุมวิกฤต แสงจะไม่ผ่านตัวกลางและไม่สะท้อนกลับด้วย (ในกรณีนี้มุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต) และถ้ามุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤตแสงจะสะท้อนออกมา

ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบ และมุมสะท้อนสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ n_1 , n_2 = ดัชนีการหักเหของแสง ของวัสดุ 1 และ 2 ตามลำดับ

θ_1 = มุมตกกระทบของแสง

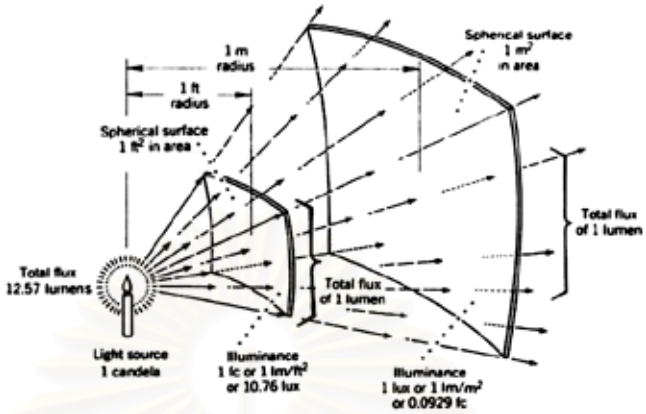
θ_2 = มุมสะท้อนของแสง

2.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง (Illuminance Theory)

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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



รูปที่ 2.6 ปริมาณการส่องสว่าง (Luminous Flux)

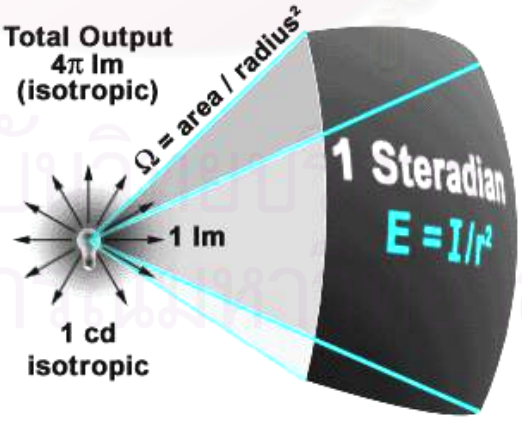
ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, p. 915.

- *Solid angle (ω)* เป็นการวัดพื้นที่ผิวของทรงกลมหนึ่งหน่วยที่สมมติเป็นทรงกรวย โดยมีส่วนแหลมสุด หรือโคนของกรวยที่จุดกำเนิดแสงหรือศูนย์กลางของวงกลมนั้น ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวส่วนที่พิจารณาของทรงกลมต่อรัศมีของทรงกลมนั้นๆ ยกกำลังสอง มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน (Steradian)

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

เมื่อ A = พื้นที่ผิวที่พิจารณาของทรงกลม

R = รัศมีของทรงกลม

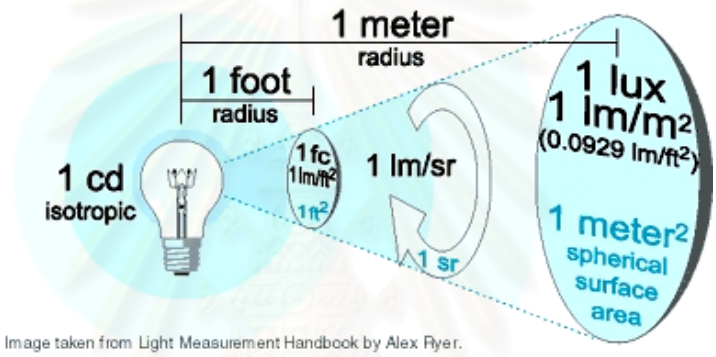


รูปที่ 2.7 แสดงค่ามุม 1 สเตอเรเดียน

- *แคนเดลา (Candela)* ความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา มีค่าเท่ากับความเข้มของการส่องสว่างบนพื้นผิวอุดมคติ (Blackbody) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลตินั่ม (Platinum) และจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสง

2. ความส่องสว่าง (Illuminance) หมายถึง ความสว่างของปริมาณแสง 1 หน่วย ที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ใดๆ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit of area) หรือ ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตร (หรือ ต่อ 1 ลักซ์) ซึ่งเป็นการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงภายในวงกลม เมื่อทรงกลมนั้นมีรัศมี 1 ฟุตหรือ 1 เมตร ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งตกกระทบลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่ได้จะเท่ากับหนึ่งลูเมนต่อตารางฟุต (1 lumen/foot^2) หรือ 1 ฟุตแคนเดิล (foot-candle) ในทำนองเดียวกัน หากทรงกลมนั้น มีขนาดรัศมีจะเท่ากับ 1 เมตร ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตรหรือ 1 ลักซ์ ความส่องสว่างในหน่วยของลักซ์ (Lux) เมื่อเทียบกับในหน่วยของ ฟุตแคนเดิล (foot-candle)

1 Lux = 10.76 foot-candle (**หรือประมาณ 10 ฟุตแคนเดิล**)



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง candelas, lumens, lux and foot - candles

ตาราง 2.1 แสดงค่าความส่องสว่างมาตรฐาน ในแต่ละพื้นที่ใช้งาน ตามมาตรฐาน CIE (International Commission on Illuminantion)

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

ที่มา : เทคนิคการส่องสว่าง , หน้า 1-6

มาตรฐาน CIE ได้กำหนดค่าความส่องสว่างจากตาราง ออกเป็นสามค่า โดยค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีกสองค่าใช้ในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีความแตกต่างออกไป อาจจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าขึ้นกับสภาพต่างๆดังนี้

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

3. การส่องสว่าง (Illumination) เป็นค่าการส่องสว่างของแสงบนพื้นที่ผิวใดๆ จะแปรผันโดยตรงกับความเข้มแห่งการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงและจะแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง ที่เกิดจากระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (foot-candle) มีสมการดังนี้

$$E = I / d^2 \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ E = ปริมาณความส่องสว่างบนพื้นผิวที่พิจารณา มีหน่วยเป็น Lux หรือ Foot-candle

I = ความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง ในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ผิวที่พิจารณามีหน่วยเป็นแคนเดลา (cd)

d = ระยะทางระหว่างพื้นที่ผิวที่พิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นเมตรหรือฟุต

ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity) คือปริมาณแสง ที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงใน Solid Angle ใดๆ ในทิศทางหนึ่งๆ แหล่งกำเนิดแสงจะปล่อยฟลักซ์ความสว่าง (Luminous Flux) ออกมารอบทิศทาง เรียกว่า ความเข้มความส่องสว่าง (Luminous Intensity) มีหน่วยเป็นลูเมน (Lumen) ซึ่งจะแสดงถึงค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ หรือบางทีเรียกว่ากำลังการส่องสว่าง (Candle Power) มีหน่วยเป็น แคนเดลา (Candela) หรือลูเมนต่อสเตอเรเดียน (Lumen per Steradian) ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเล็กมาก เสมือนแหล่งกำเนิดแสงนั้นเป็นจุด (Point source)

หากพิจารณานำแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด และมีค่าความเข้มแห่งการส่องสว่างสม่ำเสมอทุกทิศทางเท่ากับ 1 แคนเดลา มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลางของทรงกลมรัศมี 1 หน่วย ปริมาณแสงที่พุ่งไปตกลงบนทุกๆ หนึ่งตารางหน่วยพื้นที่บนพื้นผิวของทรงกลมนี้ จะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน (Lumen) และเนื่องจากพื้นที่ผิวทั้งหมดของทรงกลมรัศมี 1 หน่วยมีค่าเท่ากับ 12.57 ตารางหน่วยพื้นที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 แคนเดลา จะสามารถเปล่งปริมาณเส้นแรงของแสงออกมาได้ เท่ากับ 12.57 ลูเมน (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, วิทยานิพนธ์ หน้า 19)

2.1.3 คุณสมบัติอื่น ๆ ของแสง

*1. **ความจ้า** (Brightness) **หรือความสว่าง** (Luminance)* เมื่อแสงส่องกระทบถูกวัตถุใดๆ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนหรือส่องผ่านวัตถุเข้าสู่ตาของเราทำให้เกิดการเห็นวัตถุนั้นๆ หากแสงที่เข้าสู่ตาเรามีค่าความสว่างมาก จะเรียกว่าความจ้าของแสงสว่าง ประกอบด้วยสององค์ประกอบหลัก คือ ความสามารถในการสะท้อนหรือส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุใดๆ ทำให้วัตถุนั้นเปรียบเสมือนแหล่งกำเนิดแสงและความสามารถในการปรับตัวของสายตา

ความจ้า จะเป็นปริมาณที่เกิดขึ้นระหว่างความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากผิวของวัตถุต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Foot-lambert) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$FL = Fc \times \rho \quad \text{.....(2.4)}$$

$$FL = Fc \times \tau \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ FL = ปริมาณความจ้า มีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต

Fc = ปริมาณการส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล

ρ = ค่าการสะท้อนของแสงของวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

τ = ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านวัตถุ มีหน่วยเป็นร้อยละ (%)

*2. **ความเปรียบต่าง** (Contrast)* คือค่าความส่องสว่างของวัตถุ หรือเหตุการณ์ที่ต้องการมอง เมื่อเทียบกับความสว่างของสภาพรอบข้าง ยิ่งมีความเปรียบต่างมาก การมองเห็นวัตถุนั้นก็จะง่ายขึ้นในขณะที่ความต้องการปริมาณแสงและเวลาในการรับภาพจะน้อยลง เช่น วัตถุสีขาวบนพื้นสีดำจะมองเห็นได้ง่ายกว่า วัตถุสีดำบนพื้นสีดำหรือสีเข้ม ซึ่งมีความเปรียบต่างน้อย อย่างไรก็ตามหากเหตุการณ์ที่เราพิจารณามีค่าความเปรียบต่างมากเกินไป เมื่อเทียบกับสภาพรอบข้าง ก็จะทำให้สายตาเกิดการปรับตัวมากเกินไป และอาจเป็นผลร้ายกับสายตาได้ ซึ่งลักษณะการที่สายตาต้องปรับตัวอย่างรวดเร็ว เราจะเรียกความสว่างในลักษณะนี้ว่าแสงจ้า (Glare)

ความเปรียบต่างสามารถกำหนดเป็นอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างความสว่างของวัตถุและของสภาพรอบข้างของวัตถุนั้นๆ เมื่อพิจารณาจากจุดสังเกต ได้ดังนี้

$$C = (L2 - L1) / L1 \quad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อ C = ความเปรียบต่าง (Contrast)

L1 = ค่าความสว่าง (Luminance) ของสภาพแวดล้อม

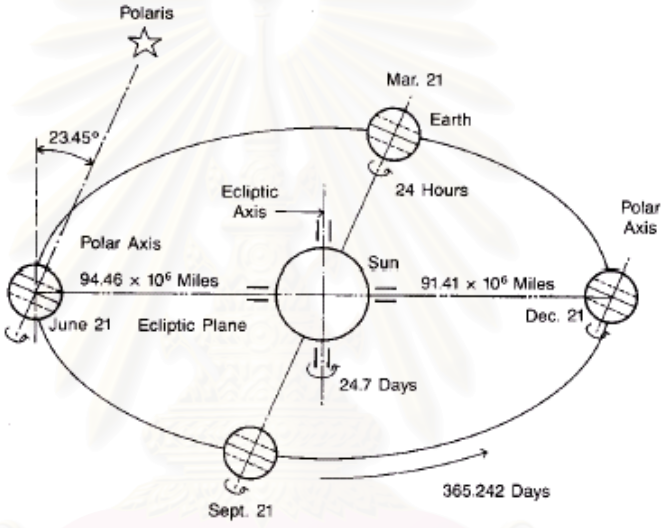
L2 = ค่าความสว่างของวัตถุ

ค่าความเปรียบต่างยิ่งมาก การมองเห็นวัตถุก็จะง่ายขึ้น แต่หากค่าความเปรียบต่าง มีค่ามากเกินไปก็จะเกิดเป็นแสงจ้า (Glare)

2.2 ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับแสงธรรมชาติ

2.2.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ

วันและฤดูกาลที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้นจะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทางและตำแหน่งต่างๆ ของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณของแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ แต่อย่างไรก็ตามนอกจากรูปแบบที่แน่นอนแล้ว ยังมีลักษณะของรูปแบบที่ไม่แน่นอนของแสงธรรมชาติ ที่ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และคงที่ด้วย ซึ่งจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ และมลภาวะปริมาณ ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกมากกว่าร้อยละ 40 จะเป็นคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่นแสงที่ตามองไม่เห็น ได้แก่ แสงในช่วงอัลตราไวโอเลต(Ultraviolet) ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า และอินฟราเรด(Infrared) ที่มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าคลื่นแสง)

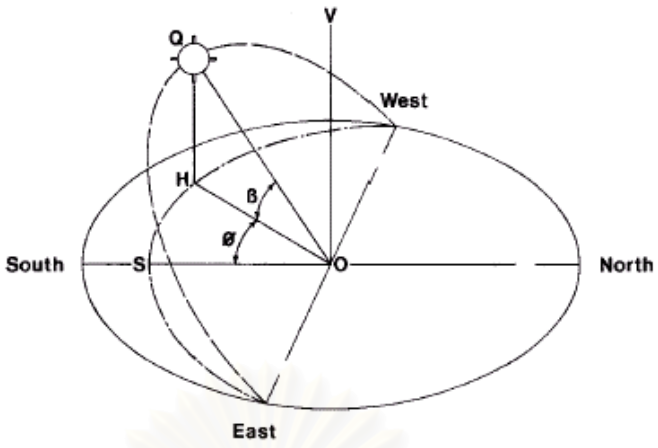


รูปที่ 2.9 Annual Motion of the Earth about the Sun
ที่มา : ASHRAE Handbook 1995, chapter 30 , p. 2.

เมื่อแสงธรรมชาติตกกระทบพื้นผิวต่างๆ ก็จะถูกดูดซับและแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในทันที ซึ่งจะมากหรือน้อยตามความยาว และความถี่ของคลื่นแสงและสภาพบรรยากาศของโลกที่แสงส่องผ่าน เนื่องจากแสงจะเกิดการกระจายตัวและแปรเปลี่ยนเมื่อกระทบกับบรรยากาศในชั้นต่างๆโดย Commission International de l'Eclairage (CIE) ได้มีการแบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติออกเป็นประเภทต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดแสง ได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

2.2.1.1 แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์

การหมุนของโลก ตามแกนโลกที่เอียงตามมุมต่างๆ นั้น จะมีความสำคัญต่อการเกิดของแสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดวงอาทิตย์ ในตำแหน่งต่างๆ บนท้องฟ้า และเมื่อเทียบกับพื้นโลก เราจะสามารถอ้างอิงตำแหน่งของท้องฟ้าจากพื้นโลกจากมุมอัลติจูด และมุมอะซิมุท



รูปที่ 2.10 Apparent Daily Path of the Sun Showing Solar Altitude (β) and Solar Azimuth (ϕ)

ที่มา : ASHRAE Handbook 1995, chapter 30 , p. 2.

- Solar Altitude (β) เป็นมุมในแนวตั้ง ที่บอกมุมเงยของดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับระดับพื้นราบ
- Solar Azimuth (ϕ) เป็นมุมในแนวนอน ที่บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เมื่อวัดจากแกนในแนวทิศใต้เป็นทิศเริ่มต้น ที่ 0 องศา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือที่ 180 องศา และ –180 องศา

2.2.1.2 แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า

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

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

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

2.2.1.3 แสงธรรมชาติจากพื้นดิน

การสะท้อนของแสงจากพื้นดินนับว่ามีความสำคัญสำหรับการออกแบบอาคารด้วยแสงธรรมชาติ แสงที่เกิดจากการสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดของอาคารนั้น จะมีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10-15 ของปริมาณแสงทั้งหมด ที่ผ่านช่องเปิดของอาคาร ซึ่งปริมาณแสงสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดอาคารจะมากหรือน้อยตามลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนแสง หากพื้นผิวเป็นหิมะ หรือทราย หรือพื้นผิวที่มีสีขาวหรือสีอ่อน ปริมาณของแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคารก็จะมากขึ้นกว่าค่าเฉลี่ยปกติ

หากปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร มีมากเกินความจำเป็นต่อการใช้งาน ก็อาจจะควบคุมปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้าสู่อาคารด้วยอุปกรณ์บังแดดชนิดต่างๆ ตามความจำเป็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

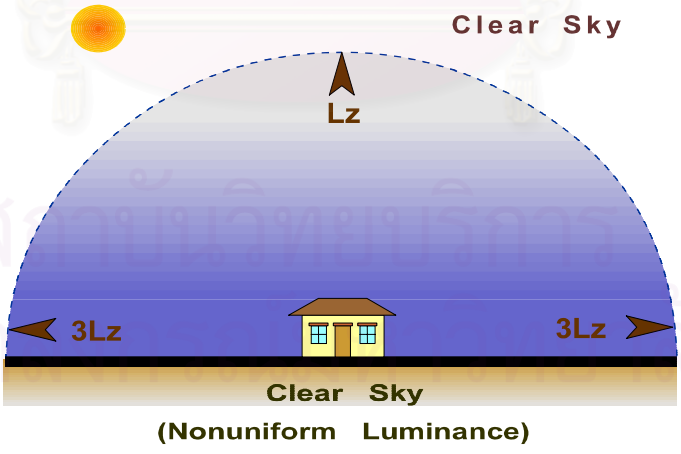
2.2.2 **แสงธรรมชาติกับสภาพท้องฟ้า** (Sky Condition)

เมื่อพิจารณาการแบ่งประเภทของท้องฟ้า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ซึ่งมีดัชนีของปริมาณเมฆในท้องฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 10

การแบ่งประเภทของท้องฟ้า จะมีวิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทของท้องฟ้าหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือการแบ่งประเภทของท้องฟ้าจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า

1. สภาพท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆคลุม (Clear Sky)
2. สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)
3. สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมจนไม่สามารถเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ (Overcast Sky)

1. <u>สภาพท้องฟ้าโปร่งปราศจากเมฆปกคลุม (Clear Sky)</u> ความสว่างของท้องฟ้าจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ความสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง (Direct Sun) และความสว่างของแสงจากการกระจายแสง (Diffuse Illuminance) ของท้องฟ้า โดยองค์ประกอบทั้งสองนี้ จะแปรผันตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) เป็นหลัก (Prof. Kittler, 1981) ความสว่างของท้องฟ้าจะมีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (Non Uniform Brightness) ซึ่งที่ระดับสูงสุดของท้องฟ้าจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าที่ระนาบล่างของท้องฟ้า โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นเป็น 3 เท่าที่ระดับระนาบล่างสุดของท้องฟ้า และท้องฟ้าประเภทนี้จะมีความสว่างสูงสุด ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และมีความส่องสว่างต่ำสุดที่ตำแหน่งตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ (Hopkinson and Moon , 1968)



รูปที่ 2.11 **รูปแสดงท้องฟ้าแบบ** Clear Sky

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

จากการที่ความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง มีความแปรผันตามตำแหน่งมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์เหนือแนวระนาบ ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณจะหาได้ดังนี้

LA = LZ (1 + 2 sin A) / 3 .....(2.7)

เมื่อ LA = ความสว่างของท้องฟ้า ที่ตำแหน่งมุม A องศาเหนือแนวระนาบของดวงอาทิตย์

LZ = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุด

ดังนั้น ความสว่างที่ตำแหน่งมุม A = 0 องศา จะมีค่าเท่ากับ = LZ / 3

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

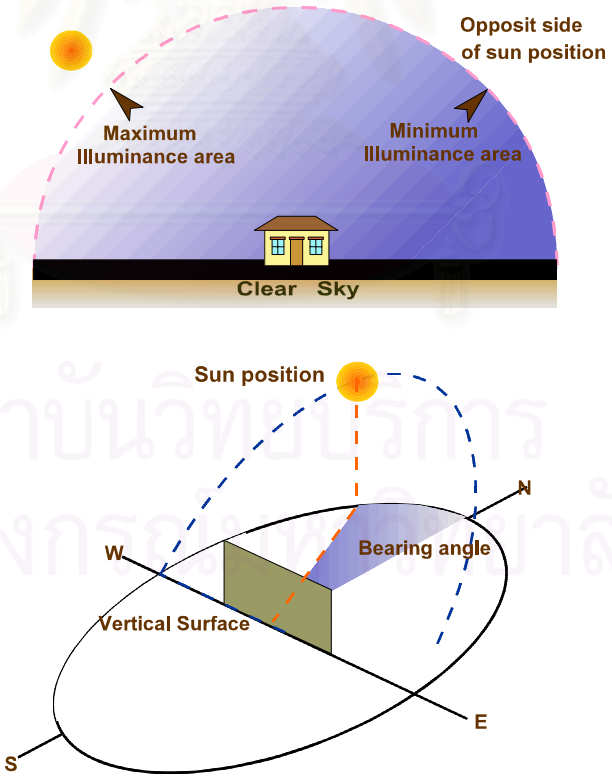
กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

Eh = 300 + 21,000 sin A (lux) .....(2.8)

กรณี ความสว่างของท้องฟ้าจากแสงกระจายของท้องฟ้า

Eh = 1345 + 14,795 sin A (lux) .....(2.9)

หากพิจารณาแสงกระจายจากท้องฟ้า เพียงครึ่งระนาบของท้องฟ้า จะมีความสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล (เฉลี่ยที่ 1,000 ฟุตแคนเดิล)



รูป 2.12 รูปแสดงท้องฟ้าโปร่ง และมุมแบริ่ง (Bearing Angle)

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

2. <u>สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)</u> การพิจารณาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้จะทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา(Dynamic) และจากข้อมูลสถิติที่ได้มีการรวบรวมไว้ จะพบว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จะมีความส่องสว่างของท้องฟ้ามากกว่าท้องฟ้าแบบโปร่ง (Clear Sky) ประมาณ 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณแสงที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการที่แสงจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบก้อนเมฆ และสะท้อนไปมาระหว่างก้อนเมฆ (Prof. Nakamura and Prof. Oki , 1983) สามารถอธิบายลักษณะของท้องฟ้าที่เมฆปกคลุมบางส่วน และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_{HP} = 570\ A \quad \text{.....(2.10)}$$

เมื่อ E_{HP} = ความสว่างภายนอกที่ระดับระนาบ ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ มีหน่วยเป็นกิโลลักซ์

A = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar Altitude)

ถึงแม้ว่าท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วนจะให้ปริมาณของแสงมากกว่าท้องฟ้าโปร่ง แต่ในบางกรณีหากกลุ่มเมฆที่เกิดขึ้นเป็นเมฆฝน หรือมีสีดำทึบ ก็อาจทำให้แสงถูกกั้น หรือถูกดูดซึมมากกว่าที่จะสะท้อนหรือเกิดการกระจายของแสง ทำให้ค่าความสว่างของท้องฟ้ามีค่าลดลง และจากการศึกษา โดยอาศัยดัชนีเมฆ หรือ Cloudy Ratio (The Gillete prediction model, 1985) มาพิจารณาหาความสัมพันธ์ของการส่องสว่างของท้องฟ้าที่เกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ และแสงกระจายจากท้องฟ้า จะมีความสัมพันธ์กันของความสว่างเฉลี่ยของระดับระนาบนอนที่ปราศจากสิ่งกีดขวางดังนี้

$$E_H = 0.35\ Es + 0.89\ Ec \quad \text{.....(2.11)}$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมบางส่วน (มีหน่วยลักซ์)

Es = ความส่องสว่างที่เกิดจากแสงตรงของดวงอาทิตย์

Ec = ความส่องสว่างที่ได้จากการกระจายของแสงจากดวงอาทิตย์

3. <u>สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม จนไม่สามารถมองเห็นแสงจากดวงอาทิตย์ (Overcast Sky)</u> ท้องฟ้าในลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้าในแถบสแกนดิเนเวีย (Scandinavia) และตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก เช่นประเทศอังกฤษ ความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน จะมีปริมาณความสว่างที่แตกต่างกันมาก (Non-uniform Brightness Distribution) โดยความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นของท้องฟ้า เมื่อพิจารณาจากระนาบพื้น (Horizon-Brightness) ความสว่างจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงระดับสูงสุดของท้องฟ้า ที่ระดับเซนิท (Zenith-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ ซึ่งจะมีค่ามากกว่าความสว่างที่ระนาบพื้นประมาณ 3 เท่า ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดใดๆ จะพิจารณาเฉพาะจากการแปรเปลี่ยนของมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ไม่พิจารณาจากมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ โดยอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_A = L_Z\ (\ 1 + 2 \sin A\ )\ /\ 3 \quad \text{.....(2.12)}$$

เมื่อ L_A = ความสว่างของท้องฟ้าที่ตำแหน่งมุม A องศา เหนือระดับในแนวระนาบ (Horizon) ในทุกๆ ทิศทาง

L_Z = ความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับสูงสุด ที่ระดับเซนิท (Zenith)

ดังนั้นความสว่าง ณ ตำแหน่งในแนวระนาบ หรือที่มุม A = 0 องศา จะมีความสว่างมากกว่าเพียงหนึ่งในสามของความสว่างที่ระดับสูงสุด $L_A = L_Z / 3$

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความสว่างของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ จะแปรเปลี่ยนไปตามมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ แต่ก็ยังมีท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบในอีกลักษณะหนึ่ง ที่มีความสว่างของท้องฟ้าที่เท่ากันทั่วทั้งท้องฟ้าและทุกระดับความสูง (Uniform-Brightness) ซึ่งจะมีความใกล้เคียงกับท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่ (Uniform Sky) (เป็นท้องฟ้าในอุดมคติ ที่จะมีความสว่างของท้องฟ้าเท่ากันทุกจุด) โดยความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับเซนิท(Zenith) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบจะมีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (Horizon-Brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง (Prof. Krochman, 1993) จะอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$E_H = 300 + 21{,}000 \sin A \text{ (lux)} \quad \text{.....(2.13)}$$

เมื่อ E_H = ความส่องสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (ลักซ์)

A = มุมอัลติจูลดวงอาทิตย์

2.2.3 การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน

การคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆนั้น จะมีความยุ่งยากในการคำนวณมากกว่าการคำนวณแสงที่เกิดจากแสงจากการประดิษฐ์ การกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติที่ตกกระทบช่องเปิด (Window and Skylight) จะต้องคำนึงถึงช่วงเวลาต่างๆของท้องฟ้า และดวงอาทิตย์ในการคำนวณด้วย ซึ่งจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์ และแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร

ส่วนของการใช้งานแสงธรรมชาตินั้นจะกล่าวถึงปริมาณของแสงธรรมชาติ จากดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆของ วัน เวลา และสภาพท้องฟ้าในขณะนั้นๆ ซึ่งการศึกษาทางด้านแสงธรรมชาติ ได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลอย่างจริงจังมามากกว่า 60 ปีแล้ว และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ก็สามารถนำมาพยากรณ์ และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่ออธิบายถึงความสว่างจากแสงธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

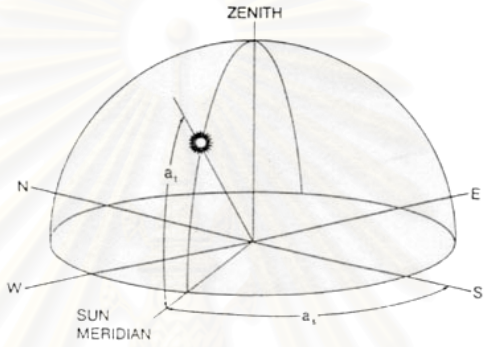
การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน จะต้องศึกษาถึงข้อมูลและองค์ประกอบต่างๆ ที่อธิบายในข้างต้น ซึ่งในการคำนวณนั้นจะไม่สามารถอธิบายลักษณะของปริมาณแสง และความเข้มของแสงได้อย่างแม่นยำ แต่ค่าที่ได้จะเป็นค่ากลาง เนื่องจากเกณฑ์ในการคำนวณจะให้ผลของการคำนวณอย่างคร่าวๆ ซึ่งในความเป็นจริงค่าความส่องสว่างที่วัดจริงในช่วงเลานั้นๆ จะแตกต่างจากค่าที่คำนวณตามข้อกำหนดต่างๆ ของการนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน อย่างไรก็ตามค่าที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาขณะนั้น จะมีค่าเฉลี่ยมากกว่าสองเท่า หรือน้อยกว่าครึ่งของค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการออกแบบ

2.2.4 <u>ทฤษฎีเกี่ยวกับทิศทางและตำแหน่งดวงอาทิตย์</u>

การคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อนำไปใช้งานในแต่ละบริเวณนั้น จะเริ่มต้นจากการทิศทางตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบอื่นๆ ดังนี้

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

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



รูป 2.13 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากมุมอัลติจูด (a_t, altitude) และมุมอะซิมุท (a_s, azimuth)
ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

2.2.4.1 ตำแหน่งของที่ตั้ง

ตำแหน่ง และที่ตั้งของบริเวณที่จะศึกษานั้น จะถูกกำหนดขึ้นจากเส้นรุ้ง (Latitude , L) และเส้นแวง (Longitude , l) ที่มีอยู่ โดยที่เส้นแวง หรือเส้นลองติจูด (Longitude) จะกำหนดให้ด้านเหนือของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นบวก และด้านใต้ของทรงกลม (Hemisphere) จะเป็นลบ เส้นรุ้ง หรือเส้นละติจูด (Latitude) จะกำหนดให้ด้านตะวันตกของเส้นแบ่งเวลาเมอริเดียน (Meridian , Greenwich, U.K.) เป็นลบ และด้านตะวันออก เป็นบวก

2.2.4.2 การบอกเวลา

ในปัจจุบันนี้การบอกเวลาจะแบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการบอกเวลาแบบปกติตามแต่ละท้องถิ่น แต่การบอกเวลาตามดวงอาทิตย์(Solar time) จะสามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐาน โดยเริ่มจากการกำหนดจากเส้นแวง (Longitude) ของเส้นแบ่งเวลาในช่วงต่างๆ และจากสมการของเส้นบอกเวลา (Equation of Time) โดยเวลาเทียบเท่า (Equation of Time) จะมีความแตกต่างจากเวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) และเวลานาฬิกา (Clock Time) เนื่องจาก

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

การบอกเวลาแบบ Equation of time จะอธิบายเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

$$ET = 0.170 \sin (4\pi (J - 80) / 373) - 0.129 \sin (2\pi (J - 8) / 355) \quad \text{.....(2.14)}$$

เมื่อ ET = เวลาเทียบเท่า (Equation of Time) ในหน่วยของเวลาแบบทศนิยม
(เช่น เวลา13.30 น. จะเป็น 13.5)

J = วันที่ โดยเริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี(Julian Date) โดยไม่สนใจเดือนต่างๆ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

ค่าที่ได้จากสมการข้างต้น จะเป็นค่าที่น้อยที่สุดของสมการกำลังสอง (Prof. Lamm, 1970) ซึ่งจะไม่มีความแม่นยำนักในการนำมาใช้ในการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจริงในขณะนั้น ในแต่ละบริเวณจะอ้างถึงเส้นรุ้งที่พาดผ่าน เพื่อนำมาคำนวณเวลาของเวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time)

ความสัมพันธ์ระหว่างเวลามาตรฐาน (Standard Time) และเวลาแสงอาทิตย์ (Daylight Time) จะสามารถกำหนดได้ดังนี้ คือ

$$t_s = t_d - 1 \quad \text{.....(2.15)}$$

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

t_d = เวลาแสงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Daylight time in decimal hours)

เวลาดวงอาทิตย์ (Solar Time) จะสามารถคำนวณได้จาก เวลามาตรฐาน (Standard Time) ได้ดังนี้

$$t = t_s + ET + (12 (SM - L)) / \pi \quad \text{.....(2.16)}$$

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

t_s = เวลามาตราฐาน หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Standard time in decimal hours)

ET = เวลาที่ใช้ในการคำนวณ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Time in decimal hours)

SM = ระยะจากเส้นแบ่งเวลามาตรฐาน (Standard meridian) หน่วยเรเดียน (rad.)

L = ตำแหน่งตามเส้นแวง หน่วยเรเดียน (Site longitude in rad.)

2.2.4.3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Solar Position)

ตำแหน่งและทิศทางต่างๆ ของดวงอาทิตย์จะถูกกำหนดโดยมุมอัลติจูด และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Solar altitude and Solar azimuth) ซึ่งจากลักษณะของมุมทั้งสองอิงกับเส้นแวง ณ บริเวณนั้น เวลาดวงอาทิตย์ (Solar time) และแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar declination) โดยแนวการเคลื่อนของดวงอาทิตย์ (Solar declination) จะประมาณได้จากสมการข้างล่างนี้

$$\delta = 0.4093 \sin (2\pi (J - 81) / 368) \quad \text{.....(2.17)}$$

เมื่อ δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar declination in rad)

J = วันที่ ที่เริ่มนับจากวันแรกของเดือนของปี (Julian Date) โดยไม่สนใจเดือนต่างๆ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ วันที่ 1 จนถึงวันที่ 365 ของปี

สมการของมุมละติจูด อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a_t = \arcsin (\sin l \sin\delta - \cos l \cos\delta \cos (\pi t/12)) \quad \text{.....(2.18)}$$

เมื่อ a_t = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)

l = ตำแหน่งละติจูด หน่วยเรเดียน (Site latitude in rad)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad)

t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

มุมของ Solar Altitude จะมีค่าของมุมอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง $\pi/2$ ถ้าทิศทางของดวงอาทิตย์อยู่ต่ำกว่าแนวระดับหรือเกินกว่า $\pi/2$ จะให้ค่าเป็นลบ สมการของมุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth) อธิบายได้ดังนี้ คือ

$$a_s = \arctan \left(\frac{[\cos\delta \sin (\pi\tau/12)]}{[\cos l \sin + \sin l \cos\delta \cos(\pi\tau/12)]} \right) \quad \text{.....(2.19)}$$

เมื่อ a_s = มุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in radian)

l = ตำแหน่งของมุมละติจูด หน่วยเรเดียน (Site latitude in radian)

δ = มุมคล้อยต่ำของดวงอาทิตย์ (Solar declination in rad.)

t = เวลาดวงอาทิตย์ หน่วยทศนิยมของชั่วโมง (Solar time in decimal hours)

มุมอะซิมุท (Azimuth) จะเริ่มจากศูนย์องศาในแนวของทิศใต้ และหมุนตามเข็มนาฬิกา เรื่อยไปจนถึงทิศเหนือ เป็นระยะทาง π และให้ทิศทางดังกล่าวเป็นบวก สำหรับทิศทางตรงข้าม เมื่อเริ่มจากศูนย์องศาในแนวทิศใต้ หมุนทวนเข็มนาฬิกาขึ้นไปทางเหนือผ่านทิศตะวันออกเป็นระยะทาง π จะให้ทิศทางดังกล่าวเป็นลบ ในการคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธีการต่างๆนั้น จะต้องมีการคำนวณถึงแสงธรรมชาติบนพื้นผิวแนวตั้งเสมอ เช่นหน้าต่าง หรือผนังอาคาร ดังนั้นมุมอะซิมุทที่เกิดขึ้นจะเป็นมุมในแนวนอนระหว่างมุมที่อ้างถึง (ศูนย์องศาทางทิศใต้) กับมุมที่เกิดขึ้นจริงของผนังที่ตั้งฉากนั้นๆ

มุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์เมื่อตกกระทบกับผนัง หรือช่องเปิดที่ไม่ได้อยู่ในแนวทิศใต้ จะพิจารณามุมอะซิมุทได้จากสมการดังนี้

$$a_z = a_s - a_e \quad \text{.....(2.20)}$$

เมื่อ a_z = ระดับมุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-elevation azimuth in rad)

a_s = มุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar azimuth in rad)

a_e = ความสูงมุมอะซิมุท หน่วยเรเดียน (Elevation azimuth in rad)

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ จะเป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างแนวระนาบปกติกับมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$a_i = \arccos (\cos a_t / \cos a_z) \quad \text{.....(2.21)}$$

เมื่อ a_i = ค่ามุมอาร์คคอร์ส , arccos(cos at cos az)

a_i = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident angle in rad)

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude in rad)

a_z = ระดับมุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-elevation azimuth in rad)

มุม Profile angle เป็นมุมที่เกิดขึ้นจริงของมุมอะติจูดในแนวตั้ง และพิจารณาได้จากสองสมการ ดังนี้

$$a_p = \arctan (\sin a_t / \cos a_z) \quad \text{.....(2.22)}$$

$$a_p = \arctan (\tan a_t / \cos a_z) \quad \text{.....(2.23)}$$

เมื่อ a_p = มุมโพรไฟล์ หน่วยเรเดียน (Profile angle in rad)

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar altitude in rad)

a_i = มุมตกกระทบ หน่วยเรเดียน (Incident angle in rad)

a_z = ระดับมุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ หน่วยเรเดียน (Solar-Elevation azimuth in rad.)

2.2.5 การคำนวณค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติ

2.2.5.1 ความส่องสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์

สำหรับจุดมุ่งหมายโดยทั่วไปในการคำนวณแสงธรรมชาติ จะพิจารณาให้ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างคงที่ ณ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามวงโคจรของโลก ค่าความส่องสว่างคงที่ของดวงอาทิตย์ หมายถึงผลรวมของค่าความส่องสว่างโดยปกติที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวหนึ่งๆ บนโลกตามระยะทางระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

$$Esc = Km \int_{380}^{770} G_\lambda V_\lambda \lambda \quad \text{.....(2.24)}$$

เมื่อ Esc = ค่าคงที่ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ หน่วย กิโลลักซ์ (klx)

Km = spectral luminous ของ flux รังสีจากดวงอาทิตย์ หน่วย ลูเมน/วัตต์ (lm/W)

G_λ = แถบความยาวคลื่นของรังสีแสงอาทิตย์ หน่วย วัตต์ (W)

V_λ = ประสิทธิผลความสว่างในแต่ละช่วงความยาวคลื่น
(Photopic Vision Spectral Luminous Efficiency at Wavelehgth)

λ = ความยาวคลื่น หน่วยเป็น นาโนเมตร (สำหรับความยาวคลื่นแสง ที่ 380-770 นาโนเมตร)

ค่าคงที่ต่างๆ ของปริมาณแสงสว่างและรังสีดวงอาทิตย์ ตามสมการข้างต้น

- ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ (Solar Illumination Constant) : 128 klx
- ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (Solar Irradiation Constant) : 1350 W/m^2 (126 W/ft^2)
- ประสิทธิผลความสว่างดวงอาทิตย์ (Solar Luminous Efficacy) : 94.2 lm/W

การพิจารณาปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบลงสู่พื้นผิวโลก จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์ ดังนี้

- ระยะทางที่แตกต่างระหว่างดวงอาทิตย์ และพื้นผิวโลกที่เกิดจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
- ผลกระทบของแสงธรรมชาติ จากการส่องผ่านบรรยากาศของโลกในชั้นต่างๆ

ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Extraterrestrial solar illuminance) จะมีความสัมพันธ์กับวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนี้

$$E_{xt} = E_{sc} (1 + 0.034\cos (2\pi (J - 2) / 365)) \quad \text{.....(2.25)}$$

เมื่อ E_{xt} = ค่าความส่องสว่างของแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก หน่วย กิโลลักซ์ (klx)

E_{sc} = ค่าคงที่ของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วย กิโลลักซ์ (klx)

J = วันตามวงโคจรของโลก (Julian Date)

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

$$E_{dn} = E_{xt} e^{-cm} \quad \text{.....(2.26)}$$

เมื่อ E_{dn} = ค่าความส่องสว่างของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล หน่วยเป็น klx

E_{xt} = ค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในระบบสุริยะ หน่วยเป็น klx

C = สัมประสิทธิ์ของท้องฟ้าในแต่ละประเภท

m = ค่ามวลอากาศ (Optical air mass , Dimensionless)

ค่าคงที่ปริมาณแสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการคำนวณ มีดังนี้

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

* No direct sun ; $E_{dn} = 0$

ค่าของ Optical air mass ที่ใช้ในการคำนวณ เท่ากับ

$$m = 1 / \sin a_t \quad \text{.....(2.27)}$$

เมื่อ m = ค่ามวลอากาศ (Optical air mass , Dimensionless)

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude in rad)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวราบ (Direct horizontal solar illuminance) จะมีความสัมพันธ์ ตามสมการดังนี้

$$Edh = Edn \sin a_t \quad \text{.....(2.28)}$$

เมื่อ Edh = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวราบ หน่วยกิโลลักซ์

Edn = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล หน่วยกิโลลักซ์

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความสว่างแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล และความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวตั้ง (Direct vertical solar illumination) จะมีความสัมพันธ์ ตามสมการดังนี้

$$Edv = Edn \cos a_i \quad \text{.....(2.29)}$$

เมื่อ Edv = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในแนวตั้ง หน่วยกิโลลักซ์

Edn = ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ระดับน้ำทะเล หน่วยกิโลลักซ์

a_i = มุมตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

2.2.5.2 ความส่องสว่างของแสงจากท้องฟ้า

วิธีการจำแนกประเภทของท้องฟ้า จะจำแนกออกตามวิธีการ ได้สองวิธีการคือ

1. <u>การจำแนกท้องฟ้าด้วยวิธีอัตราส่วนของท้องฟ้า (The sky ratio method)</u> เป็นการแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยอัตราส่วนระหว่างปริมาณรังสีตกกระทบของท้องฟ้าบนพื้นราบ (Horizontal Sky Irradiance) ต่อปริมาณรังสีตกกระทบบนพื้นราบทั้งหมด (Global Horizontal Irradiance) ดังนั้นหากสัดส่วนของการจำแนกท้องฟ้าเท่ากับ 1.0 แสดงว่า มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์จะเท่ากับศูนย์ แต่การแบ่งประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธีการนี้จะมีความคลาดเคลื่อน ถ้ามุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์มีค่าต่ำมากๆ การจำแนกประเภทของท้องฟ้าด้วยวิธี The sky ratio method จะแบ่งประเภทของท้องฟ้าออกตามอัตราส่วนต่างๆได้ 3 ลักษณะคือ

ท้องฟ้าโปร่ง (Clear)	: Sky ratio $\leq$ 0.3
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy)	: 0.3 $<$ Sky ratio $<$ 0.8
ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Cloudy)	: Sky ratio $>$ 0.8

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

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

ค่าความสว่างในแนวราบของท้องฟ้า และมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ จะแสดงความสัมพันธ์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกันในรูปแบบของสมการ ได้ดังนี้

$$E_{kh} = A + B \sin^{C} a_t \quad \text{.....(2.30)}$$

เมื่อ E_{kh} = ค่าความส่องสว่างในแนวราบของท้องฟ้าที่ปราศจากสิ่งปกคลุม หน่วย กิโลลักซ์ (klx)

A = ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ขณะดวงอาทิตย์ขึ้น และตก หน่วย กิโลลักซ์ (klx)

B = ค่าสัมประสิทธิ์ความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ตามมุมละติจูด หน่วย กิโลลักซ์ (klx)

C = ค่าเอกซ์โปเนนท์เชียลความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ตามมุมละติจูด หน่วย กิโลลักซ์ (klx)

a_t = มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

โดยรูปแบบของสมการในข้างต้นจะใช้ได้กับลักษณะของท้องฟ้าทั้งสามประเภท แต่จะมีความแตกต่างกันบ้างตามตัวแปรคงที่บางตัวที่จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของท้องฟ้า ซึ่งจะทำให้สมการ และค่าความส่องสว่างที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะมีข้อพิจารณาดังนี้

- ค่าความส่องสว่างของแสงจะมีความกระจายมาก หรือน้อยตามค่าความส่องสว่างที่มุมเซนิท (Zenith Illuminance) ของท้องฟ้า
- ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท

วิธีการที่ใช้ในการคำนวณค่าความสว่างที่เซนิทจากความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ จะขึ้นกับค่าความสว่างของท้องฟ้าที่มุมเซนิท ตามสมการ

$$L_z = E_{kh} ZL \quad \text{.....(2.31)}$$

เมื่อ L_z = ค่าความสว่างที่เซนิท หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)

E_{kh} = ค่าความสว่างในแนวราบที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง จาก $E_{kh} = A + B \sin^{C} a_t$

ZL = ค่าความสว่างที่เซนิท (Zenith illuminance factor) ในตำแหน่งที่ละติจูดเดียวกับ E_{kh} หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd / m^2)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิทที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับลักษณะของชั้นบรรยากาศ และแสดงรายละเอียดต่างๆของค่าความสว่างที่เซนิท ได้จากตารางต่อไปนี้

ตาราง 2.2 ค่าคงที่ของความส่องสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท (Sky zenith illuminance)
สำหรับท้องฟ้าลักษณะ Overcast Sky , ZL = 0.409 **ในแต่ละมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์**

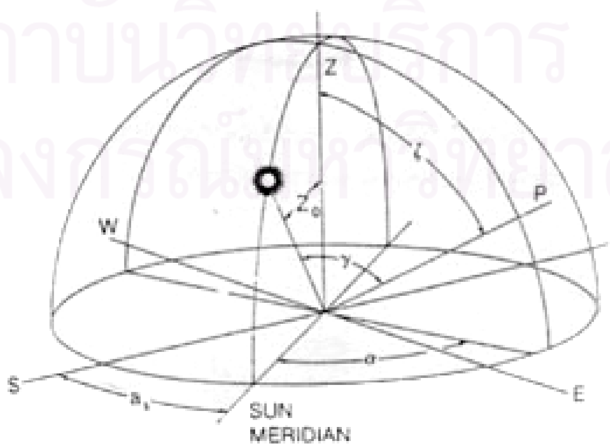
Solar Altitude (Degree)	Clear Sky ZL	Partly Cloudy Sky ZL	Solar Altitude (Degree)	Clear Sky ZL	Partly Cloudy Sky ZL
90	1.034	0.637	40	0.185	0.255
85	0.825	0.567	35	0.169	0.241
80	0.664	0.501	30	0.156	0.230
75	0.541	0.457	25	0.148	0.221
70	0.445	0.413	20	0.142	0.214
65	0.371	0.375	15	0.139	0.209
60	0.314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

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

ความสัมพันธ์ของมุมต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดค่าความสว่างของท้องฟ้าจะแสดงได้ดังรูปด้านล่างนี้ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ จะมีความสัมพันธ์กับมุมเซนิท ที่ศูนย์องศาและมุมเซนิทที่ศูนย์องศาจะหาได้จากสูตร

$Z_0 = \pi/2 - at$ ……………………………..……………………..…..(2.32)

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



รูปที่ 2.14 ค่าของมุมต่าง ๆ มีใช้ในสมการ

ที่มา : Daylighting , Daylight Sources and Availability

ค่าความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ของท้องฟ้ามาตรฐาน CIE

$$L_{\zeta,\alpha} = \frac{Lz\,(0.91 + 10e^{-3\gamma} + 0.45\cos^2\gamma)\,(1 - e^{-0.32/\cos\zeta})}{(0{,}91 + 10e^{-3Z0} + 0.45\cos^2 Z0)\,(1 - e^{-0.32})} \quad \text{.....(2.33)}$$

เมื่อ $L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้าตำแหน่ง P (ท้องฟ้าครึ่งวงกลม) ที่เกิดจากโคออร์ดิเนต (coordination) ระหว่าง ζ และ αหน่วย กิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

Lz = ความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท หน่วยกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

γ = มุมระหว่างดวงอาทิตย์ และตำแหน่ง P บนท้องฟ้า หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ζ = มุมเซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

Z_0 = มุมเซนิทของดวงอาทิตย์ (Zenithal sun) หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

ความสัมพันธ์ของมุม γ จะกำหนดขึ้นจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และตำแหน่งของจุด P บนท้องฟ้า

$$\gamma = \arccos(\cos Z_0 \cos\zeta + \sin Z_0 \sin\zeta \cos\alpha) \quad \text{.....(2.34)}$$

สมการสำหรับท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky) จะมีความคล้ายคลึงกับสมการความสว่างของท้องฟ้าโปร่ง แต่จะแตกต่างกันเฉพาะค่าคงที่บางตัวของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน

$$L_{\zeta,\alpha} = Lz \frac{(0.526 + 5e^{-1.5\gamma})\,(1 - e^{-0.80/\cos\gamma})}{(0{,}526 + 5e^{-1.5Z0}) + (1 - e^{-0.80})} \quad \text{.....(2.35)}$$

สมการสำหรับท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky)

$$L_{\zeta,\alpha} = Lz\left(\left(\frac{0.864\ e^{-0.52/\cos\zeta}}{e^{-0.52}}\right) + \frac{0.136\,(1 - e^{-0.82/\cos\zeta})}{1 - e^{-0.52}}\right) \text{.....(2.36)}$$

จากรูปแบบของสมการของท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast Sky) จะมีการแบ่งสมการออกเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นความสว่างที่กระจายตัวจากก้อนเมฆ และส่วนที่สองจะเป็นความสว่างของแสงในชั้นบรรยากาศระหว่างชั้นล่างสุดของเมฆ และพื้นดิน ซึ่งสมการดังกล่าวจากการเก็บข้อมูลทำให้สามารถสรุปรูปแบบของสมการ (Mark–Spencer) ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายขึ้นได้ดังนี้

$$L_{\zeta,\alpha} = (Lz/3)(1 + 2\cos\zeta) \quad \text{.....(2.37)}$$

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

Lz = ค่าความสว่างของท้องฟ้าที่เซนิท หน่วย กิโลแคนเดลา/ตารางเมตร (kcd/m^2)

ζ = มุมเซนิท (Zenithal point angle) หน่วย เรเดียน (rad)

สมการความสว่างของท้องฟ้าบนพื้นระนาบ จากการ Differential องค์ประกอบของท้องฟ้าจะได้สมการต่างๆ ของท้องฟ้าในประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

$$dEkh = L_{\zeta,\alpha} \cos\zeta d\omega = L_{\zeta,\alpha} \cos\zeta \sin\zeta \, d\zeta d\omega \quad \text{.....(2.38)}$$

เมื่อ Ekh = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวแนวระนาบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้า ที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดมุม ζ และ α หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

$d\omega$ = ค่าดิฟเฟอร์เรนเชียล (Differiantial) ของมุมโซลิท (Solid angle) ของจุด P

ζ = มุมเซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

พิกัดของมุมต่างๆ ในสมการจะอิงจากท้องฟ้าในแบบครึ่งวงกลม และหาก Integrated สมการข้างต้นจะได้สมการของความสว่างของท้องฟ้าในแนวราบ

$$Ekh = 1/\pi \iint L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta\cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{.....(2.39)}$$

เมื่อ Ekh = ค่าความส่องสว่างบนพื้นผิวในแนวราบ หน่วยเป็นกิโลลักซ์ (klx)

$L_{\zeta,\alpha}$ = ความสว่างของท้องฟ้าที่จุด P ของท้องฟ้าครึ่งวงกลม ตามพิกัดมุม ζ และ α หน่วยเป็นกิโลแคนเดลาต่อตารางเมตร (kcd/m^2)

ζ = มุมเซนิท หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

α = มุมอะซิมุทจากดวงอาทิตย์ หน่วยเป็นเรเดียน (rad)

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

สมการแสดงค่าความสว่างของพื้นแนวระนาบ

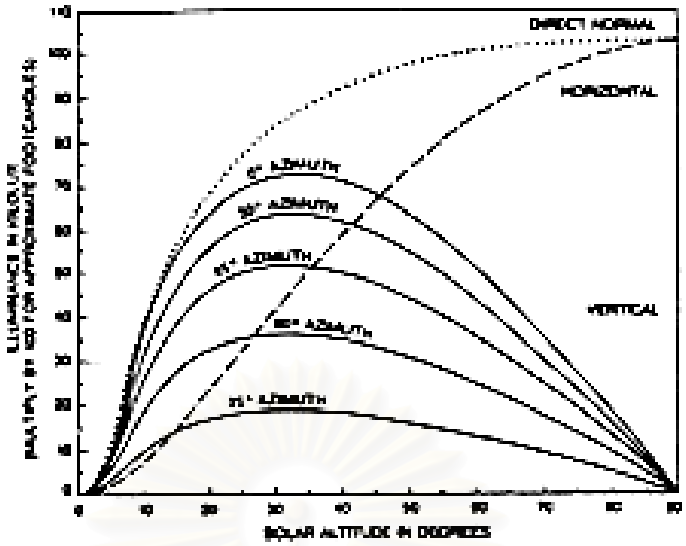
$$Ekh = 1/\pi \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2} L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta\cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{.....(2.40)}$$

สมการแสดงค่าความสว่างของพื้นแนวระนาบตั้ง

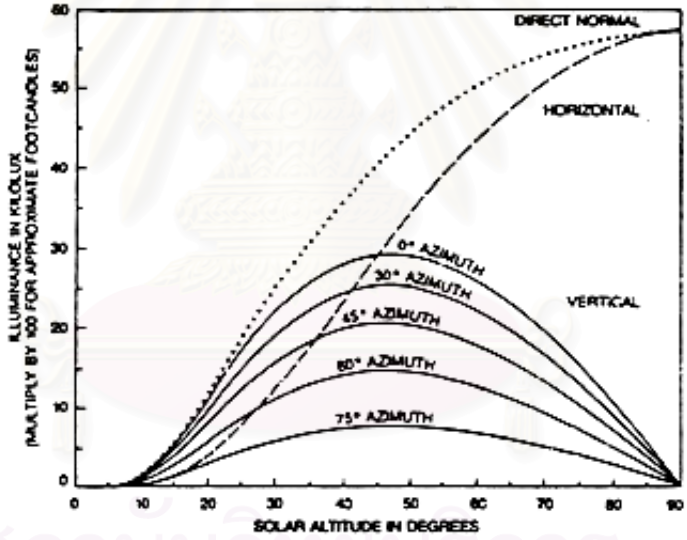
$$Ekv = 1/\pi \int_{az+\pi/2}^{2\pi}\int_0^{\pi/2} L_{\zeta,\alpha} \sin\zeta\cos\zeta \, d\zeta \, d\alpha \quad \text{.....(2.41)}$$

สมการ Ekh และ Ekv จะเป็นการคำนวณค่าความสว่างของแสงด้วยวิธีดิฟเฟอร์เรนท์ (Differentials) และดีสครีส (Discrete) เพื่อหาตำแหน่งของความสว่าง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ บนระนาบพื้นราบแนวนอนและแนวตั้งที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งค่าความสว่างของท้องฟ้าที่คำนวณได้จากสมการจะสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟในท้องฟ้าแต่ละประเภทได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



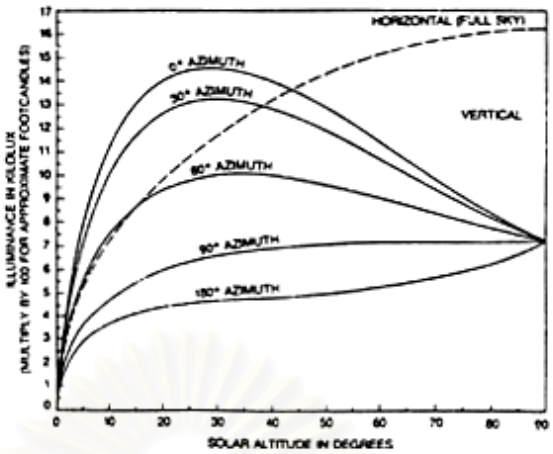
(a) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)



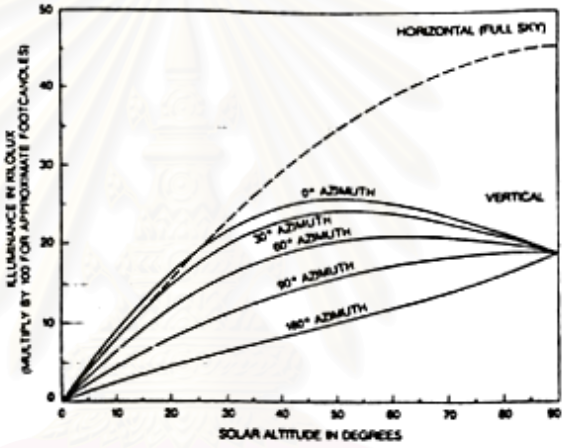
(b) ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)

รูปที่ 2.15 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ในแต่ละมุมอัลติจูดและมุมอัลซิมุท

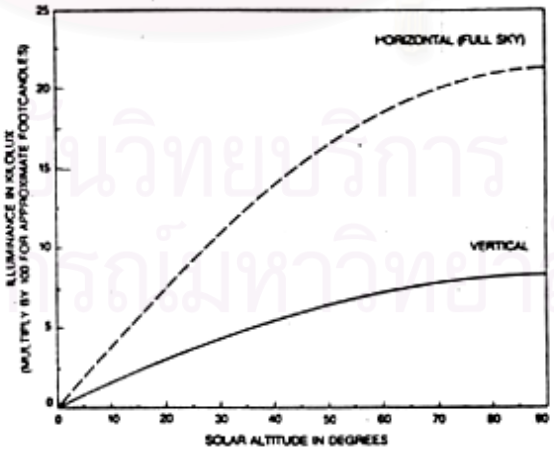
ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building p. 679.



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



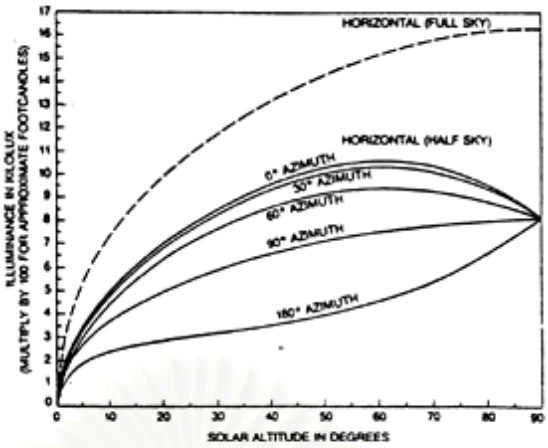
(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



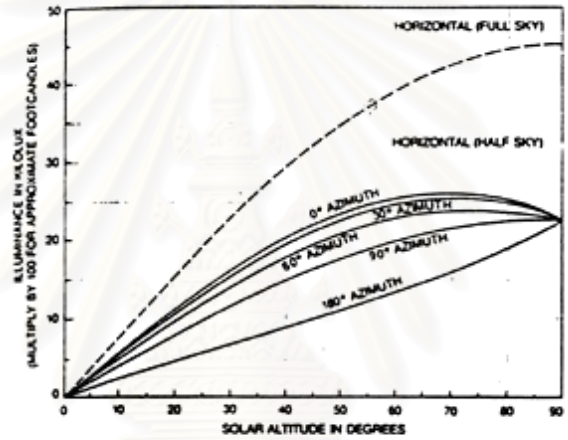
(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

รูปที่ 2.16 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้ง ในแต่ละมุมอัลติจูดและอะซิมุท

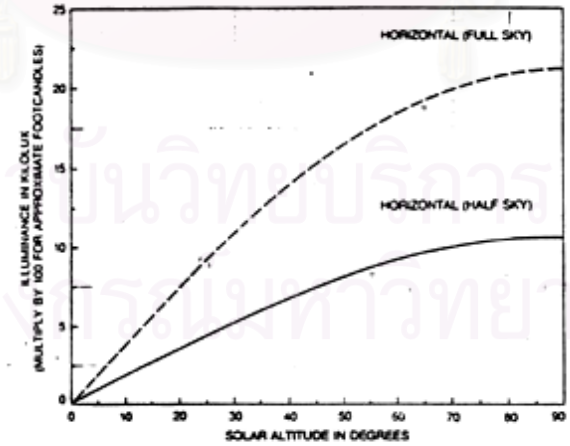
ที่มา : IES, 1984b อ้างอิงใน Heating and Cooling of Building p. 680.



(a) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้าโปร่ง (clear sky)



(b) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบตั้งเมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (Partly Cloudy Sky)



(c) ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน เมื่อท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทั้งหมด (Overcast sky)

รูปที่ 2.17 ค่าความส่องสว่างของดวงอาทิตย์ในระนาบนอน ในแต่ละมุมอัลติจูดและอะซิมุท

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

2.2.6 ทฤษฎีการให้ความสว่างแก่อาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติ

การให้ความสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงธรรมชาติในการพิจารณาความส่องสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงสว่างธรรมชาติ สามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 แนวทาง คือ

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

2.2.6.2 การพิจารณาโดยอาศัยอัตราส่วนของระดับความส่องสว่างของภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance) ภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมมาก ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซนต์ (%) ซึ่งมีค่าคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาหรือการเปิดของช่องแสง หากแยกพิจารณาออกกเป็นวิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารอันเกิดจากแสงธรรมชาติ โดยทั่วไปแยกออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. วิธีลูเมน (Lumen Method)
2. วิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ (Daylight Factor Method)
3. วิธีฟลักซ์ ทรานเฟอร์ (Flux Transfer Method)

ซึ่งในการศึกษานี้จะกล่าวเพียงวิธีลูเมนและวิธีเดไลท์ แฟคเตอร์เท่านั้น ดังต่อไปนี้

1. วิธีลูเมน (Lumen Method)

เป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่งในระดับที่กำหนดภายในอาคาร อันเนื่องมาจากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องเปิดหรือช่องแสงเข้ามาในขณะนั้น ในบางครั้งเรียกว่า Lumen Input Method หรือ Total Flux Method การพิจารณามีความแตกต่างจากวิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือห้องขนาดใหญ่ เช่น โรงงาน (Biesele, 1953) ซึ่งปริมาณของแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคารและพื้นผิวภายในอาคาร มีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารน้อยมาก หมายถึงระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้วิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ หากพิจารณาพื้นที่ห้องขนาดเล็ก ปริมาณแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร เช่น พื้นดิน และแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวภายใน เช่น ผนัง ฝ้าเพดาน พื้น จะมีผลต่อปริมาณแสงที่เข้าสู่ภายในห้องนั้นๆ จึงต้องพิจารณาโดยวิธีลูเมน ซึ่งรวมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติเข้าด้วยกัน

การพิจารณาแบบวิธีลูเมน ไม่จำเป็นต้องทราบค่าความส่องสว่างที่ทุกตำแหน่งภายในอาคาร โดยทั่วไปสามารถพิจารณาเพียง 3 จุด (Station Point หรือ SP.) ซึ่งอยู่กึ่งกลางห้องในแนวตั้งฉากกับช่องเปิด (รูปที่ 2.18) และกำหนดเป็น SP.max, SP. mid และ SP. Min

โดย SP. max คือ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากช่องเปิด 5 ฟุต ที่ระดับความสูง Working Plane
SP. mid คือ ตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางห้อง ที่ระดับความสูง Working Plane
SP. min คือ ตำแหน่งที่อยู่ห่างจากผนังด้านตรงข้ามช่องเปิดเป็นระยะ 5 ฟุต ที่ระดับความสูง Working Plane

ซึ่งค่าความส่องสว่างที่ได้กำหนดให้เป็น E max, E mid และ E min

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

และมีการพิจารณาปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพการส่องสว่าง ดังนี้

1.1 ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดเหนือระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรของแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และท้องฟ้าที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสง ได้แก่

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

1.2 ปริมาณแสงที่ตกกระทบถึงช่องเปิดต่ำกว่าระนาบที่พิจารณา โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

- ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky หรือ Overcast Sky โดยที่

กำหนดให้ EGH,c คือ ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้า Clear Sky
EGH,o คือ ค่าความสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายใต้สภาพท้องฟ้า Overcast Sky

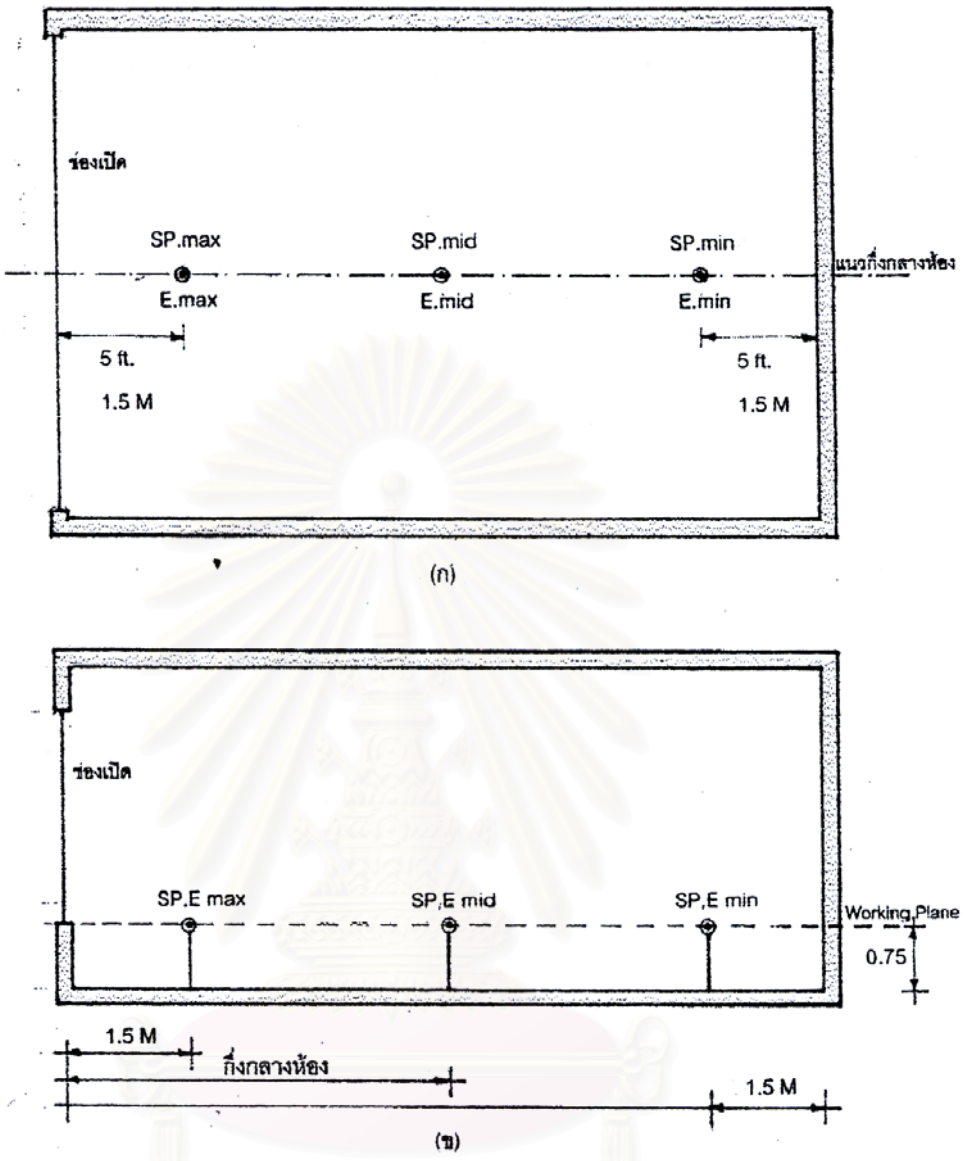
- ค่าการสะท้อนแสงของดิน (ρgr)

1.3 ปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ภายในอาคาร โดยพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบดังนี้

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

1.4 ปริมาณแสงที่สามารถนำมาใช้งานและการกระจายแสงในระดับ Working Plane โดยพิจารณาดังนี้

- การกระจายตัวของแสงอันเนื่องจากการสะท้อนของพื้นผิววัสดุภายในห้อง
- อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องเปิด
- อัตราส่วนความกว้าง ต่อความยาว ต่อความสูงของห้อง



รูปที่ 2.18 แสดงการพิจารณาความส่องสว่างตามวิธีลูเมน

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

การพิจารณาโดยวิธีลูเมน ถือว่าระดับของช่องเปิดที่อยู่ในระดับเท่ากันหรือสูงกว่าระดับ Working Plane เท่านั้นที่จะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในระดับ Working Plane ส่วนช่องเปิดที่อยู่ในระดับต่ำกว่าถือว่ามีผลน้อยมาก และความกว้างของช่องแสงถือว่ามีความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น

*2. **วิธีเดไลท์ แฟคเตอร์** (Daylight Factor Method)*

เป็นการพิจารณาปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่างและปริมาณความเข้มของแสง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำ

ต่อพื้นที่ (มุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ และมุมอะซิมุท) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติ โดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบ คือ

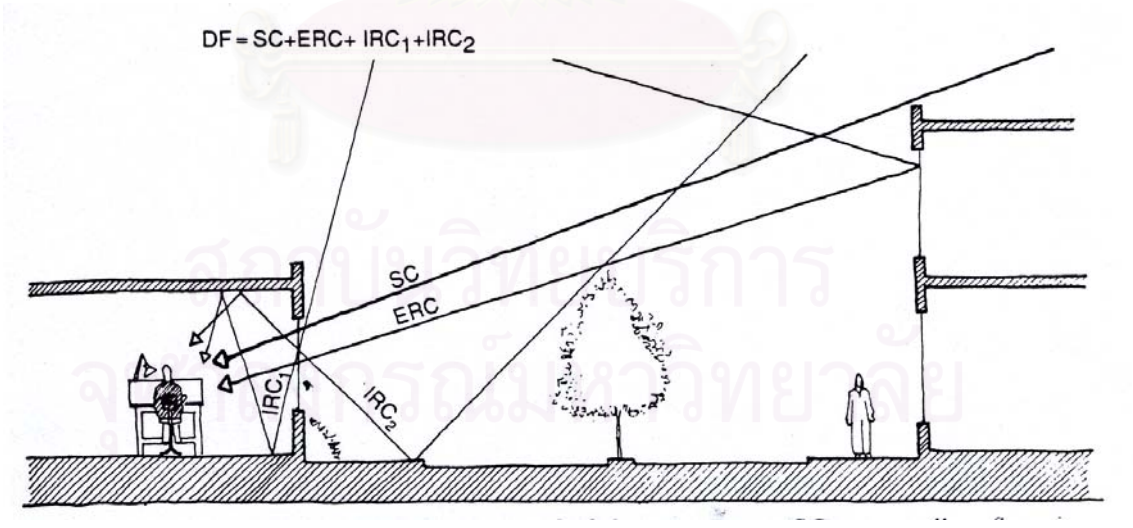
1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component ; SC) โดยสภาพท้องฟ้าจะมีหลายสภาพ เช่น ท้องฟ้าโปร่ง หรือปกคลุมด้วยเมฆ ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้น

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

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

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

$$DF_H\ (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายในระนาบนอน} * 100\%}{\textbf{ความสว่างภายนอกในระนาบนอนไม่รวมแสงแดดตรง}} \quad \text{.....(2.42)}$$



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของผลรวมเดไลท์ แฟคเตอร์ (Total Daylight Factor ; DF.)
ที่มา : Stein and Reynolds, 1992 : p. 980.

ถ้าเดไลท์ แฟคเตอร์มีค่าเป็น 10% หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้นๆ ได้รับปริมาณแสง 10% ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับภายใต้สภาพท้องฟ้าที่โปร่งไม่มีสิ่งกีดขวาง

ถึงแม้ว่าค่าเดไลท์ แฟคเตอร์ ไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแสงที่แน่นอน แต่ก็เป็นตัวที่ชี้ให้เห็นว่า ค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ หรือการทำงานในชิ้นงานใดๆนั้นมีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ และมีการกำหนดช่วงของค่าเดไลท์ แฟคเตอร์สำหรับพื้นที่ใช้งานในลักษณะต่างๆ ดูได้จากตารางที่ 2.3 ประกอบ

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าประมาณเดไลท์ แฟคเตอร์ สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ

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

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

เดไลท์ แฟคเตอร์ ในระนาบตั้ง *(Vertical Daylight Factor ; DF_V)* เป็นการพิจารณาความส่องสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่างและปริมาณความเข้มของแสง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน

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

$$DF_V\ (\%) = \frac{\text{ความสว่างภายในระนาบตั้ง}}{\text{ความสว่างภายนอกในระนาบตั้งไม่รวมแสงแดดตรง}} * 100\ \% \quad \text{.....(2.43)}$$

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

$$DF. = SC.+ ERC.+ IRC \quad \text{.....(2.44)}$$

แสงกระจายที่ได้รับจากท้องฟ้าโดยตรง (Sky component หรือ SC.) การหาค่า SC. นี้ จะหาได้โดย

- การหาค่า SC. จากการอ่านตาราง โดยใช้ Reference Daylight Table สิ่งที่จะต้องทราบคือ ความสูงของหน้าต่าง : ระยะทางไปยังจุดอ้างอิง และความกว้างของหน้าต่าง : SC. ที่จุดอ้างอิงอื่นๆ หาได้ด้วยการบวกหรือลบระยะทางไปยังจุดอ้างอิง

- การหาค่า SC. จากการใช้ตาราง Waldram Diagram วิธีนี้ส่วนใหญ่จะใช้หาค่า SC. ที่มีสิ่งกีดขวางภายนอกที่ไม่เป็นแนวกับหน้าต่าง

การหาค่า SC. จาก Daylight Factor Protractors วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะสะดวกรวดเร็วกว่าการใช้ตาราง แม้ค่าที่ได้จะไม่ถูกต้อง 100 % ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางซึ่งไม่เป็นแนวกับหน้าต่าง ค่า SC. ที่ได้นี้ใช้สำหรับ CIE (International Commission on Illumination) Overcast Sky การนำมาใช้สำหรับสภาพท้องฟ้าอื่นๆ ต้องปรับตามสภาพท้องฟ้า ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้หลักการเดียวกัน

แสงที่ได้รับหลังจากการสะท้อนจากพื้นอาคาร หรือพื้นผิวอื่นๆ ภายนอกอาคาร (Externally Reflected Component หรือ ERC.) แสง ERC. นี้สามารถคำนวณหาค่าได้โดยพิจารณาสิ่งกีดขวางภายนอกอาคาร ให้มีค่าแสงสว่างเป็นเศษส่วนของ SC. ซึ่งในการปฏิบัติค่า SC. ซึ่งหาได้จากวิธีใดวิธีหนึ่งข้างต้น จะถูกแปลงเป็นค่าแสงสว่างที่ได้รับหลังจากการสะท้อนจากส่วนอื่นๆภายนอกอาคาร โดยกำหนดให้ค่าความส่องสว่างของพื้นผิวที่กีดขวางมีค่าน้อยกว่าค่าความส่องสว่างของท้องฟ้า ซึ่งค่าความส่องสว่างของสิ่งกีดขวางนี้ จะแปรเปลี่ยนไปเมื่อดวงอาทิตย์สูงขึ้น ในการคำนวณโดยทั่วไปสำหรับสภาพท้องฟ้าที่มีแสงกระจายสม่ำเสมอ (Uniform Sky) ถ้าไม่รู้ค่าที่แท้จริงของความส่องสว่างนี้ ให้ใช้ค่าความส่องสว่าง 1 / 10 ของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท้องฟ้า การใช้ค่านี้จะแตกต่างกันตามสภาพท้องฟ้า ถ้าสภาพท้องฟ้ามืดมน ใช้ค่าความส่องสว่างนี้จะมีค่า 1 / 5 ของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท้องฟ้า

แสงที่ได้รับ ณ จุดอ้างอิง หลังจากการสะท้อนจากพื้นผิวภายในห้อง (Internally Reflected Component หรือ IRC.) แสงที่ได้รับ ณ จุดอ้างอิงหลังจากการสะท้อนจากพื้นผิวภายในห้อง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการสะท้อนแสงของกำแพง, ฝ้าเพดาน, พื้นภายในห้อง และปริมาณของแสงที่ส่วนต่างๆดังกล่าวได้รับจากท้องฟ้า, สิ่งกีดขวาง และพื้นภายนอกอาคาร ในทางปฏิบัติ ปริมาณของแสงสะท้อนภายในห้อง จะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะห่างจากจุดอ้างอิงไปถึงหน้าต่าง โดยทั่วไปการประมาณหาค่าเฉลี่ยของ IRC นี้ จะประมาณจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของห้อง โดยใช้ค่าต่ำสุดที่จุดที่ไกลจากหน้าต่างมากที่สุด การคำนวณหาค่า IRC สำหรับการให้แสงทางด้านข้างสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$IRC = \frac{0.85\,w}{A\,(1-R)} * (CRfw + 5Rcw)\,\% \quad \text{.....(2.45)}$$

w = พื้นที่หน้าต่าง

A = พื้นที่ผนังทั้งหมดของฝ้าเพดาน พื้น และกำแพง รวมทั้งพื้นที่หน้าต่าง

R = ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน พื้น และกำแพงทุกด้าน รวมถึงหน้าต่าง ซึ่งมีค่าเป็นเศษส่วน

Rfw = ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงของพื้น และส่วนของกำแพงที่อยู่ใต้ระดับกึ่งกลางของความสูงของหน้าต่าง

Rcw = ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงของกำแพงซึ่งอยู่เหนือระดับกึ่งกลางของความสูงของหน้าต่าง (ไม่รวมกำแพงด้านหน้าต่าง)

C = ค่าสัมประสิทธิ์ ขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางนอกหน้าต่าง (กรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง C = 39 ค่าของ C จะน้อยลงเมื่อมุมมองของสิ่งกีดขวางจากจุดกึ่งกลางของหน้าต่างลดลง)

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

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

2.2.7 การคำนวณความสว่างที่ช่องแสงด้านข้าง (Side-Glazings)

ในการวิจัยนี้เลือกใช้สมการการคำนวณความสว่างที่ช่องแสงจากวิธีลูเมน เพื่อหาความสว่างจากแสงธรรมชาติที่ตกกระทบช่องแสง สรุปเป็นสมการคำนวณความสว่าง ดังนี้

2.2.7.1 ค่าความสว่างของแสงจากท้องฟ้ากระทำกับช่องแสง (Illumination from the sun and sky on glazing : Ekugz)

$$Ekugz = Ekgz + Eugz \quad \text{.....(2.46)}$$

หมายเหตุ ในการทดลองวิจัยนี้ทำการป้องกันไม่ให้มีแสงแดดตรงส่องเข้าภายในหุ่นจำลอง ดังนั้นการคำนวณจึงคิดเฉพาะความสว่างที่ได้รับจากแสงกระจายในระนาบตั้งเท่านั้น

โดยที่ Ekgz คือ ความสว่างของแสงกระจายระนาบตั้งจากท้องฟ้าที่กระทำกับช่องแสงในแต่ละทิศทางของช่องแสง (Illumination from the clear sky on glazing) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc)

Eugz คือ ความสว่างของแสงแดดตรงระนาบตั้งจากท้องฟ้าที่กระทำกับช่องแสงในแต่ละทิศทางของช่องแสง (Illumination from the sun on glazing) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc)

2.2.7.2 ค่าความสว่างของแสงสะท้อนจากพื้นกระทำกับช่องแสง (Illumination on glazing from ground : Ekugn)

$$Ekugn = Rgn * 0.5 * (Ekgn + Eugn) \quad \text{.....(2.47)}$$

โดยที่ Ekgn คือ ความสว่างของแสงกระจายจากท้องฟ้าที่กระทำกับพื้นก่อนสะท้อนความสว่างมาที่ช่องแสงในแต่ละทิศของช่องแสง (Illumination from sky on ground) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc)

Eugn คือ ความสว่างของแสงแดดตรงที่กระทำพื้นก่อนสะท้อนความสว่างมาที่ช่องแสง (Illumination from the sun on ground) มีหน่วยเป็น ฟุตแคนเดิล (fc)

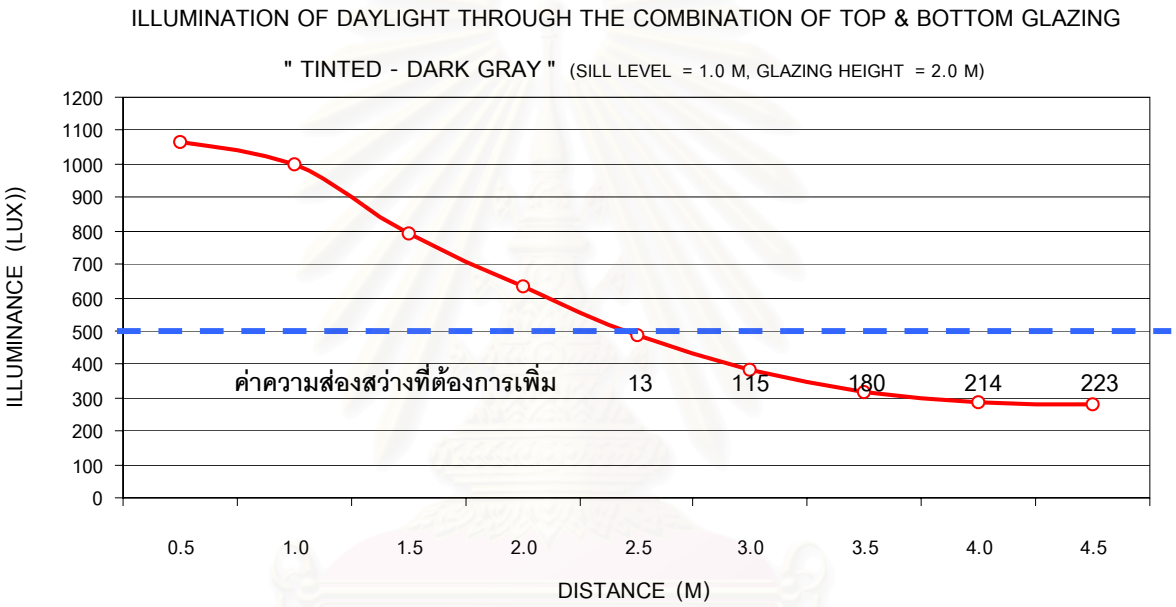
Rgn คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้น ซึ่งการวิจัยนี้ใช้วัสดุที่เป็นพื้นหญ้ามีค่าการสะท้อนแสง 6%

2.2.8 การคำนวณความสว่างเฉลี่ยภายในห้อง (Average Reflectance: Avg RF)

ในการวิจัยนี้เลือกใช้สมการการคำนวณความสว่างที่ผ่านช่องแสงจากวิธีเดไลท์ แฟคเตอร์ เพื่อหาความสว่างเฉลี่ยภายในห้อง ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการคำนวณความสว่าง ดังนี้

Avg. RF (%) = [(Wall area * Wall RF) + (Ceiling area * Ceiling RF) .....(2.48)
+ (Floor area * Floor RF) + (Window Glass area * RF) / Total Surface]

2.2.9 การวิเคราะห์การเพิ่มปริมาณความต้องการค่าความส่องสว่างภายใน



รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์การเพิ่มปริมาณความต้องการค่าความส่องสว่างภายใน

การคำนวณหาความต้องการความส่องสว่างภายในห้องเพิ่มเติม จะใช้ผลการทดลองของกระจกสี Dark Gray และขนาดช่องเปิดความสูง 2 เมตร (สูงจากพื้น 1 เมตร) เป็นตัวอย่างในการคำนวณ

การพิจารณาค่าความส่องสว่างเพิ่มเติม จะพิจารณาจากกราฟความส่องสว่างภายใน (Daylight Curve) เพื่อให้ได้ทราบถึงปริมาณระดับความส่องสว่างที่พอเพียง และที่ต่ำกว่าระดับความส่องสว่างที่พอเพียง การพิจารณาจะพิจารณาจากเส้นกราฟ เทียบกับเส้นระดับความสว่างที่พอเพียง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่าความส่องสว่างที่ 500 lux เป็นค่ามาตรฐาน

ความส่องสว่างที่ต่ำกว่าระดับที่พอเพียง (500 lux) ที่ระยะต่างๆ มีดังนี้

ที่ระยะ 2.5 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 479 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 1 = 21
ที่ระยะ 3.0 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 379 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 2 = 121
ที่ระยะ 3.5 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 314 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 3 = 186
ที่ระยะ 4.0 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 282 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 4 = 218
ที่ระยะ 4.5 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 273 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 5 = 227

การหาค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม

โดยวิธีการเปรียบเทียบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ของค่าความส่องสว่างในแต่ละจุดที่ได้ เทียบกับค่าความส่องสว่างที่ต้องการ (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, วิทยานิพนธ์ 2540) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$\text{Avg } E_i = \frac{(E_1 \times R_1) + (E_2 \times R_2) + (E_3 \times R_3) + \ldots\ldots + (E_n \times Rn)}{(R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots + R_n)} \quad \ldots\ldots(2.49)$$

เมื่อ $\text{Avg } E_i$ คือ ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ต้องการ
$E_1, E_2 \ldots E_n$ คือ ค่าความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 1 ถึงจุดที่ n
$R_1, R_2 \ldots R_n$ คือ ค่าความสว่างที่ต้องการจุดที่ 1 ถึงจุดที่ n

ดังนั้นค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ต้องการ $= \frac{(21 + 121 + 186 + 218 + 227) \times 500}{(500 + 500 + 500 + 500 + 500)}$

$= 149$ lux ……***

$= 29.8$ % ของความสว่างที่ต้องการ

นำค่าความส่องสว่างที่ได้มาหาพลังงานที่ใช้ในส่วนของการให้ความสว่างเพิ่ม (ไม่รวมการสูญเสียพลังงานในส่วนของบัลลาสต์) จากสมการดังนี้ (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, วิทยานิพนธ์ 2540)

$$\text{Total watt of Lamp} = \frac{E \times \text{Area}}{\text{Efficacy} \times (\text{CU} \times \text{LLF})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2.50)$$

จากความต้องการความส่องสว่างเฉลี่ยแสงประดิษฐ์เท่ากับ 149 lux หรือ 29.8% และกำหนดให้ค่า CU = 0.55, LLF = 0.75, Area = 2.5 x 5 = 12.5 ตารางเมตร, Efficacy = (2600/36) = 72.22 [จาก Fluorescent lamp 36 W. 2600 lm/W]

ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์ (Total watt of Lamp) $= \frac{(149)(12.5)}{(72.22)(0.55)(0.75)}$

$= 62.45$ วัตต์ – ชั่วโมง……***

$$\text{Total Energy Consumption} = \text{Total W. of Lamp}\ \left(1+\frac{\text{W. of Ballast Loss}}{\text{W. of Lamp}}\right)$$

$$= 62.45 \times (1 + 10/36)$$

$$= 79.93 \text{ วัตต์-ชั่วโมง}.....***$$

เนื่องจากหลอดไฟแสงประดิษฐ์แม้จะให้แสงสว่าง แต่ก็จะก่อให้เกิดความร้อนแก่ภายในอาคารด้วย ซึ่งจะเป็นภาระแก่การทำความเย็นของอาคาร โดยภาระการทำความเย็น อันเนื่องมาจากความร้อน ที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ สามารถคำนวณได้จากความร้อนที่เกิดจากดวงไฟแสงสว่าง ส่วนด้วยค่าประสิทธิการขจัดความร้อนของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ (Coefficient of Performance , COP)

สัมประสิทธิ์การขจัดความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (COP)
= ขนาดของเครื่องปรับอากาศ / ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน หรือ 12,000 Btu.hr ใช้ปริมาณไฟฟ้าประมาณ 1200 watt.hr

COP = 12000 / (1200 x 3.415) = 2.92

ความร้อนที่เกิดจากดวงไฟแสงประดิษฐ์ จะคูณด้วยสัมประสิทธิ์ ที่มีค่าเท่ากับ 1.2 (ASHRAE , 1989)

= 62.45 x 1 x 1.2 = 74.94 วัตต์

พลังงานที่ใช้ในส่วนของภาระการปรับอากาศ ในการขจัดความร้อนที่เกิดขึ้นของหลอดไฟ

= 367.94 / 2.92 = 25.66 วัตต์

พลังงานรวมทั้งหมดในการที่ใช้ในการส่องสว่างเพิ่ม ของหลอดไฟแสงประดิษฐ์มีค่าเท่ากับ

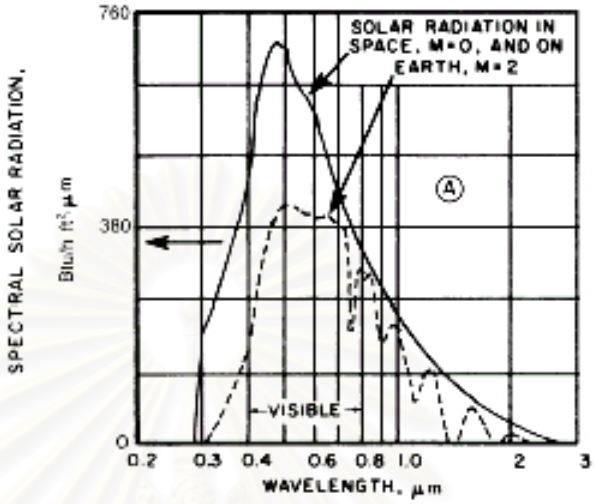
= 79.93 + 25.66 = 105.59 วัตต์ – ชั่วโมง....***

2.3 <u>ทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับความร้อน</u>

2.3.1 แหล่งกำเนิดความร้อน

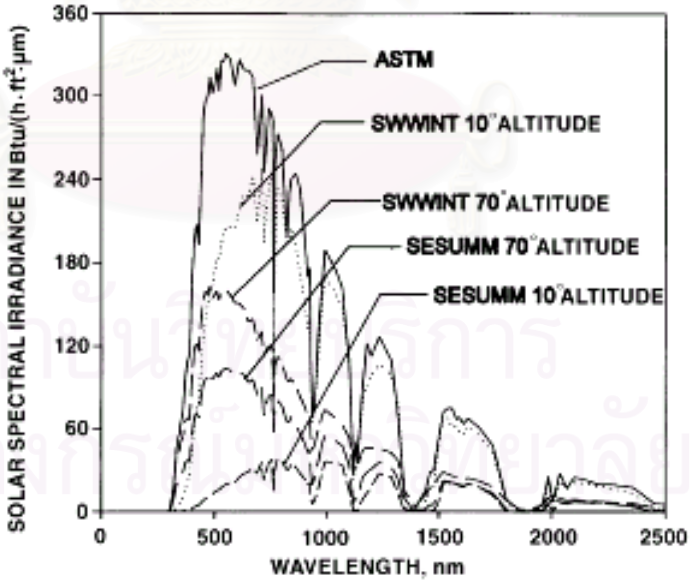
ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศร้อนชื้นแถบเส้นศูนย์สูตรระหว่างละติจูดที่ 5 และ 21 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 97 และ 106 องศาตะวันออก ลักษณะกายภาพนี้ส่งผลให้ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในปริมาณมากกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สภาวะอุณหภูมิของประเทศไทยโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ที่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์น้อยกว่า โดยเฉลี่ยความเข้มของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกผ่านสภาพบรรยากาศที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (149.5×10^6 กม.) มีค่าเท่ากับ 1370 W/m^2 (ASHRAE, 2001) และค่านี้จะเป็นค่าทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับค่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามการโคจรของโลก

รอบดวงอาทิตย์ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1418 W/m^2 ในวันที่ 3 มกราคม ซึ่งเป็นวันที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด และมีค่าต่ำสุด 1325 W/m^2 ในวันที่4 กรกฎาคมของทุกปี เมื่อระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีค่ามากที่สุด (ASHRAE, 2001)



แผนภูมิที่ 2.1 Terrestrial and Extraterrestrial Solar Spectral Irradiances

ที่มา : ASHRAE Handbook 2001, Chapter 30 (Fenestration), p. 14.



แผนภูมิที่ 2.2 Comparison of Standard Air Mass m = 1.5 Solar Spectrum with Direct Beam Spectra Through Atmospheres.

Characteristic of southwest in winter (SWWINT) and southeastern U.S. in summer (SESUMM) for two solar altitude angles.

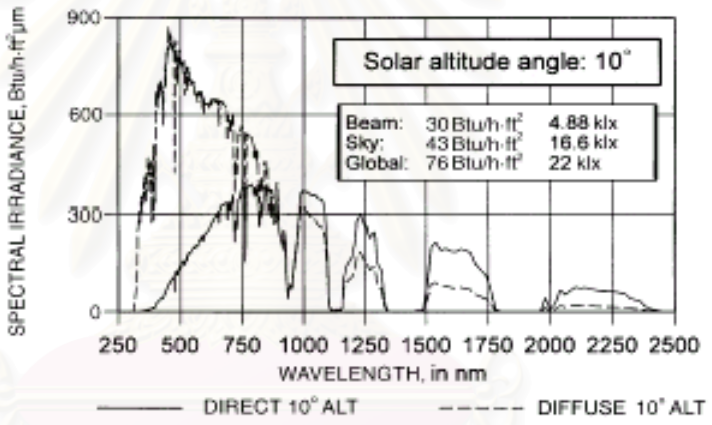
ที่มา : ASHRAE Handbook 2001, Chapter 30 (Fenestration), p. 14.

ตารางที่ 2.4 Portions of Total Solar Spectral Irradiance

Wavelength, nm		Percent	Percent
Start	End	Irradiance	Illuminance
370	770	54.4	100.0
380	760	52.2	100.0
390	750	50.2	99.9
400	740	47.4	99.9
410	730	44.9	99.8
420	720	41.9	99.8
430	710	39.5	99.8
440	700	36.7	99.8
450	690	35.3	99.5
460	680	31.1	99.1

Note: The integrated total irradiance = 301 Btu/h·ft^2 and illuminance = 100 klx.

ที่มา : ASHRAE Handbook 2001, Chapter 30 (Fenestration), p. 14.



แผนภูมิที่ 2.3 Comparison of Direct and Diffuse Solar Spectra for Low Solar Altitude Angle

ที่มา : ASHRAE Handbook 2001, Chapter 30 (Fenestration), p. 14.

ทั้งนี้โลกได้รับรังสีความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะเป็นมากเนื่องจากมีบรรยากาศของโลกกรองเอาไว้ ส่วนหนึ่งของรังสีจะถูกดูดกลืนไว้ในบรรยากาศ บางส่วนก็กระจายออกไปเพราะกระทบกับโมเลกุลของบรรยากาศ และแผ่กลับให้โลกในสภาพของการกระจายรังสี ส่วนหนึ่งของรังสีจะมีพื้นดินเป็นตัวรับและดูดซับความร้อนไว้ หลังจากนั้นก็จะถ่ายเทให้กับอากาศที่อยู่ใกล้ผิวดิน และสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงทำให้อุณหภูมิของอากาศและสิ่งใกล้เคียงมีอุณหภูมิสูงขึ้น สภาพพื้นผิวโลกยิ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าใดก็จะได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากขึ้น เนื่องจากมีการกรองจากบรรยากาศน้อยลง

2.3.2 ทฤษฎีการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

2.3.2.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก[1]

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศของโลกเป็นรังสีคลื่นสั้น (Short-Wave Radiation) ถูกส่งมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงต่างๆ ดังต่อไปนี้

- รังสีอุลตราไวโอเลต (Ultra-Violet) เรียกกันว่า รังสียูวี (UV) หรือรังสีเหนือม่วง เป็นตัวการทำให้สีของวัตถุซีดจาง ผิวหนังไหม้เกรียม มีความยาวคลื่นประมาณ 290-380 นาโนเมตร
- แสงสว่างที่มนุษย์มองเห็น (Visible Light) มีความยาวคลื่นประมาณ 380-700 นาโนเมตร
- รังสีอินฟราเรด (Infrared or Short Infrared) มีความยาวคลื่นประมาณ 700-2300 นาโนเมตร

ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์จะแปรผกผันกับระยะทางที่ส่องผ่านมายังพื้นโลก เช่น ในเวลาเที่ยงวัน ดวงอาทิตย์อยู่ในแนวตั้งฉากกับผิวโลกมากที่สุด ระยะทางที่แสงส่องมาถึงโลกน้อยที่สุด ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะมากที่สุด ในทางกลับกัน เวลาเช้าและเย็น ดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่ในแนวตั้งฉากกับโลก ระยะทางที่แสงส่องมาจึงมากขึ้น ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จึงลดลงตามลำดับ

รังสีของดวงอาทิตย์ในแนวตั้งฉาก ถือเป็นค่าคงที่ของรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Constant) มีค่าประมาณ 1,395 วัตต์/ตารางเมตร ภูมิภาคต่างๆของโลกจะได้รับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกันไปตามมุมที่รังสีตกกระทบ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ ณ บริเวณใดๆ จะเท่ากับผลคูณของค่าคงที่ของรังสีของดวงอาทิตย์กับค่าโคซายน์ (Cosine) ของมุมที่รังสีตกกระทบ

2.3.2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก

เป็นการถ่ายเทพลังงานระหว่างวัตถุบนพื้นผิวโลก ในลักษณะรังสีคลื่นยาว(Long-Wave Radiation) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น ส่องผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก และตกกระทบวัตถุต่างๆ ทำให้เกิดพฤติกรรม 3 อย่าง คือ การดูดกลืน (Absorptance) การสะท้อน(Reflectance) และการส่องผ่าน (Transmittance) โดยที่ค่าการดูดกลืนของวัตถุ คือ สัดส่วนของการดูดกลืนพลังงานต่อปริมาณพลังงานที่ตกลงบนพื้นผิวโลก

เนื่องจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้รวมถึงช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นด้วยตา ดังนั้นจึงสามารถใช้ตาในการประเมินความสัมพันธ์ของการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์กับสีของวัสดุ โดยสามารถทราบได้ว่า การมองวัตถุที่มีสีเข้ม จะมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้มากกว่าวัตถุที่มีสีอ่อน และในการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของวัตถุ ไม่จำเป็นต้องเท่ากับการแผ่รังสีคลื่นยาว โดยพลังงานส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ถูกดูดกลืน ก็จะสะท้อนหรือส่องผ่านไป ซึ่งถ้าให้ค่าของรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 1 จะได้ว่า ผลรวมของการดูดกลืน การสะท้อน และการส่องผ่าน จะเท่ากับ 1 เช่นกัน

---

[1] Geiger Rudolf, The climate near the ground, (USA: Harvard University press,1950)

รังสีคลื่นสั้นที่ถูกดูดกลืนจะสะสมในวัตถุ โดยเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และการแผ่รังสีความร้อนในลักษณะรังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation) ไปยังที่ๆมีอุณหภูมิต่ำกว่า คุณสมบัตินี้เรียกว่า การคายความร้อน (Emittance) ซึ่งมีค่าเท่ากับการแผ่รังสีจากพื้นผิวของวัตถุต่อการแผ่รังสีที่สมบูรณ์

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก แบ่งเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แบบตรง (Direct Solar Radiation or Direct Sun) คือ รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรงในทิศทางของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ถึงพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อมาถึงชั้นบรรยากาศของโลก มีค่าประมาณ 429 Btu/hr.ft^{2}g เมื่อรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวโลก โดยผ่านชั้นบรรยากาศที่บางที่สุด ถ้าแนวรังสีเบี่ยงออกจากแนว 90 องศา ค่าความเข้มของพลังงานจะลดลง

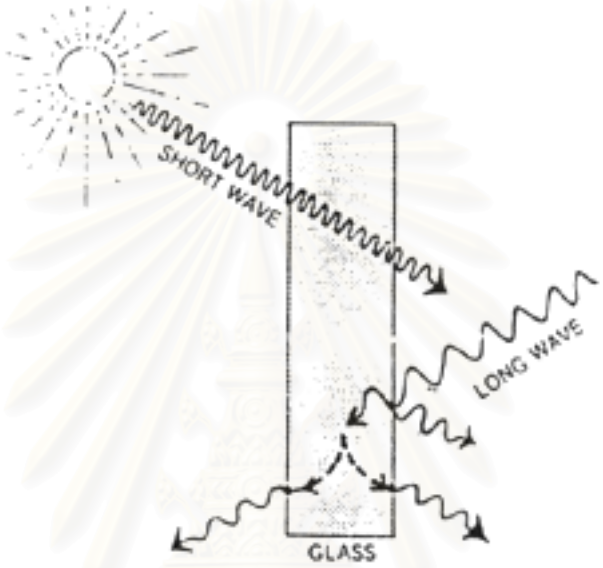
2. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ลงมาถึงชั้นบรรยากาศและถูกตกกระทบ โดยเมฆ ไอน้ำ และฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศ และจะกระจายออกอย่างไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มสูงที่บริเวณเส้นขอบฟ้า รังสีกระจายจะมีประมาณ 10-90 % ของปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยรวมที่เข้าสู่อาคาร ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย สภาพท้องฟ้ามีปริมาณละอองไอน้ำและเมฆที่สูง ทำให้รังสีกระจายมีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคาร

3. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แบบสะท้อน (Reflected Radiation) คือ รังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวต่างๆ มีค่าขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนของพื้นผิวนั้นๆ ปริมาณของรังสีสะท้อนที่ตกลงบนพื้นผิวใดๆ มีอิทธิพลมาจากลักษณะของพื้นผิว และทิศทางของวัตถุที่อยู่โดยรอบ แม้ว่าผนังภายนอกอาคารจะไม่ถูกรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงก็ตาม อุณหภูมิก็สูงได้ เนื่องจากรังสีกระจาย และรังสีสะท้อนที่สะท้อนมาจากสภาพแวดล้อมรอบอาคาร

นอกจากปริมาณของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีมาก หรือน้อยตามลักษณะการแผ่รังสีที่ได้แสดงให้เห็นข้างต้นแล้ว การได้รับการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคารยังมีความสัมพันธ์กับทิศทางของระนาบที่หันเข้าสู่แหล่งกำเนิด (Surface Orientation) ประกอบกับทิศทางการตกกระทบของรังสี (Angle of Incidence) ซึ่งตัวแปรทั้ง 2 ประการนี้ก็มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด

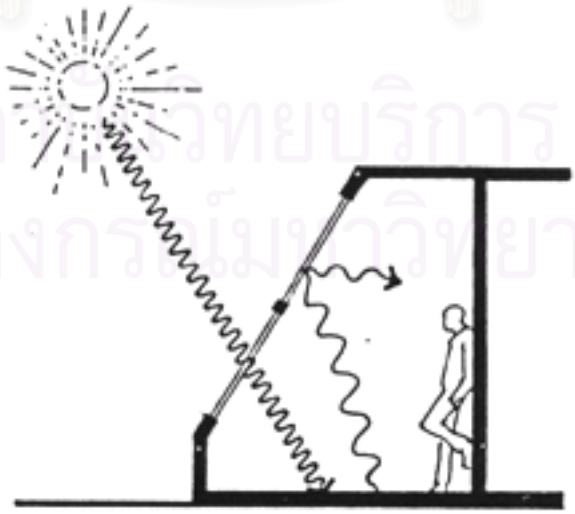
จากคุณลักษณะของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ข้างต้น เมื่อพิจารณาประกอบคุณสมบัติที่ต่างจากวัสดุอื่นๆ ของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัย (กระจก) สำหรับการวิจัยนี้จะพบว่า ในวัตถุโปร่งใส เช่น กระจกหรือพลาสติกใส จะมีลักษณะที่แตกต่างจากวัตถุทั่วไป ตรงที่ความแตกต่างกันต่อการส่องผ่านของรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และรังสีคลื่นยาว (พลังงานความร้อน) ที่เกิดจากการคายรังสีของสภาพแวดล้อม คือ การที่วัตถุโปร่งใสซึ่งมีคุณสมบัติที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้น (ความยาวคลื่น 0.20-0.38 นาโนเมตร) ส่องผ่านไปได้ แต่จะมีสภาพทึบต่อรังสีคลื่นยาว (ความยาวคลื่น 0.78 นาโนเมตร) โดยรังสีคลื่นยาวดังกล่าวจะเกิดขึ้นจากการแผ่รังสีกลับ (Reradiation) ของวัตถุที่ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบ เมื่อพื้นผิวภายในที่ได้รับการแผ่รังสีคลื่นสั้นและดูดซึมไว้ตามคุณสมบัติของวัสดุ ก็จะแปรสภาพรังสีดังกล่าวเป็นพลังงานความร้อนที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ในรูปของ

รังสีคลื่นยาวซึ่งเป็นพลังงานความร้อน (รูปที่ 2.21) และแผ่รังสีกลับสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นเมื่อสิ่งที่กั้นแบ่งระหว่างสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกเป็นวัสดุโปร่งใส เช่น กระจก จากคุณสมบัติดังกล่าว ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในก็จะถูกเก็บกักไว้ภายใน โดยจะมาก หรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ ตลอดจนลักษณะ และชนิดของวัสดุที่อยู่ภายใน รวมทั้งคุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของกระจกประกอบกัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวก็คือการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่ประเทศในภูมิภาคเขตหนาวใช้เก็บกักความร้อนให้เกิดขึ้นในอาคารที่มีผนังหรือหลังคาเป็นวัสดุโปร่งใส (รูปที่ 2.22) นั่นเอง



รูปที่ 2.21 แสดงพฤติกรรมของวัตถุโปร่งใสต่อรังสีดวงอาทิตย์

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting : Design Method for Architects, 1991. p. 15.



รูปที่ 2.22 แสดงการเกิดปรากฏการณ์ Greenhouse Effect

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting : Design Method for Architects, 1991. p. 16.

2.3.3 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนของการแผ่รังสี (Sol-Air Temperature)

การหาอุณหภูมิของอากาศภายนอกที่ปราศจากการแลกเปลี่ยนของการแผ่รังสีหรืออุณหภูมิโซล-แอร์ (Sol-Air Temperature) โดยมีค่าเท่ากับความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางผิว ที่มีส่วนประกอบของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ พลังงานการแผ่รังสีที่แลกเปลี่ยนกับท้องฟ้ารวมทั้งสภาพแวดล้อม และการพาความร้อนแลกเปลี่ยนกับอากาศภายนอก โดยมีสูตรการหาดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$\text{Sol-Air Temperature (Te)} = T_{out} + I * \alpha/ho - {}^{TM}R/ho \quad \text{.....(2.51)}$$

Te = Sol-Air Temperature (^{o}F)

T_{out} = อุณหภูมิของอากาศภายนอก (^{o}F)

I = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the Surface) (Btu/h.ft^2)

α = สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

ho = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวรวมทั้ง Long-Wave Radiation และ Convection (Btu/h.ft^2.^{o}F) มีค่าประมาณ 3.0 (Btu/h.ft^2.^{o}F)

R = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu/h.ft^2)

TM = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the Surface)

2.3.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนในที่นี้ จะเน้นถึงการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุโปร่งใส ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งก็คือ ช่องแสงกระจก นั่นเอง

คุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อน โดยปรกติพลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยจะมีรูปแบบการถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ส่วนใหญ่รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร จะมีทั้ง 3 รูปแบบ แล้วแต่กรณีที่การถ่ายเทความร้อนรูปแบบไหนจะสำคัญมากกว่ากัน

2.3.4.1 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนภายในเนื้อวัตถุ หรือเกิดจากการสัมผัสของเนื้อวัสดุ การถ่ายเทความร้อนเกิดจากการสั่นของโมเลกุลในเนื้อวัสดุที่มีอุณหภูมิสูง ส่งต่อสู่โมเลกุลข้างเคียง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเกิดขึ้น การนำความร้อน มีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (William T. Meyer,1979)

$Q = U * A * (Ti – To)$ .....(2.52)

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ($Btu/h.ft^2\ ^oF$)

A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft^2)

Ti = อุณหภูมิที่สูงกว่า (^oF)

To = อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (^oF)

2.3.4.2 การพาความร้อน (Convection)

เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวกลางจำพวกของไหล(Fluid) และก๊าซ เมื่อของไหลสัมผัสวัสดุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานขึ้นในลักษณะการพาความร้อน การพาความร้อน มีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (William T. Meyer,1979)

$Q = H * A * (Ta – Ts)$ .....(2.53)

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา (Btu/h)

H = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฟิล์มอากาศ บริเวณที่ของไหลผ่าน ($Btu/h.*ft^2\ *^oF$)

A = พื้นที่ของผิววัสดุ บริเวณที่ของไหลผ่าน (ft^2)

Ta = อุณหภูมิอากาศ (^oF)

Ts = อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (^oF)

2.3.4.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อน จากวัสดุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์ (0 K) โดยอาศัยสเปคตรัมการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) ที่เปล่งออกจากพื้นผิววัสดุนั้นๆ โดยการแผ่รังสีความร้อนนี้จะแผ่กระจายออกทุกทิศทาง วัสดุที่แผ่รังสีออกมาโดยไม่ได้รับรังสีความร้อนจากวัตถุอื่น อุณหภูมิของวัสดุนั้นจะลดลง ในทางกลับกัน ถ้าวัสดุได้รับการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุอื่นๆมากกว่า การแผ่รังสีความร้อนของตัวมันเอง อุณหภูมิของวัสดุนั้นก็จะเพิ่มขึ้น การแผ่รังสีความร้อน มีสมการในการคำนวณ ดังนี้ (William T. Meyer,1979)

$Q = \delta * \varepsilon * A * (T1 – T2)$ .....(2.54)

เมื่อ Q = ปริมาณพลังงานความร้อน (Btu/h)

δ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann =1.7135×10^{-9} ($Btu/h.*ft^2\ *^oF$)

ε = ค่าการคายรังสีความร้อนของผิววัสดุ

A = พื้นที่ของผิววัสดุ บริเวณที่แผ่รังสี (ft^2)

T1 = อุณหภูมิผิววัสดุที่แผ่รังสี (^oF)

T2 = อุณหภูมิที่ได้รับการแผ่รังสี (^oF)

เมื่อวัตถุใดๆ ได้รับการแผ่รังสีความร้อน วัสดุนั้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่ที่ว่ารังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมดนั้นได้ถูกสะท้อนรังสี (Reflectance:ρ) และรังสีที่ถูกส่งผ่าน (Transmittance:τ) ไปมากน้อยเท่าไหร่ ส่วนรังสีความร้อนที่เหลือจะถูกดูดกลืนรังสี (Absorptance:α) เข้าสู่เนื้อวัตถุ ซึ่งจะเป็นตัวแปรที่ทำให้วัสดุนั้นๆมีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (William T. Meyer,1979)

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad \text{.....(2.55)}$$

ρ = ค่าการสะท้อนรังสีความร้อน

α = ค่าการดูดกลืนรังสีความร้อน

τ = ค่าการส่งผ่านรังสีความร้อน

จากสมการดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าวัสดุทึบแสง (Opaque Material) จะไม่มีรังสีที่ถูกส่งผ่าน (Transmittance:τ) ดังนั้นจะได้สมการดังนี้ $\rho + \alpha = 1$

ส่วนวัสดุที่โปร่งแสงที่รังสีความร้อนสามารถส่องผ่าน (Transparent or Translucent Material) ได้สมการดังนี้ $\rho + \alpha + \tau = 1$

ความสามารถในการดูดซับความร้อนเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงปริมาณรังสีความร้อนที่ถูกดูดซึมโดยผิววัตถุ วัตถุสีดำสนิท (Black Body) หรือวัตถุที่ผิวดูดรังสีความร้อนทั้งหมดและไม่สะท้อนหรือถ่ายเทความร้อนออกมาเลย หน่วยของการดูดความร้อนเป็นจำนวนเต็มเท่ากับ 1.0 และผิวหน้าในลักษณะอื่นที่มีลักษณะต่างกันไปก็จะมีการดูดซึมรังสีความร้อนน้อยกว่า ก็จะมีค่าที่ลดลงไปตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสีไม่สามารถทำได้สมบูรณ์เต็มที่ ไม่ว่าจะใช้การควบคุมปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนในทางใดก็ตามข้างต้น ด้วยสาเหตุจากตามสภาพของทั้งตัววัสดุเองและจากสภาพแวดล้อม ทางที่ดีที่สุดก็คือ การทำให้ความร้อนผ่านได้ช้าลง โดยการเพิ่มขนาดหรือความหนาของวัสดุ ช่วงเวลาที่ความร้อนถ่ายเทจากผิวภายนอกสู่ภายใน หรือผิวบนสู่ผิวล่างเรียกว่า ค่าความหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ของวัสดุ ความหนาของวัสดุใดๆ ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มระยะเวลาของการถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น และเพิ่มระยะเวลาของการดูดซึมรังสีความร้อนของวัสดุอีกทางหนึ่งด้วย เมื่อพิจารณาค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลาของวัสดุกระจก (Givoni, 1976.) พบว่า

- กระจกชั้นเดียว (Single Glazing) ค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลา 0 ชม.
- กระจก 2 ชั้น (Double Glazing) ค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลา 0 - 0.5 ชม.

ซึ่งจะเห็นได้ว่า กระจกจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวเวลาที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น คอนกรีตที่มีค่าความหนาตั้งแต่ 1 ซม. ขึ้นไป ตามความหนาของคอนกรีต เป็นต้น ดังนั้นการเพิ่มความหนาของกระจกจึงไม่เป็นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาเป็นปัจจัยหลักในการใช้งานซึ่งการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีของกระจกที่เหมาะสมจะแสดงให้เห็นในลำดับต่อไป

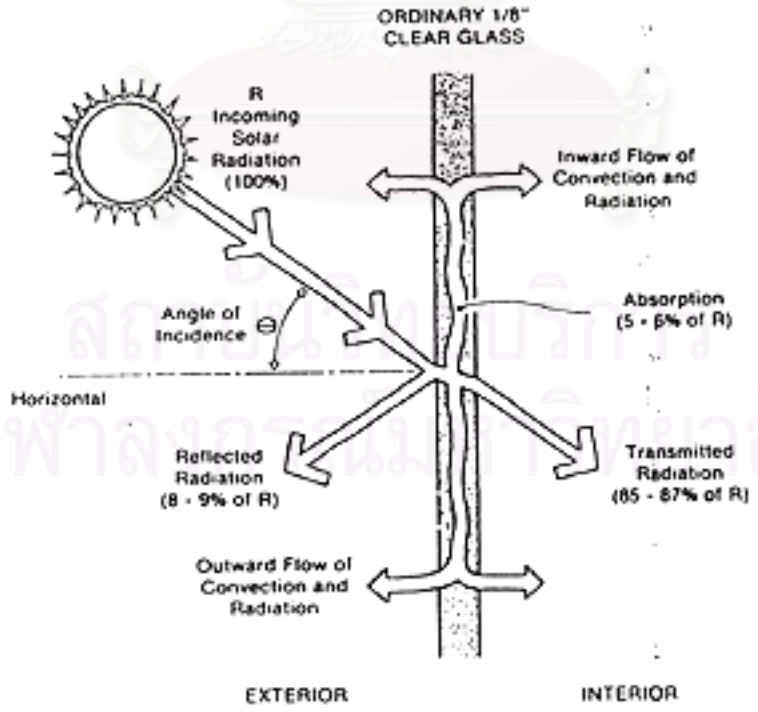
2.3.5 คุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของกระจก

วัสดุกระจกนับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบสถาปัตยกรรมในรูปแบบที่ทันสมัยในปัจจุบัน ดังจะเห็นได้จากการใช้งานกระจกประกอบระบบเปลือกอาคารในลักษณะต่างๆ กันอย่างแพร่หลายทั้งในส่วนผนังและหลังคาอาคาร นอกจากนี้รูปแบบของการใช้งานก็ยิ่งมีความแตกต่างกันไปตามความต้องการของสถาปนิกและเจ้าของอาคาร อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาก็คือการเกิดการเก็บกักความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารอย่างมากมาย ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึงผลจากการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกที่มีผลต่อสภาพอุณหภูมิภายในอาคารและสภาวะความน่าสบายของผู้ใช้งานอาคารจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวกระจก

ดังนั้นความรู้ความเข้าใจในคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนของวัสดุจึงเป็นสิ่งสำคัญในการเลือกใช้วัสดุดังกล่าวประกอบการใช้งานอาคารให้มีประสิทธิภาพต่อไป

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโปร่งใส เช่น กระจก สามารถควบคุมได้โดยการใช้การบังเงา (Shading) ให้กับบริเวณช่องเปิดที่ใช้วัสดุดังกล่าวนี้ประกอบเปลือกอาคาร เพื่อลดปริมาณการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์

ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตการวิจัยนี้ และนอกจากนี้ยังทำได้โดยพิจารณาถึงคุณสมบัติทางด้านสเปกตรัม (Spectrum) ของวัสดุโปร่งใส รวมไปถึงเข้าใจในคุณลักษณะทางด้านการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโปร่งใสที่เกิดขึ้นเมื่อถูกตกกระทบโดยรังสีดวงอาทิตย์ อันก่อให้เกิดผลด้านอุณหภูมิ 3 ลักษณะดังนี้ (รูปที่ 2.23)



รูปที่ 2.23 แสดงการส่งผ่านความร้อนผ่านกระจกในลักษณะต่าง ๆ

ที่มา : Bradshaw, V. Building Control Systems. 2nd ed., 1993.

1. การสะท้อนรังสี (Reflection-ρ) เป็นการสะท้อนรังสีออก ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความร้อนต่อตัวกระจกและภายในอาคาร

2. การดูดซึมความร้อน (Absorption-α) เป็นการดูดซึมรังสีความร้อนเข้าสู่ตัวกระจก ซึ่งจะส่งผ่านความร้อนสู่ภายในด้วยการนำความร้อนและการพาความร้อน

3. การส่งผ่านรังสี (Transmission-τ) เป็นการส่งผ่านรังสีความร้อนผ่านตัวกระจกเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งจะก่อให้เกิดความร้อนในลักษณะของการแผ่รังสีกลับ (Reradiated)

ในการถ่ายเทรังสีความร้อนใดๆ ก็ตาม จะมีค่าขององค์ประกอบทั้ง 3 รวมกัน แล้ว เท่ากับ 1 ($\rho + \alpha + \tau = 1$) จากคุณสมบัติเหล่านี้ของกระจก (ASHRAE, 1993) ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของการผลิตวัสดุกระจกที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นตามลำดับ จากเดิมที่เป็นกระจกใสมีค่าการส่องผ่านค่อนข้างสูงเกือบเต็ม 100% ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ กลายเป็นกระจกดูดซับความร้อน (Heat absorbing glass) หรือกระจกสะท้อนแสง (Reflective glass) ที่มีแนวความคิดเริ่มจากการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านการป้องกันความร้อนของกระจกใส ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาศัยคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อน การดูดซับความร้อนของวัสดุกระจกเป็นสำคัญ นอกจากนี้การค้นคิดคุณสมบัติของกระจกที่มีคุณสมบัติยอมให้ช่วงของสเปกตรัมที่ไม่ก่อให้เกิดความร้อนกับภายในอาคารส่องผ่านพร้อม ๆ กันกับสเปกตรัมช่วงที่เป็นแสงสว่างเข้าสู่อาคารอย่างเหมาะสม ซึ่งก็ได้แก่ กระจกที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนที่ดีที่สุดในปัจจุบัน คือ กระจกสะท้อนคลื่นความร้อน (Heat-mirror glass) หรือ กระจกฉนวน (Heat-stop glass) ที่ผสานเอาข้อดีของกระจกสะท้อนแสง และกระจกใสเข้ามารวมกัน ดังจะอธิบายละเอียดในหัวข้อวัสดุที่ใช้ในการวิจัยต่อไป

การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุโปร่งใส

กระบวนการการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และแหล่งกำเนิดความร้อนใดๆ ผ่านวัตถุโปร่งใสซึ่งได้แก่ กระจก ในการวิจัยนี้จะพบว่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านกระจกจะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

1. <u>การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน (Heat conduction)</u> เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนในแบบของการนำความร้อน ซึ่งเกิดจากผิวนอกของกระจกถูกสัมผัสกับอากาศที่ผิวกระจก (Adjacent air) ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่ภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของกระจก (k) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกนั้นๆ (U-value) และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารเป็นสำคัญ (ตารางที่ 2.4 – 2.5) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในรูปของสมการ ดังนี้

$$Q = U * A * \Delta t \qquad \text{.....(2.56)}$$

ตารางที่ 2.5 Whole Window Properties of Single-Glazed with Clear Glass

Frame	Aluminum	Aluminum with Thermal Break	Wood	Wood Clad	Vinyl	Composite or Hybrid
U-Factor	1.25	1.08	0.90	0.90	0.90	0.90
SHGC	0.76	0.70	0.63	0.63	0.63	0.63
VT	0.74	0.69	0.64	0.64	0.64	0.64

ที่มา : Efficient Windows Collaborative, 2002.

ตารางที่ 2.6 Whole Window Properties of Bronze or Gray Single-Glazed Tinted Glass

Frame	Aluminum	Aluminum with Thermal Break	Wood	Wood Clad	Vinyl	Composite or Hybrid
U-Factor	1.25	1.08	0.90	0.90	0.90	0.90
SHGC	0.65	0.60	0.54	0.54	0.54	0.54
VT	0.56	0.52	0.48	0.48	0.48	0.48

ที่มา : Efficient Windows Collaborative, 2002.

2. การแผ่รังสีคลื่นยาว (Long wave radiation) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่นเกินกว่า 2500 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีความร้อนระหว่างผิวหน้าของกระจกกับท้องฟ้าสภาพแวดล้อม และวัตถุใกล้เคียงของกระจก เนื่องจากรังสีคลื่นยาวเป็นรังสีดวงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปพลังงานความร้อน การป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคารของกระจกโดยทั่วไปจะมีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (Shading coefficient-SC) ของกระจกชนิดนั้น ๆ เป็นตัวกำหนดให้มีการส่งผ่านรังสีความร้อนผ่านตัววัสดุมากหรือน้อยเพียงใด โดยวัสดุกระจกที่มีค่า SC ที่น้อยจะตัดการแผ่รังสีคลื่นยาวได้มากกว่ากระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงามาก

3. การแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short wave radiation) เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบนั้น ผิวหน้าของกระจกซึ่งรวมการแผ่รังสีโดยตรงและโดยอ้อมซึ่งเกิดจากรังสีตกกระทบอนุภาคต่างๆ ในบรรยากาศ และการสะท้อนจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียง ปริมาณของรังสีตกกระทบพื้นผิวกระจกจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามทิศทางของระนาบกระจก ตำแหน่งเส้นรุ้งของอาคาร (สัมพันธ์กับการโคจรของดวงอาทิตย์) และช่วงเวลา โดยค่านี้จะเรียกอีกอย่างว่า ค่าตัวประกอบรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Solar heat gain factor-SHGF) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ได้มีการกำหนดไว้ตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยดังกล่าวข้างต้น

4. ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก เป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ของกระจกชนิดต่างๆ เทียบกับกระจกใสความหนา 3 มม. ที่ไม่มีการบังเงาให้กับกระจก (มีค่า SC = 1) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อกระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจกน้อยลง ซึ่งแสดงว่าสามารถลดปริมาณการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารได้ แต่สิ่งที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ การได้รับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ในปริมาณที่ลดลงด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาเป็นอย่างยิ่งในการเลือกใช้วัสดุกระจกประกอบการใช้งานในอาคาร

5. ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ เป็นค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกใสความหนา 3 มม. ทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งรังสีที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียง ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิภาคต่างๆ ของโลก เวลา วันเดือนปี ที่เป็นผลมาจากการโคจรของโลกและดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ทิศทางของกระจกที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์ก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงของค่านี้

เมื่อได้พิจารณาปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านพื้นผิวกระจกจากองค์ประกอบทั้งหมด จะได้ค่าการคำนวณปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกระจกในช่วงเวลาหนึ่งทั้งหมด (Total heat gain) จะมีค่าการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อน และการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยมีความสัมพันธ์ในรูปของสมการดังนี้ (ASHRAE, 1993.)

Conduction $Q = U * A * \Delta t$.....(2.57)

หรือ $Q = U * A * CLTD$.....(2.58)

Solar radiation $Q = A * SC * Rad$ .....(2.59)

หรือ $Q = A * SC * SHGF * CLF$ .....(2.60)

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกระจก

A = พื้นที่ของกระจก

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก

Rad = ปริมาณพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกระจก

SHGF = ค่าตัวประกอบรังสีความร้อนดวงอาทิตย์

CLF = ค่าตัวปรับแก้ความแตกต่างกันของอุณหภูมิ (Cooling Load Factor)

จากความสัมพันธ์นี้จะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของกระจกจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (U-value) ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก และค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งค่าเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุกระจกที่ใช้เป็นสำคัญ

2.4 หลักการการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายรวม (Life-Cycle Cost, LCC)

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรวมมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร เนื่องจากค่าใช้จ่ายรวม (Life-Cycle Cost, LCC) เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ซึ่งประกอบด้วย [2]

1. *เงินลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost or First Cost)* ได้แก่ เงินลงทุนที่ใช้ก่อสร้างอาคาร ในกรณีที่วิเคราะห์อาคารทั้งหลัง หรือเงินลงทุนที่ใช้ซื้อและติดตั้งวัสดุ หรือระบบประกอบอาคาร (Energy Strategy) ที่ทำการศึกษาวิเคราะห์ เงินลงทุนเริ่มต้นในวิทยานิพนธ์นี้หมายถึง ราคากระจกตามขนาดพื้นที่ที่ใช้งานแต่ละขนาดและแต่ละชนิดกระจก
2. *ค่าใช้จ่ายในการใช้อาคาร (Operating Costs)* ส่วนใหญ่จะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงาน หรือสาธารณูปโภคในอาคาร ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าน้ำมัน ค่าน้ำประปา เป็นต้น ค่าใช้จ่ายในการใช้อาคาร ในวิทยานิพนธ์นี้หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์เพิ่มเติมจากการใช้แสงธรรมชาติ รวมกับค่าใช้จ่ายในการปรับอากาศให้แก่อาคาร
3. *ค่าซ่อมบำรุงรักษาอาคาร (Repair and Maintenance Costs)* ในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายส่วนนี้
4. *ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์และวัสดุประกอบอาคาร (Amortization or Replacement Costs)* โดยทั่วไปมักจะไม่นิยมนำมาคำนวณ เช่นเดียวกับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

การคำนวณค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นตลอดอายุการใช้งานของอาคาร จะมีทั้งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ณ วันที่ทำการคำนวณ ได้แก่ เงินลงทุนเริ่มต้น และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นรายปีหรือรายเดือน ได้แก่ ค่าพลังงานและสาธารณูปโภคต่างๆ รวมทั้งค่าซ่อมบำรุงรักษาระบบประกอบอาคารและวัสดุอาคาร ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องประมาณการว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตเป็นจำนวนเท่าๆ กันทุกปี (Annual Cost) ซึ่งตามหลักทางเศรษฐศาสตร์ไม่สามารถนำค่าใช้จ่ายปัจจุบันรวมเข้าโดยตรงกับค่าใช้จ่ายประจำปีดังกล่าวได้ เนื่องจากค่าของเงินในปัจจุบันและอนาคตไม่เท่ากัน ดังนั้นในการคำนวณจึงต้องแปลงให้ค่าเงินมีความเท่ากัน มีวิธีการแปลง 3 วิธี คือ แปลงเป็นค่าเงินปัจจุบัน (Present Worth, P) แปลงเป็นค่าเงินในอนาคต (Future Value, F) และแปลงเป็นค่าใช้จ่ายรายปี (Annual Cost, A) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะวิธีการคำนวณแบบ Present Worth (P) ซึ่ง

---

[2] อเนก ทองปิยะภูมิ, "เศรษฐศาสตร์อาคารง่ายนิดเดียว: การประเมินความคุ้มค่าในการสร้างอาคารประหยัดพลังงาน," อาษา (10:45-11:45): 52-60.

เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ และเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์ทางเลือกซึ่งอยู่ในอาคารเดียวกัน และมีอายุการใช้งานเท่ากัน

พื้นฐานของการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร คือ การเปรียบเทียบผลตอบแทนสุทธิ (Net Benefit) หรือค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (LCC) โดยการแปลงจำนวนเงินที่ประหยัดได้ หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจเป็นเงินที่มีค่าอยู่ในช่วงเวลาต่างกันให้เป็นค่าของเงินที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน แล้วจึงนำมารวมหรือหักลบออกจากกันได้ วิธีการแปลงสามารถทำได้โดยการนำ Factor จากตารางสำเร็จรูป (ระหว่างอัตราดอกเบี้ยและอายุการใช้งานอาคาร) มาคูณกับจำนวนเงิน เช่น เปลี่ยนจาก A เป็น P ก็นำ Factor [A->P] มาคูณ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A * [A->P] = P \quad \text{.....(2.61)}$$

โดยที่ P เป็นค่าของเงินปัจจุบันที่จะต้องใช้จ่ายทั้งหมดตลอดช่วงอายุการใช้อาคาร

A เป็นค่าของเงินที่ใช้จ่ายรายปีตลอดช่วงอายุการใช้อาคาร

[A->P] เป็น Factor จากตารางสำเร็จรูป A->P ขึ้นหาได้จากจำนวนปีที่ใช้อาคารและอัตราดอกเบี้ย เช่น เท่ากับ 6.1446 หากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เป็น 10% คิดในระยะเวลา 10 ปี

ในการเลือกใช้ Factor ตัวใดในตารางสำเร็จรูปนั้น ขึ้นอยู่กับว่าจะศึกษาวิเคราะห์อาคารที่มีอายุการใช้งานกี่ปีและอัตราดอกเบี้ยเป็นเท่าไร โดยอัตราดอกเบี้ยที่ใช้เป็นอัตราดอกเบี้ยเงินกู้หรือเงินฝากขึ้นอยู่กับว่าเงินลงทุนนั้นเป็นเงินฝากหรือเงินกู้

อย่างไรก็ตามโดยปกติการคำนวณค่าไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงอื่นๆ ให้ถูกต้องแม่นยำ จะต้องคำนึงถึงอัตราการขึ้นราคาค่าพลังงาน (Escalation Rate, r) หรืออาจเรียกว่าอัตราเงินเฟ้อ (Inflation Rate) ด้วย ดังนั้นการหา Factor [A->P) ต้องใช้หลักการของ Present Worth Inflation Factor (PWIF) ซึ่งต้องคำนวณหา Factor [PWIF] ไม่สามารถใช้ตารางสำเร็จรูปได้

$$A * [PWIF] = P \quad \text{.....(2.62)}$$

โดยที่ P เป็นค่าของเงินปัจจุบันที่จะต้องใช้จ่ายทั้งหมดตลอดช่วงอายุการใช้อาคาร

A เป็นค่าของเงินที่ใช้จ่ายรายปีตลอดช่วงอายุการใช้อาคาร

[PWIF] เป็น Factor ที่ต้องคำนวณหา จากสมการดังนี้

$$PWIF = (1+r)/(i-r) * [1- ((1+r)/(1+i))^{n}) \quad \text{.....(2.63)}$$

โดยที่ n เป็นระยะเวลาการใช้อาคาร เป็นปี (ในที่นี้ใช้ที่ 10 ปี, n = 10)

i เป็นอัตราดอกเบี้ย เป็นเปอร์เซ็นต์ (ในที่นี้ใช้ที่ 10 %, i = 0.1)

r เป็นอัตราการขึ้นราคาค่าพลังงาน (ในที่นี้ใช้ที่ 3 %, r = 0.03)

บทที่ 3

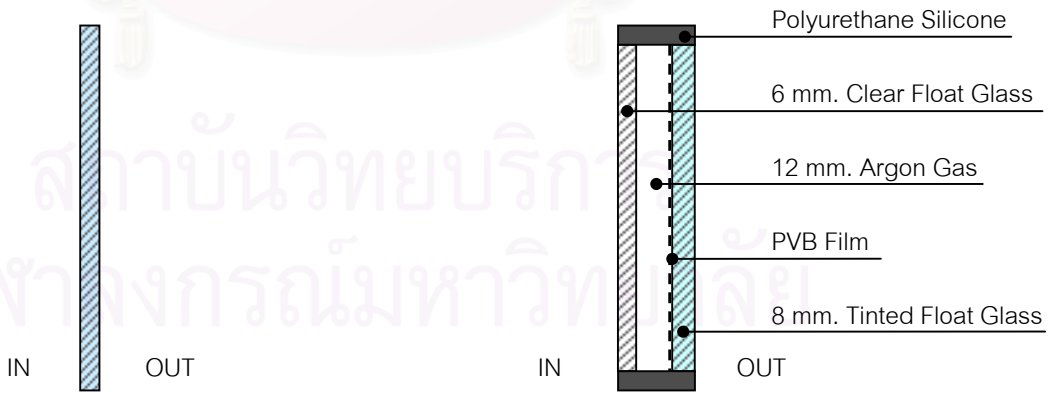
ระเบียบวิธีวิจัย และวัสดุอุปกรณ์

เมื่อได้ทำการศึกษาทฤษฎีและตัวแปรต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างแล้ว จึงกำหนดแนวทางการวิจัย ซึ่งเป็นไปตามลำดับขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การกำหนดชนิดของกระจกที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบ
2. การกำหนดขนาดและวัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลอง
3. การกำหนดขั้นตอนการทดสอบ
4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและบันทึกข้อมูล
5. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ
6. สรุปผลการทดสอบ

3.1 การกำหนดชนิดของกระจกที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบ

กระจกที่นำมาเป็นตัวแทนในการทดสอบเป็นกระจกที่มีคุณสมบัติทางด้านแสงสว่างและความร้อนต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้



กระจกชั้นเดียว ความหนา 6 มม.
(กระจกใส, กระจกสีเขียว, กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์)

กระจกสองชั้น ความหนา 26 มม.
(กระจกฉนวนกันความร้อน Heat-Stop)

รูปที่ 3.1 แสดงภาพตัดกระจกแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางแสงสว่างของกระจกทดสอบแต่ละชนิด

No	Type of Glass	Color	Nominal Glass Thickness (mm.)	Optical Performance						Coolness Ratio
				Visible Rays			Solar Energy			
				Reflect.		Transmit.	Reflect.	Transmit.	Absorpt.	
				In	Out					
1	Clear Float	Clear	6	0.08	0.08	0.88	0.07	0.78	0.15	0.96
2	Tinted Float	Green	6	0.07	0.07	0.65	0.05	0.34	0.61	1.33
3	Solar Reflective	Blue	6	0.36	0.21	0.31	0.12	0.23	0.65	0.65
4	Heat-Stop	Sky Blue	26	0.17	0.09	0.45	0.06	0.19	0.75	1.45

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของกระจกทดสอบแต่ละชนิด

No	Type of Glass	Color	Nominal Glass Thickness (mm.)	Thermal Performance					Coolness Ratio
				Relative Heat Gain		U-Value		SC	
				W/sq.m	Btu/H-sq.ft	W/sq.m-K	Btu/H-sq.ft-F		
1	Clear Float	Clear	6	643	204	5.83	1.03	0.92	0.96
2	Tinted Float	Green	6	423	134	6.30	1.11	0.49	1.33
3	Solar Reflective	Blue	6	352	112	6.34	1.12	0.48	0.65
4	Heat-Stop	Sky Blue	26	210	66	1.84	0.32	0.31	1.45

ตารางที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบ Coolness Ratio และราคาของกระจกทดสอบแต่ละชนิด

No	Type of Glass	Color	Nominal Glass Thickness (mm.)	Coolness Ratio	Price (Baht/sq.ft)	Price (Baht/sq.m)
1	Clear Float	Clear	6	0.96	35.00	376.60
2	Tinted Float	Green	6	1.33	60.00	645.60
3	Solar Reflective	Blue	6	0.65	130.00	1,398.80
4	Heat-Stop	Sky Blue	26	1.45	370.00	3,981.20

3.2 การกำหนดขนาดและวัสดุที่ใช้ทำหุ่นจำลอง

3.2.1 หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1.1 ห้องทดลอง

ห้องทดลองจำนวน 1 หลัง มีขนาดภายในเท่ากับ 7.20 x 4.20 ตารางเมตร สูง 2.40 เมตร ประกอบด้วยผนังด้านข้าง 4 ด้าน พื้น และหลังคาแบนเรียบ ซึ่งสร้างจากวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง เพื่อการควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ และมีความสามารถในการป้องกันผลกระทบจากภายนอก โดยเลือกใช้โฟม EPS (Expanded Polystyrene Foam) ที่มีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต มาประกอบเป็นห้องทดลองบนโครงสร้างเหล็ก มีความทนทานต่อแรงลม ความชื้น ฯลฯ มีการอุดรอยต่อทุกจุดเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration) ระหว่างภายในและภายนอกห้องทดลองได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ที่ทำการทดลองจากคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ ทำให้ได้ข้อมูลของตัวแปรที่ต้องการทดสอบเท่านั้น

ด้านทั้งสี่ด้านของอาคารออกแบบให้หันหน้าไปทางทิศเหนือ ตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก เพื่อใช้เป็นตัวแทนของการเก็บข้อมูลทั้ง 4 ทิศทาง โดยในแต่ละด้านได้เว้นช่องว่างขนาดกว้าง 3.60 เมตร สูง 0.90 เมตร และสูงจากพื้นห้องทดลอง 0.90 เมตร เพื่อใช้ในการติดตั้งกระจกทดสอบ 4 ชนิด ที่ผนึกกับกล่องทดสอบย่อย จำนวน 4 กล่องในแต่ละด้าน

รูปที่ 3.2 แสดงอาคารห้องทดลอง

3.2.1.2 กล่องทดสอบย่อย

กล่องทดสอบย่อยจำนวน 16 กล่อง มีขนาดภายในเท่ากับ 0.60 x 0.60 x 0.60 เมตร (แทนขนาดห้อง 6.00 x 6.00 เมตร) ประกอบด้วยผนังโฟม 4 ด้าน แต่ละด้านหนา 15 ซม. ส่วนด้านที่หก เจาะช่องเปิดขนาด 0.60 x 0.60 เมตร สำหรับติดตั้งกระจกที่จะนำมาทดสอบ ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดเป็นฝาปิด-เปิดขนาด 0.60 x 0.60 เมตร เพื่อความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความสว่างภายในกล่อง โดยที่คุณสมบัติที่ดีของกล่องทดสอบต้องมีค่าความต้านทานสูงซึ่งสร้างจากวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง (High R-Value) เพื่อป้องกันผลกระทบจากภายนอก จึงเลือกใช้โฟม EPS (Expanded Polystyrene Foam) ที่มีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ทำผิวให้มีคุณสมบัติทนทานต่อแสงแดด ลม ความชื้น ฯลฯ มีชั้นตาข่ายเพื่อป้องกันการแตกร้าวและเพิ่มความแข็งแรงให้กับกล่อง รวมทั้งทำให้ก่องทดสอบเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด (Homogeneous) ช่วยป้องกันการรั่วซึมของอากาศระหว่างภายในกับภายนอกกล่องได้เป็นอย่างดี ทำให้ได้ผลการทดลองที่ได้รับอิทธิพลจากสิ่งที่เราต้องการทดสอบเท่านั้น

รูปที่ 3.3 แสดงกล่องทดสอบย่อย

ในส่วนของการวัดความสว่างภายในกล่อง ได้กำหนดค่าการสะท้อนแสงของวัสดุตกแต่งผิวเพื่อมุ่งเน้นให้นำไปประยุกต์ใช้ในอาคารจริงได้ ดังนั้นจึงได้นำข้อมูลของค่าการสะท้อนแสงของวัสดุและพื้นผิวอาคารจาก IES มาเป็นพื้นฐานสำหรับค่าการสะท้อนแสง และนอกจากจะมีค่าการสะท้อนแสงตามที่ต้องการแล้วยังต้องมีลักษณะของพื้นผิวที่ให้การสะท้อนแสงแบบกระจาย (Diffuse Reflection) ด้วย เนื่องจากแสงที่ต้องการใช้ในการวิจัยต้องการแสงกระจาย (Diffuse Light) เข้ามาใช้ภายในอาคาร จากการพิจารณาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุจะเห็นว่าวัสดุผิวด้านจะมีการสะท้อนในลักษณะที่เป็นแบบผสม โดยมีเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแบบกระจายสูงมากกว่า 90% ของการสะท้อนแบบสะท้อน (Specular Reflection) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกจำลองวัสดุที่มีลักษณะเป็นผิวด้านในส่วนพื้นผิวภายในโดยรอบ ตามที่แสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ภายในอาคารทั่วๆ ไป

	วัสดุ (Materials)	ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance; %)
พื้น	พื้น ค.ส.ล. ผิวเรียบ	30
ผนัง	ผนังโครงคร่าวไม้กรุไม้อัด ทาสีพลาสติก	50
ฝ้าเพดาน	ฝ้าเพดานไม้อัด ทาสีพลาสติก	70

หมายเหตุ ตรวจสอบโดย Illumination Meter โดยวัดปริมาณแสงสะท้อนเทียบกับปริมาณแสงตกกระทบผิววัสดุ

เนื่องจากกล่องทดสอบนั้น ต้องมีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารทั่วๆไป ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้เป็นพื้น ผนัง และฝ้าเพดานของห้อง เป็นกระดาษโปสเตอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งในการวัดค่าการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นจากวัสดุต่างๆ นั้น จะวัดได้โดยใช้ Illumination Meter วัดปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนวัสดุและปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัสดุ แล้วนำมาหาอัตราส่วนร้อยละ จะได้ค่าการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นกับผิววัสดุนั้นๆ โดยทำการวัดในจุดต่างๆ แล้วใช้วิธีทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ย สรุปเป็นค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ภายในกล่องทดสอบย่อย มีรายละเอียดดังนี้

- ค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุที่ใช้ทำพื้น = 32% วัสดุที่ใช้คือ กระดาษแข็งพิเศษ สีเทา
- ค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง = 52% วัสดุที่ใช้คือ กระดาษสี สีครีม
- ค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุที่ใช้ทำเพดาน = 70% วัสดุที่ใช้คือ กระดาษอาร์ต สีขาว

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงค่าความส่องสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาทางช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ดังนั้นจึงกำหนดให้ช่องแสงกระจกของกล่องทดสอบที่ ไม่มีการปกคลุมหรือปิดกั้นจากวัสดุใดๆ รวมถึงวัสดุที่ใช้เป็นกรอบของช่องเปิด โดยที่ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านกระจกแต่ละชนิด จะมีค่าตามตารางที่ 3.1

3.2.2 การตรวจสอบหุ่นจำลอง

ในการทดสอบส่วนของแสงสว่างธรรมชาติ จะมีการวัดค่าความส่องสว่างของแสงภายในกล่องทดสอบก่อนการทดสอบจริง โดยภายในกล่องทดสอบจะต้องมีค่าการส่องสว่างเท่ากับศูนย์ จึงจะถือได้ว่าหุ่นจำลองดังกล่าวไม่เกิดการเล็ดลอดของแสงจากภายนอก และแสงสว่างภายในหุ่นจำลองต้องเป็นแสงจากช่องแสงกระจกที่ทำการทดสอบเท่านั้น

ในการทดสอบส่วนของความร้อนที่เกิดขึ้นในกล่องทดสอบ จะมีการวัดค่าอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบ และค่าอุณหภูมิผิวกระจก จึงต้องทำการอุดรอยรั่วต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งหมดก่อนการทดสอบจริง เพื่อไม่ให้อากาศภายในเล็ดลอดออกไปได้

3.2.3 ตำแหน่งที่ทำการวัดปริมาณความส่องสว่าง และอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบ

ในการศึกษาจะทำการวัดปริมาณแสงสว่างในแนวระนาบจากตำแหน่งใกล้ช่องแสงจนถึงผนังด้านในสุดของกล่องทดสอบ ที่ระดับความสูง 7.5 เซนติเมตร จากพื้น (แทนความสูงของพื้นที่ทำงานในอาคารทั่วไป ที่ระดับ 75 เซนติเมตร) โดยวัดทุกๆ ระยะ 10 เซนติเมตร โดยเริ่มจากระยะ 5 เซนติเมตร, 15 เซนติเมตร, 25 เซนติเมตร, 35 เซนติเมตร, 45 เซนติเมตร และ 55 เซนติเมตร จากช่องแสงไปยังผนังด้านตรงข้ามตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างที่ระยะต่างๆ ของช่องแสง และในการวัดจะวัดที่ระดับ 7.5 เซนติเมตรจากพื้น ซึ่งเป็นระนาบการใช้งานปรกติของห้องทั่วไป ตามอัตราส่วนของกล่องทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลองคือ เครื่องมือวัดแสงมินอลต้าลักซ์มิเตอร์ จะติดตั้งตัวรับแสง (Sensor) ไว้ภายในหุ่นจำลอง ส่วนจอแสดงผลจะอยู่ภายนอกซึ่งจะไม่มีผลกระทบค่าความส่องสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลอง และติดตั้งตัวรับแสงไว้ที่ระดับ 7.5 เซนติเมตรจากพื้นตามมาตราส่วนของหุ่นจำลอง

ในการเก็บข้อมูลความสว่างที่จุดต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ภายในหุ่นจำลอง เพื่อให้ตำแหน่งที่เก็บข้อมูลมีความเที่ยงตรงและมีความสะดวก จึงได้ทำการยึดติดตัวรับแสง และสายของตัวรับแสงบนก้านกระดาษแข็งที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับพื้น พร้อมทั้งทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งของตัวรับแสงที่ระยะต่างๆ บนกระดาษซึ่งสามารถเลื่อนและสังเกตได้ง่ายจากภายนอกหุ่นจำลอง

ในการทดสอบทำการทดสอบหุ่นจำลองในบริเวณสนามหญ้าที่เป็นพื้นที่โล่ง เนื่องจากต้องการศึกษาเฉพาะอิทธิพลของท้องฟ้า โดยปราศจากสภาพแวดล้อมโดยรอบหรืออาคารข้างเคียง

ในส่วนของการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิในกล่องทดสอบนั้น ทำการติดตั้งหัวเซนเซอร์ Thermo-Couple Type J วัดอุณหภูมิอากาศในแต่ละกล่อง 3 ตำแหน่ง เรียงจากพื้นถึงเพดาน ที่ระยะ 10, 30 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ และหัวเซนเซอร์ Thermo-Couple Type J วัดอุณหภูมิผิวกระจกในแต่ละกล่อง 2 ตำแหน่ง คือ ผิวกระจกด้านนอก และผิวกระจกด้านใน ในส่วนตรงกลางแผ่นกระจก

รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้งกล่องทดสอบย่อย

3.3 การกำหนดขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและบันทึกข้อมูล

ก่อนทำการทดลองเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ นั้น ต้องทำการทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่จะนำมาใช้เก็บข้อมูลและบันทึกข้อมูลในส่วนต่างๆ ให้มีความเท่าเทียมกันทั้งหมดก่อน โดยแบ่งเครื่องมือออกเป็น 2 ส่วน คือ เครื่องมือเก็บ-บันทึกค่าความส่องสว่าง และเครื่องมือเก็บ-บันทึกค่าอุณหภูมิความร้อน

ในส่วนของเครื่องมือเก็บ-บันทึกค่าอุณหภูมิความร้อนนั้น ก่อนนำหัวเซนเซอร์ Thermo-Couple Type J ไปใช้ จะต้องทดสอบความสามารถในการวัดค่าอุณหภูมิสูงสุดจนกระทั่งต่ำสุด เพื่อให้เซนเซอร์ทุกตัวอ่านค่าได้เท่าเทียมกัน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ และต้องป้องกันความชื้นไม่ให้โดนหัวเซนเซอร์ เนื่องจากความชื้นจะทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดได้ง่าย

ในส่วนของเครื่องมือเก็บ-บันทึกค่าความส่องสว่างนั้น ก่อนนำเครื่องมือไปใช้ จะต้องทดสอบวัดค่าความส่องสว่างหลายๆ ค่า เริ่มจาก 0 – 50,000 Lux เพื่อให้เครื่องมือทุกตัวอ่านค่าได้เท่าเทียมกัน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบผลของความร้อนที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร

<u>การทดสอบที่ 1 การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง</u>

1.1 <u>การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด</u>

เป็นการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ในส่วนของตัวแปรเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด (Shading Coefficient, SC) ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางด้านทิศเหนือ ไม่มีมวลสารภายในกล่องทดสอบย่อย ทำการปรับอากาศภายในห้องทดลองตลอดทั้งวันและเปิดฝา กล่องทดลองย่อยเพื่อให้ได้ความเย็นจากการปรับอากาศ ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในคงที่

อุปกรณ์ที่ใช้ คือ กล่องทดสอบย่อยจำนวน 4 กล่อง ทำการทดสอบในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน กระจกทดสอบมี 4 ชนิด ดังนี้

กล่องทดลองย่อย ที่ 1 ติดตั้งกระจกใส (Clear Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 2 ติดตั้งกระจกสี (Tinted Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 3 ติดตั้งกระจก Solar Reflective Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 4 ติดตั้งกระจก Heat-Stop Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน

เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00:00 น. ถึงเวลา 12:00 น. ของวันรุ่งขึ้น (36 ชั่วโมง) และทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที ข้อมูลที่ทำการวัดและบันทึก มีดังนี้

1. อุณหภูมิบริเวณผิวภายนอกของกระจก
2. อุณหภูมิบริเวณผิวภายในของกระจก
3. อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง
4. อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง

หลังจากการเก็บข้อมูลแล้ว จะนำมาสร้างแผนภูมิ เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้น ว่ากระจกชนิดใดเหมาะสมกับการใช้กับช่องแสงกระจกด้านข้าง ในด้านของการลดการถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศและไม่มีการปรับอากาศ

1.2 <u>การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกแต่ละชนิด</u>

เป็นการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ในส่วนของตัวแปรเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกแต่ละชนิด (U-Value) ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางด้านทิศเหนือ ไม่มีมวลสารภายในกล่องทดสอบย่อย ปิดฝากล่องทดลองย่อยด้านใน ทำการปรับอากาศภายในห้องทดลองตลอดทั้งวันเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองให้มีค่าคงที่ (ได้รับอิทธิพลจากภายนอกเท่านั้น)

อุปกรณ์ที่ใช้ คือ กล่องทดสอบย่อยจำนวน 4 กล่อง ทำการทดสอบในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน กระจกทดสอบมี 4 ชนิด ดังนี้

กล่องทดลองย่อย ที่ 1 ติดตั้งกระจกใส (Clear Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก
กล่องทดลองย่อย ที่ 2 ติดตั้งกระจกสี (Tinted Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก
กล่องทดลองย่อย ที่ 3 ติดตั้งกระจก Solar Reflective Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก
กล่องทดลองย่อย ที่ 4 ติดตั้งกระจก Heat-Stop Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก

เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00:00 น. ถึงเวลา 12:00 น. ของวันรุ่งขึ้น (36 ชั่วโมง) และทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที ข้อมูลที่ทำการวัดและบันทึก มีดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบ
2. อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง

หลังจากการเก็บข้อมูลแล้ว จะนำมาสร้างแผนภูมิ เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้น ว่ากระจกชนิดใดเหมาะสมกับการใช้กับช่องแสงกระจกด้านข้าง ในด้านของการลดการถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศและไม่มีการปรับอากาศ

1.3 <u>การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างในทิศทาง 4 ทิศ</u>

เป็นการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศทั้งสี่ทิศ ทำการปรับอากาศภายในห้องทดลองตลอดทั้งวัน ไม่มีมวลสารภายในกล่องทดสอบย่อย

อุปกรณ์ที่ใช้ คือ กล่องทดสอบย่อยจำนวน 4 กล่อง ทำการทดสอบในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน แบ่งเป็น 2 ช่วงการทดลอง คือ

1. การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศเหนือและทิศใต้
2. การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

โดยที่กระจกทดสอบมี 4 ชนิด ดังนี้

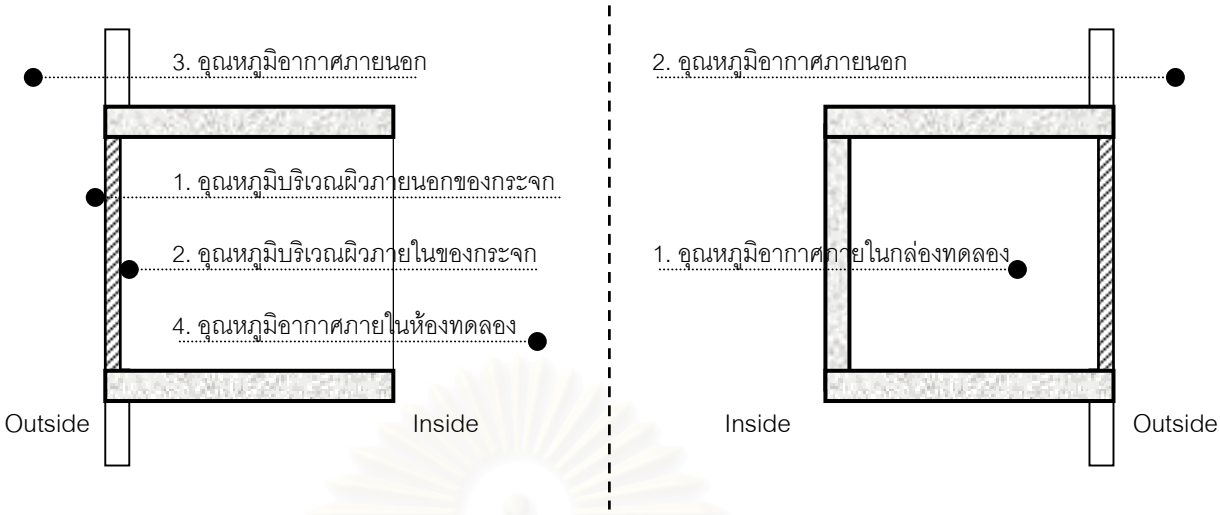
กล่องทดลองย่อย ที่ 1 ติดตั้งกระจกใส (Clear Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 2 ติดตั้งกระจกสี (Tinted Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 3 ติดตั้งกระจก Solar Reflective Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 4 ติดตั้งกระจก Heat-Stop Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน

เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 00:00 น. ถึงเวลา 12:00 น. ของวันรุ่งขึ้น (36 ชั่วโมง) และทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที ข้อมูลที่ทำการวัดและบันทึก มีดังนี้

1. อุณหภูมิบริเวณผิวภายนอกของกระจก
2. อุณหภูมิบริเวณผิวภายในของกระจก
3. อุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง
4. อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง

หลังจากการเก็บข้อมูลแล้ว จะนำมาสร้างแผนภูมิ เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้น ว่ากระจกชนิดใดเหมาะสมกับการใช้กับช่องแสงกระจกด้านข้าง ในด้านของการลดการถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศและไม่มีการปรับอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กล่องทดสอบย่อยที่เปิดฝาด้านหลัง **กล่องทดสอบย่อยที่ปิดฝาด้านหลัง**

รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งการวัดค่าอุณหภูมิของกล่องทดสอบ

<u>การทดสอบที่ 2 การทดสอบพฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งาน</u>

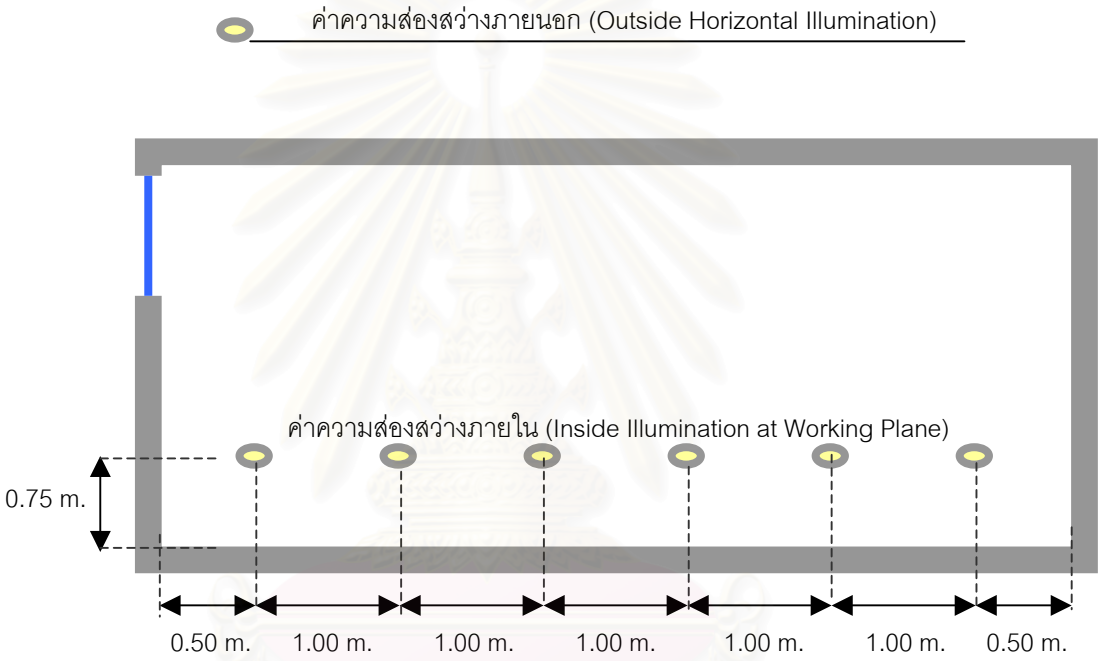
ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบพฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคาร ในสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังต่างๆ กันไป เพื่อศึกษาแนวโน้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องทดสอบขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 3 เมตร โดยกำหนดให้วัสดุที่ใช้ทำพื้น-ผนัง-ฝาเพดาน มีค่าการสะท้อนของแสง เท่ากับ 30% - 50% - 70% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าความส่องสว่างจากแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ที่ต้องนำมาใช้เพิ่มเติมต่อไป โดยค่าความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งาน (Working Plane) ที่กำหนดไว้คือ 500 Lux

เมื่อทราบแนวโน้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องแล้ว จึงนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างที่เหมาะสมต่อไป โดยได้ทำการทดสอบในสี่ทิศหลัก คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ทำการทดสอบ ณ เวลา 8:00 น. 12:00 น. และ 16:00 น. ตามลำดับ ทำการเปลี่ยนขนาดพื้นที่ของกระจกช่องแสงกระจกต่อพื้นที่ผนังในทิศทางที่ทดสอบ ตั้งแต่ 10%, 20%, 30%,..., 100% ทดสอบกระจกทั้ง 4 ตัวอย่าง เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน โดยวางตำแหน่งขอบบนของกระจกที่ระดับเพดานแล้วเพิ่มสัดส่วนพื้นที่กระจกเรื่อยๆ ตามสัดส่วนดังกล่าว เพื่อศึกษาความแตกต่างของค่าความส่องสว่างระหว่างกระจกแต่ละตัวอย่าง เปรียบเทียบความส่องสว่างในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก) มีรายละเอียดดังตารางที่ 3.5

หันช่องแสงแสงด้านข้างไปทั้งสี่ทิศทาง โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 05:00 น. ถึงเวลา 19:00 น. โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง ข้อมูลที่ทำการวัดและบันทึก มีดังนี้

1. ค่าความส่องสว่างภายในกล่องทดสอบที่ระยะ 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 ม.จากช่องแสงด้านข้าง
2. ค่าความส่องสว่างภายนอก

หลังจากการเก็บข้อมูลแล้ว จะนำมาสร้างแผนภูมิ เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้น ว่ากระจกแต่ละตัวอย่างสามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้ช่วงเวลาไหน อย่างไร



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งการวัดค่าความส่องสว่างภายในและภายนอก

รูปที่ 3.7 แสดงระยะสัดส่วน (ระยะ A, B, C) ของรูปแบบช่องแสงกระจกด้านข้างตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงรูปแบบของช่องแสงกระจกด้านข้างตามสัดส่วนพื้นที่ของช่องแสงต่อพื้นที่ผนังด้านหนึ่งๆ

No.	รูปตัดตามขวาง	ระยะจากเพดาน (ม.)		
		A	B	C
1	0% A	0.00	-	-
2	10% A	0.30	-	-
3	20% A	0.60	-	-
4	30% A	0.90	-	-
5	40% A	1.20	-	-
6	50% A	1.50	-	-
7	60% A	1.80	-	-
8	70% A	2.10	-	-
9	80% A	2.40	-	-
10	90% A	2.70	-	-
11	100% A	3.00	-	-
12	20% B	0.30	0.30	0.30
13	20% C	0.30	0.60	0.30
14	20% D	0.30	0.90	0.30
15	20% E	0.30	1.20	0.30
16	20% F	0.30	1.50	0.30
17	30% B	0.30	0.30	0.60
18	30% C	0.30	0.60	0.60
19	30% D	0.30	0.90	0.60
20	30% E	0.30	1.20	0.60
21	30% F	0.60	0.30	0.30
22	30% G	0.60	0.60	0.30

No.	รูปตัดตามขวาง	ระยะจากเพดาน (ม.)		
		A	B	C
23	30% H	0.60	0.90	0.30
24	30% I	0.60	1.20	0.30
25	40% B	0.30	0.30	0.90
26	40% C	0.30	0.60	0.90
27	40% D	0.30	0.90	0.90
28	40% E	0.60	0.30	0.60
29	40% F	0.60	0.60	0.60
30	40% G	0.60	0.90	0.60
31	40% H	0.90	0.30	0.30
32	40% I	0.90	0.60	0.30
33	40% J	0.90	0.90	0.30
34	50% B	0.30	0.30	1.20
35	50% C	0.30	0.60	1.20
36	50% D	0.60	0.30	0.90
37	50% E	0.60	0.60	0.90
38	50% F	0.90	0.30	0.60
39	50% G	0.90	0.60	0.60
40	50% H	1.20	0.30	0.30
41	50% I	1.20	0.60	0.30
42	60% B	0.30	0.30	1.50
43	60% C	1.50	0.30	0.30

ขั้นตอนที่ 4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บและบันทึกข้อมูล

1. **เครื่องเก็บบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ** (Campbell Scientific Data Logger 23X)

เป็นเครื่องมือเก็บบันทึกข้อมูล สามารถจัดเก็บข้อมูลได้หลายชนิดอย่างอัตโนมัติ จัดเก็บข้อมูลได้ 12 ช่องสัญญาณเมื่อต่อแบบ Differential และ 24 ช่องสัญญาณเมื่อต่อแบบ Single end ทำงานโดยอาศัยหลักการความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยแรงดันไฟฟ้าจะถูกวัดและแปลงค่าออกมาในรูปของตัวเลข (Digital) ที่อ่านค่าและบันทึกเก็บได้โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PC208W ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ในการออกคำสั่งให้เครื่องมือทำงานต้องเขียนเป็นโปรแกรม CSI ผ่านตัวโปรแกรม PC208W ทำการวัดข้อมูลแบบ on line ทำได้โดยใช้ support software ดังกล่าว (PC208W) บนคอมพิวเตอร์ที่ต่อเชื่อมระหว่างเครื่องเก็บข้อมูลกับ comport แล้วบันทึกข้อมูลที่ต้องการลงบน Hard Disk ของเครื่องคอมพิวเตอร์ทันที โดยต้องเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ตลอดเวลาระหว่างการเก็บข้อมูลและบันทึก ในงานวิจัยนี้มีหัววัด (Sensors) ทั้งสิ้น 3 ชนิดที่ใช้กับ Campbell Scientific Data Logger 23X ดังต่อไปนี้

1.1 Thermo-Couple เป็นสายเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ สามารถต่อกับ Campbell Scientific Data Logger 23X

1.2 Photometric Sensors

1.3 Pyranometer Sensors

รูปที่ 3.8 แสดง Campbell Data Logger, Photometric Sensor, Pyranometer Sensor ตามลำดับ

2. **มินอลต้าลักซ์มิเตอร์** (Minolta T -10)

เป็นเครื่องมือวัดแสงที่ใช้วัดความสว่างที่เกิดขึ้นภายในกล่องทดสอบ (Model) โดยติดตั้งตัวรับแสง(sensor) ไว้บนฐาน ซึ่งสมมติให้ความสูงของฐานบวกกับความสูงของตัวรับแสงที่บริเวณจุดรับแสงมีความสูงเท่ากับความสูงระดับใช้งาน (Working plane) ที่ 0.75 เมตร โดยที่จุดรับแสงจะมีสายเชื่อมต่อมายังมิเตอร์ดังกล่าวภายนอกหุ่นจำลอง ซึ่งจอแสดงผลของเครื่องวัด จะตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สะดวกในการอ่านข้อมูล และไม่มีผลกระทบกับค่าความสว่าง และการกระจายแสงของหุ่นจำลอง

รูปที่ 3.9 **แสดงเครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง** Illumination Meter (Minolta T -10)

การเก็บข้อมูล จะเก็บข้อมูลที่ระยะต่างๆ ของหุ่นจำลอง เพื่อให้ตำแหน่งของข้อมูลที่ได้มีความละเอียดมากพอ ในระยะความห่างของแต่ละจุดที่พอเพียง ที่ไม่ใกล้ หรือไกลเกินไป เนื่องจากจะมีผลต่อการนำข้อมูลมาสรุปเป็นแผนภูมิ

2. **ลักซ์มิเตอร์** (Lux Meter)

เป็นเครื่องมือวัดแสงที่มีช่วงการวัดแสง (Measuring range) อยู่ระหว่าง 0 – 200,000 ลักซ์ ซึ่งเพียงพอสำหรับการวัดแสงภายนอกที่ไม่ได้รับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ วัดค่าระดับการส่องสว่างภายนอกที่ตกกระทบลงบนแนวระนาบนอน ไม่รวมรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Exterior Illumination Exclude Direct Sun) การวัดแสงการวัดแสงจะเริ่มจาก การปรับเทียบเครื่อง (Calibrate) เพื่อให้เข้าสู่สภาวะพร้อมทำงาน การวัดจะนำลักซ์มิเตอร์ไปติดตั้งยังขาตั้งที่ได้มีการเตรียมไว้ในสถานที่ที่ต้องการวัดแสง ซึ่งจะเป็นกลางแจ้ง โดยขาตั้งที่ได้เตรียมไว้ ที่สามารถปรับเปลี่ยนให้เพื่อให้เกิดเงาแก่อุปกรณ์รับแสงที่ใช้วัดแสงได้

รูปที่ 3.10 **เครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง** Illumination Meter (DX-200)

ในการวัดค่าระดับรังสีดวงอาทิตย์ และความส่องสว่างภายนอกไม่รวมรังสีดวงอาทิตย์อาศัยอุปกรณ์บังแดดที่เป็นแถบเงา (Shadow Band) มีความทึบแสงเพื่อป้องกันไม่ให้ตัววัดได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ความกว้างของแถบเงากำหนดให้มีความกว้างน้อยที่สุดเพื่อให้ตัววัดสามารถรับค่ารังสีกระจายของดวงอาทิตย์มากที่สุด แถบเงานี้มีลักษณะเป็นแถบโค้งพาดไปตามวงโคจรของดวงอาทิตย์ โดยอาศัยตารางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (Solar Chart) เพื่อปรับตั้งแถบเงาให้สามารถบังดวงอาทิตย์ได้ในวันและเวลาที่ต้องการซึ่งหากมีการคลาดเคลื่อนการปรับมุมของแถบเงา ก็อาศัยการปรับด้วยมือโดยการสังเกตเงาที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทำการวัด

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

- เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความส่องสว่างภายในผ่านกระจกทดสอบแต่ละชนิด ในทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก เพื่อหาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้
- เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวของกระจกทดสอบแต่ละชนิด ในทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก เพื่อหาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้
- เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจกทดสอบแต่ละชนิด ในทิศเหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก เพื่อหาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ (กรณีอาคารปรับอากาศ)
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิตลอดวัน เพื่อตรวจดูระดับของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก
- เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบสูงสุดและต่ำสุดตลอดวัน เพื่อตรวจระดับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในกล่องทดสอบ

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการทดสอบ

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งในด้านอุณหภูมิและด้านแสงสว่างสว่างมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อทำการหาค่าใช่จ่ายตลอดอายุการใช้งานในระยะเวลา 10 ปี โดยเปรียบเทียบกับราคาในการติดตั้ง การบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายในระหว่างการใช้งาน แล้วนำผลที่ได้นำเสนอในรูปแบบของแผนภูมิเปรียบเทียบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้กระจกชนิดต่างๆ ให้เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภทในเชิงการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง

4.1.1 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด

เป็นการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ในส่วนของตัวแปรเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด (Shading Coefficient, SC) ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางด้านทิศเหนือ ทำการปรับอากาศภายในห้องทดลองตลอดทั้งวัน ไม่มีมวลสารภายในกล่องทดสอบย่อย

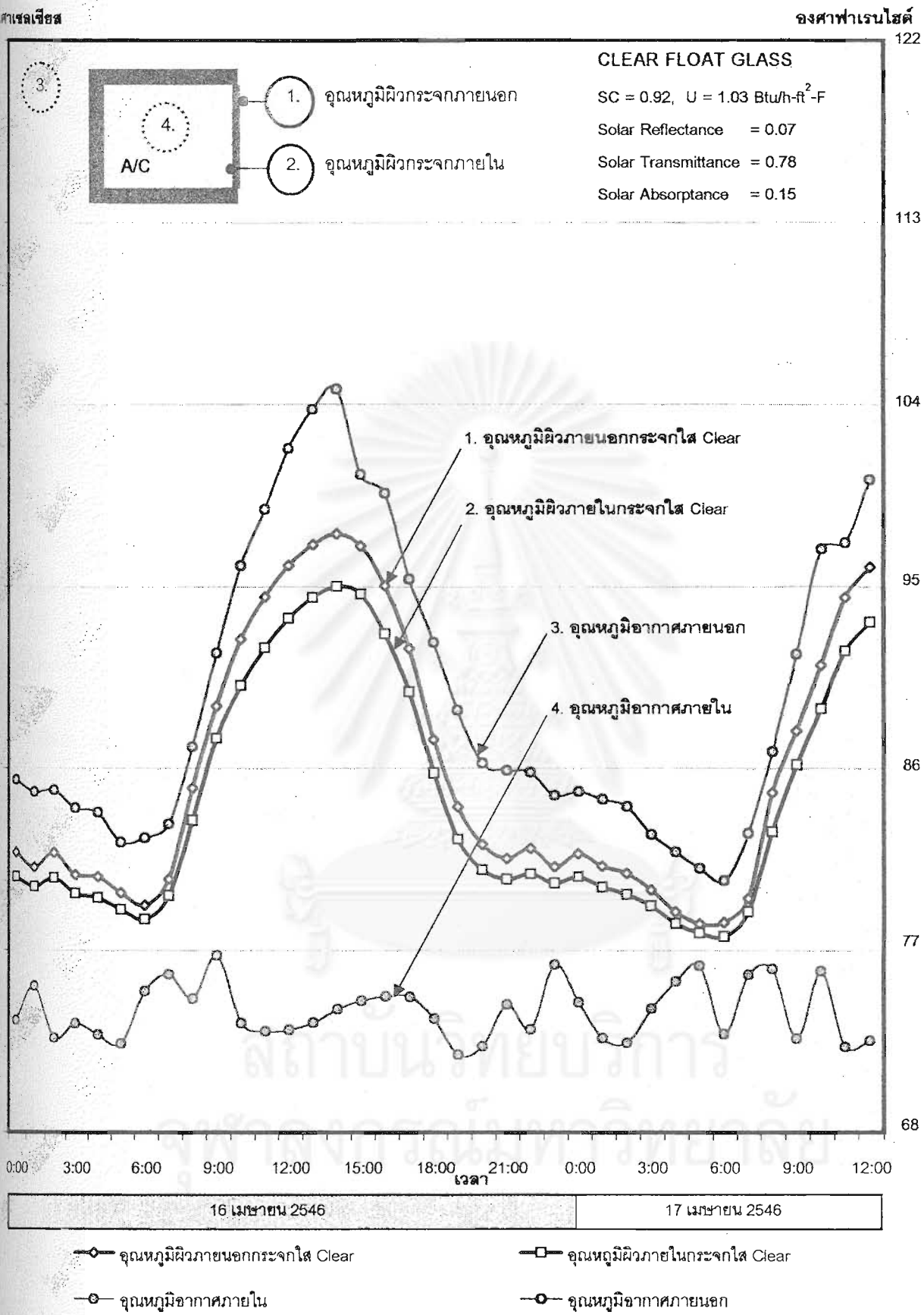
อุปกรณ์ที่ใช้ คือ กล่องทดสอบย่อยจำนวน 4 กล่อง ทำการทดสอบในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน กระจกทดสอบมี 4 ชนิด ดังนี้

กล่องทดลองย่อย ที่ 1 ติดตั้งกระจกใส (Clear Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 2 ติดตั้งกระจกสี (Tinted Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 3 ติดตั้งกระจก Solar Reflective Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 4 ติดตั้งกระจก Heat-Stop Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน

ภายนอกห้องทดลอง

ภายในห้องทดลอง (เปิดฝากล่องทดลองย่อย)

รูปที่ 4.1 **แสดงการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจก (ปรับอากาศ)**



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Clear ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. หันช่องแสงกระจกไปทางทิศเหนือ พบว่า มีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุด 36.46 $^{\circ}$C เวลา 14:00 น. และมีอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด 35.01 $^{\circ}$C เวลา 14:00 น. ไม่มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag)

การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกระจกใส (Clear Float Glass) **ในสภาวะปรับอากาศ (แผนภูมิที่** 4.1)

กระจกใส (SC = 0.92, U = 1.03 Btu/h-ft^2-F)

Peak Temperature

มีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	40.42	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด	เท่ากับ	24.87	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 09:00 น.
มีอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	36.46	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิผิวกระจกภายในสูงสุด	เท่ากับ	35.01	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.

มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) **เท่ากับ 0 ชั่วโมง**

Temperature Swing

มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	10.21	องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายในสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	9.14	องศาเซลเซียส

Average Temperature

มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก	เท่ากับ	32.56	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายใน	เท่ากับ	23.31	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก	เท่ากับ	30.37	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน	เท่ากับ	29.49	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน

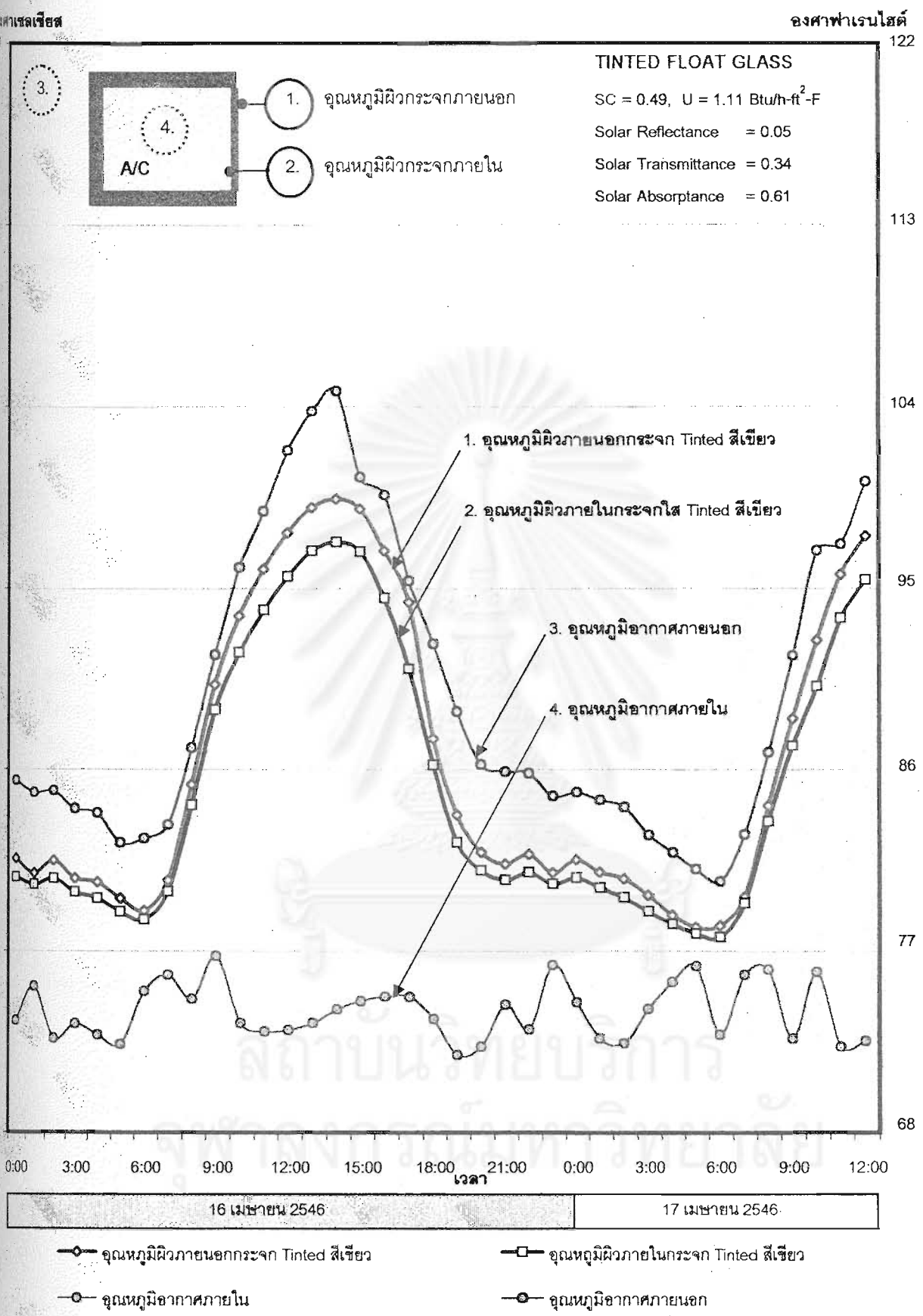
มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก

เท่ากับ 2.19 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน

เท่ากับ 3.07 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Tinted ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. ห้องช่องแสงกระจกไปทางทิศเหนือ พบว่า มีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุด 37.46 °C เวลา 14:00 น. และมีอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด 36.27 °C เวลา 14:00 น. ไม่มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag)

การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกระจกสี (Tinted Float Glass) **ในสภาวะปรับอากาศ (แผนภูมิที่** 4.2)

กระจกสี (SC = 0.49, U = 1.11 Btu/h-ft^2-F)

Peak Temperature

มีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	40.42	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด	เท่ากับ	24.87	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 09:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศผิวกระจกภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	37.46	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศผิวกระจกภายในสูงสุด	เท่ากับ	36.27	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.

มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) **เท่ากับ 0 ชั่วโมง**

Temperature Swing

มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	11.34	องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายในสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	10.40	องศาเซลเซียส

Average Temperature

มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก	เท่ากับ	32.56	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายใน	เท่ากับ	23.31	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก	เท่ากับ	30.67	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน	เท่ากับ	29.93	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน

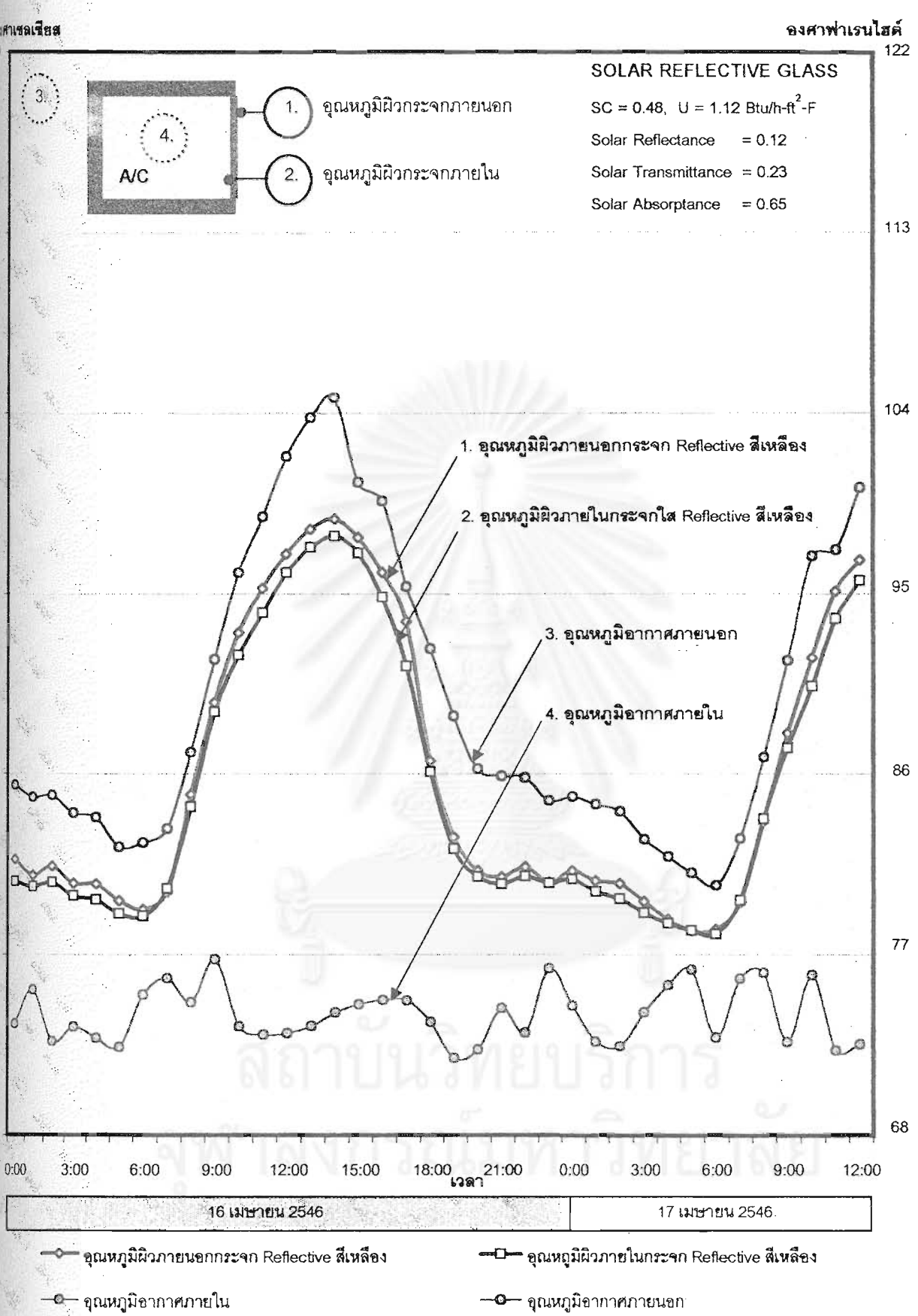
มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก

เท่ากับ 1.89 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน

เท่ากับ 2.63 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Reflective ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. หันช่องแสงกระจกไปทางทิศเหนือ พบว่า มีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุด 37.06 $^{\circ}$C เวลา 14:00 น. และมีอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด 36.58 $^{\circ}$C เวลา 14:00 น. ไม่มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag)

การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกระจก Solar Reflective Glass ในสภาวะปรับอากาศ (แผนภูมิที่ 4.3)

กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (SC = 0.48, U = 1.12 Btu/h-ft^2-F)

Peak Temperature

มีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	40.42	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด	เท่ากับ	24.87	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 09:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศผิวกระจกภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	37.06	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศผิวกระจกภายในสูงสุด	เท่ากับ	36.58	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.

มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) **เท่ากับ 0 ชั่วโมง**

Temperature Swing

มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	10.81	องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายในสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	10.52	องศาเซลเซียส

Average Temperature

มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก	เท่ากับ	32.56	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายใน	เท่ากับ	23.31	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก	เท่ากับ	30.42	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน	เท่ากับ	30.01	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน

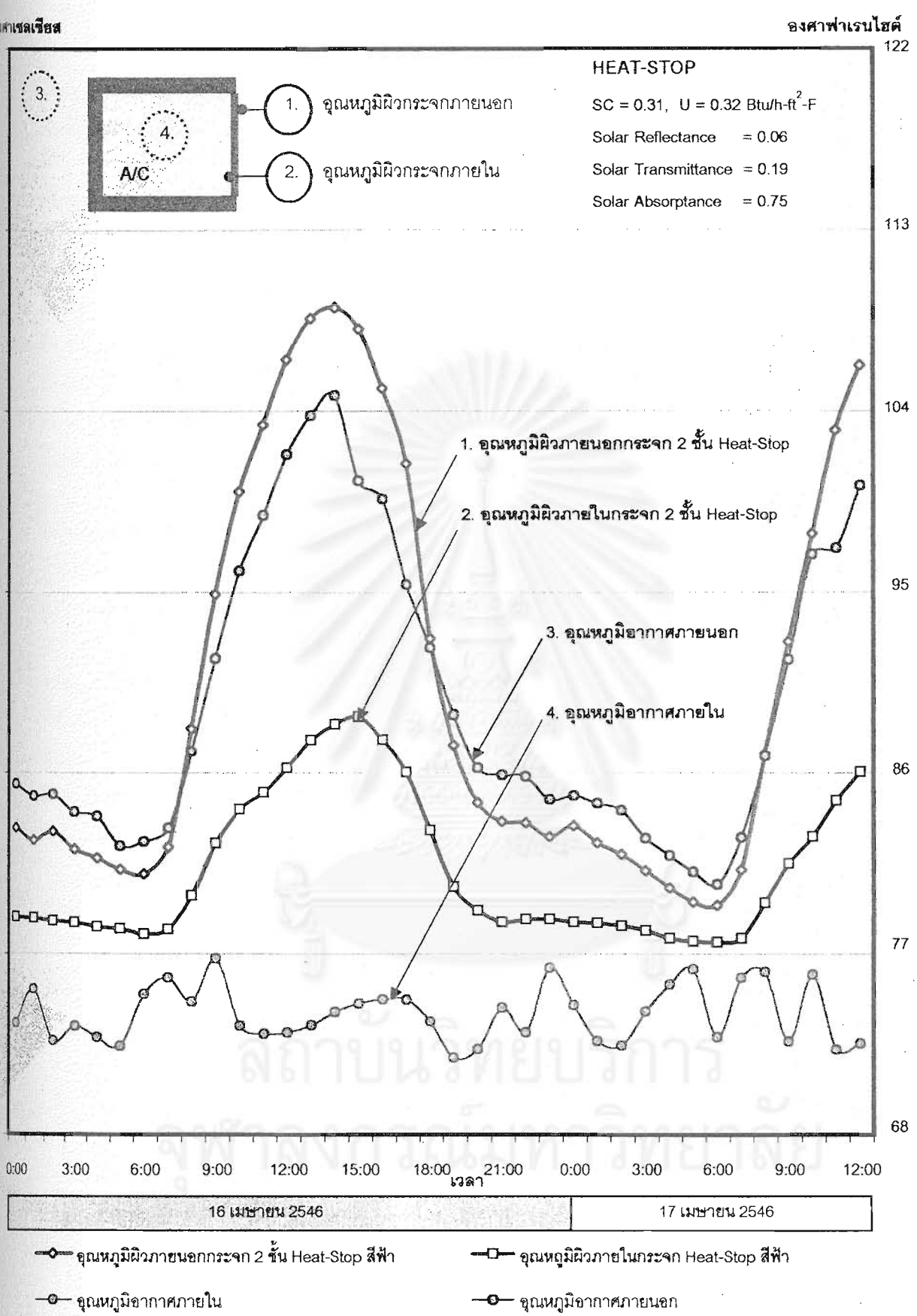
มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก

เท่ากับ 2.14 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน

เท่ากับ 2.55 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจก Heat-Stop ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. หันช่องแสงกระจกไปทางทิศเหนือ พบว่า มีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุด 42.87 $^{\circ}$C เวลา 14:00 น. และมีอุณหภูมิผิวภายในสูงสุด 31.57 $^{\circ}$C เวลา 15:00 น. ซึ่งมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) เป็น 1 ชั่วโมง

การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกระจก Heat-Stop Glass ในสภาวะปรับอากาศ (แผนภูมิที่ 4.4)

กระจก Heat-Stop (SC = 0.31, U = 0.32 Btu/h-ft^2-F)

Peak Temperature

มีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	40.42	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด	เท่ากับ	24.87	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 09:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศผิวกระจกภายนอกสูงสุด	เท่ากับ	42.87	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศผิวกระจกภายในสูงสุด	เท่ากับ	31.57	องศาเซลเซียส	ณ เวลา 15:00 น.

มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) **เท่ากับ 1 ชั่วโมง**

Temperature Swing

มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	15.66	องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายในสูงสุดและต่ำสุด	เท่ากับ	6.02	องศาเซลเซียส

Average Temperature

มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก	เท่ากับ	32.56	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายใน	เท่ากับ	23.31	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก	เท่ากับ	33.09	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน	เท่ากับ	27.65	องศาเซลเซียส	ในช่วงเวลา 1 วัน

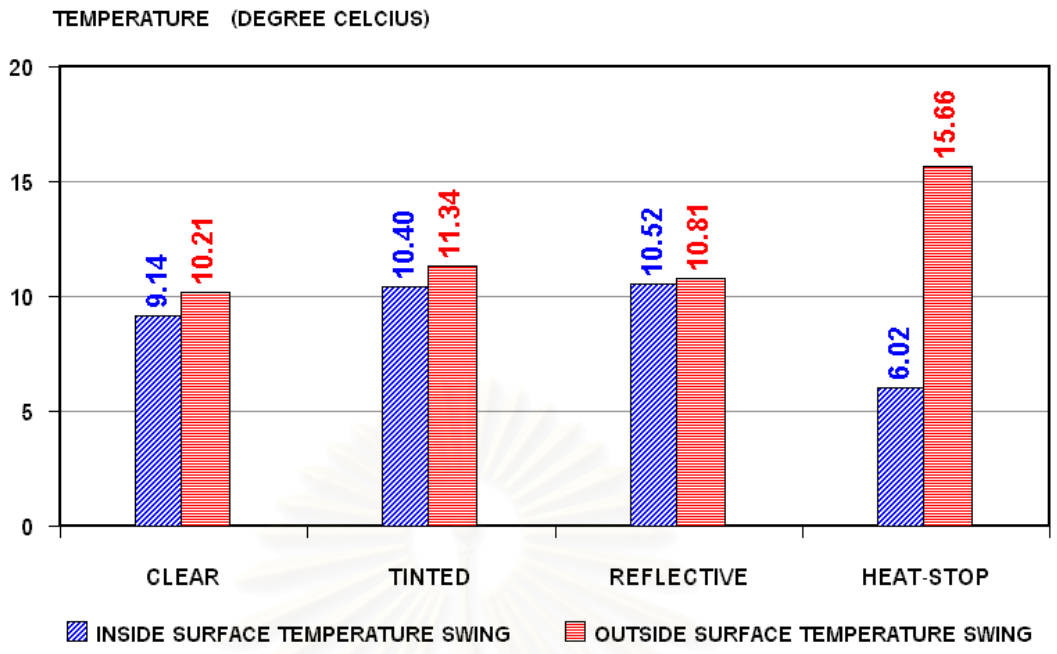
มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก

เท่ากับ 0.53 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

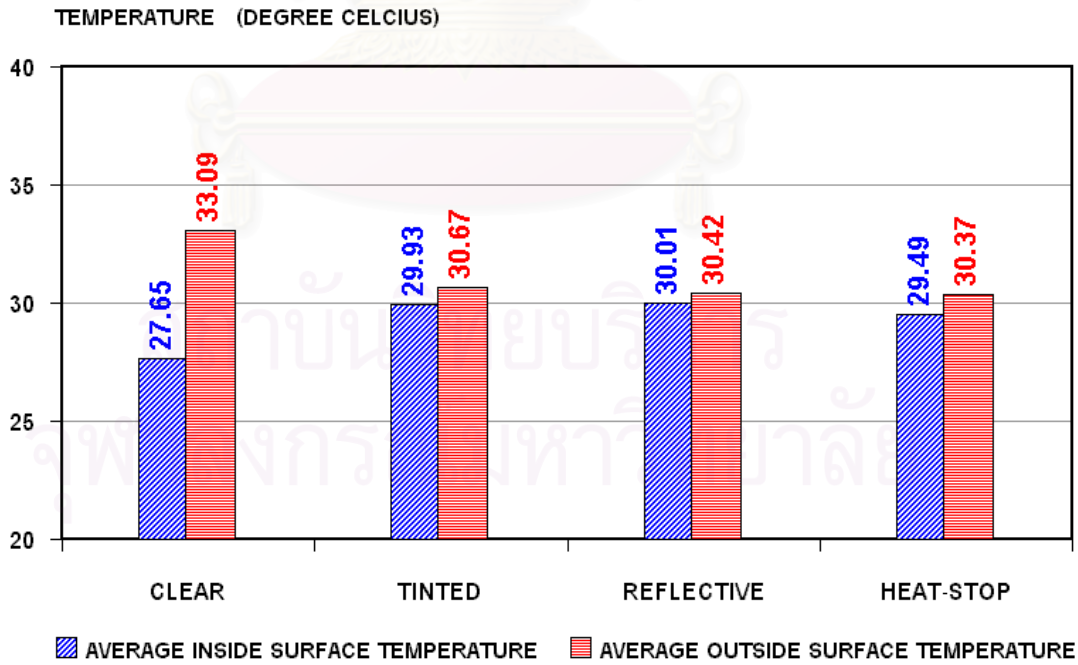
มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกภายใน

เท่ากับ 4.91 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายในสูงสุดและต่ำสุดของกระจกทั้งสี่ชนิด



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกภายนอก-ภายในในเวลา 1 วัน ของกระจกทั้งสี่ชนิด

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกสูงสุดและต่ำสุด (Temperature Swing) ของกระจกทดสอบทั้งสี่ชนิด พบว่า กระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีระยะห่างของความต่างอุณหภูมิมากกว่ากระจกชนิดอื่นมาก เนื่องจากมีความสามารถป้องกันอิทธิพลความร้อนจากสภาพแวดล้อมได้ดีกว่า โดยช่องว่างระหว่างกระจกที่บรรจุก๊าซอาร์กอนเป็นตัวหน่วงและป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ดี อีกทั้งยังช่วยรักษาความเย็นภายในอาคารได้คงที่มากกว่า (จากแผนภูมิที่ 4.5) ส่วนกระจกชั้นเดียวทั้งสามชนิดนั้น ความกันอิทธิพลความร้อนจากภายนอกได้ไม่ดี จึงทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกสูงสุดและต่ำสุด (Temperature Swing) ของกระจกทดสอบทั้งสามชนิดใกล้เคียงกันทั้งภายนอกและภายในอาคาร

การที่อุณหภูมิผิวภายนอกของกระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีค่าสูงมากกว่ากระจกชนิดอื่น เหตุผลอีกประการหนึ่งก็คือ เนื่องจากกระจกแผ่นนอกของกระจกชนิดนี้เป็นกระจก Tinted ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนได้ดี แต่ไม่สามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้ เพราะมีก๊าซเฉื่อยเป็นตัวกันและหน่วงความร้อนเอาไว้ ซึ่งจากข้อมูลของกระจกจะเห็นว่า กระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีค่า Solar Absorptance ที่สูงมาก คือ เท่ากับ 0.75 ในขณะที่กระจกใส กระจกสี และกระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ มีค่า Solar Absorptance เท่ากับ 0.15, 0.61, 0.65 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกเฉลี่ย (Average Surface Temperature) ของกระจกทดสอบทั้งสี่ชนิด พบว่า กระจกใสมีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวกระจกเฉลี่ยระหว่างภายในกับภายนอกมากที่สุด เนื่องจากมีค่า Solar Absorptance ที่ต่ำ จึงมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม ไม่เหมาะกับการนำมาใช้ในอาคารปรับอากาศ

นอกจากนี้จากการทดสอบยังพบว่า กระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop สามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้โดยมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) เท่ากับ 1 ชั่วโมง ในขณะที่กระจกชั้นเดียวทั้งสามชนิดไม่มีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเลย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

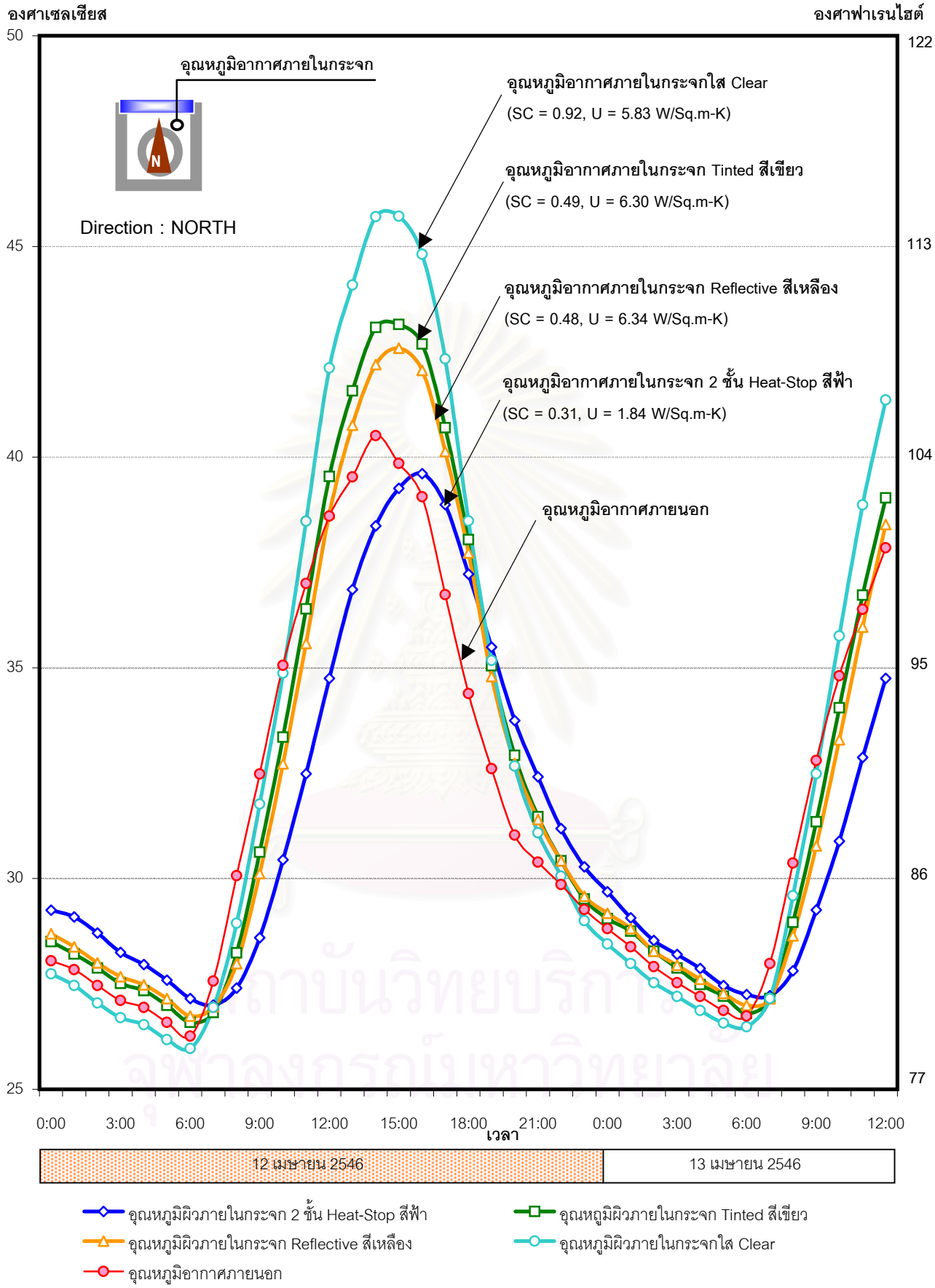
4.1.2 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกแต่ละชนิด

เป็นการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ในส่วนของตัวแปรเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกแต่ละชนิด (U-Value) ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางด้านทิศเหนือ ปิดฝากล่องทดลองย่อยด้านใน ทำการปรับอากาศภายในห้องทดลองตลอดทั้งวันเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองให้มีค่าคงที่ (ได้รับอิทธิพลจากภายนอกเท่านั้น) ไม่มีมวลสารภายในกล่องทดสอบย่อย

อุปกรณ์ที่ใช้ คือ กล่องทดสอบย่อยจำนวน 4 กล่อง ทำการทดสอบในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน กระจกทดสอบมี 4 ชนิด ดังนี้

กล่องทดลองย่อย ที่ 1 ติดตั้งกระจกใส (Clear Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก
กล่องทดลองย่อย ที่ 2 ติดตั้งกระจกสี (Tinted Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก
กล่องทดลองย่อย ที่ 3 ติดตั้งกระจก Solar Reflective Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก
กล่องทดลองย่อย ที่ 4 ติดตั้งกระจก Heat-Stop Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจก

รูปที่ 4.2 แสดงการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจก (ไม่ปรับอากาศ)



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ (ไม่ปรับอากาศ)

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 12 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 13 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่าในช่วงเช้า-บ่าย อากาศภายในของกระจกชั้นเดียวทุกชนิดมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในของกระจก 2 ชั้น และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในขณะที่กระจก 2 ชั้นมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกระจกทดสอบ 4 ชนิด ด้านทิศเหนือ (ไม่ปรับอากาศ) (แผนภูมิที่ 4.7)

1. **กระจกใส** Clear SC = 0.92, U = 5.83 W/Sq.m-K (1.03 Btu/h-ft^2-F)
2. **กระจก** Tinted **สีเขียว** SC = 0.49, U = 6.30 W/Sq.m-K (1.11 Btu/h-ft^2-F)
3. **กระจก** Reflective **สีเหลือง** SC = 0.48, U = 6.34 W/Sq.m-K (1.12 Btu/h-ft^2-F)
4. **กระจก** Heat-Stop SC = 0.31, U = 1.84 W/Sq.m-K (0.32 Btu/h-ft^2-F)

Peak Temperature

มีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด เท่ากับ 40.51 องศาเซลเซียส ณ เวลา 14:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจกใส Clear สูงสุด เท่ากับ 45.72 องศาเซลเซียส ณ เวลา 14:30 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจกสี Tinted สูงสุด เท่ากับ 43.15 องศาเซลเซียส ณ เวลา 15:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Reflective สูงสุด เท่ากับ 42.59 องศาเซลเซียส ณ เวลา 15:00 น.
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Heat-Stop สูงสุดเท่ากับ 39.61 องศาเซลเซียส ณ เวลา 16:00 น.
มีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) **เท่ากับ 0.5, 1, 1, 2 ชั่วโมง ตามลำดับ**

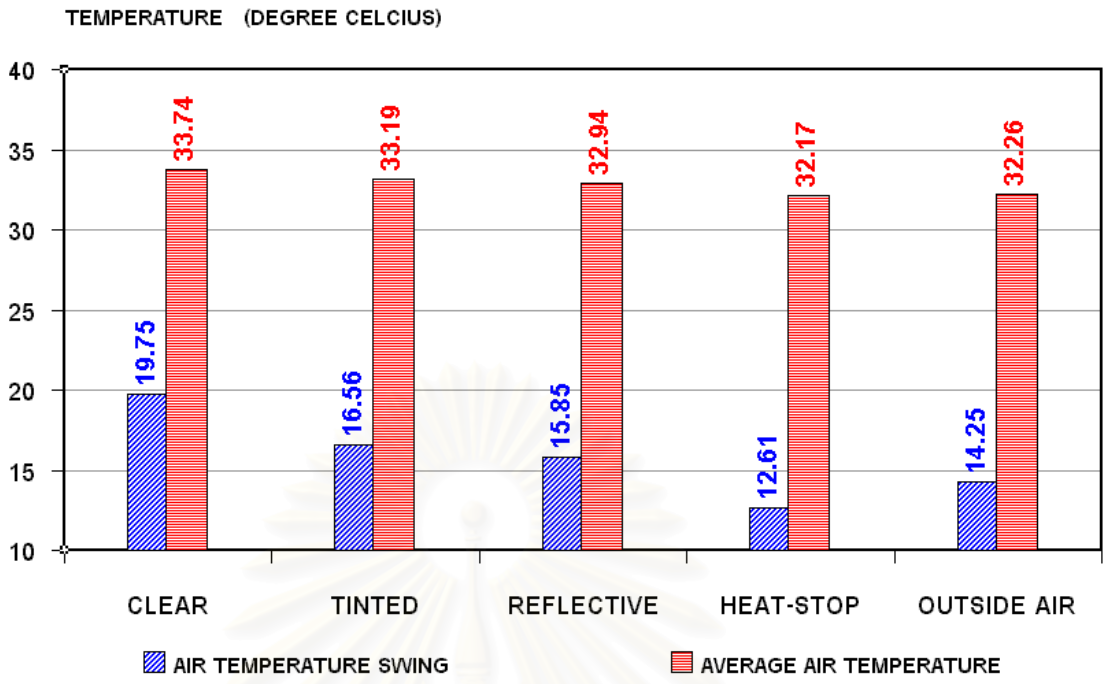
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจกใส Clear ต่ำกว่าอากาศภายนอก ตั้งแต่ 22:30 - 09:00 น. รวม 10.5 ชม.
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจกสี Tinted ต่ำกว่าอากาศภายนอก ตั้งแต่ 06:30 - 10:30 น. รวม 4.0 ชม.
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Reflective ต่ำกว่าอากาศภายนอก ตั้งแต่ 06:30 - 11:30 น. รวม 5.0 ชม.
มีอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Heat-Stop ต่ำกว่าอากาศภายนอก ตั้งแต่ 06:30 - 15:30 น. รวม 9.0 ชม.

Air Temperature Swing

มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 14.25 องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกระจกใส Clear สูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 19.75 องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกระจกสี Tinted สูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 16.56 องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Reflective สูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 15.85 องศาเซลเซียส
มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Heat-Stop สูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 12.61 องศาเซลเซียส

Average Air Temperature

มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายนอก เท่ากับ 32.26 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกระจกใส Clear เท่ากับ 33.74 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกระจกสี Tinted เท่ากับ 33.19 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Reflective เท่ากับ 32.94 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน
มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกระจก Heat-Stop เท่ากับ 32.17 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 1 วัน



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายในของกระจกทั้งสี่ชนิดและอุณหภูมิอากาศ

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองย่อย (Temperature Swing) ของกระจกทดสอบทั้งสี่ชนิด พบว่า กระจกใส Clear มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในมากที่สุด ถัดลงมาเป็น กระจกสี Tinted กระจก Reflective และกระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในน้อยที่สุด เนื่องจากกระจกใส Clear มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) มากกว่ากระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop ทำให้ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในกล่องทดลองกระจกใสมีมากกว่าและเร็วกว่ากระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายในกระจก (Average Air Temperature) ของกระจกทดสอบทั้งสี่ชนิด พบว่า กระจกใสมีอุณหภูมิอากาศภายในกระจกเฉลี่ยสูงที่สุด ถัดลงมาเป็น กระจกสี Tinted กระจก Reflective และกระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายในกระจกต่ำที่สุดและต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศ เนื่องจากกระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) น้อยกว่ากระจกใส Clear

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสู่อากาศภายใน พบว่า ความร้อนจากภายนอกสามารถถ่ายเทผ่านกระจกชั้นเดียว (กระจกใส Clear กระจกสี Tinted และกระจก Reflective) ได้ง่ายกว่ากระจก 2 ชั้น จึงทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกระจกชั้นเดียวเข้าไปมีปริมาณมากกว่า และถ่ายเทกลับออกมาเร็วกว่ากระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกลดต่ำลง และในช่วงเวลากลางคืนกระจก

ใสยังสูญเสียความร้อนกลับให้แก่ท้องฟ้าได้มากกว่ากระจกชนิดอื่นๆ ดังนั้นในช่วง 22.30 – 9.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในกระจกใสจึงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ทำให้ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในกว้างกว่ากระจกชนิดอื่น โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับกระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop ดังนั้นกระจกใสจึงรับและสูญเสียความร้อนได้เร็วกว่า เพราะกระจกใสมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) มากกว่านั่นเอง

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ของกระจกแต่ละชนิด พบว่าเนื่องจากการที่กระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) น้อยกว่ากระจกชนิดอื่น ตัวกระจกจึงทำหน้าที่เป็นตัวสกัดกั้นความร้อนที่จะถ่ายเทกลับสู่ภายนอกเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน ทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างช้าๆ อุณหภูมิอากาศภายในจึงค่อยๆ ลดลงอย่าช้าๆ (ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเป็น 2 ชั่วโมง) ส่งผลให้ในช่วงเวลาบ่าย-เช้าตรู่ (15.30 – 6.30 น.) อุณหภูมิอากาศภายในกระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในขณะที่กระจกใส ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) สูงกว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกค่อยๆ ลดต่ำลง อุณหภูมิอากาศภายในกระจกใสจึงลดต่ำลงด้วยเช่นกัน (ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเป็น 0.5 ชั่วโมง) และลดลงอย่างรวดเร็วตามอุณหภูมิอากาศภายนอก จนกระทั่งในช่วงเวลา 22.30 – 9.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในกระจกใสจึงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

ดังนั้นกระจกใส Clear จึงเหมาะสำหรับการใช้ติดตั้งในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ เนื่องจากมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนต่ำ และสามารถถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกได้ดี ในขณะที่กระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop เหมาะสำหรับการใช้ติดตั้งในอาคารที่ปรับอากาศ เนื่องจากมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูง และสามารถสกัดกันถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคารได้ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างในทิศทาง 4 ทิศ

เป็นการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศทั้งสี่ทิศ ทำการปรับอากาศภายในห้องทดลองตลอดทั้งวัน ไม่มีมวลสารภายในกล่องทดสอบย่อย

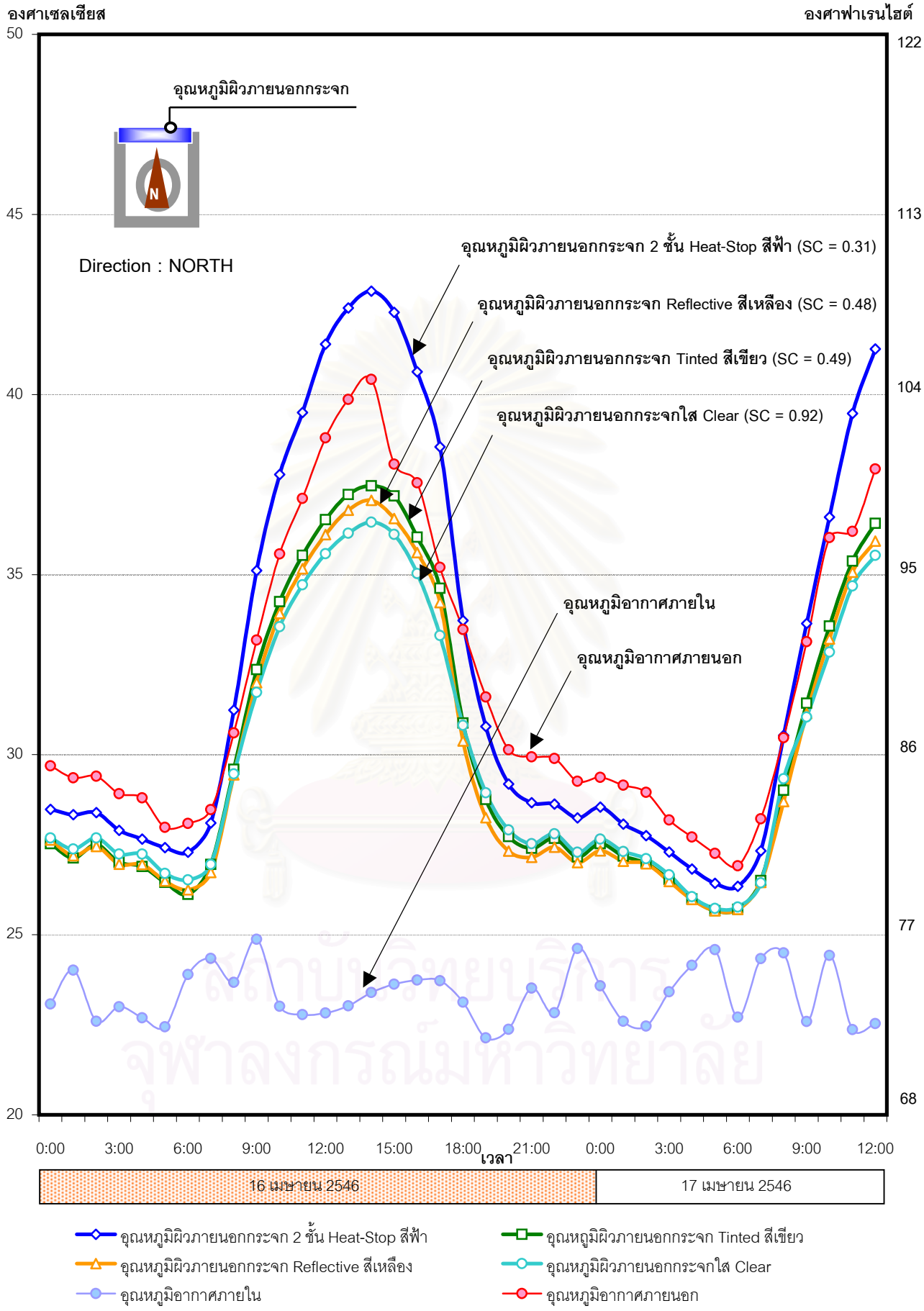
อุปกรณ์ที่ใช้ คือ กล่องทดสอบย่อยจำนวน 4 กล่อง ทำการทดสอบในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน แบ่งเป็น 2 ช่วงการทดลอง คือ

1. การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศเหนือและทิศใต้
2. การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด ด้วยการหันช่องแสงด้านข้างไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

โดยที่กระจกทดสอบมี 4 ชนิด ดังนี้

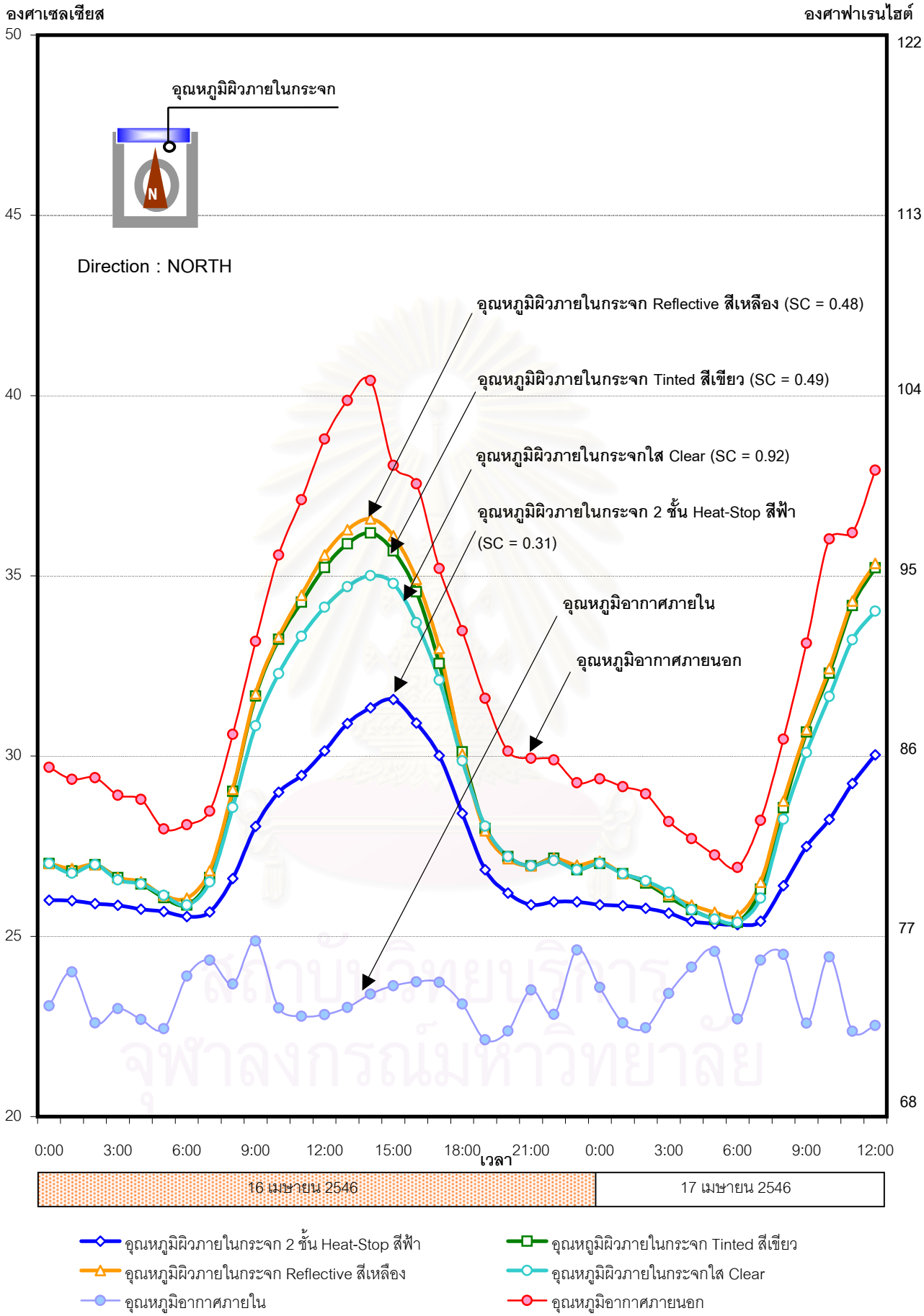
กล่องทดลองย่อย ที่ 1 ติดตั้งกระจกใส (Clear Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 2 ติดตั้งกระจกสี (Tinted Float Glass) เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 3 ติดตั้งกระจก Solar Reflective Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน
กล่องทดลองย่อย ที่ 4 ติดตั้งกระจก Heat-Stop Glass เก็บข้อมูลอุณหภูมิผิวกระจกภายนอก-ภายใน

รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างในทิศ 4 ทิศ



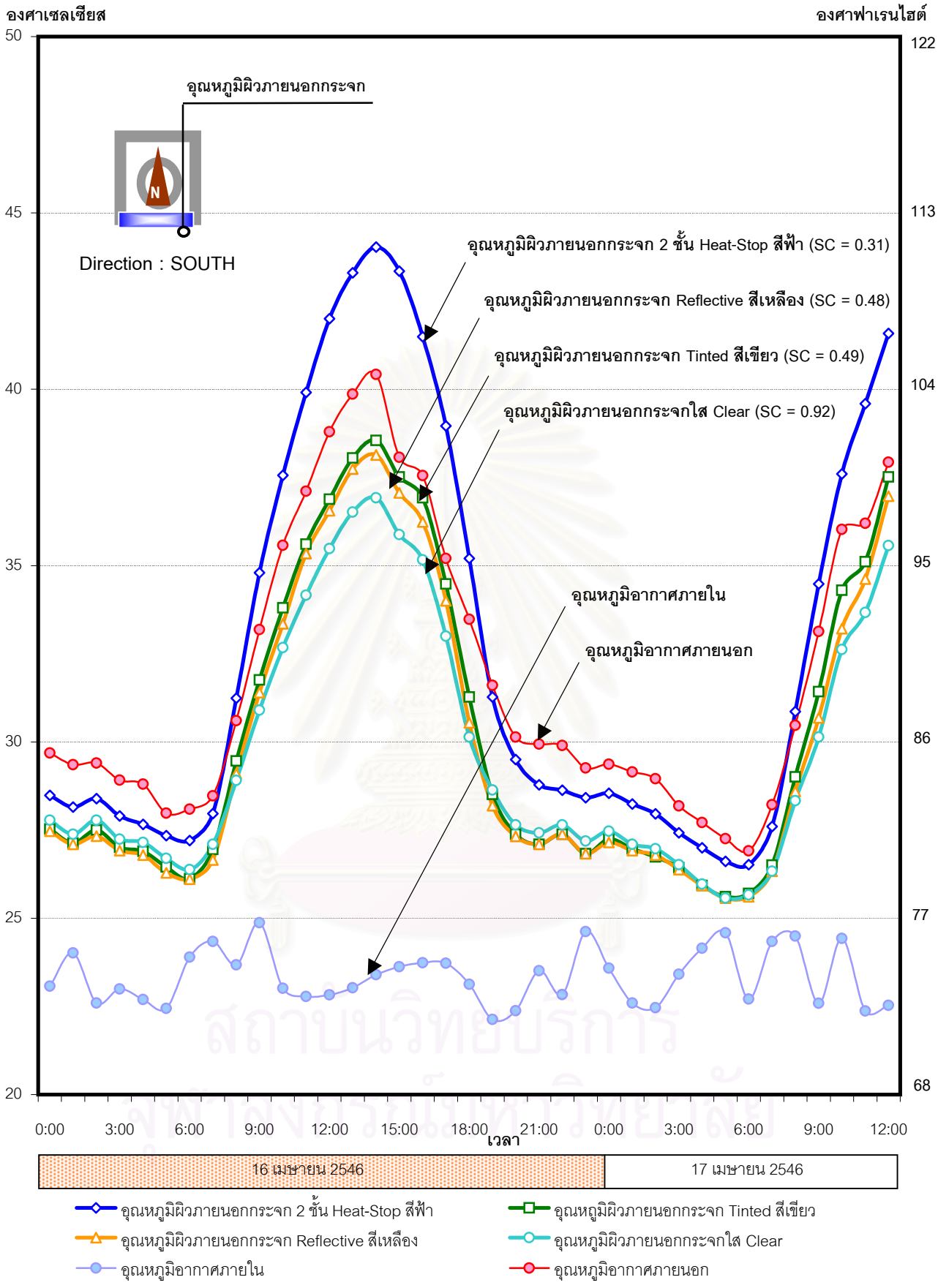
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่าผิวภายนอกของกระจก Heat-Stop มีการสะสมความร้อนไว้มาก จึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงกลางวัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวภายนอกของกระจก Tinted, Reflective และ Clear ตามลำดับ



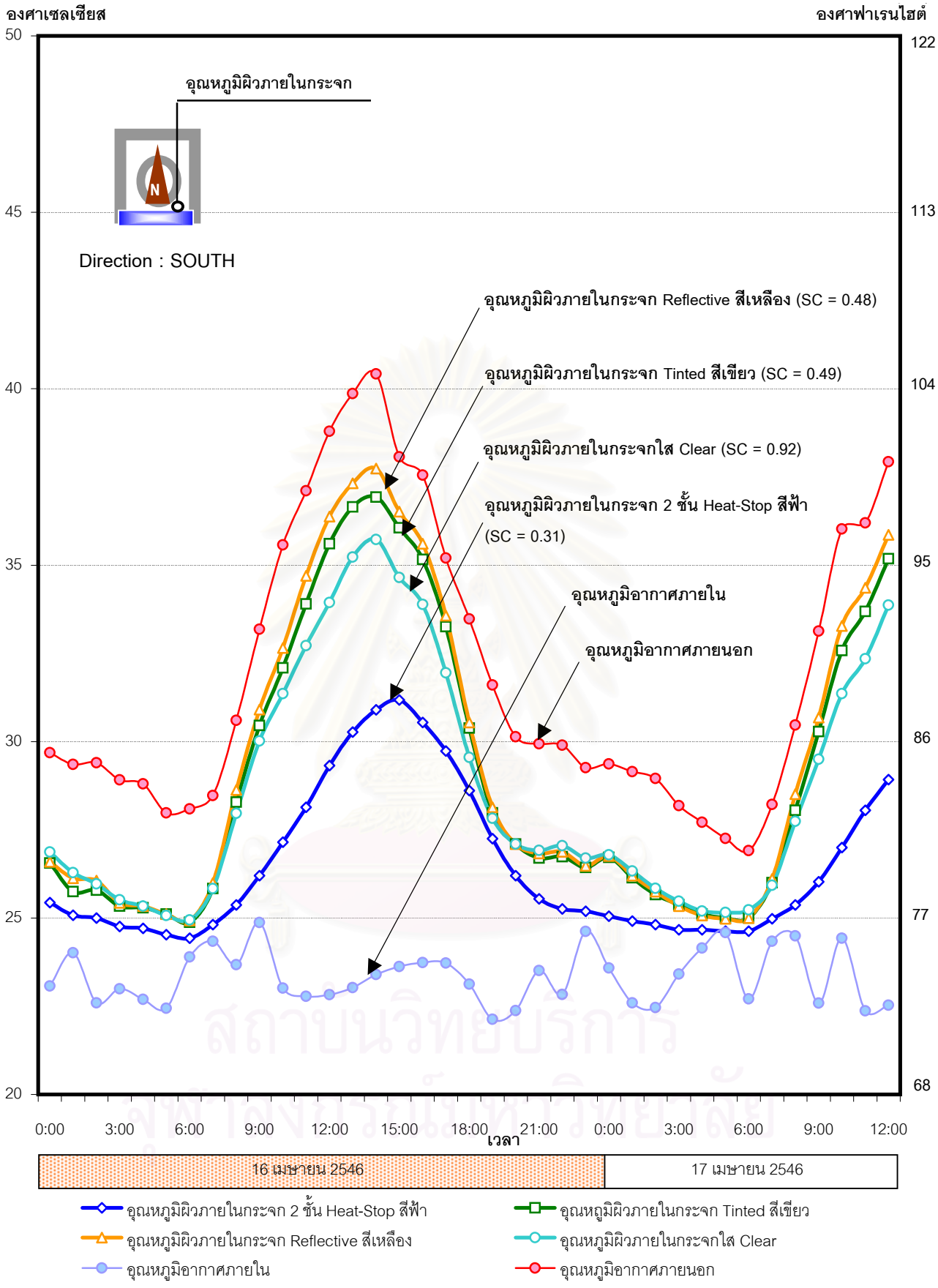
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศเหนือ ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่า ผิวภายในของกระจกทุกชนิดมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน โดยสามารถเรียงลำดับกระจกที่มีอุณหภูมิผิวภายในจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ กระจก Reflective, Tinted, Clear และ Heat-Stop



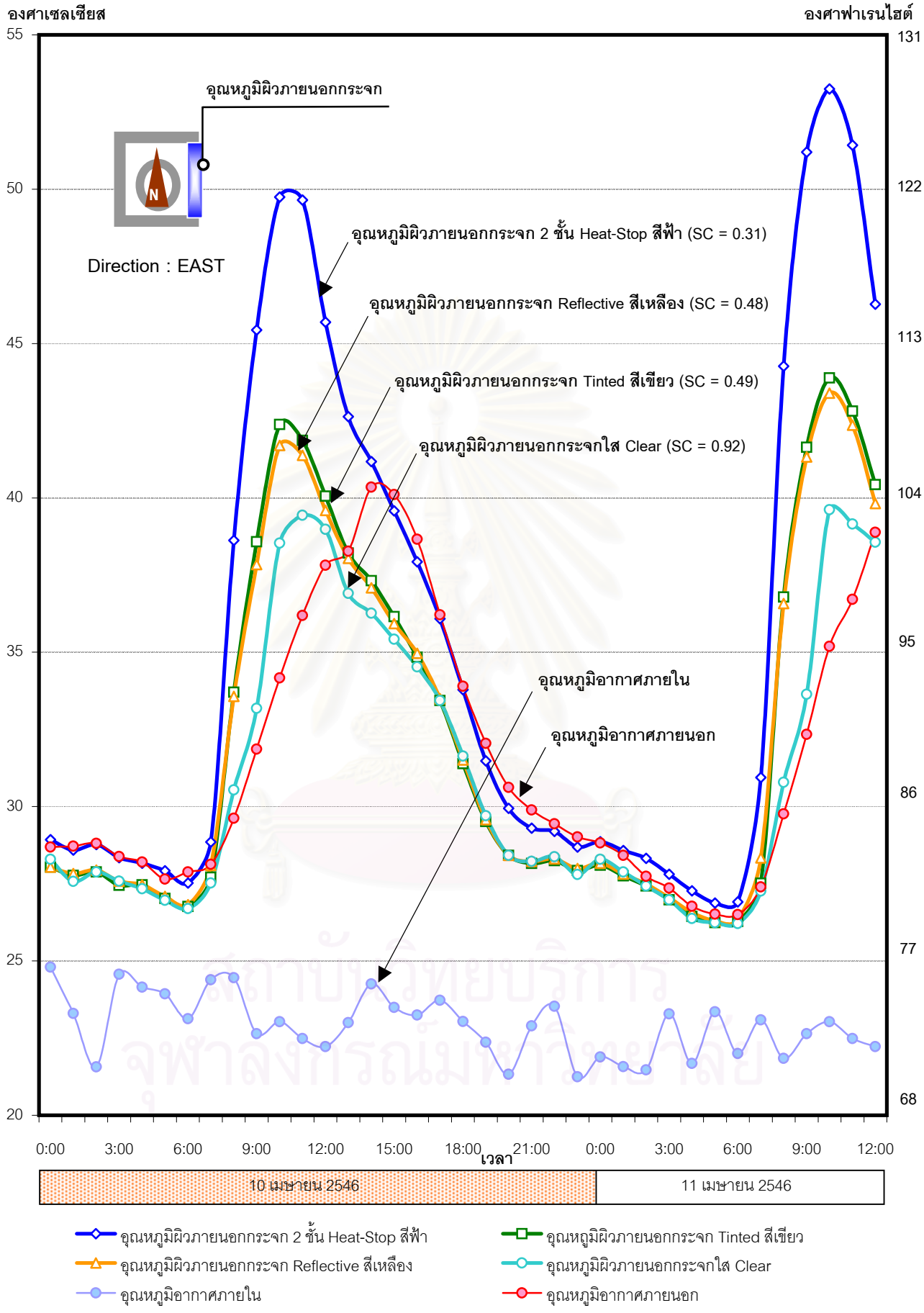
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่า ผิวภายนอกของกระจก Heat-Stop มีการสะสมความร้อนไว้มาก จึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงกลางวัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวภายนอกของกระจก Tinted, Reflective และ Clear ตามลำดับ



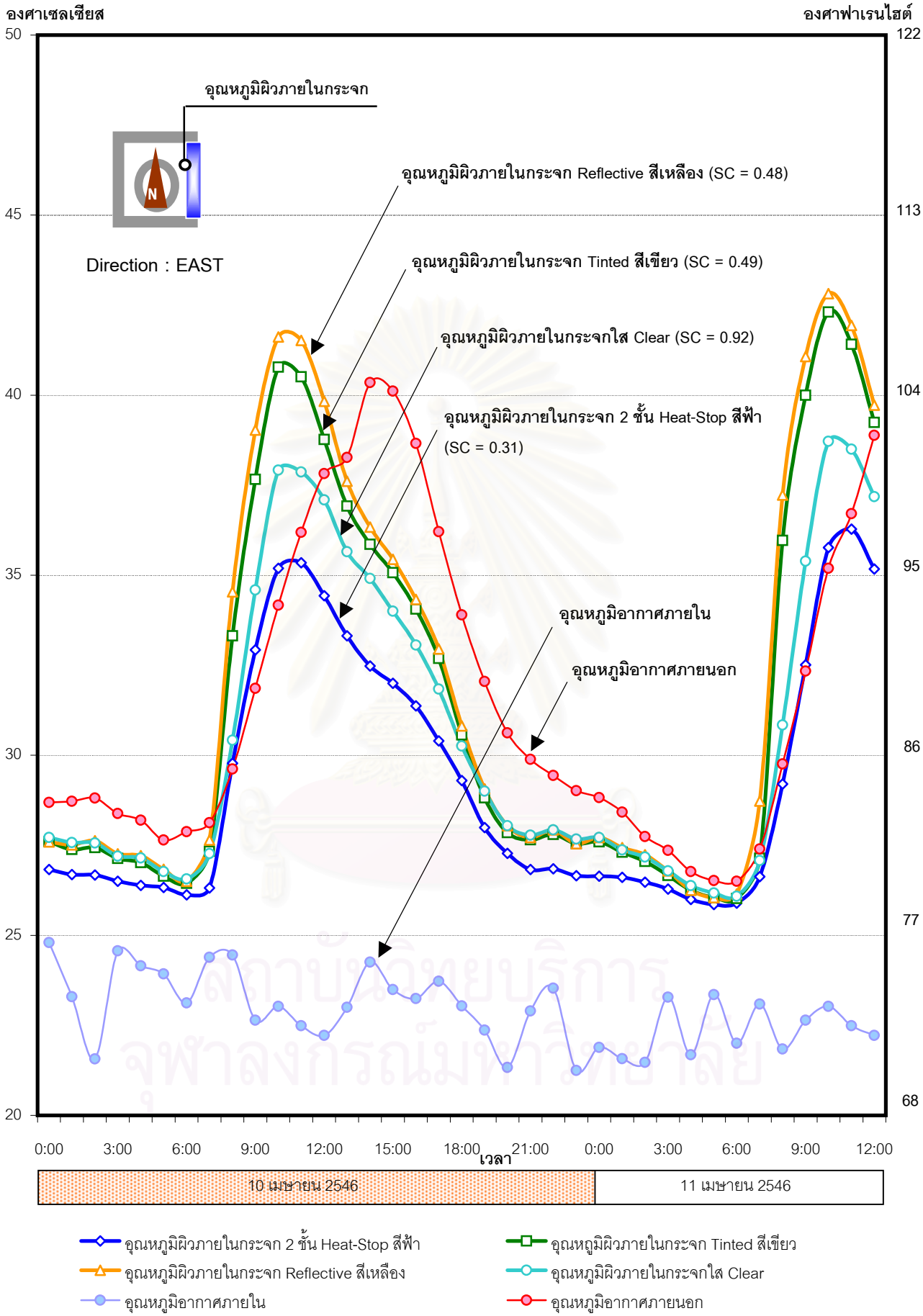
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศใต้ ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 16 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 17 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่า ผิวภายในของกระจกทุกชนิดมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดทั้งวัน โดยสามารถเรียงลำดับกระจกที่มีอุณหภูมิผิวภายในจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ กระจก Reflective, Tinted, Clear และ Heat-Stop



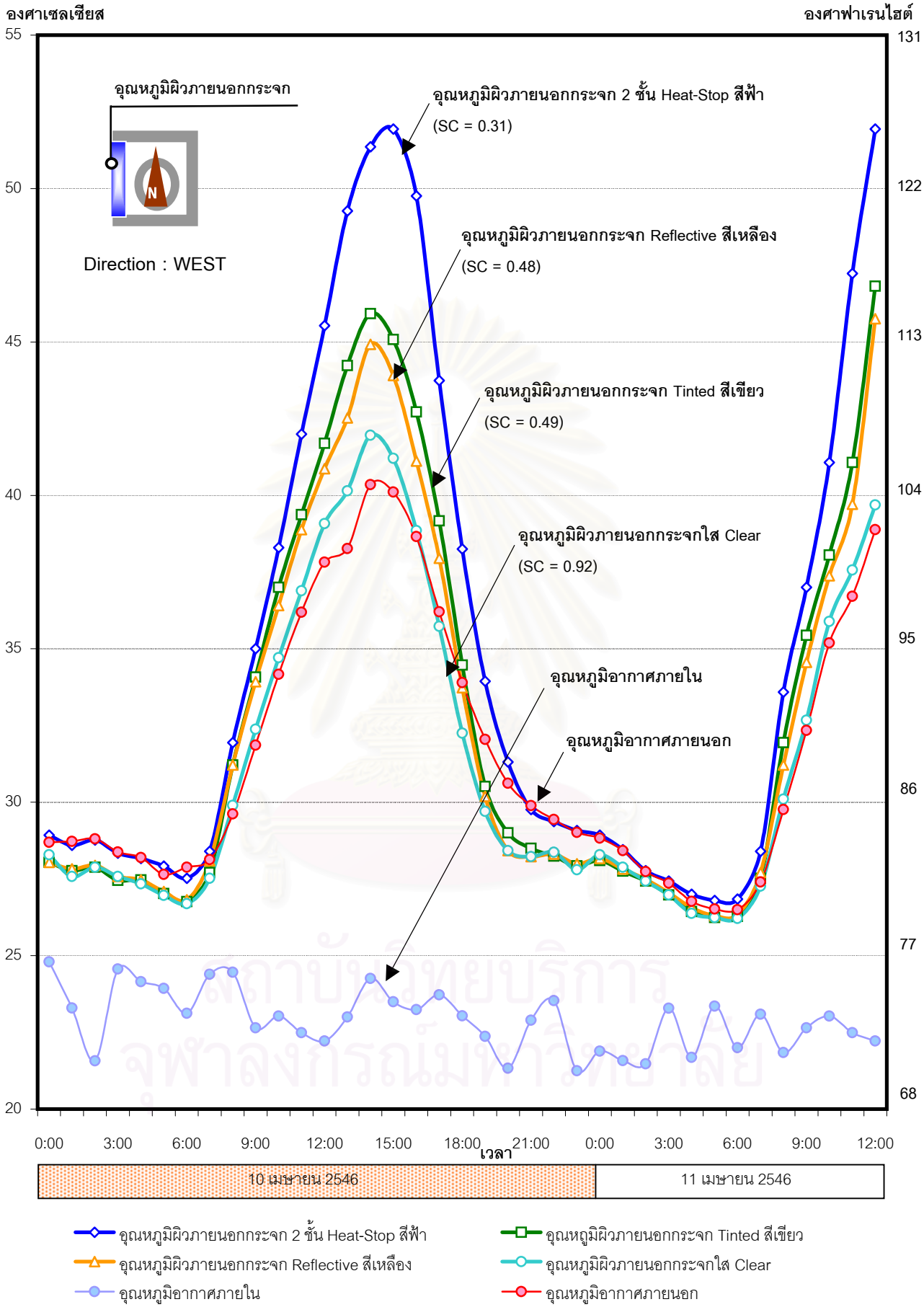
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันออก ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 11 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่า ผิวภายนอกของกระจก Heat-Stop มีการสะสมความร้อนไว้มาก จึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเช้า และสูงกว่าผิวภายนอกของกระจก Tinted, Reflective และ Clear ตามลำดับ โดยที่ช่วงเช้ามีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงบ่ายมาก



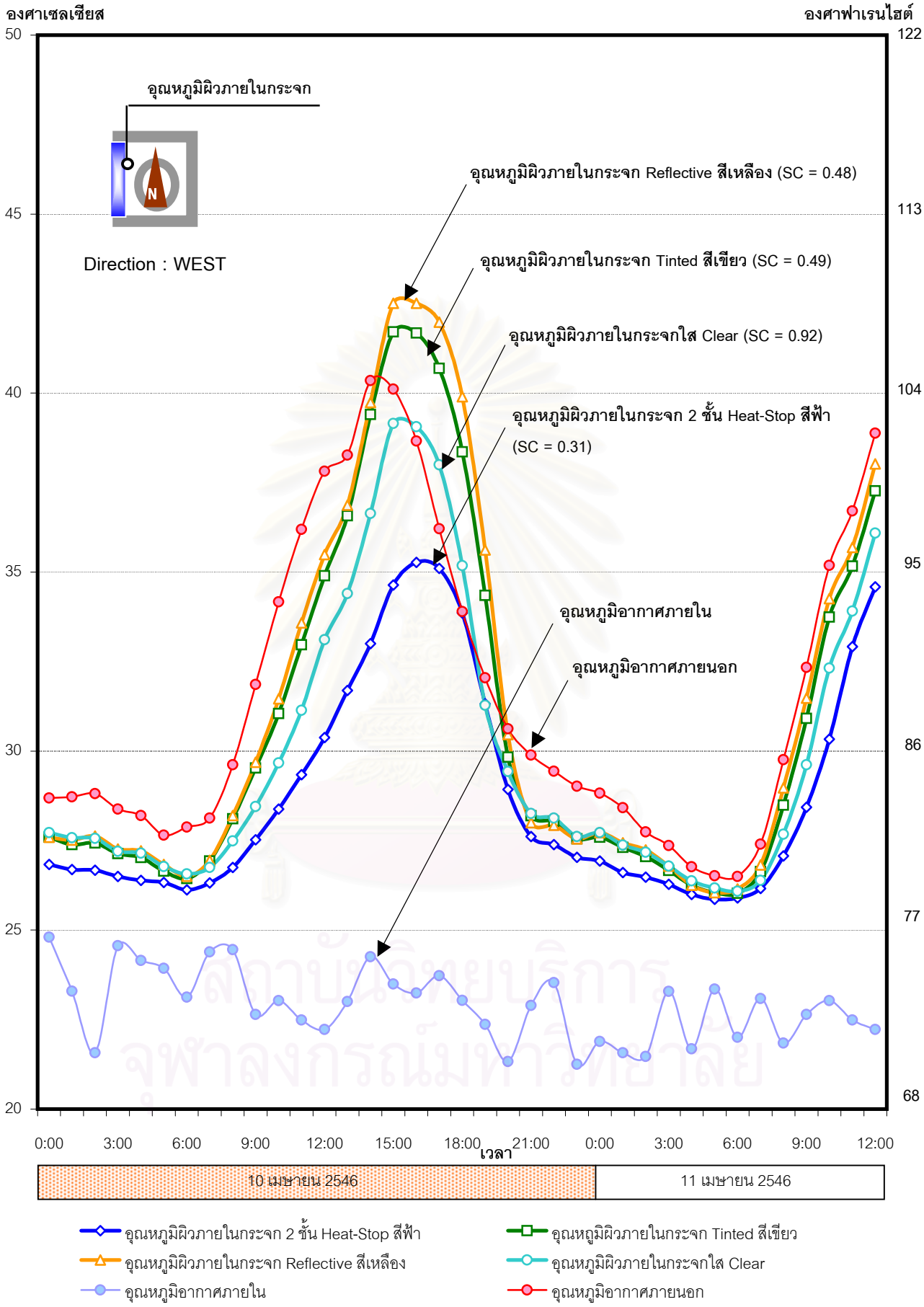
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันออก ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 11 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่าผิวภายในของกระจกทุกชนิดมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉพาะในช่วงเช้า โดยสามารถเรียงลำดับกระจกที่มีอุณหภูมิผิวภายในจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ กระจก Reflective, Tinted, Clear และ Heat-Stop



แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันตก ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 11 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่า ผิวภายนอกของกระจก Heat-Stop มีการสะสมความร้อนไว้มาก จึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอกในช่วงกลางวัน และสูงกว่าผิวภายนอกของกระจก Tinted, Reflective และ Clear ตามลำดับ โดยที่ช่วงบ่ายมีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงเช้ามาก



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิผิวภายในกระจกทดสอบ ด้านทิศตะวันตก ในสภาวะปรับอากาศ

เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2546 เวลา 0:00 น. ถึงวันที่ 11 เมษายน 2546 เวลา 12:00 น. พบว่า ผิวภายในของกระจกทุกชนิดมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉพาะในช่วงบ่าย-เย็น โดยสามารถเรียงลำดับกระจกที่มีอุณหภูมิผิวภายในจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ กระจก Reflective, Tinted, Clear และ Heat-Stop

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกและภายในของกระจกทดสอบทั้งสี่ชนิด ในทิศทั้งสี่ทิศ พบว่า มีแนวโน้มของพฤติกรรมไปในแนวทางเดียวกัน คือ หากพิจารณาอุณหภูมิผิวภายนอกในช่วงเวลากลางวัน กระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop จะมีอุณหภูมิสูงสุด ตามมาด้วยกระจก Tinted กระจก Reflective และกระจกใส ตามลำดับ ในทุกทิศทาง ในขณะที่หากพิจารณาอุณหภูมิผิวภายในในช่วงเวลากลางวัน กระจก Reflective จะมีอุณหภูมิสูงสุด ตามมาด้วยกระจก Tinted กระจกใส และกระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop ตามลำดับ ในทุกทิศทางเช่นกัน

แต่เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในทิศตะวันออกและทิศตะวันตก พบว่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์มีอิทธิพลอย่างมากต่ออุณหภูมิผิวกระจกภายนอกและภายในของกระจกทดสอบทั้งสี่ชนิด โดยในทิศตะวันออก อุณหภูมิผิวกระจกภายในจะมีค่าสูงสุด ณ เวลา 10:00 น. และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ส่วนในทิศตะวันตกก็เช่นเดียวกัน อุณหภูมิผิวกระจกภายในจะมีค่าสูงสุด ณ เวลา 15:00 น. และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ในขณะที่ในทิศเหนือและทิศใต้นั้น อุณหภูมิผิวกระจกภายในจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน ซึ่งสรุปได้ว่า เมื่อกระจกได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง (โดนแสงแดด) จะมีผลทำให้มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการแผ่รังสีเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้จากการทดสอบยังพบว่า กระจกฉนวน 2 ชั้น Heat-Stop สามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้โดยมีระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) เท่ากับ 1 ชั่วโมง ในขณะที่กระจกชั้นเดียวทั้งสามชนิดไม่มีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเลยในทุกๆ ทิศทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

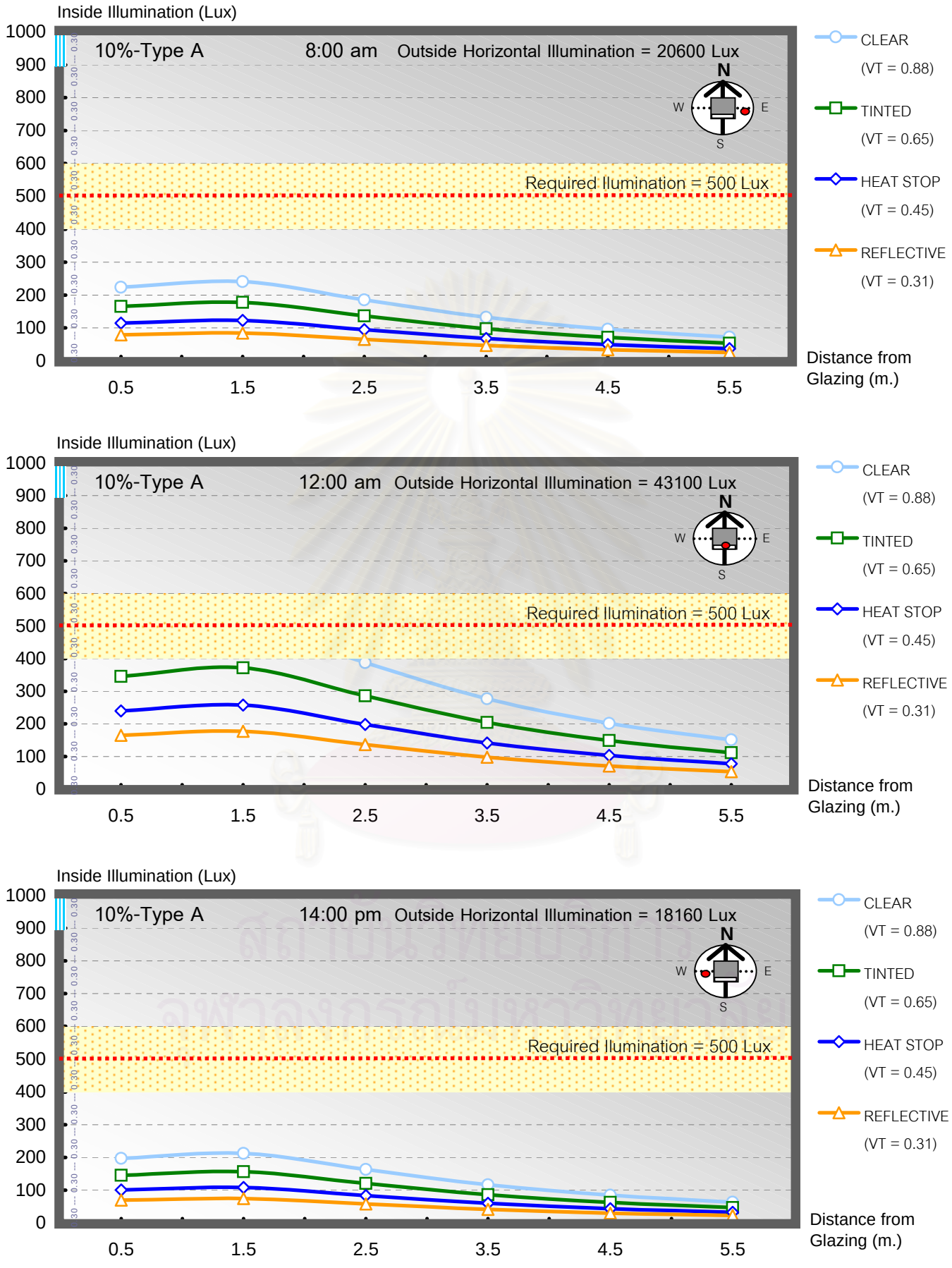
4.2 การทดสอบพฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคาร

ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบพฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคาร ในสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังต่างๆ กันไป เพื่อศึกษาแนวโน้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องทดสอบขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 3 เมตร โดยกำหนดให้วัสดุที่ใช้ทำพื้น-ผนัง-ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนของแสง เท่ากับ 30% - 50% - 70% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าความส่องสว่างจากแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ที่ต้องนำมาใช้เพิ่มเติมต่อไป โดยค่าความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งาน (Working Plane) ที่กำหนดไว้คือ 500 Lux

เมื่อทราบแนวโน้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องแล้ว จึงนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างที่เหมาะสมต่อไป โดยได้ทำการทดสอบในสี่ทิศหลัก คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ทำการทดสอบ ณ เวลา 8:00 น. 12:00 น. และ 16:00 น. ตามลำดับ (เก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างภายนอกเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2546 ตั้งแต่เวลา 05.00 – 19.00 น.) ทำการเปลี่ยนขนาดพื้นที่ของกระจกช่องแสงกระจกต่อพื้นที่ผนังในทิศทางที่ทดสอบ ตั้งแต่ 10%, 20%, 30%,..., 100% ในที่นี้ขอยกเพียงตัวอย่างบางส่วนตามแผนภูมิที่ 4.17 – 4.32 ดังต่อไปนี้

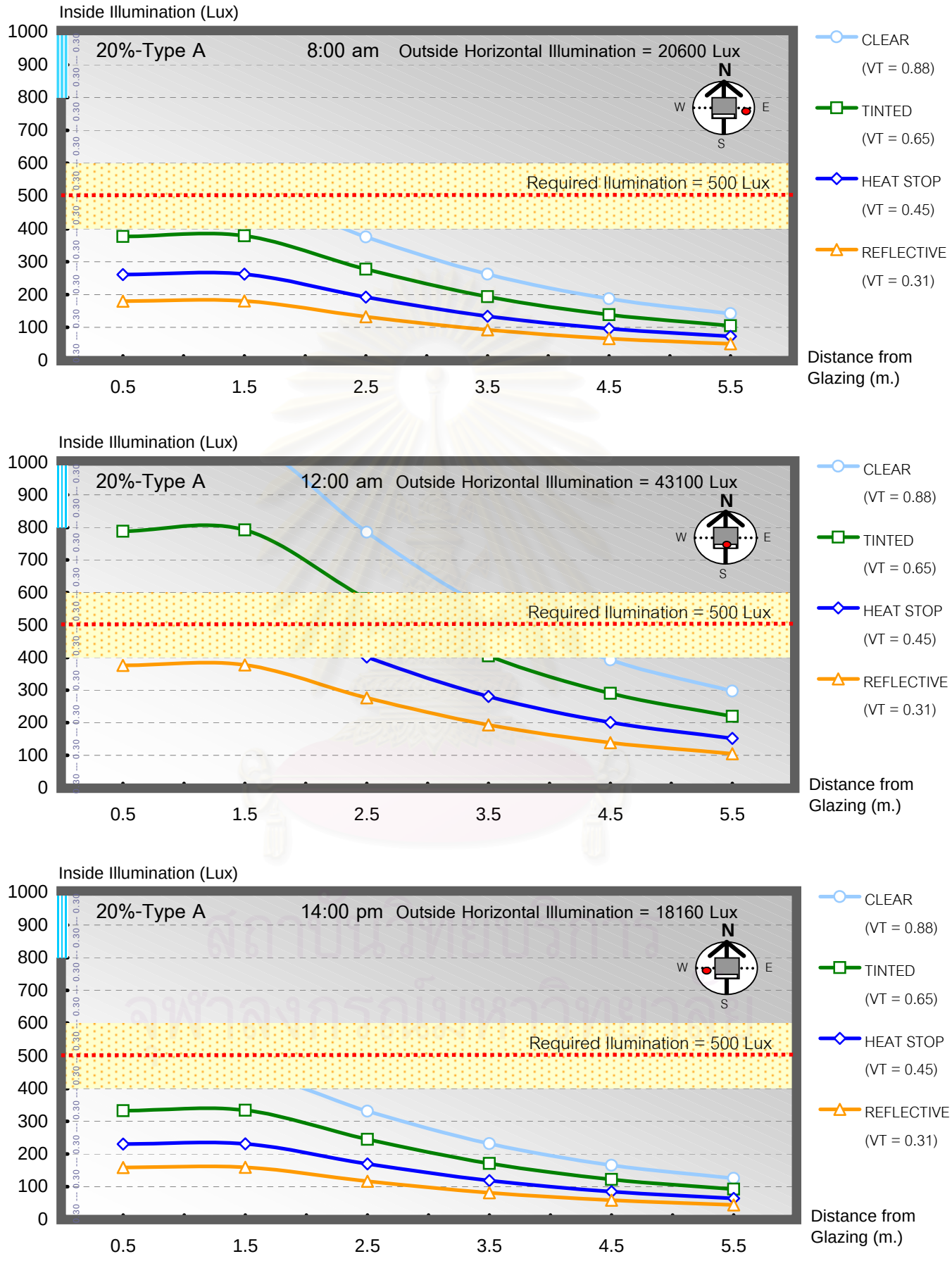
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NORTH

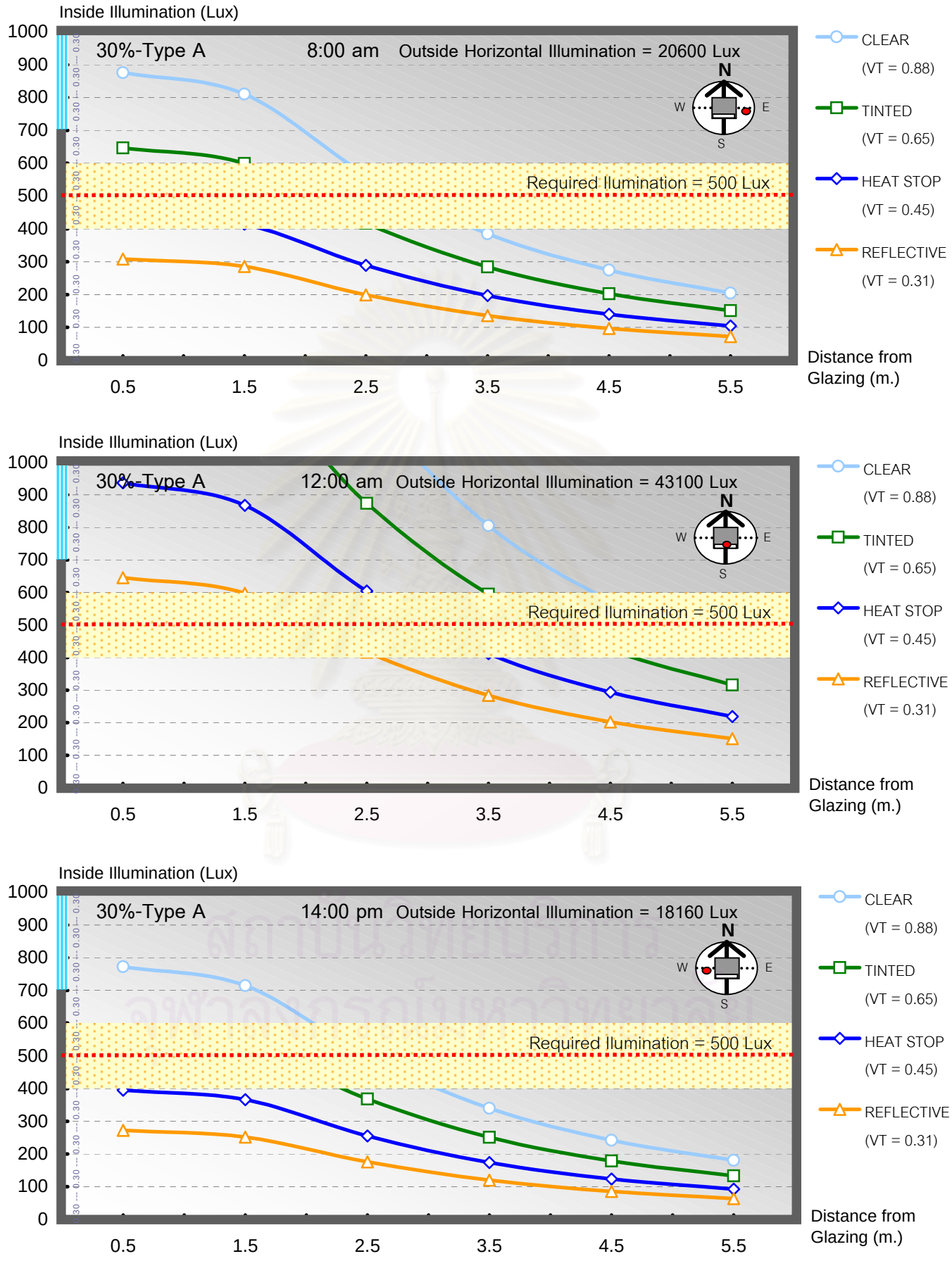


แผนภูมิที่ 4.17 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

NORTH

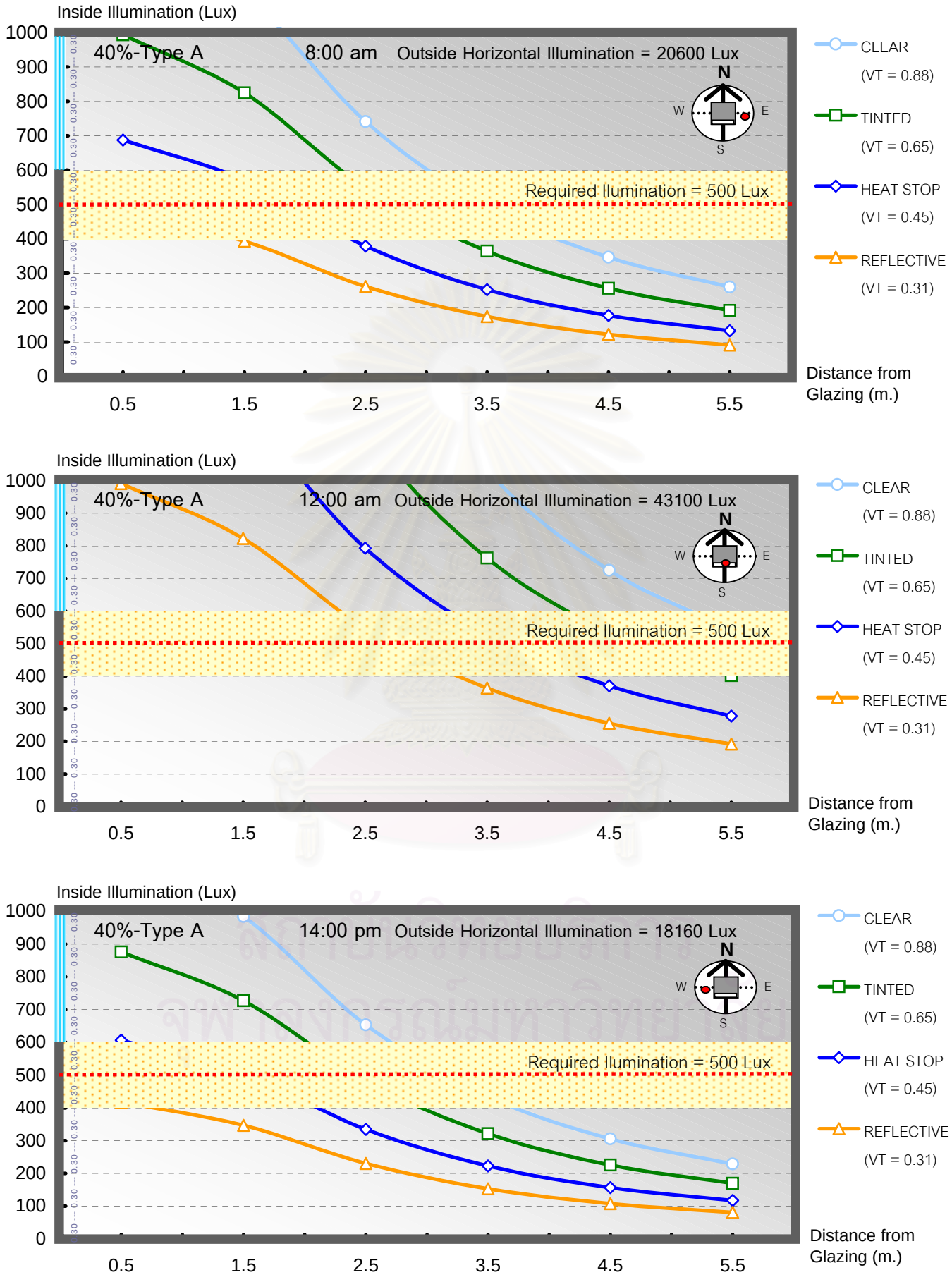


แผนภูมิที่ 4.18 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

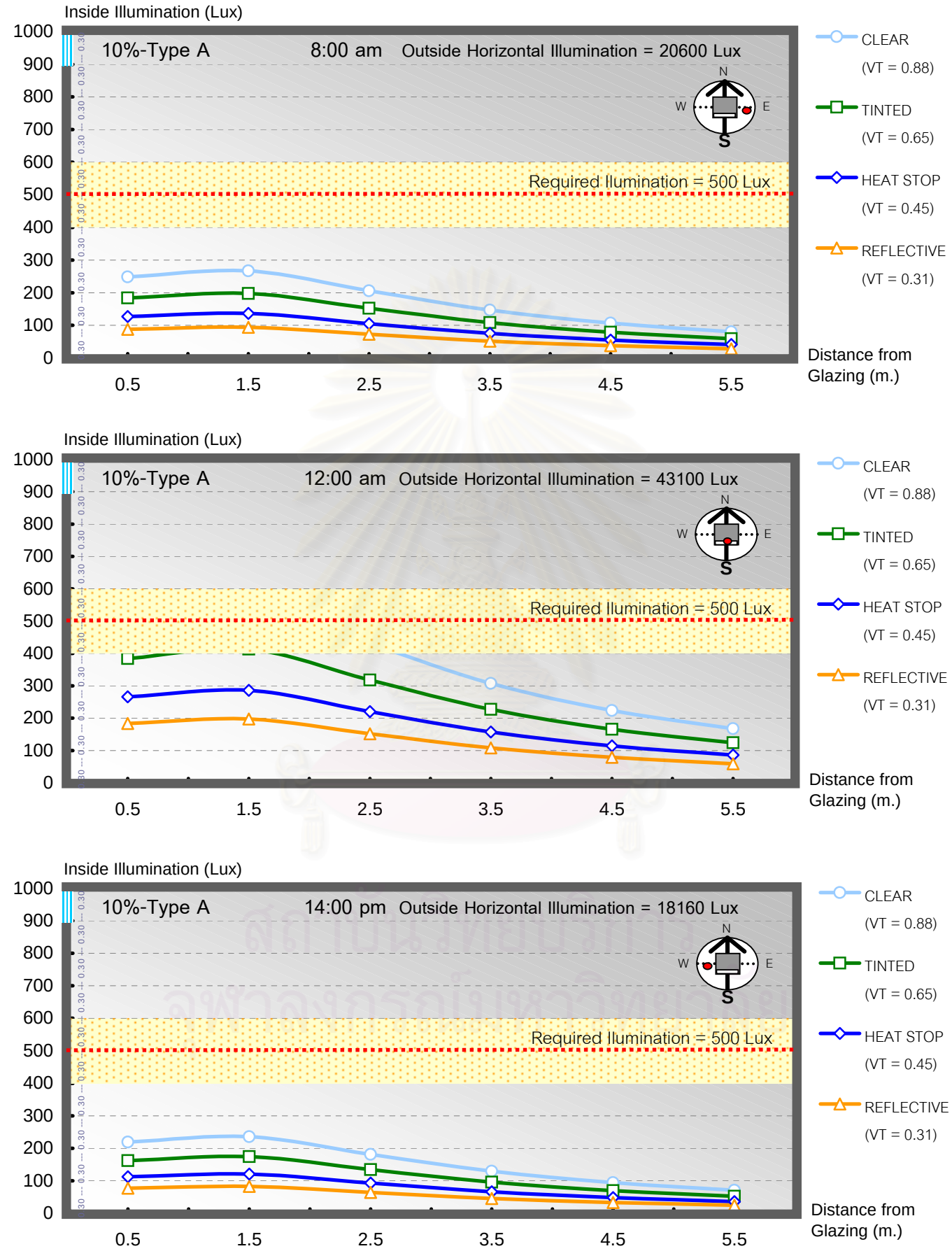


แผนภูมิที่ 4.19 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

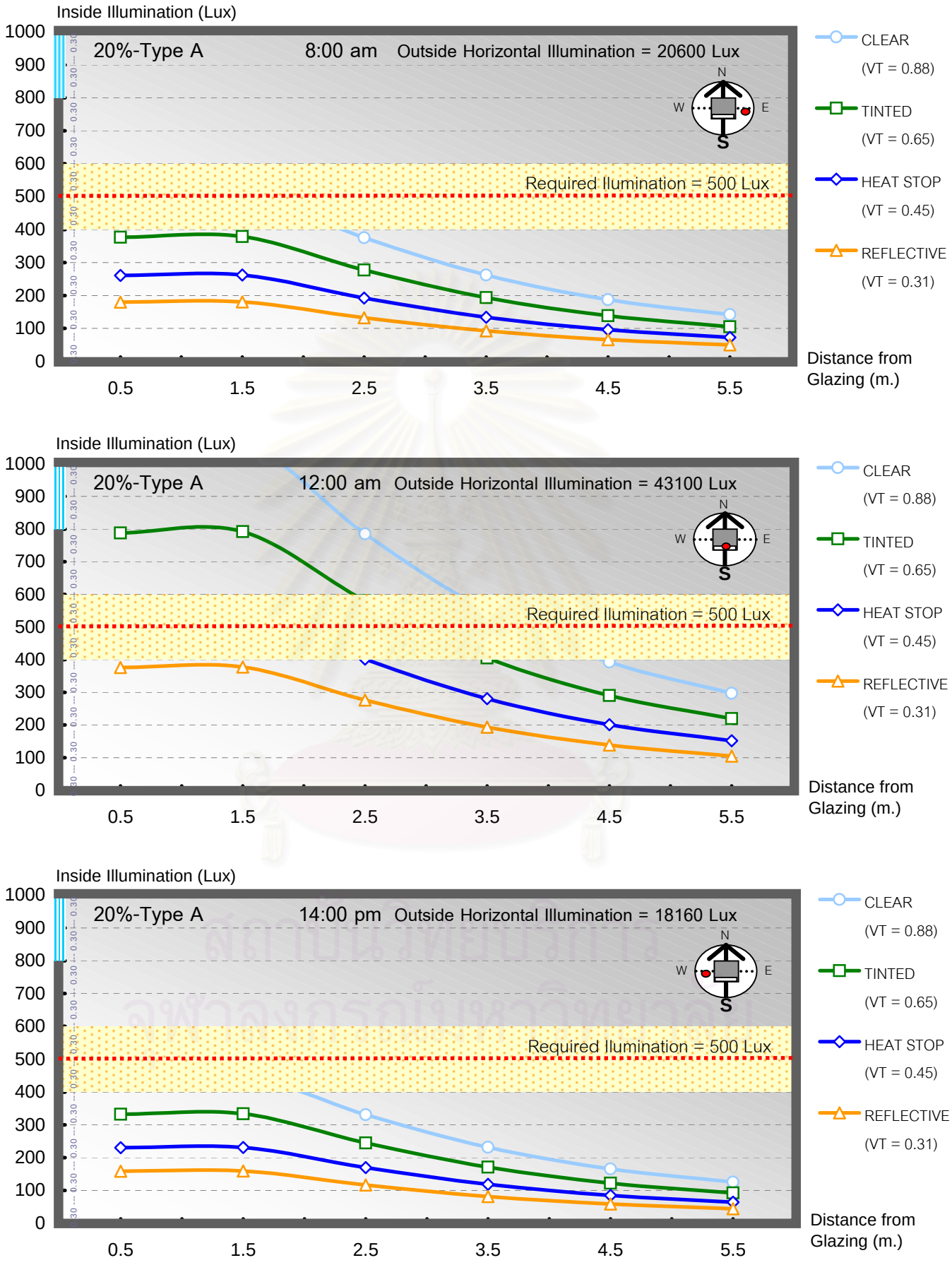
NORTH



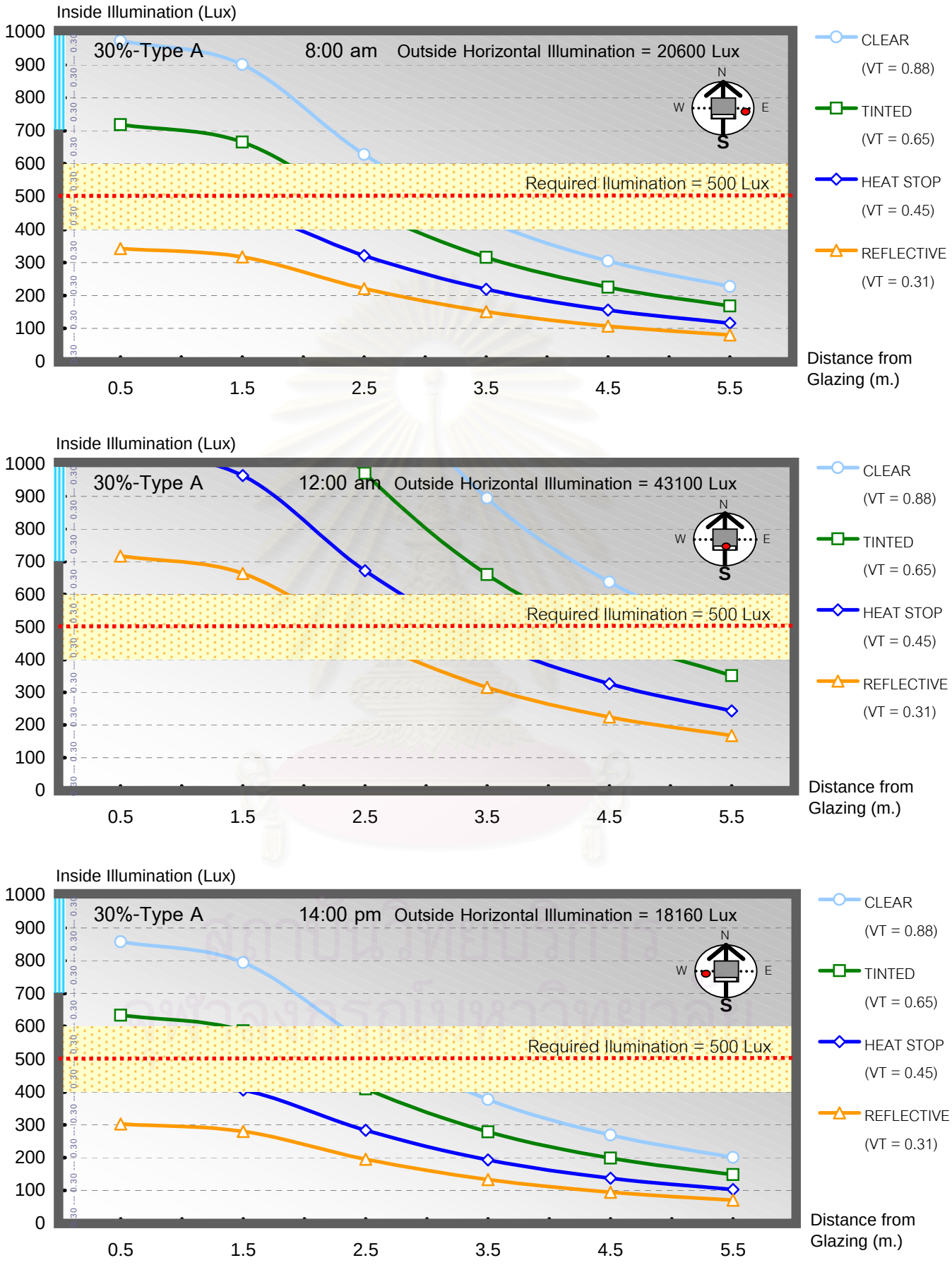
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



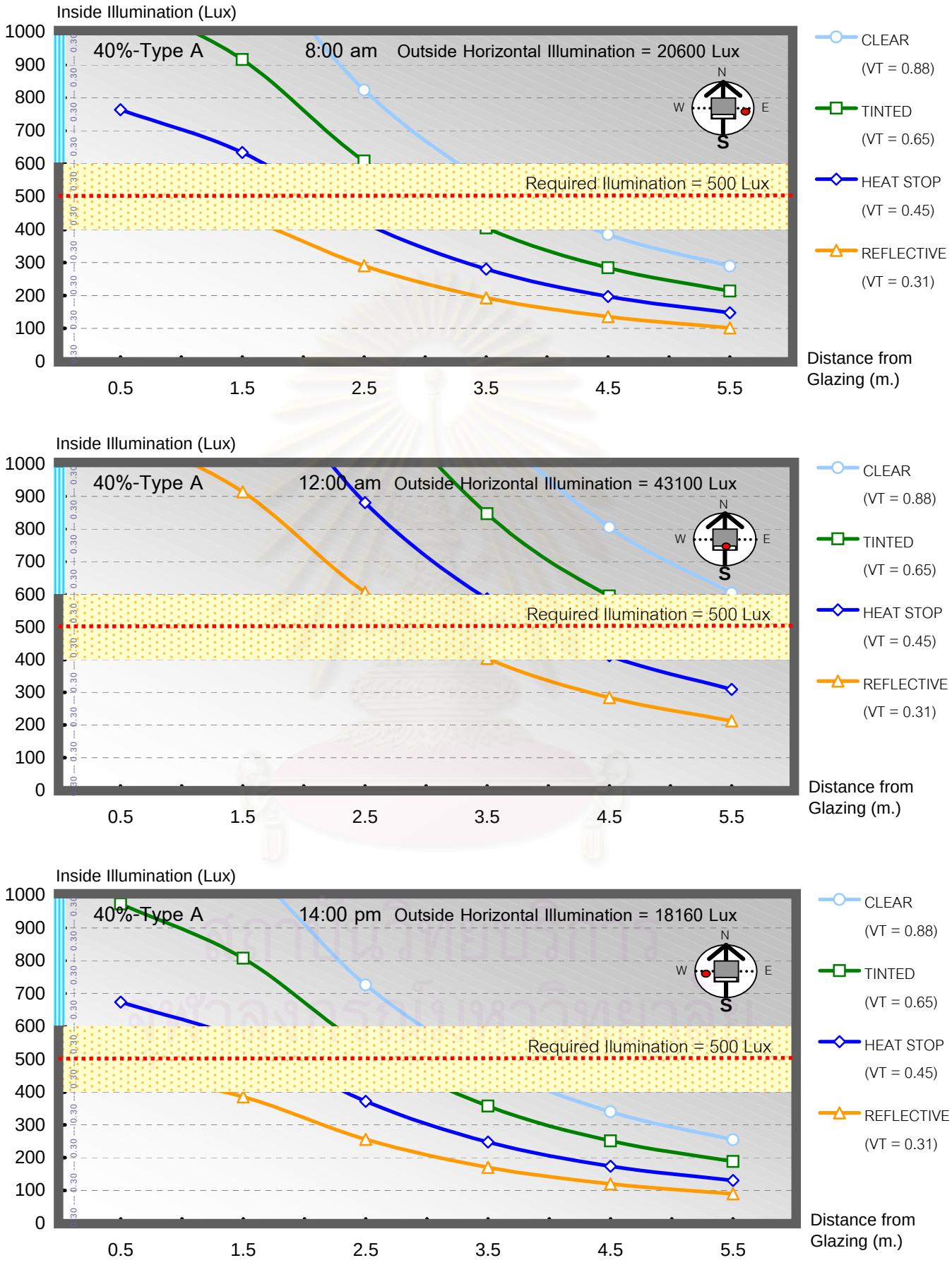
แผนภูมิที่ 4.21 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



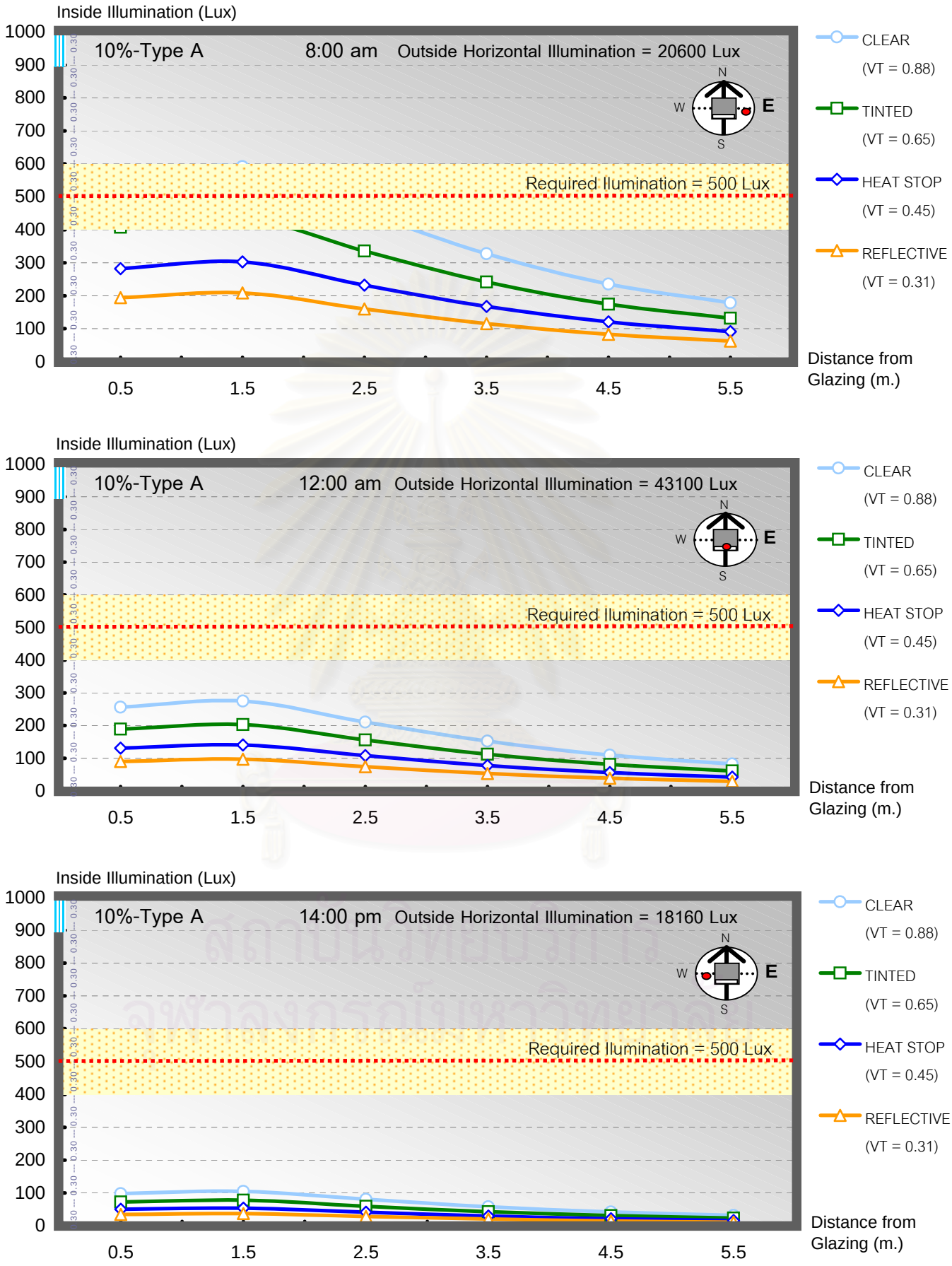
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



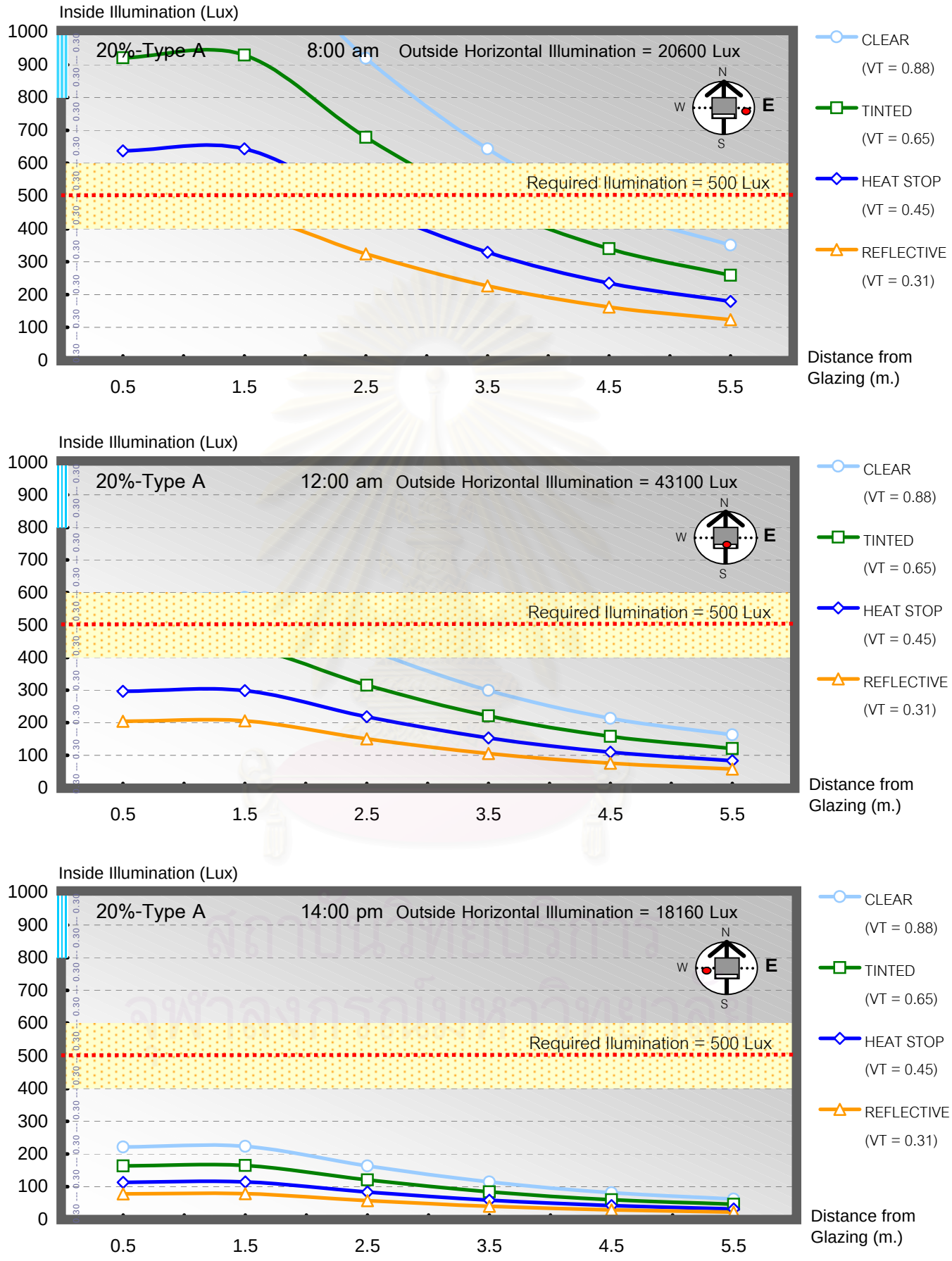
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



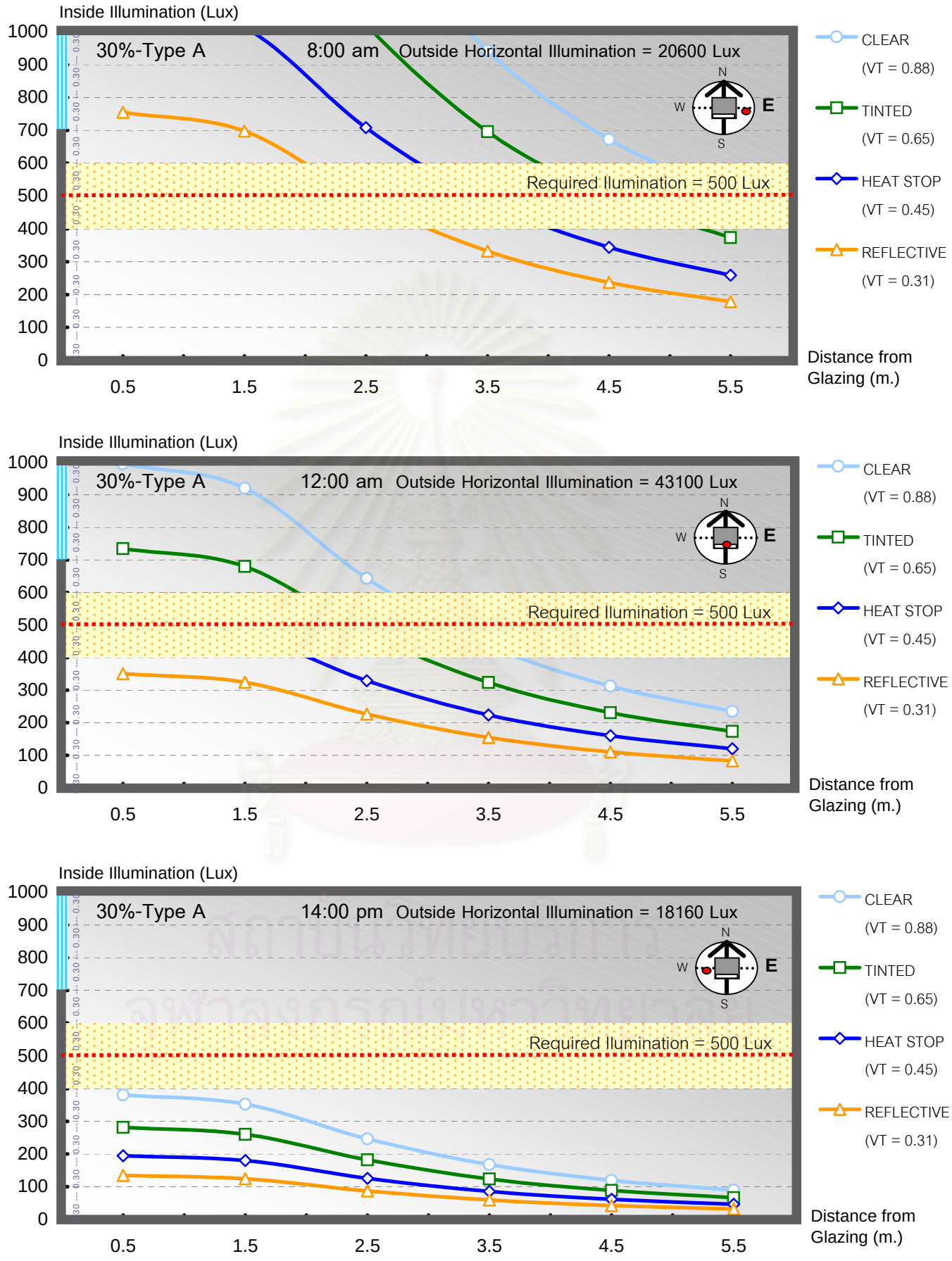
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



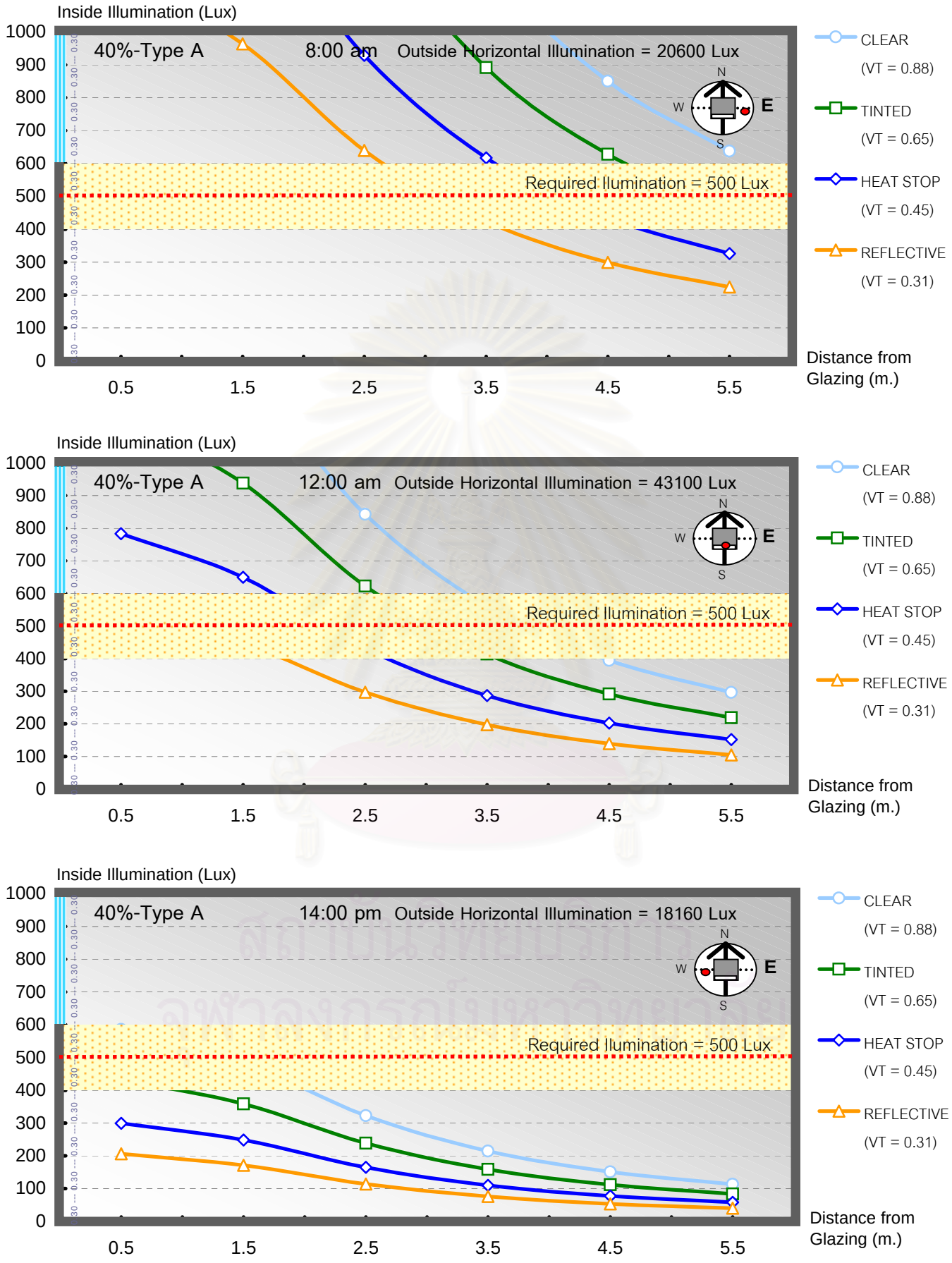
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันออก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



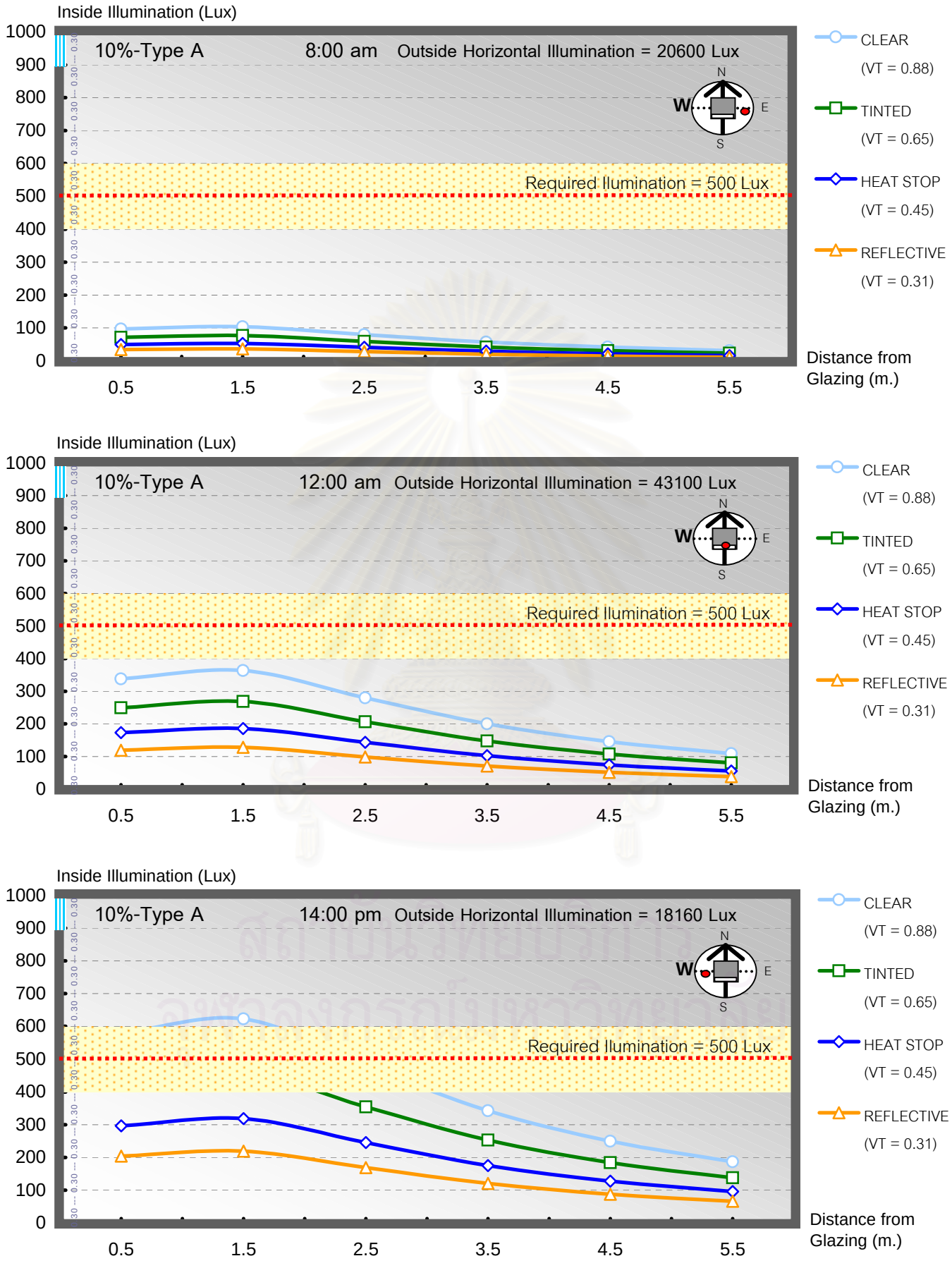
แผนภูมิที่ 4.26 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันออก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



แผนภูมิที่ 4.27 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันออก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

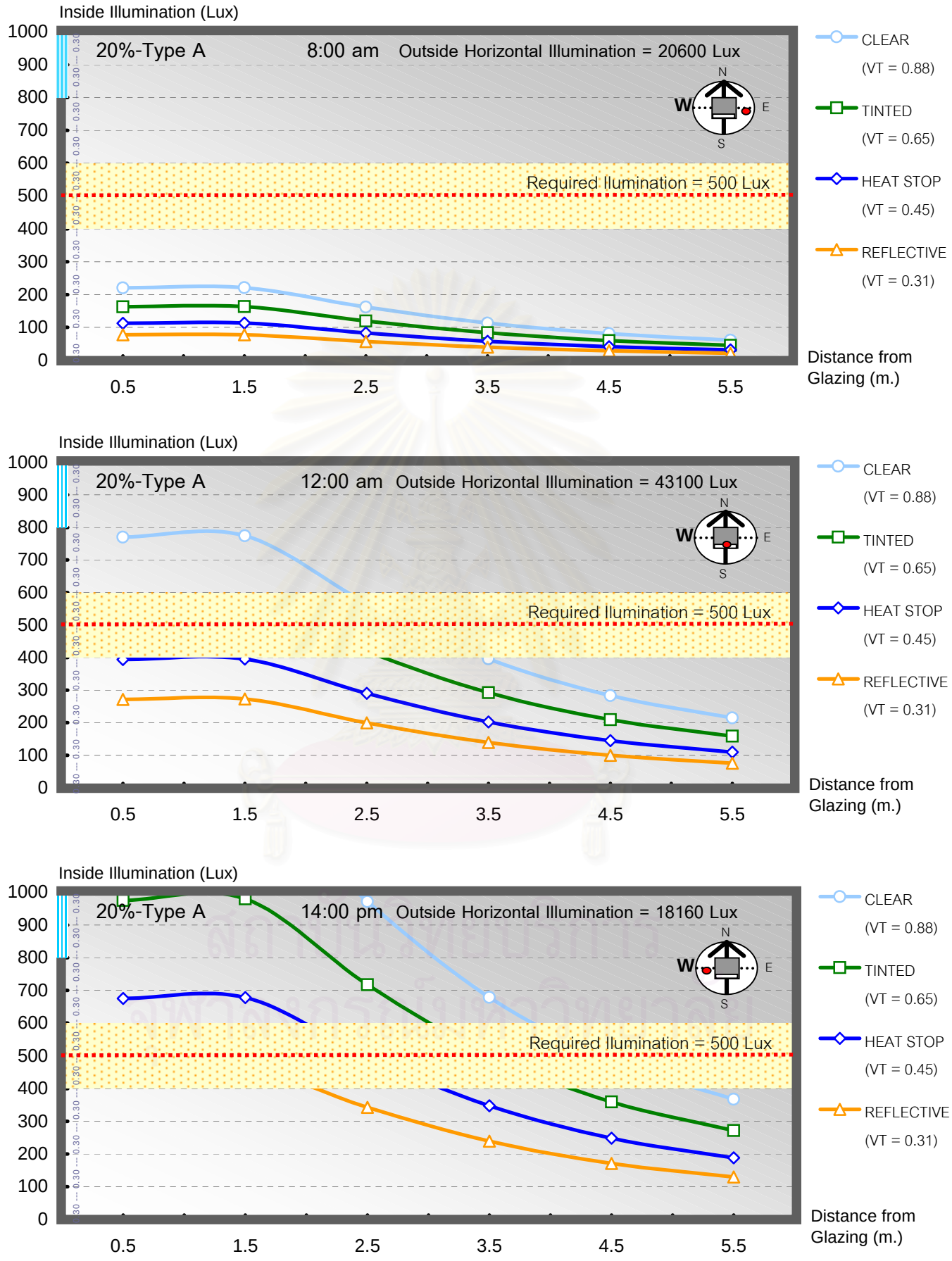


แผนภูมิที่ 4.28 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันออก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

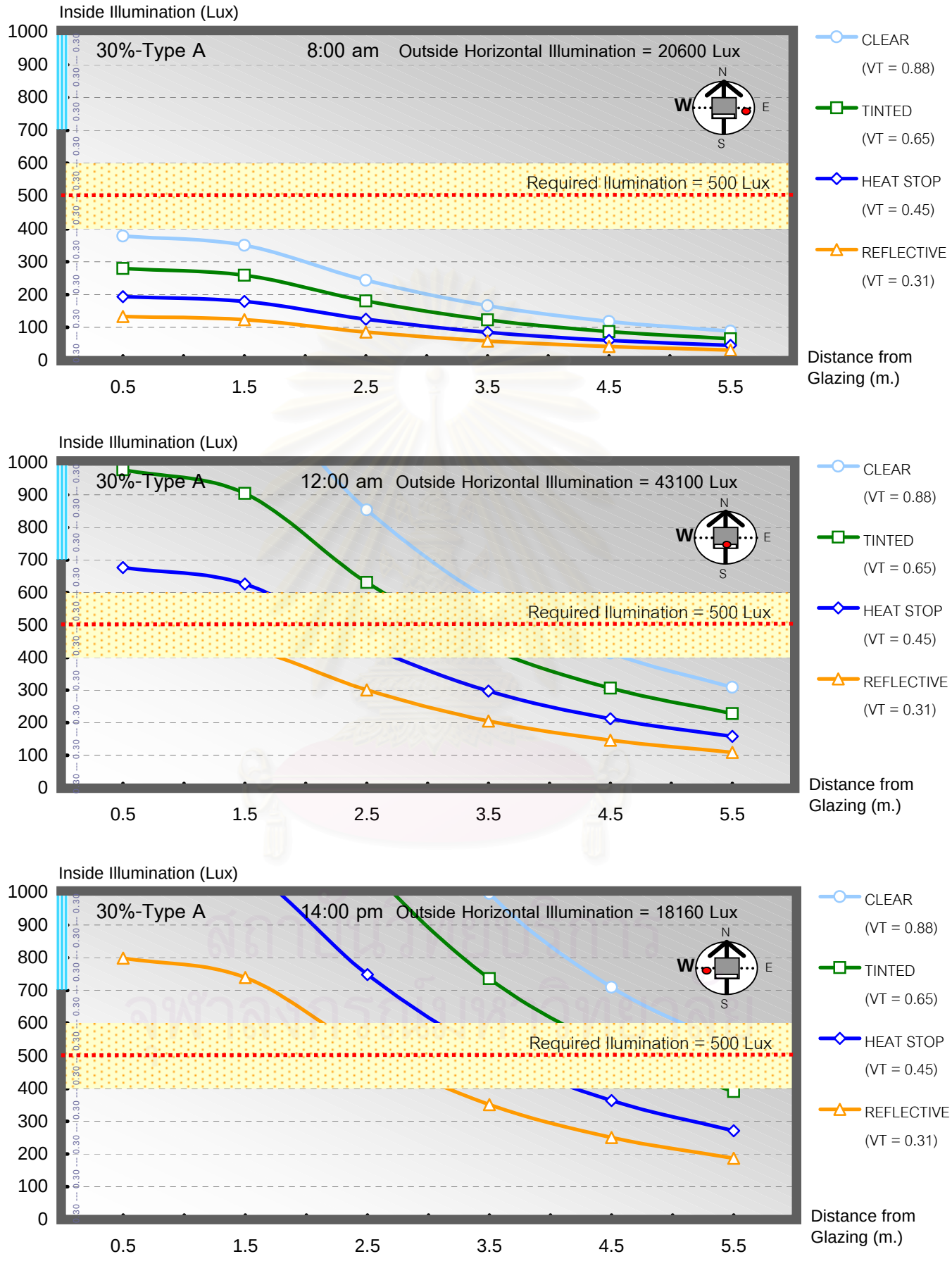


แผนภูมิที่ 4.29 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันตก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

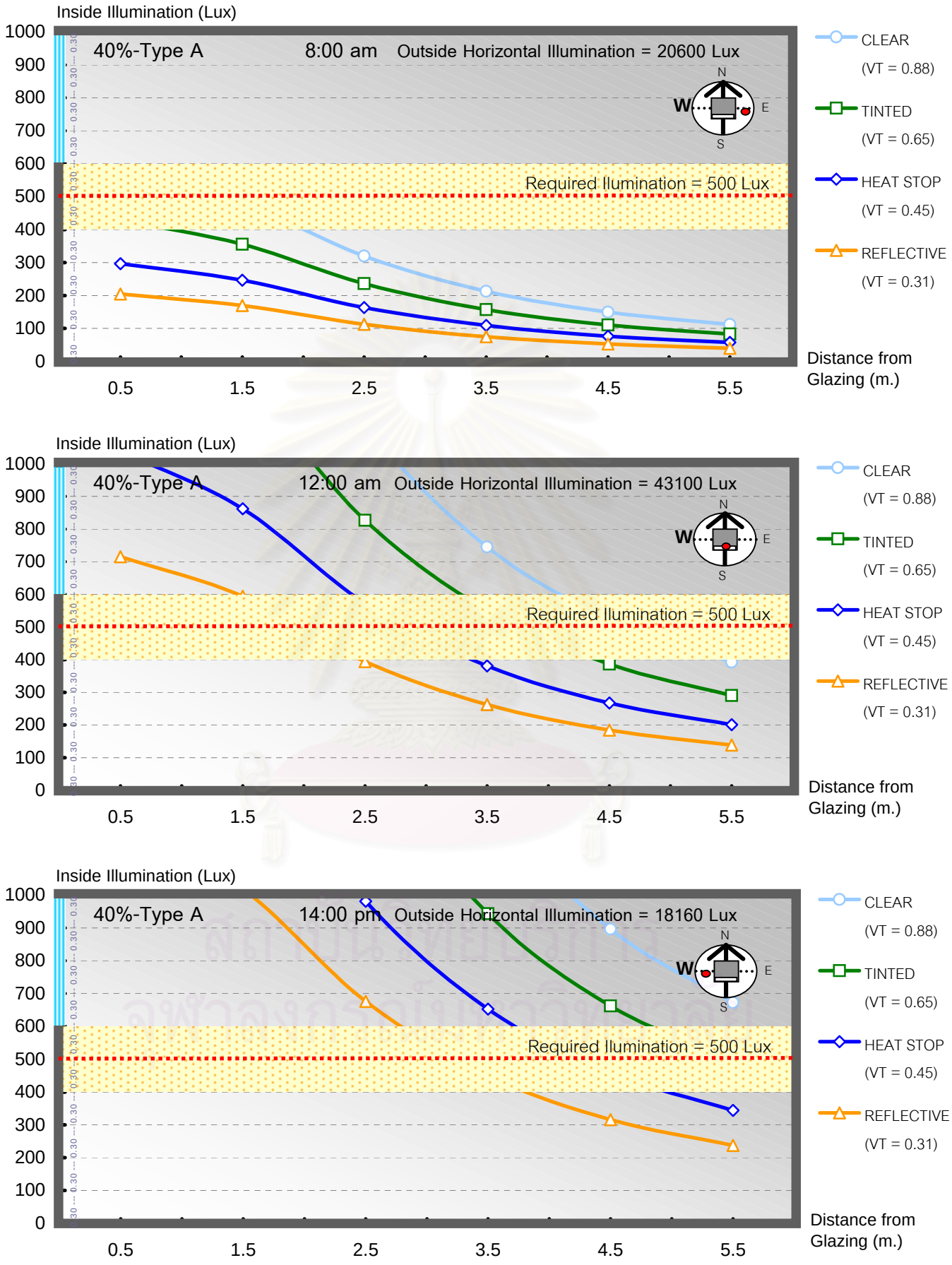
WEST



แผนภูมิที่ 4.30 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันตก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



แผนภูมิที่ 4.31 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันตก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



แผนภูมิที่ 4.32 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศตะวันตก เวลา 8.00-12.00-16.00 น. วัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

4.2.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกแต่ละชนิด

จากแผนภูมิการกระจายแสง (Daylight Distribution Curve) แสดงให้เห็นว่า กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) มาก จะยอมให้ปริมาณแสงธรรมชาติผ่านเข้าสู่พื้นที่ภายในอาคารมากตามไปด้วย โดยจากการทดสอบ สามารถสรุปได้ว่า กระจกใส (Clear Float Glass, VT = 0.88) ยอมให้แสงผ่านเข้ามามากที่สุด ถัดลงมาเป็น กระจกสี (Tinted Float Glass, VT = 0.65) กระจก Heat-Stop (VT = 0.45) และกระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Reflective Glass, VT = 0.31) ตามลำดับ

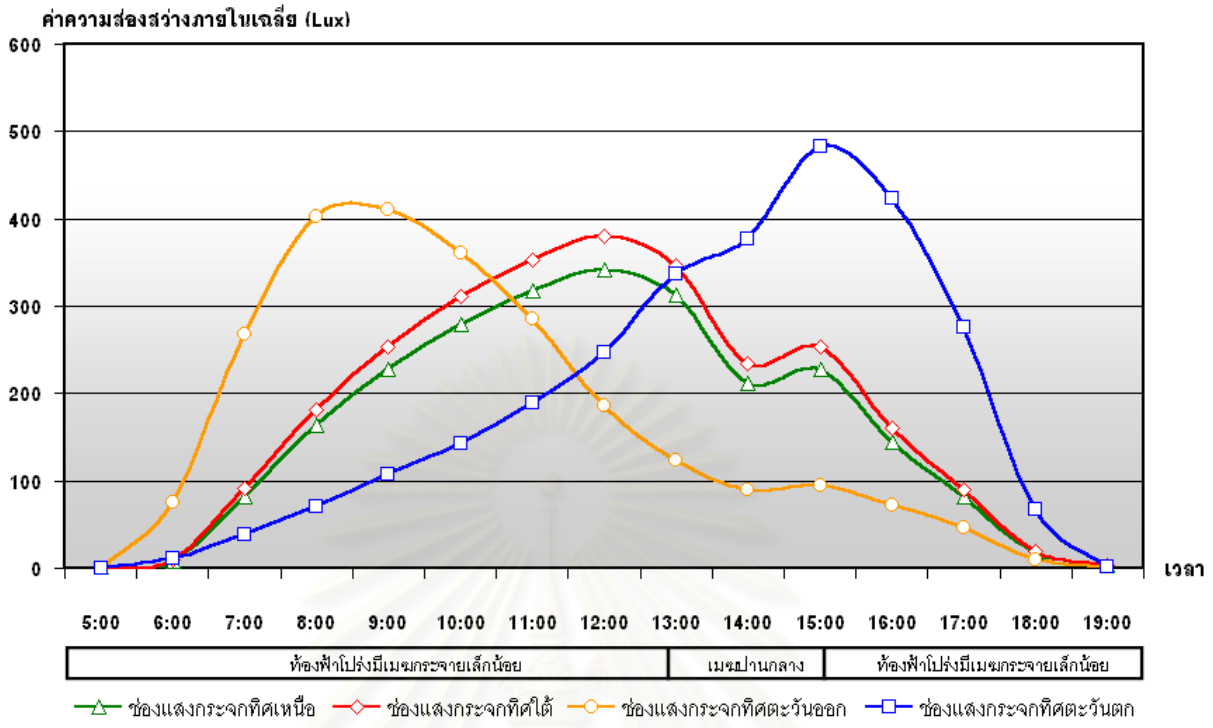
ปริมาณความส่องสว่างภายในจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าความส่องสว่างภายนอก ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา โดยที่เวลาประมาณ 12:00 น. ค่าความส่องสว่างภายนอกจะมีค่าสูงสุด จึงส่งผลให้ความส่องสว่างภายในอาคารมีค่าสูงสุดตามไปด้วย

4.2.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกกับสัดส่วนพื้นที่ช่องแสง

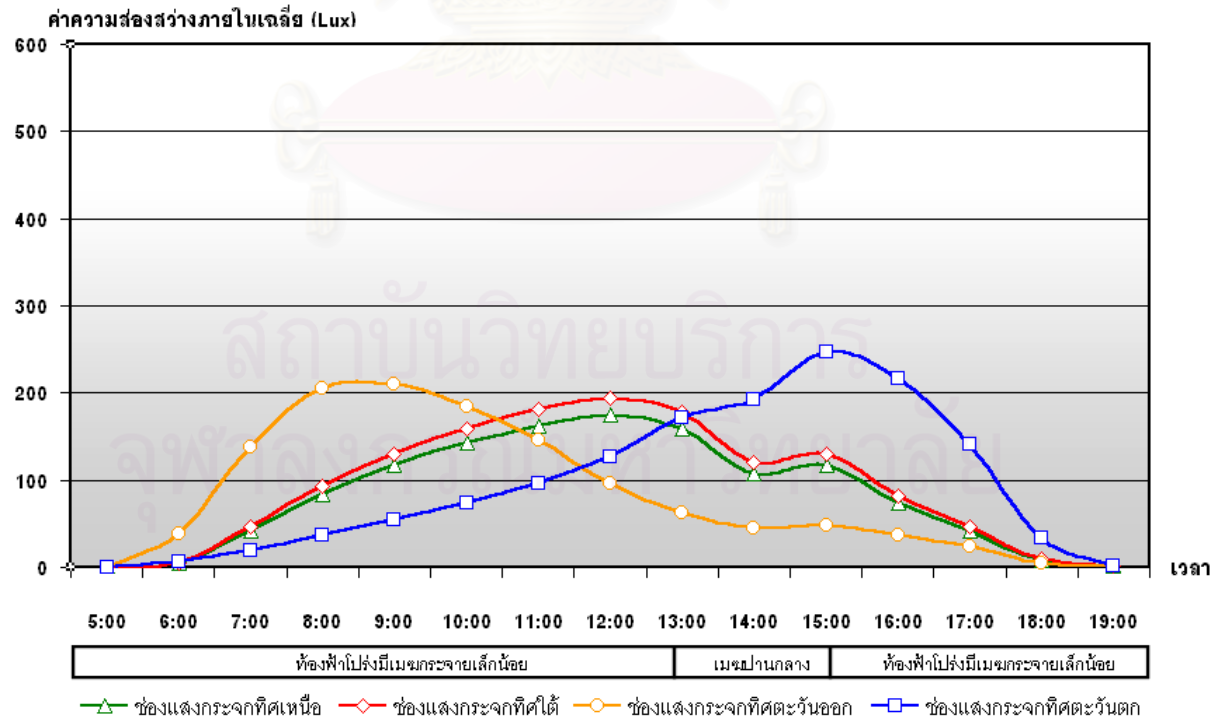
จากการเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสง พบว่าเมื่อช่องแสงกระจกมีสัดส่วนพื้นที่มากขึ้น จะทำให้ปริมาณความสว่างที่เข้าสู่ภายในเพิ่มสูงขึ้น แต่จะส่งผลให้ปริมาณความส่องสว่างบริเวณใกล้ช่องแสงสูงมากขึ้นตามไปด้วย โดยหากมีสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงมากเกินไปก็อาจจะทำให้เกิดแสงบาดตา และปริมาณแสงที่มากเกินไปจะทำให้ได้ความร้อนจากภายนอกเข้ามาพร้อมกันกับความสว่างด้วย อาจเป็นเหตุให้สิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศของอาคาร และจากการทดลองพบว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 20% ซึ่งยอมให้แสงผ่านเข้ามาไม่มากและไม่น้อยเกินไป โดย ณ เวลา 12:00 น. กระจกใสยอมให้แสงผ่านได้เพียงพอในระยะ ประมาณ 3.7 เมตรจากช่องแสง ถัดมาเป็นกระจกสีได้ระยะประมาณ 2.8 เมตร และกระจก Heat-Stop ได้ระยะประมาณ 1.8 เมตร

4.2.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกในสี่ทิศทาง

พฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกทดสอบทางด้านทิศเหนือและทิศใต้ ตามแผนภูมิที่ 4.15 จะเห็นว่าเมื่อมีพื้นที่ช่องแสง 10% ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคารตลอดวัน มีค่าความส่องสว่างที่ไม่ได้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (500 Lux) โดยจะมีค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด ณ เวลา 12:00 น. แต่เมื่อหันช่องแสงกระจกไปทางทิศตะวันออก ปริมาณแสงที่ผ่านกระจกใสจะสูงในช่วงเช้า (สูงสุด ณ เวลา 9:00 น.) และเมื่อหันช่องแสงกระจกไปทางทิศตะวันตก ปริมาณแสงที่ผ่านกระจกใสจะสูงในช่วงบ่าย (สูงสุด ณ เวลา 15:00 น.) ดังแผนภูมิที่ 4.33



แผนภูมิที่ 4.33 **แสดงค่าความส่องสว่างภายในแต่ละทิศทางการหันช่องแสงกระจกใส** Clear **เมื่อมีพื้นที่ช่องแสง** 10%



แผนภูมิที่ 4.34 **แสดงค่าความส่องสว่างภายในแต่ละทิศทางการหันช่องแสงกระจก** Heat-Stop **เมื่อมีพื้นที่ช่องแสง** 10%

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายใน และปริมาณความร้อนที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง ในขนาดสัดส่วนพื้นที่ของช่องแสงกระจกต่อพื้นที่ผนังต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลาการใช้งาน

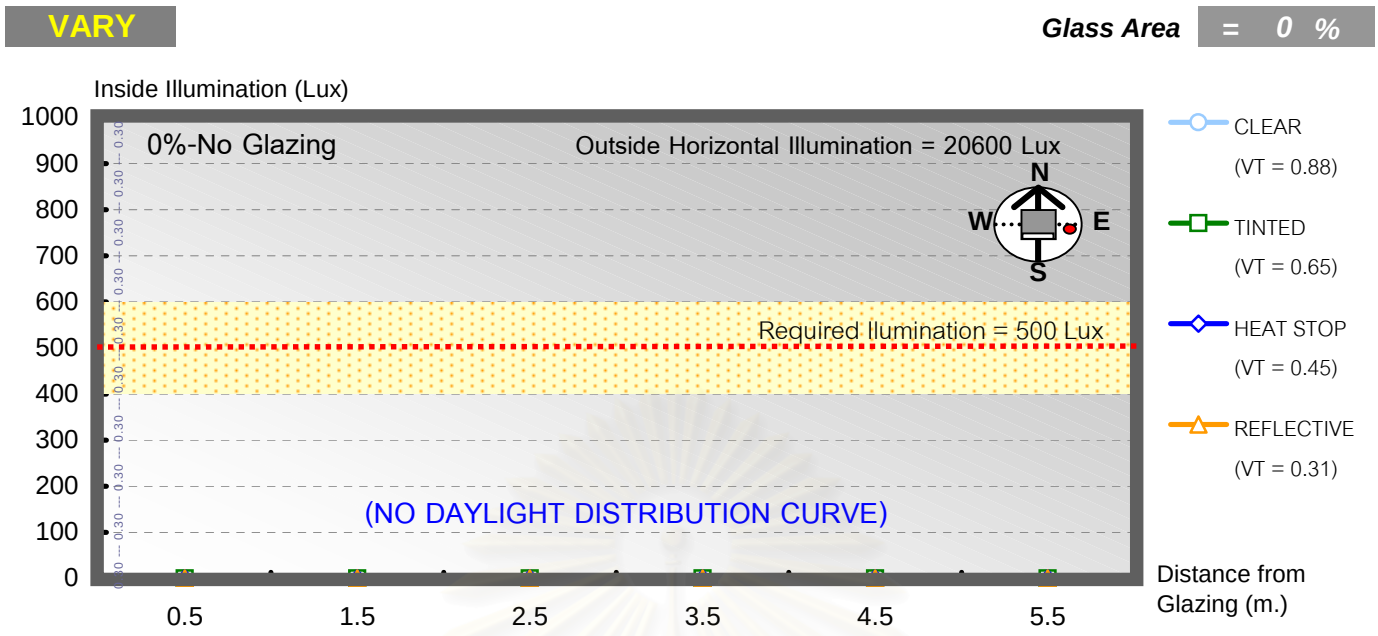
ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ส่วนนี้ สามารถแยกวิเคราะห์ได้เป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์การใช้พลังงานในส่วนของการเพิ่มแสงสว่างจากแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ และการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการปรับอากาศ ดังต่อไปนี้

1. ในส่วนของการวิเคราะห์การใช้พลังงานในส่วนของการเพิ่มแสงสว่างจากแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ ได้ทำการทดสอบพฤติกรรมของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคาร ในสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงต่อพื้นที่ผนังต่างๆ กันไป เพื่อศึกษาแนวโน้มของแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องทดสอบขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 3 เมตร โดยกำหนดให้วัสดุที่ใช้ทำพื้น-ผนัง-ฝ้าเพดาน มีค่าการสะท้อนของแสง เท่ากับ 30% - 50% - 70% ตามลำดับ โดยค่าความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งาน (Working Plane) ที่กำหนดไว้คือ 500 Lux ซึ่งหากในช่วงเวลาใด แสงธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเข้าสู่พื้นที่ใช้งานมีไม่เพียงพอ จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าความส่องสว่างจากแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ที่ต้องนำมาใช้เพิ่มเติมต่อไป โดยได้ทำการทดสอบในสี่ทิศหลัก คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก (เก็บข้อมูลค่าความส่องสว่างภายนอกเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2546 ตั้งแต่เวลา 00.00 – 24.00 น.) ทำการเปลี่ยนขนาดพื้นที่ของกระจกช่องแสงกระจกต่อพื้นที่ผนังในทิศทางที่ทดสอบ ตั้งแต่ 10%, 20%, 30%,..., 100% (ดูข้อมูลทั้งหมดได้ที่ภาคผนวก ข.) ในที่นี้ขอยกตัวอย่างเฉพาะทิศเหนือ ซึ่งมีพื้นที่ช่องแสง เป็น 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, และ 70% ตามแผนภูมิที่ 4.35 – 4.58

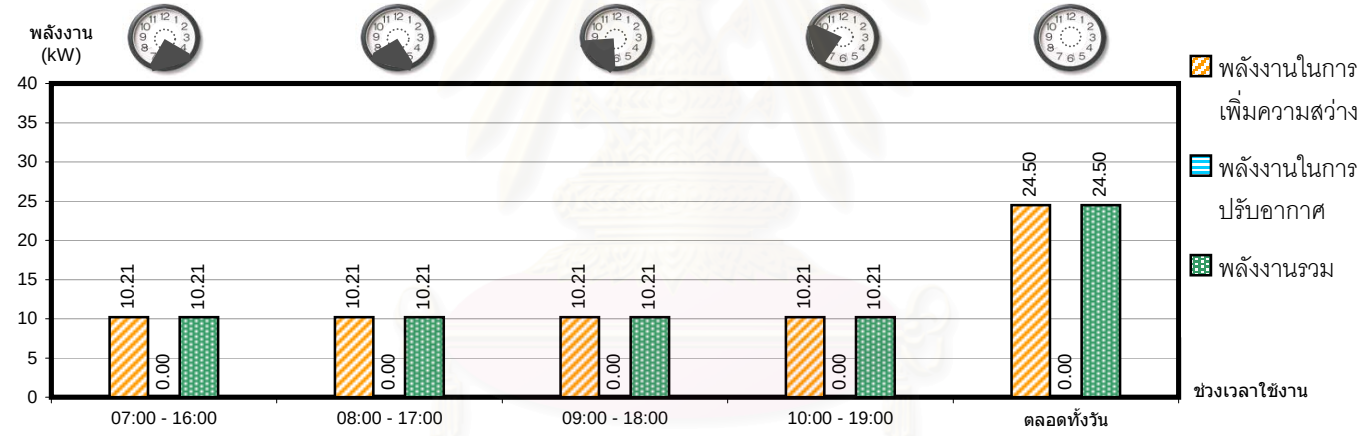
2. ในส่วนของการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการปรับอากาศ ก็กระทำเช่นเดียวกันกับพลังงานในส่วนของแสงสว่าง กล่าวคือ ทำการหาปริมาณพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในสี่ทิศหลัก คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยการเปลี่ยนขนาดพื้นที่ของกระจกช่องแสงกระจกต่อพื้นที่ผนังในทิศทางที่ทดสอบ ตั้งแต่ 10%, 20%, 30%,..., 100% (ดูข้อมูลทั้งหมดได้ที่ภาคผนวก ข.) ในที่นี้ขอยกตัวอย่างเฉพาะทิศเหนือเช่นเดียวกัน ซึ่งมีพื้นที่ช่องแสง เป็น 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, และ 70% ตามแผนภูมิที่ 4.35 – 4.58

ในการเปรียบเทียบนั้น จะเปรียบเทียบการใช้พลังงานรวมทั้งสองส่วนในแต่ละช่วงเวลาการใช้งาน ซึ่งแบ่งออกตามช่วงเวลาการทำงาน (Working Time) 9 ชั่วโมง และตลอดทั้งวัน ดังนี้

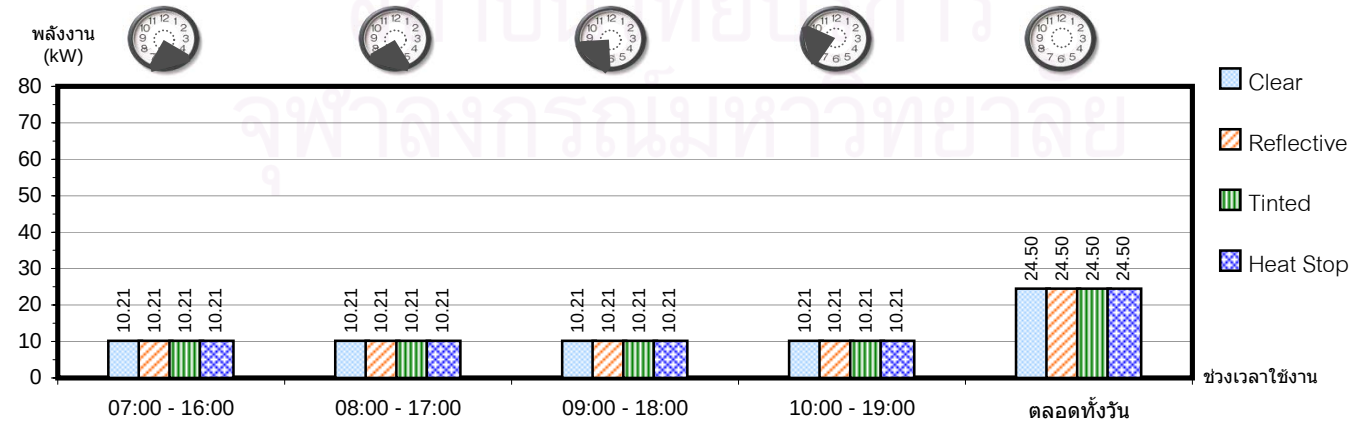
- ช่วงเวลา 7.00 – 16.00 น. รวมเป็นเวลาการทำงาน 9 ชั่วโมง
- ช่วงเวลา 8.00 – 16.00 น. รวมเป็นเวลาการทำงาน 9 ชั่วโมง
- ช่วงเวลา 9.00 – 16.00 น. รวมเป็นเวลาการทำงาน 9 ชั่วโมง
- ช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. รวมเป็นเวลาการทำงาน 9 ชั่วโมง
- ช่วงเวลา 1.00 – 24.00 น. รวมเป็นเวลาการทำงาน 24 ชั่วโมง



แผนภูมิที่ 4.35 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ ในห้องที่ไม่มีการติดตั้งช่องแสงกระจก เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร



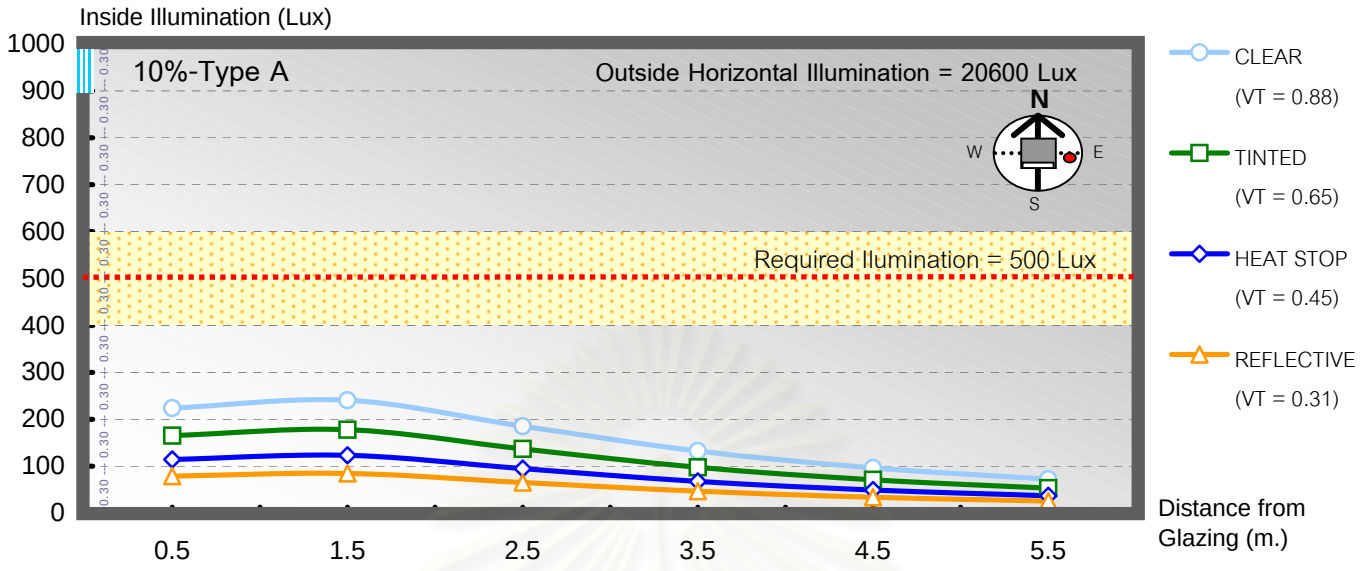
แผนภูมิที่ 4.36 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ กรณีที่ไม่มีช่องแสงกระจกภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร



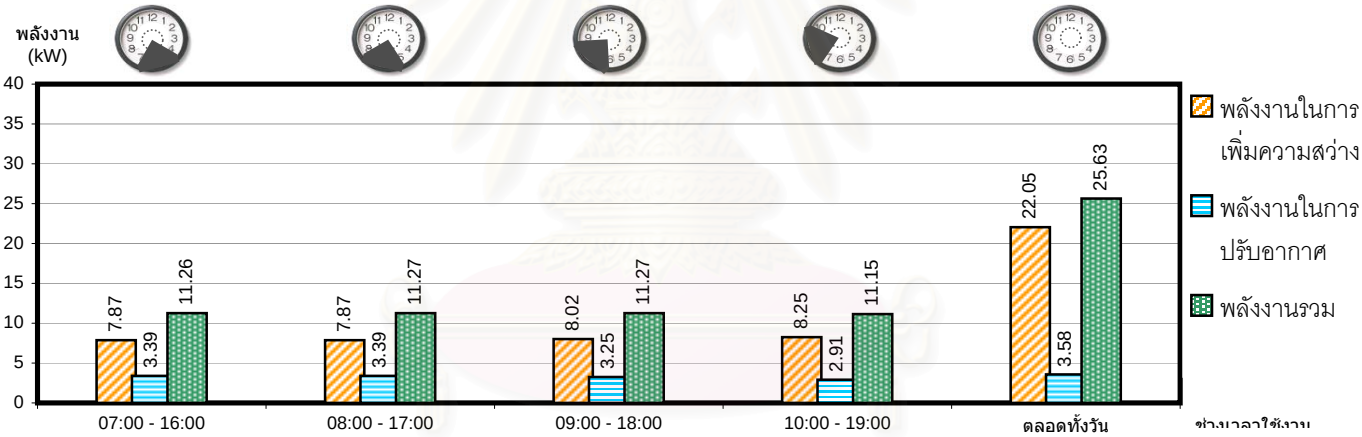
แผนภูมิที่ 4.37 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ กรณีที่ไม่มีช่องแสงกระจกภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร

NORTH

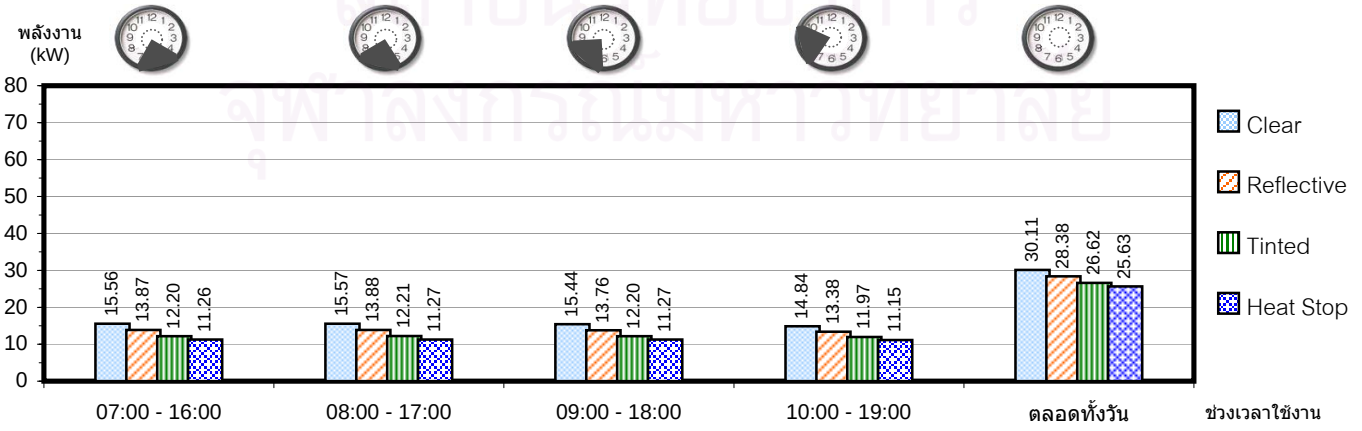
Glass Area = *10 %*



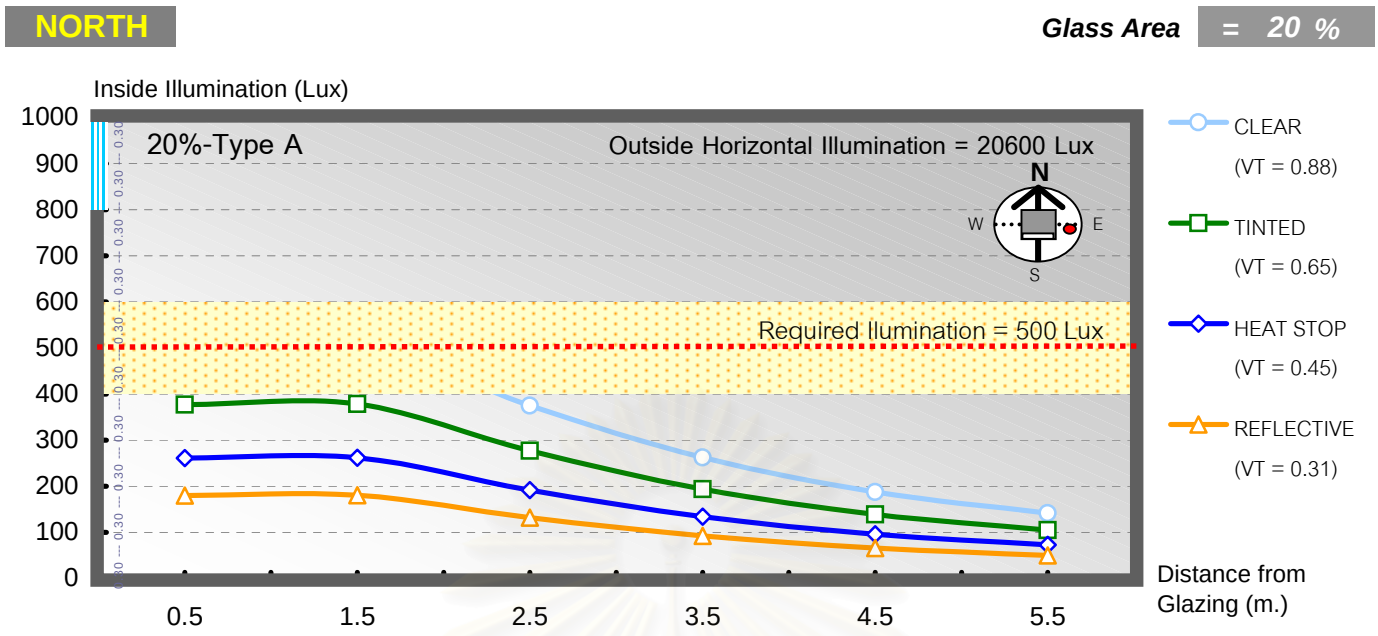
แผนภูมิที่ 4.38 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 10% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



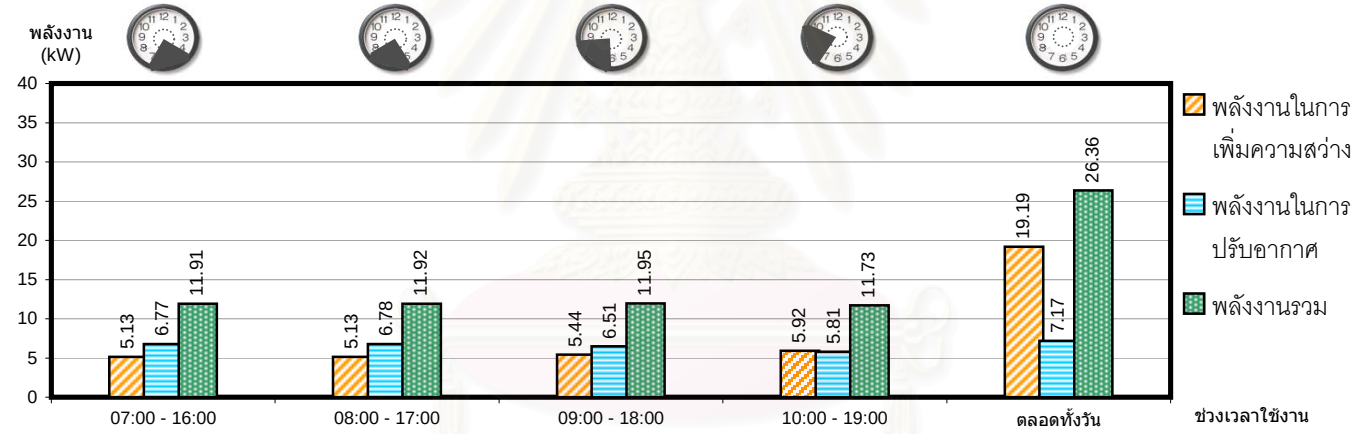
แผนภูมิที่ 4.39 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 10% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



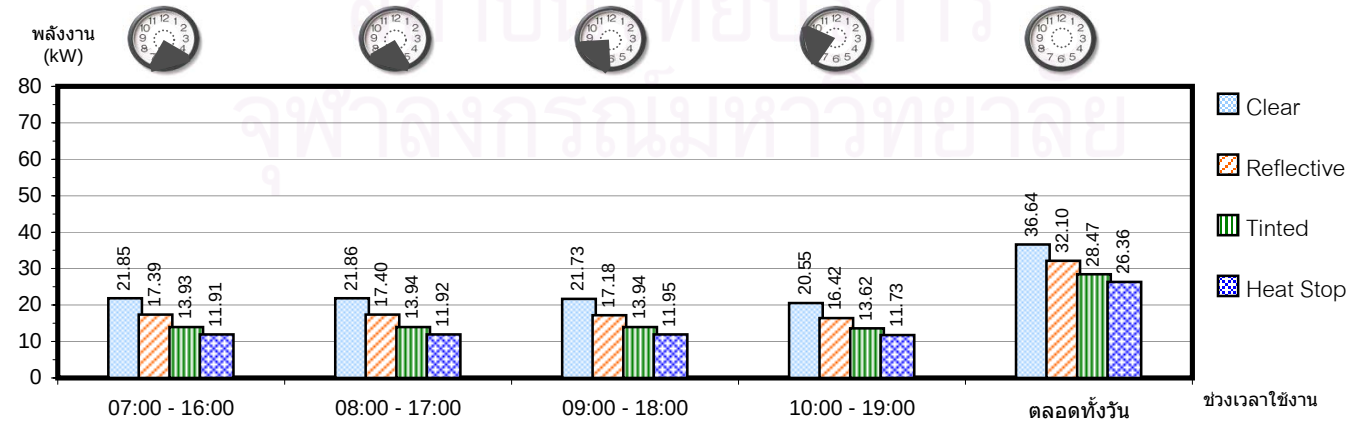
แผนภูมิที่ 4.40 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 10% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



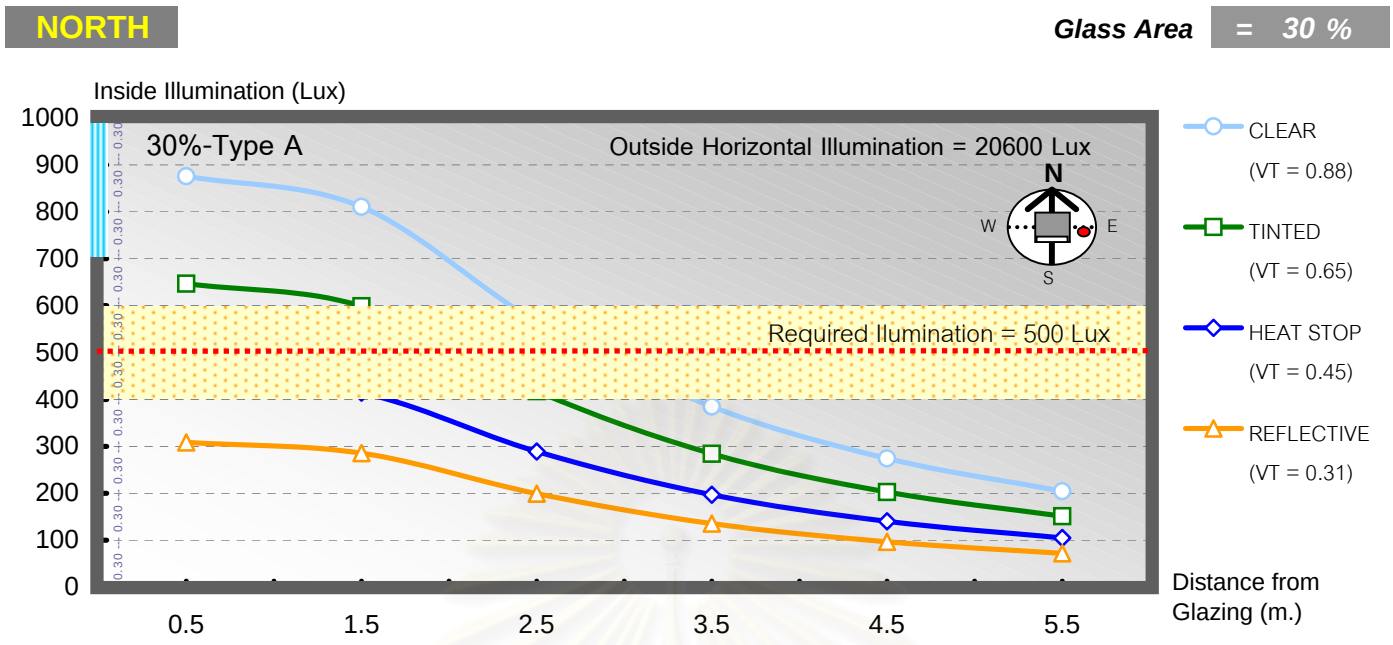
แผนภูมิที่ 4.41 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



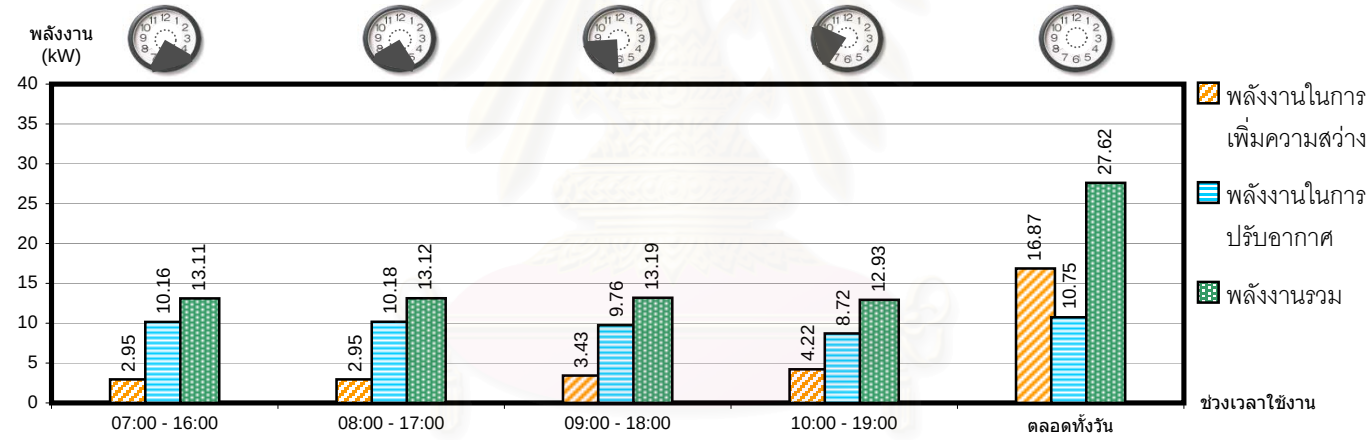
แผนภูมิที่ 4.42 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



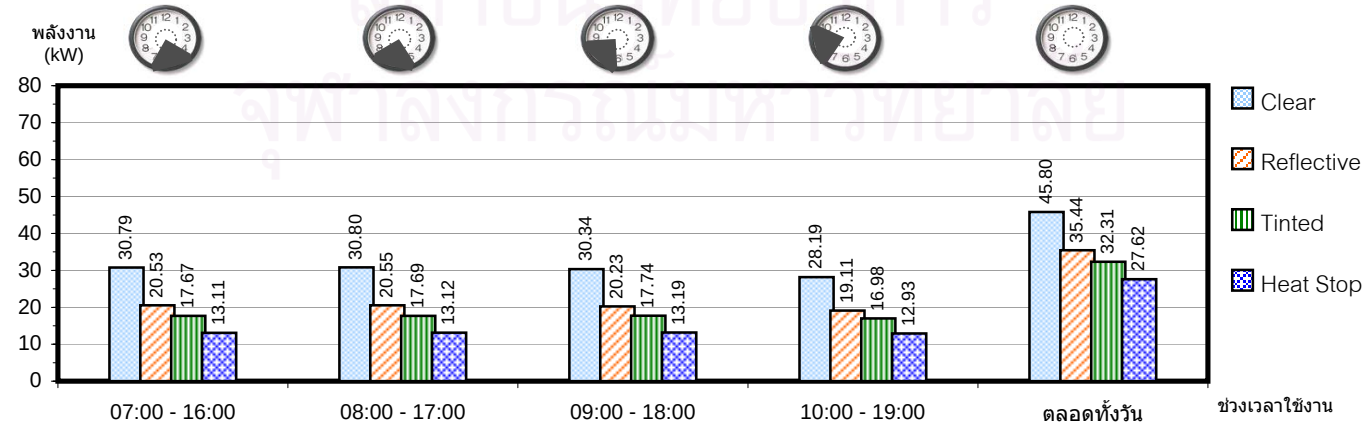
แผนภูมิที่ 4.43 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



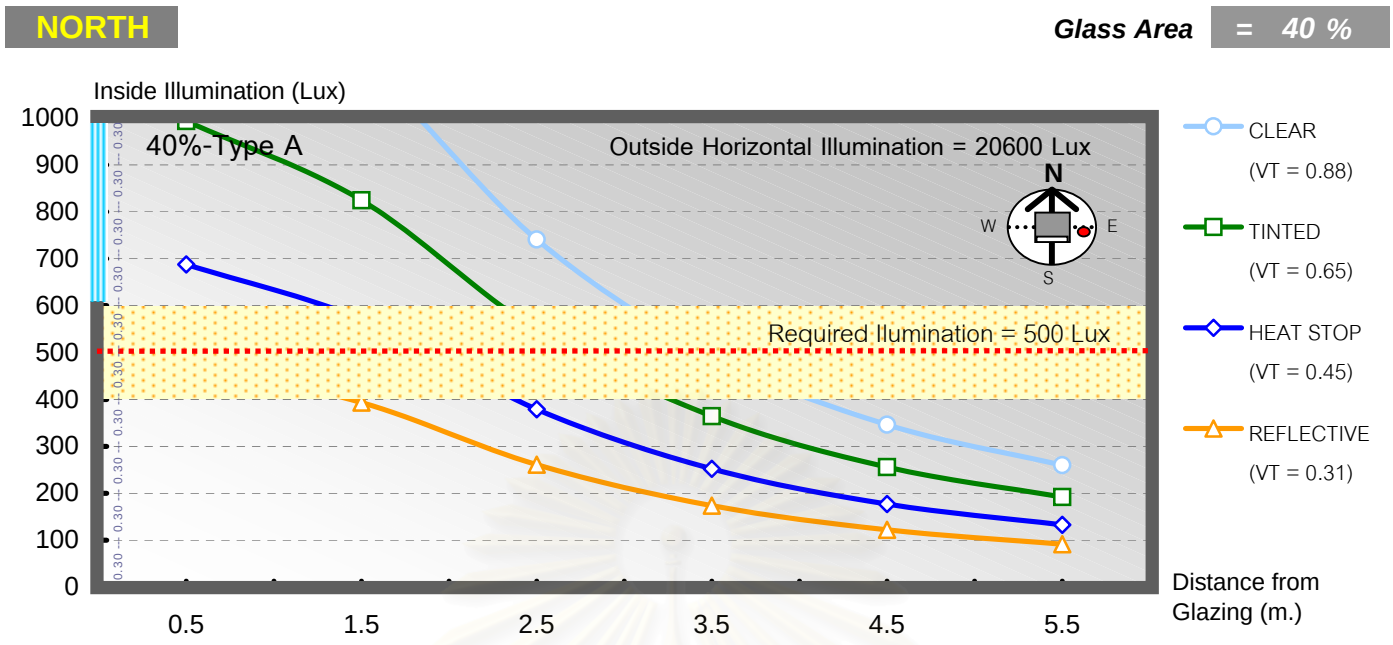
แผนภูมิที่ 4.44 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



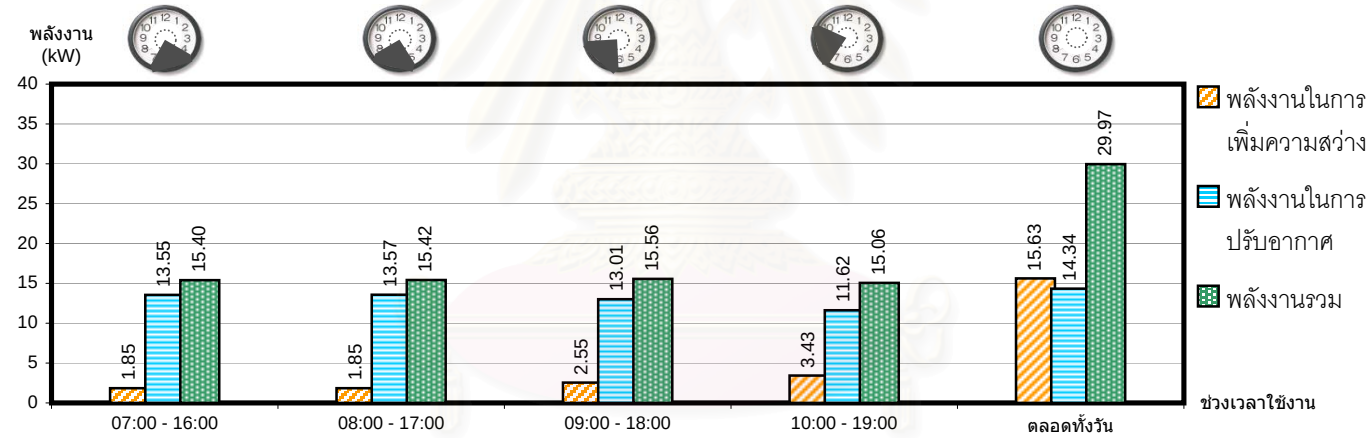
แผนภูมิที่ 4.45 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



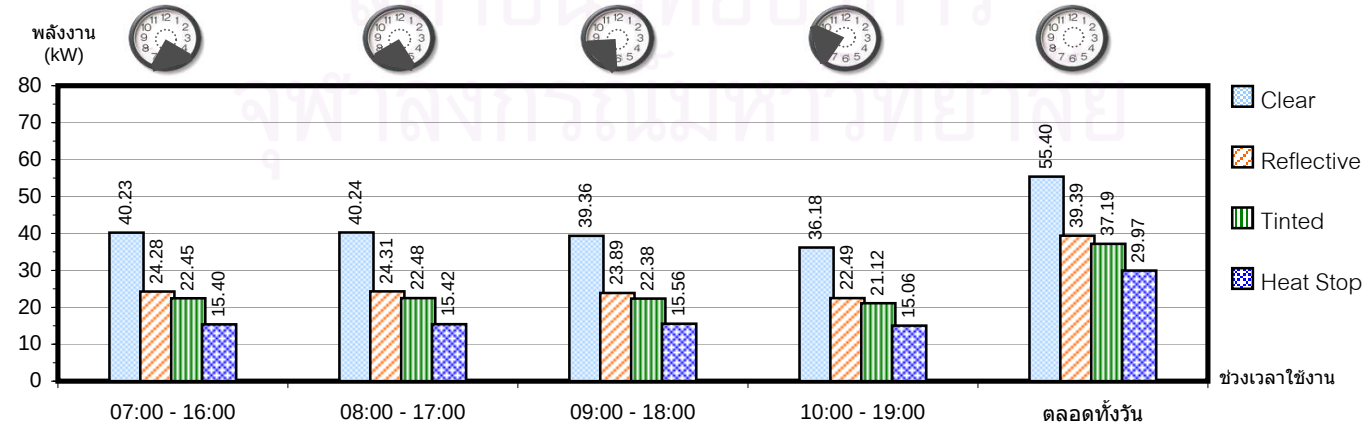
แผนภูมิที่ 4.46 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



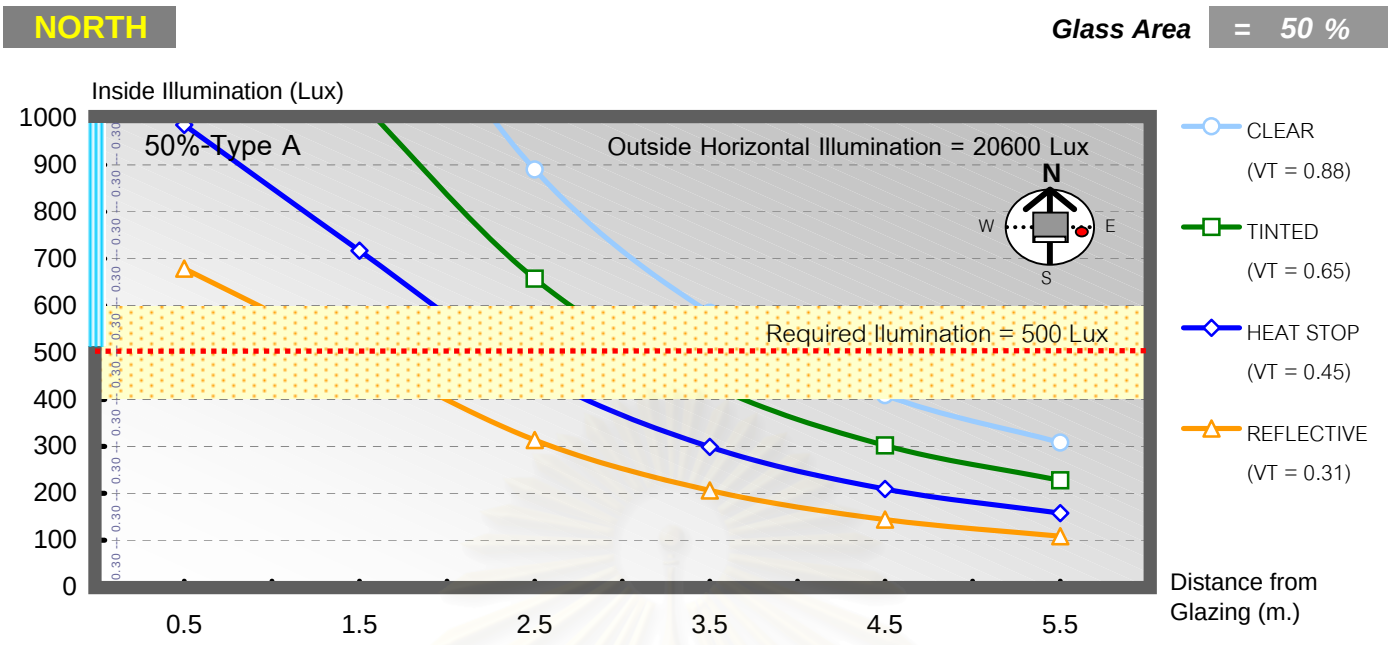
แผนภูมิที่ 4.47 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



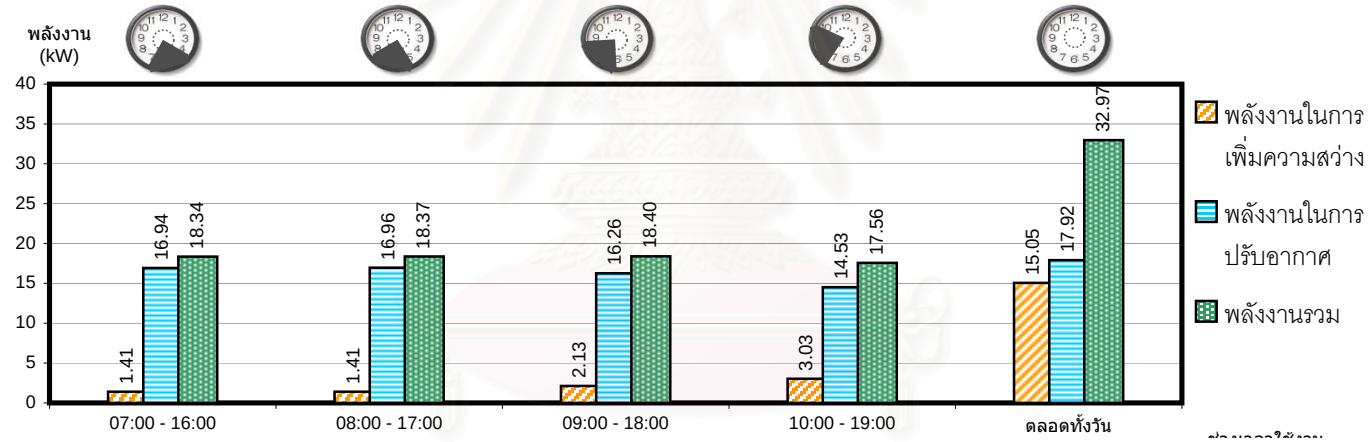
แผนภูมิที่ 4.48 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



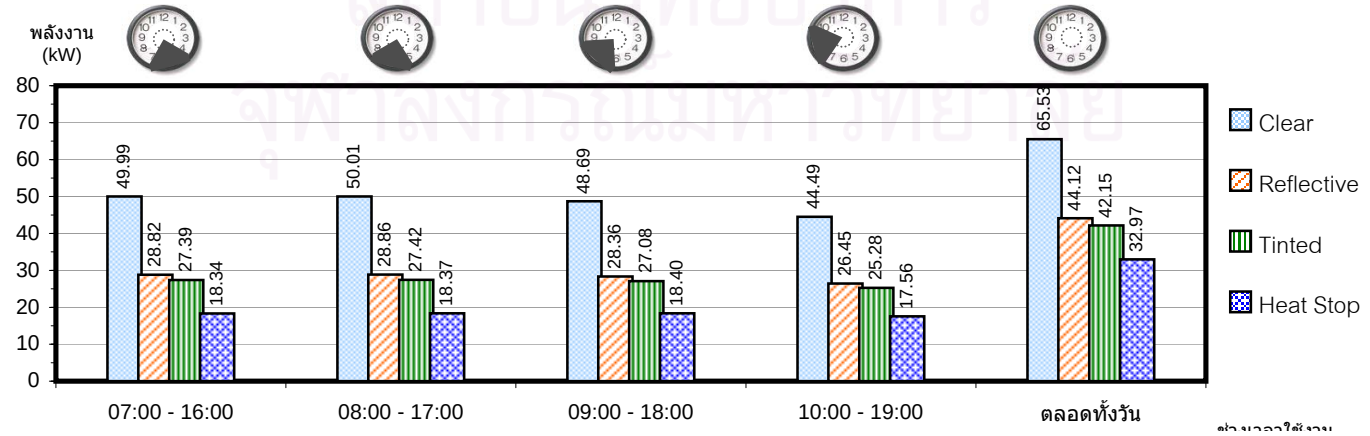
แผนภูมิที่ 4.49 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



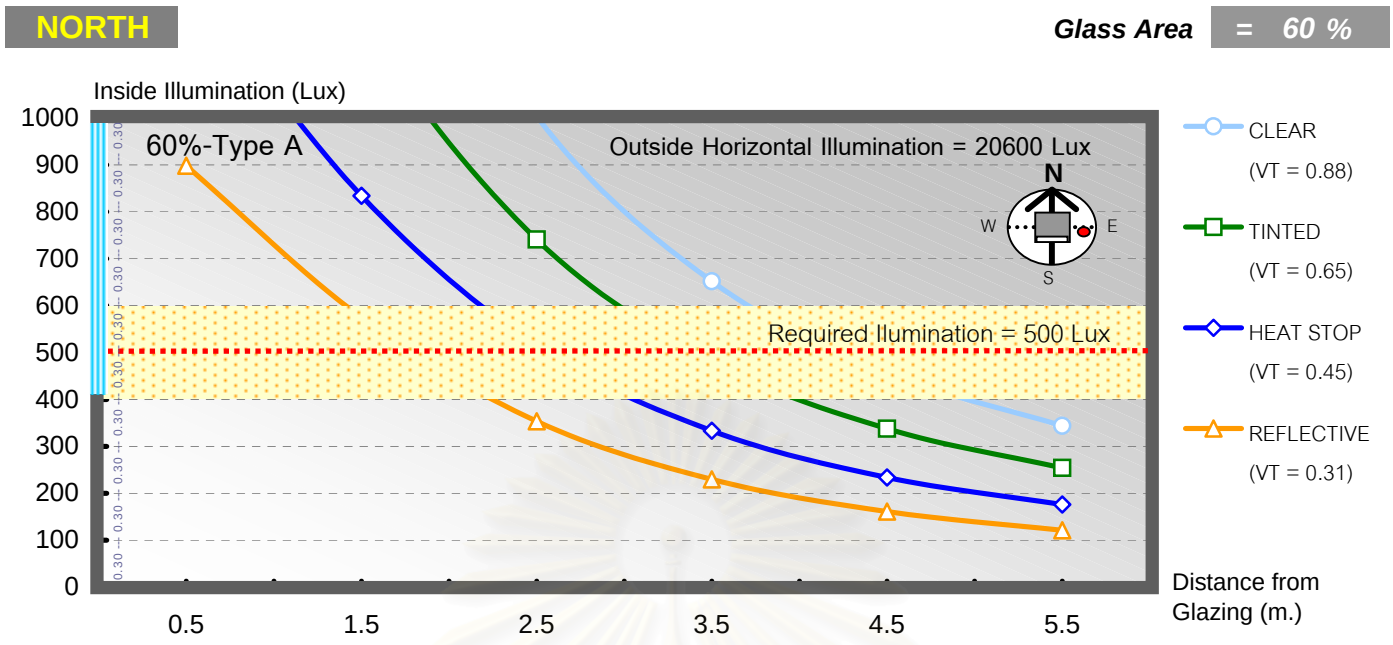
แผนภูมิที่ 4.50 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



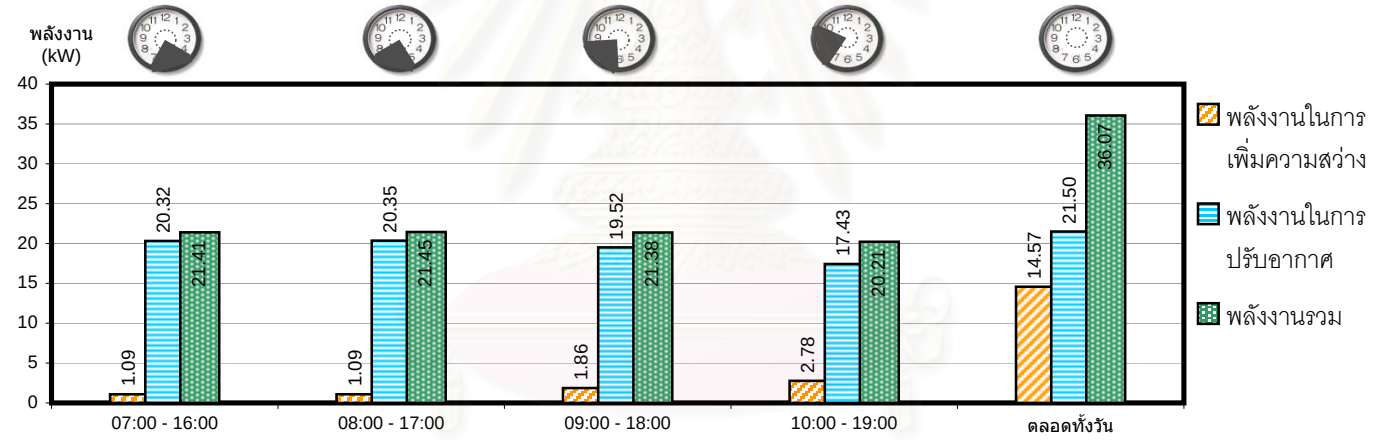
แผนภูมิที่ 4.51 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



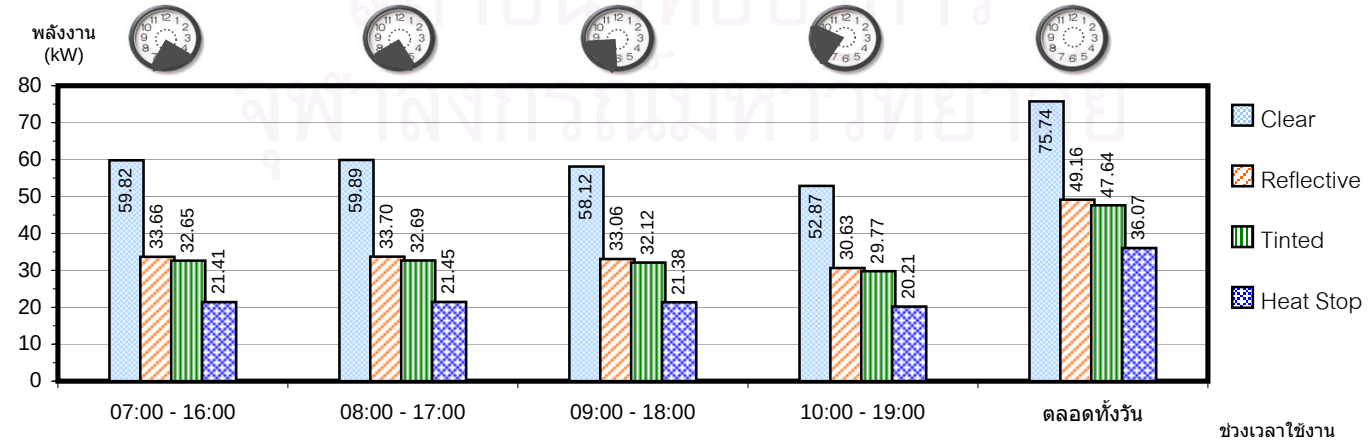
แผนภูมิที่ 4.52 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



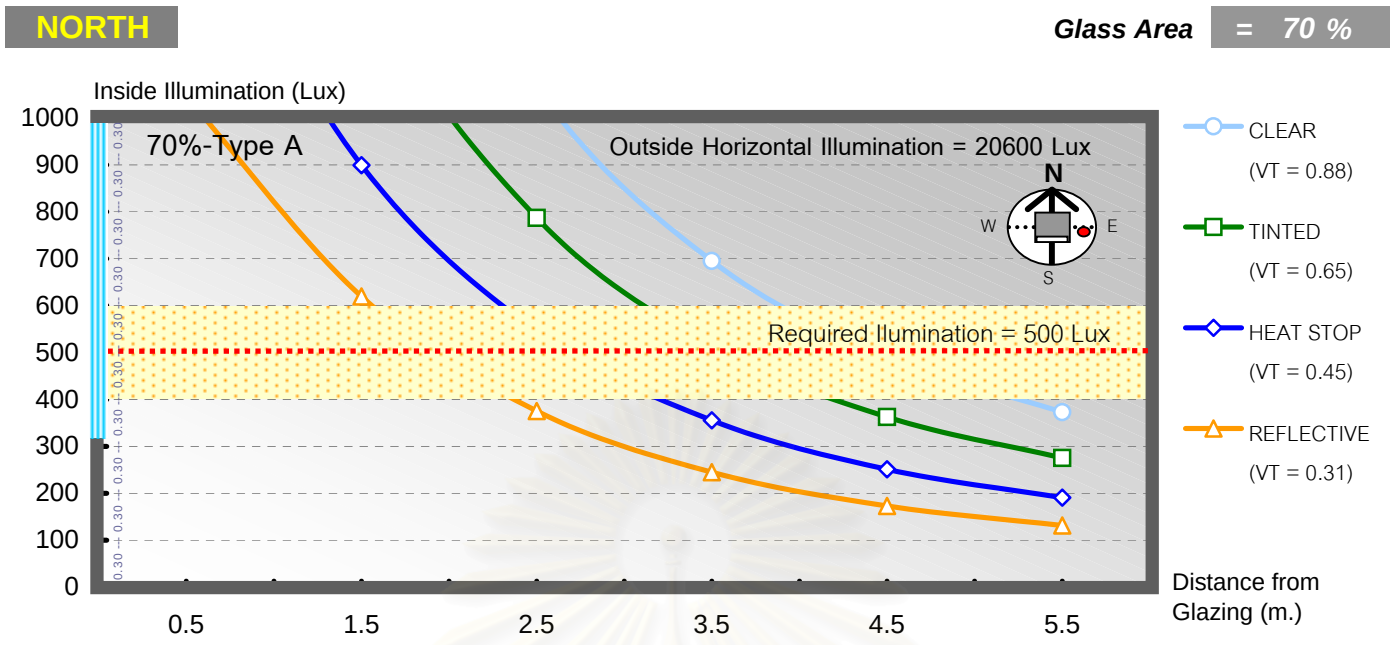
แผนภูมิที่ 4.53 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 60% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



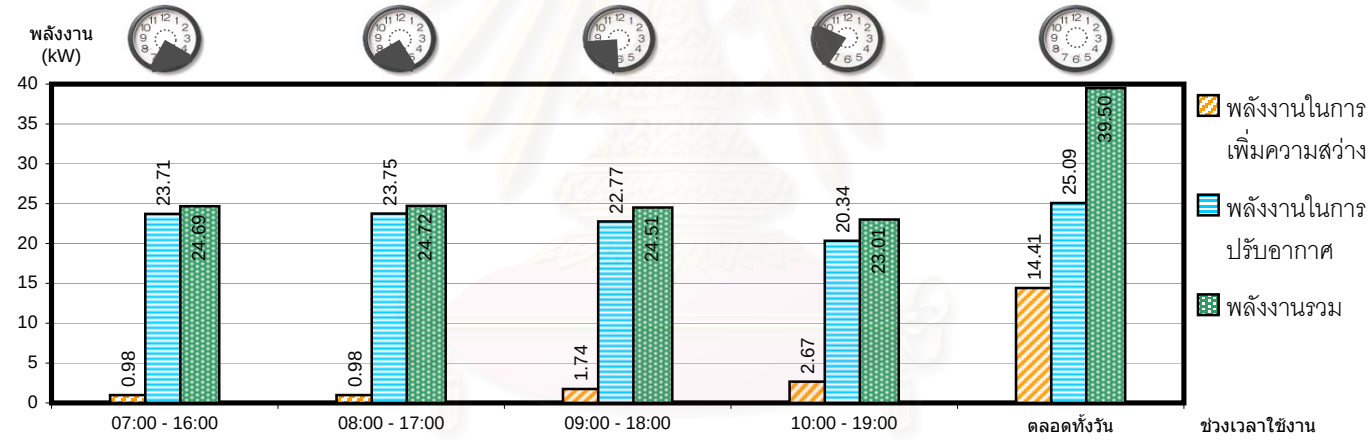
แผนภูมิที่ 4.54 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



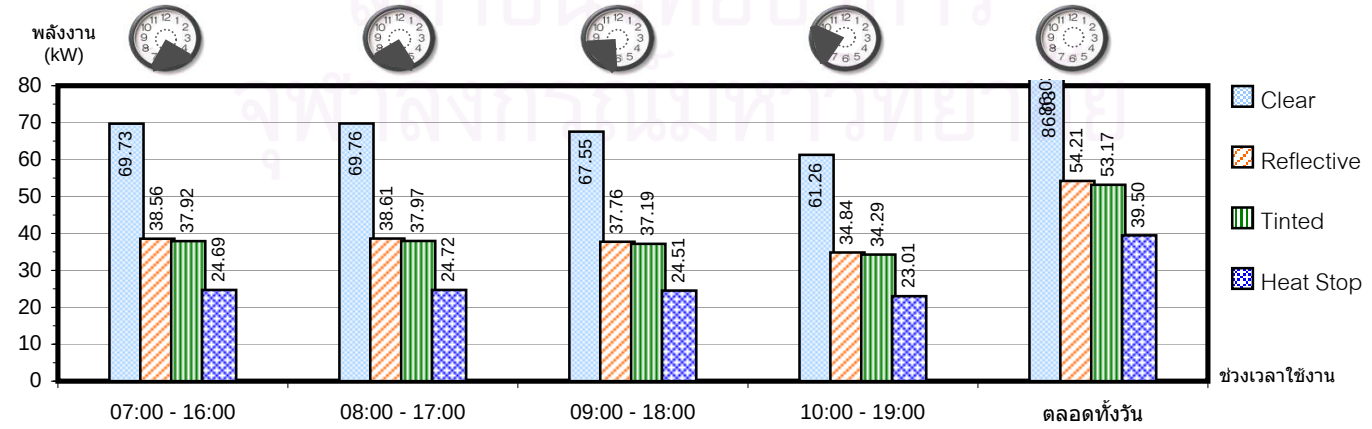
แผนภูมิที่ 4.55 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 4.56 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 70% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



แผนภูมิที่ 4.57 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 70% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 4.58 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 70% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในส่วนของการเพิ่มแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ พบว่า เมื่อไม่มีการเปิดช่องแสงใดๆ การใช้พลังงานในส่วนนี้จะสูงสุด ที่ 24.50 kW เมื่อเปิดใช้ตลอดทั้งวัน และที่ 10.21 kW เมื่อเปิดใช้ 9 ชั่วโมง และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของช่องแสงกระจก จะทำให้การใช้พลังงานจากการเพิ่มแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ลดลงและจะลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั้งเมื่อใช้สัดส่วนของช่องแสงกระจกต่อพื้นที่ผนังเป็น 70% ขึ้นไป ค่าการใช้พลังงานในส่วนนี้จะค่อนข้างคงที่ และสามารถแยกพิจารณาเป็นประเด็นอื่นๆ ได้ดังนี้

1. การพิจารณาช่วงเวลาที่ใช้พลังงานในส่วนของการเพิ่มแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ พบว่า การใช้งานในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 7.00 – 16.00 น. และ 8.00 – 17.00 น. จะใช้พลังงานน้อยที่สุด ในขณะที่การใช้งานในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 10.00 – 19.00 น. จะใช้พลังงานมากที่สุด

2. การพิจารณาการเลือกใช้กระจกเพื่อการประหยัดพลังงานในส่วนของการเพิ่มแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ พบว่า การใช้กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) สูง จะสามารถลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ลงได้ โดยสามารถเรียงชนิดของกระจกที่สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนนี้จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ กระจกใส (Clear, VT=0.88) กระจกสี (Tinted, VT=0.65) กระจกฉนวนสองชั้น (Heat-Stop, VT=0.45) และกระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Reflective, VT=0.31) ตามลำดับ

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในส่วนของการปรับอากาศ พบว่า เมื่อไม่มีการเปิดช่องแสงใดๆ จะไม่มีการใช้พลังงานในส่วนนี้ และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของช่องแสงกระจก จะทำให้การใช้พลังงานจากการการปรับอากาศ เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดเมื่อใช้สัดส่วนของช่องแสง 100% และสามารถแยกพิจารณาเป็นประเด็นอื่นๆ ได้ดังนี้

1. การพิจารณาช่วงเวลาที่ใช้พลังงานในส่วนของการปรับอากาศ พบว่า การใช้งานในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 10.00 – 19.00 น. จะใช้พลังงานน้อยที่สุด ในขณะที่การใช้งานในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. จะใช้พลังงานมากที่สุด

2. การพิจารณาการเลือกใช้กระจกเพื่อการประหยัดพลังงานในส่วนของการปรับอากาศ พบว่า การใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิการบังแดด (Shading Coefficient, SC) ต่ำ จะสามารถลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ลงได้ โดยสามารถเรียงชนิดของกระจกที่สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนนี้จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ กระจกฉนวนสองชั้น (Heat-Stop, SC=0.31) กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Reflective, SC=0.48) กระจกสี (Tinted, SC=0.49) และ กระจกใส (Clear, SC=0.92) ตามลำดับ

และหากนำเอาทั้งสองส่วนมาพิจารณาร่วมกันเป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานในส่วนของการเพิ่มแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ และการปรับอากาศ พบว่า เมื่อไม่มีการเปิดช่องแสงใดๆ พลังงานจะขึ้นอยู่กับการใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของช่องแสงกระจก จะทำให้การใช้พลังงานจากการการปรับอากาศ เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดเมื่อใช้สัดส่วนของช่องแสง 100% จึงทำให้พลังงานรวมมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศนั้นมีมากกว่าพลังงานในส่วนของการเพิ่มแสงไฟฟ้าประดิษฐ์หลายเท่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้สัดส่วนของช่องแสงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และสามารถแยกพิจารณาเป็นประเด็นอื่นๆ ได้ดังนี้

1. การพิจารณาช่วงเวลาที่จะใช้พลังงานอย่างประหยัด พบว่า การใช้งานในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 10.00 – 19.00 น. จะใช้พลังงานน้อยที่สุด ในขณะที่การใช้งานในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. จะใช้พลังงานมากที่สุด

2. การพิจารณาการเลือกใช้กระจกเพื่อการประหยัดพลังงาน พบว่า การคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิการบังแดด (Shading Coefficient, SC) เป็นลำดับแรกในการเลือกใช้กระจก มีความสำคัญมากกว่าการคำนึงถึงค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) เนื่องจากสัดส่วนของพลังงานที่เกิดจากการปรับอากาศมีมากกว่าการเพิ่มไฟฟ้าแสงสว่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 บทสรุปในการเลือกใช้ชนิดของกระจก

การออกแบบอาคารที่ปรับอากาศในส่วนของช่องแสงกระจกด้านข้าง ควรเลือกใช้กระจกโดยคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient, SC) ที่ต่ำเป็นขั้นแรก แล้วจึงพิจารณาค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) ที่สูง โดยหากพิจารณาทั้งสองตัวแปรควบคู่กันก็จะยิ่งทำให้การเลือกกระจกมีประสิทธิภาพในการประหยัดการใช้พลังงานในการปรับอากาศและพลังงานในการเพิ่มความสว่างในอาคารมากขึ้น โดยการคำนึงถึงอัตราส่วนระหว่างค่าการส่องผ่านของแสงต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่สูงสุด (Coolness Ratio or Light to Solar Gain Ratio, VT/SC) อันหมายความว่า เป็นกระจกที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาได้มาก ในขณะที่ความร้อนเข้ามาได้น้อย ซึ่งจากการทดสอบ ปรากฏว่า กระจก Heat-Stop ซึ่งมีค่า Coolness Ratio เท่ากับ 1.45 สามารถลดการใช้พลังงานได้ดีที่สุด รองลงมาเป็น Tinted (Coolness Ratio = 1.33)

นอกจากการเลือกกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่ต่ำ ซึ่งมีผลทำให้ลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศจากความร้อนอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์แล้ว (จาก $Q = A * SC * Rad$) ยังต้องคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจก (U-Value) ที่ต่ำอีกด้วย ซึ่งจะมีผลให้ความร้อนอีกส่วนหนึ่งที่ส่งผ่านกระจกเข้ามา อันหมายถึงความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร (จาก $Q = U * A * \Delta T$) มีค่าน้อยลง ถึงแม้ว่าสัดส่วนของความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิจะมีน้อยกว่าความร้อนอันเนื่องมาจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ก็ตาม แต่หากมีการคำนึงถึงทั้งสองส่วน ก็จะทำให้การเลือกใช้กระจกเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารปรับอากาศมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากการคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient, SC) ที่ต่ำ ค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) ที่สูง และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจก (U-Value) ที่ต่ำแล้ว ยังควรคำนึงถึงส่วนอื่นๆ เพิ่มเติม คือ ความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของอากาศ น้ำ และความชื้นที่ดี เพื่อให้ได้กระจกที่ประหยัดพลังงานอย่างสมบูรณ์แบบ

5.1.2 บทสรุปในการออกแบบขนาดพื้นที่ของช่องแสงกระจกด้านข้าง

การพิจารณาขนาดพื้นที่ของช่องแสงกระจกด้านข้างที่เหมาะสมในการออกแบบอาคารที่ปรับอากาศควรเลือกออกแบบให้มีพื้นที่ของกระจกไม่เกิน 20 - 40 % ของพื้นที่ผนังในด้านนั้นๆ (แล้วแต่ชนิดและคุณสมบัติของกระจก) เพราะถึงแม้ว่าเมื่อมีพื้นที่ของกระจกมากขึ้นจะทำให้ได้แสงธรรมชาติมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องเพิ่มการใช้พลังงานในการปรับอากาศจากปริมาณความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งจากผลการใช้พลังงานรวมในการปรับอากาศและเพิ่มความส่องสว่างในอาคารตลอดทั้งวันของกระจกที่หันไปทางทิศเหนือ ได้บทสรุปดังนี้

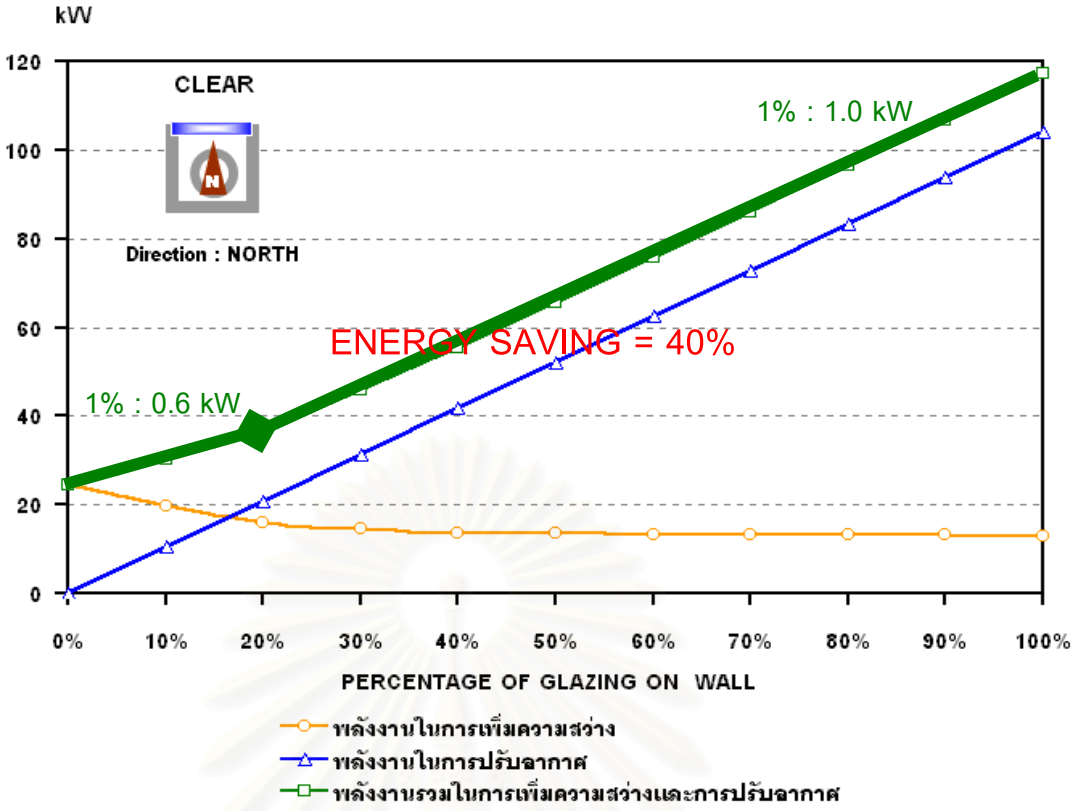
1. หากใช้พื้นที่กระจกใส (Clear) ในช่วงสัดส่วนที่น้อยกว่า 20% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.6 kW ในขณะที่หากใช้ในช่วงสัดส่วนที่มากกว่า 20% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 1.0 kW ซึ่งการใช้พื้นที่กระจกน้อยกว่า 20% จะประหยัดพลังงาน (ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มพื้นที่) มากกว่าการใช้พื้นที่กระจก 20% ขึ้นไป ถึง 40% (จากแผนภูมิที่ 5.1)

2. หากใช้พื้นที่กระจกสี (Tinted) ในช่วงสัดส่วนที่น้อยกว่า 30% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.2 kW ในขณะที่หากใช้ในช่วงสัดส่วนที่มากกว่า 30% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.5 kW ซึ่งการใช้พื้นที่กระจกน้อยกว่า 30% จะประหยัดพลังงาน (ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มพื้นที่) มากกว่าการใช้พื้นที่กระจก 30% ขึ้นไป ถึง 60% (จากแผนภูมิที่ 5.2)

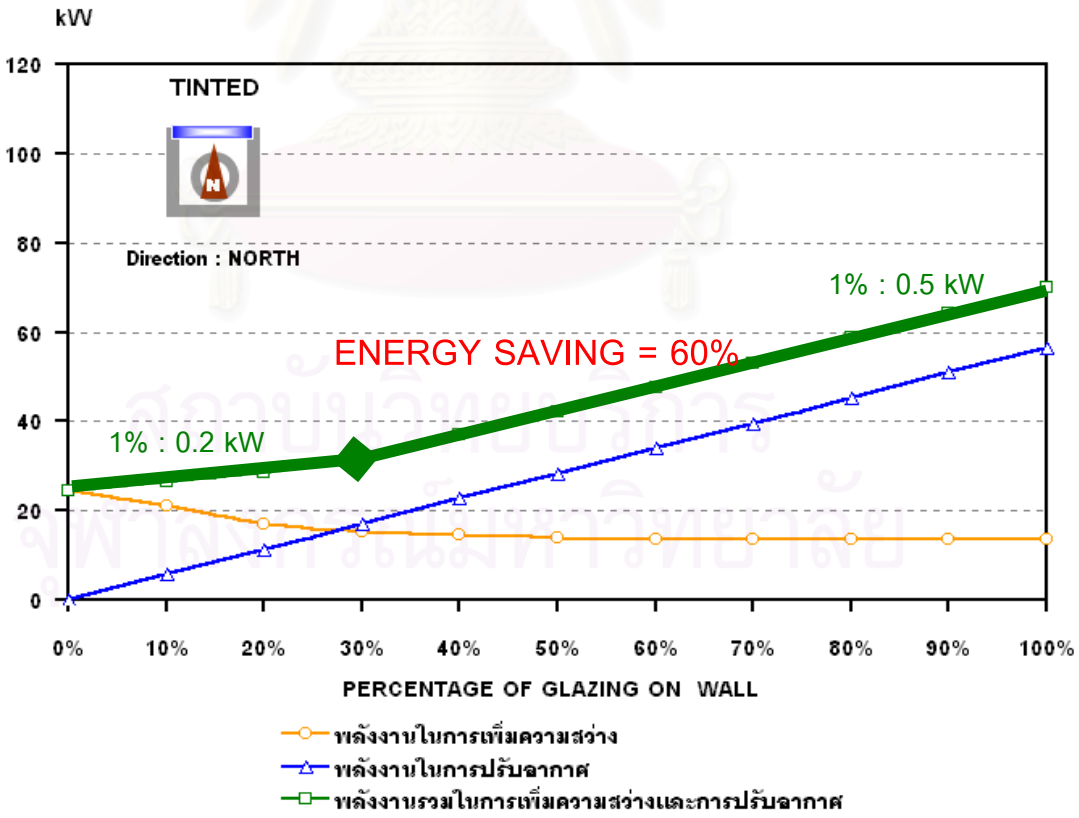
3. หากใช้พื้นที่กระจก Solar Reflective ในช่วงสัดส่วนที่น้อยกว่า 40% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.4 kW ในขณะที่หากใช้ในช่วงสัดส่วนที่มากกว่า 40% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.5 kW ซึ่งการใช้พื้นที่กระจกน้อยกว่า 40% จะประหยัดพลังงาน (ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มพื้นที่) มากกว่าการใช้พื้นที่กระจก 40% ขึ้นไป ถึง 20% (จากแผนภูมิที่ 5.3)

4. หากใช้พื้นที่กระจก Heat-Stop ในช่วงสัดส่วนที่น้อยกว่า 30% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.1 kW ในขณะที่หากใช้ในช่วงสัดส่วนที่มากกว่า 30% การเพิ่มพื้นที่กระจกในช่วงนี้ 1% จะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 0.3 kW ซึ่งการใช้พื้นที่กระจกน้อยกว่า 30% จะประหยัดพลังงาน (ต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มพื้นที่) มากกว่าการใช้พื้นที่กระจก 30% ขึ้นไป ถึง 66% (จากแผนภูมิที่ 5.4)

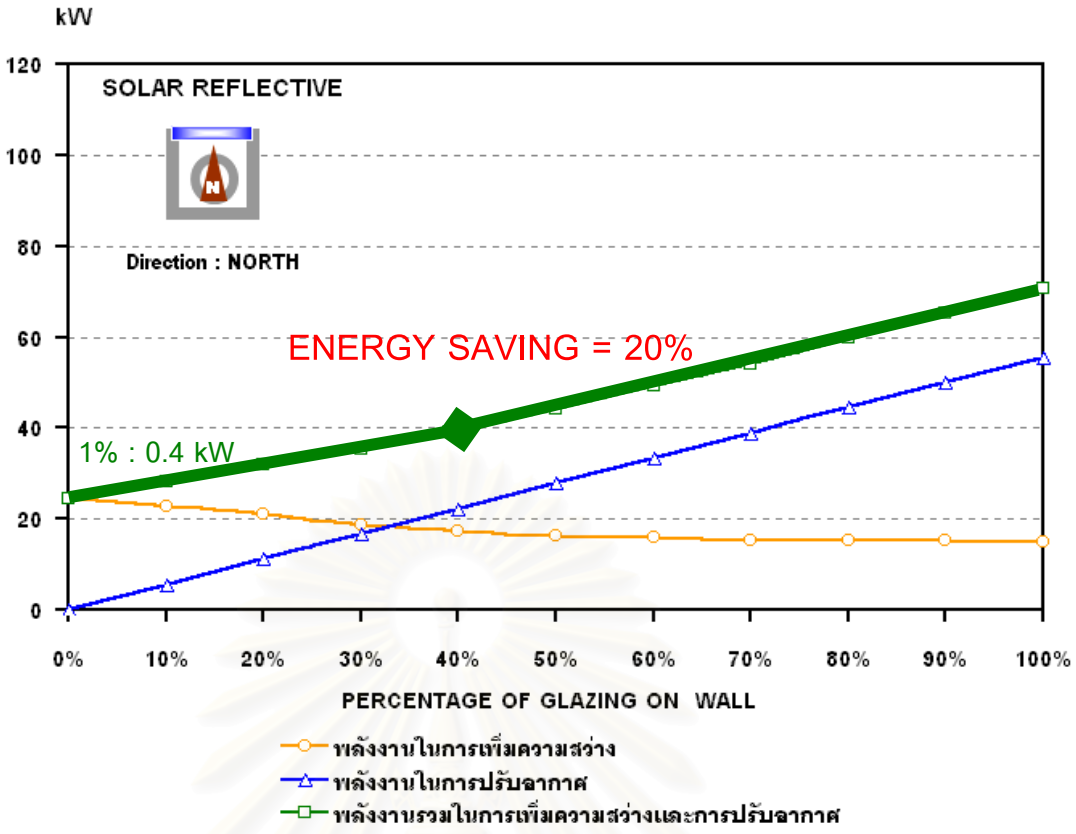
ดังนั้นการออกแบบขนาดพื้นที่ของช่องแสงกระจกด้านข้างที่เหมาะสมในอาคารที่ปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงควรมีขนาดที่เล็กที่สุด เนื่องจากยิ่งมีพื้นที่กระจกมาก ก็จะยิ่งสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศและเพิ่มความส่องสว่างในอาคารมากยิ่งขึ้นเป็นทวีคูณ ส่งผลให้สูญเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น (ดูแผนภูมิที่ 5.5 – 5.8) โดยอาจจะพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ทิศทางการเปิดช่องแสงกระจกด้านข้าง มุมมอง-ทิวทัศน์ ความต้องการความสว่างจากแสงธรรมชาติ และความต้องการความเป็นส่วนตัว เป็นต้น เพื่อให้สามารถกำหนดขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมในการเปิดช่องแสงกระจกด้านข้างก่อนทำการออกแบบรายละเอียดและทำการก่อสร้างต่อไป พร้อมกันนี้สามารถสรุปแนวทางการเลือกใช้ชนิดกระจกช่องแสงด้านข้าง โดยคำนึงถึงความเหมาะสมตามสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจก ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งแบ่งการพิจารณาตามทิศทางทั้งสี่ทิศ และในแต่ละช่วงเวลาการใช้งาน โดยใช้หลักการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีการหาค่าใช้จ่ายรวม ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี



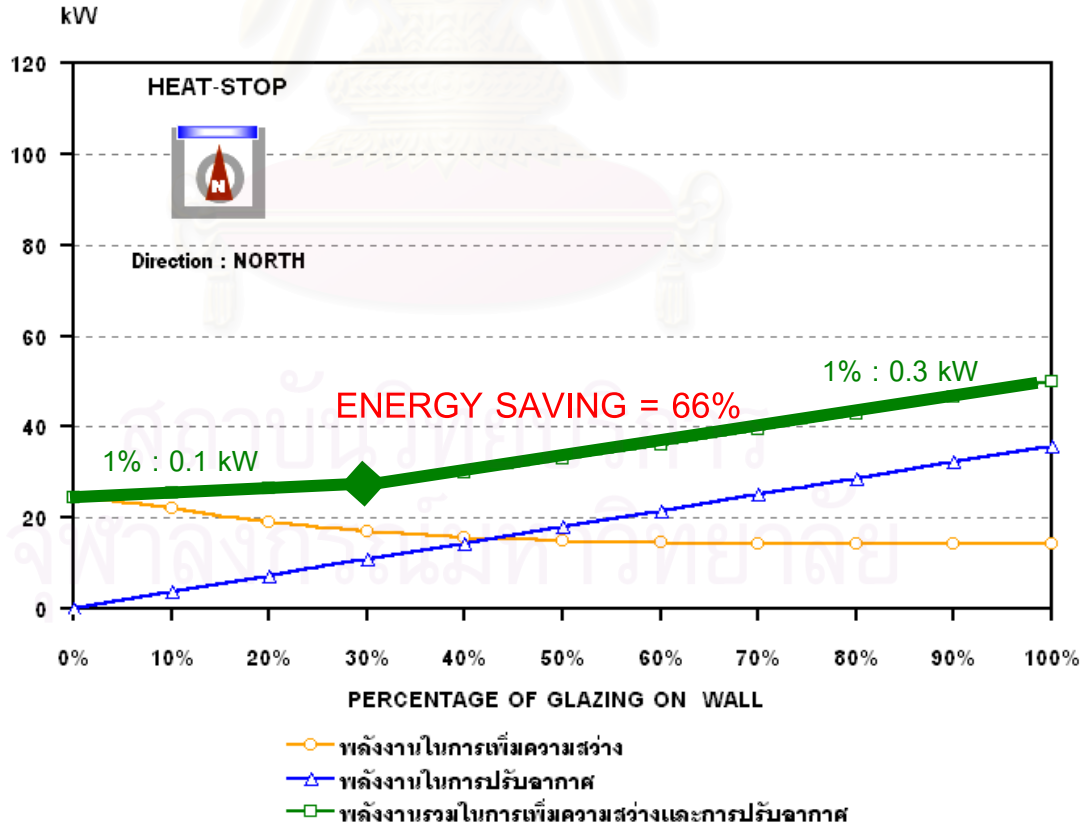
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงการใช้พลังงานรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Clear หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ



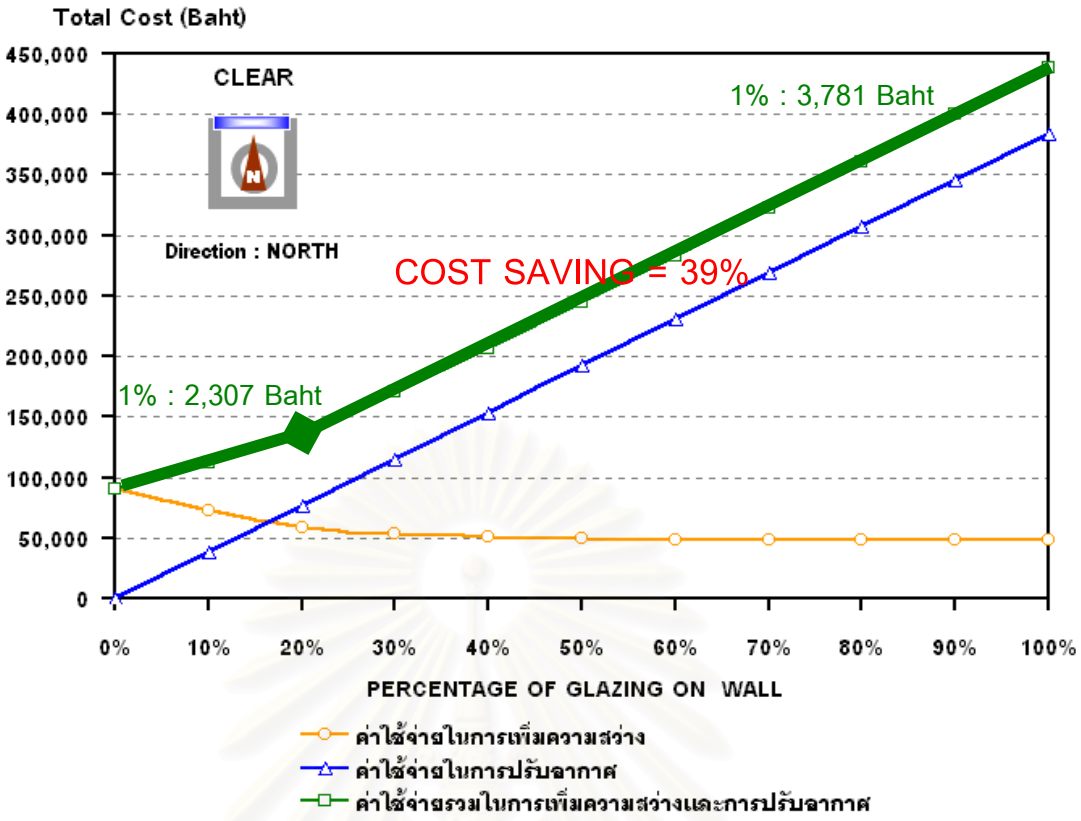
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงการใช้พลังงานรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Tinted หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ



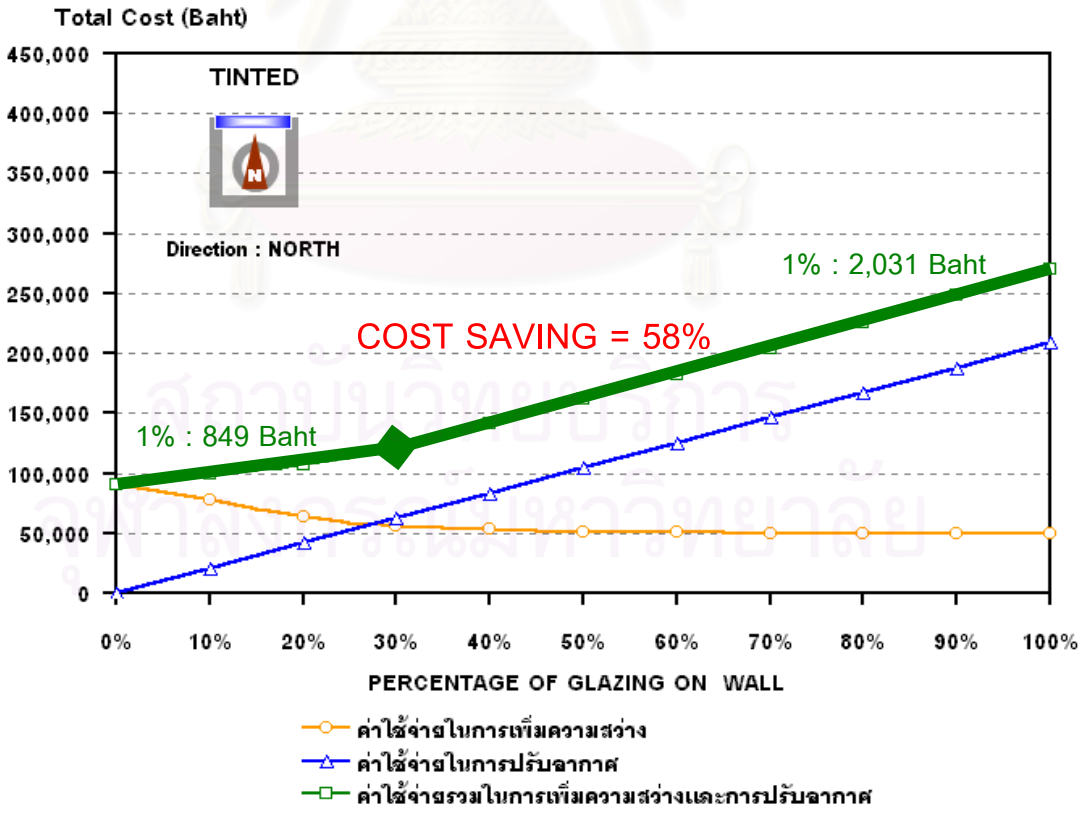
แผนภูมิที่ 5.3 แสดงการใช้พลังงานรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Solar Reflective หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ



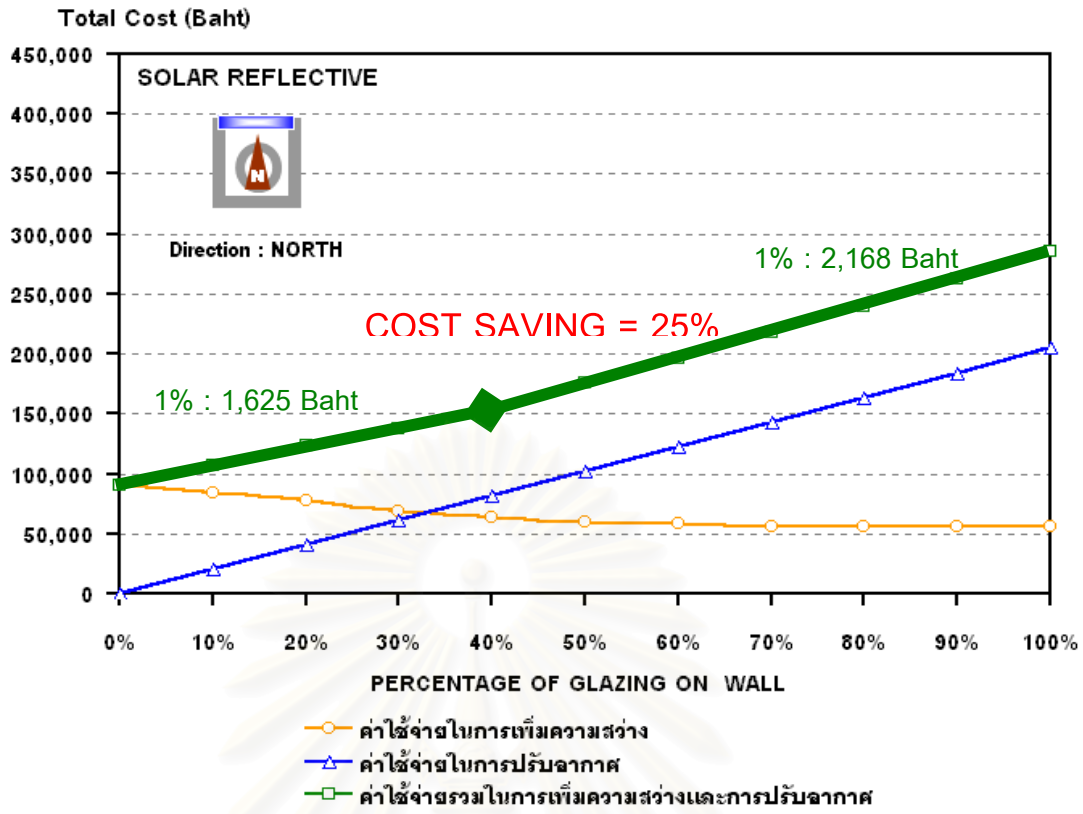
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงการใช้พลังงานรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Heat-Stop หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ



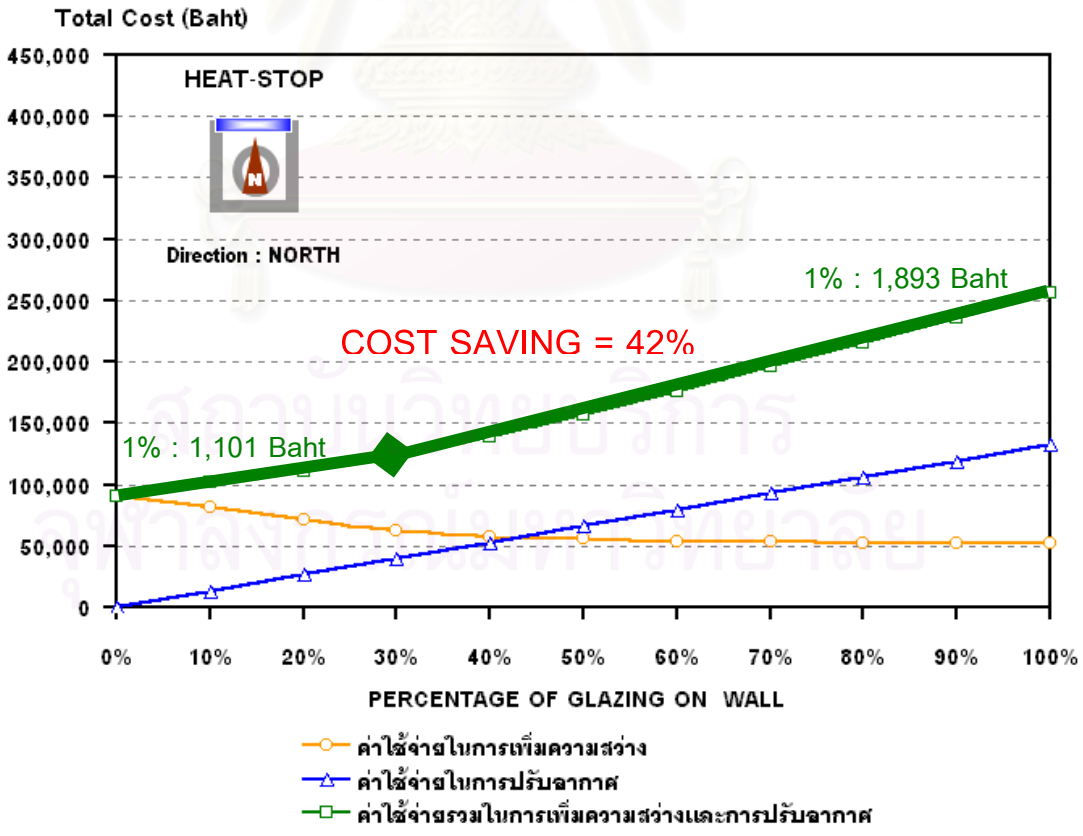
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Clear หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 5.6 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Tinted หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 5.7 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Solar Reflective หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 5.8 แสดงค่าใช้จ่ายรวมในการปรับอากาศและการเพิ่มความสว่างในอาคาร กรณีที่ใช้กระจก Heat-Stop หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ

ตารางที่ 5.1 บทสรุปของการเลือกใช้ช่องแสงกระจกด้านข้าง

ทิศทางช่องแสง	ช่วงเวลาทำงาน Working Time	ชนิดของกระจกที่เหมาะสมตามสัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจก (Recommended Glass Type Due to Percentage of Glazing Area on Wall)									
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
ทิศเหนือ (North)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
ทิศใต้ (South)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
ทิศตะวันออก (East)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
ทิศตะวันตก (West)	07:00 - 16:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	08:00 - 17:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	09:00 - 18:00	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	10:00 - 19:00	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop
	24 Hours	Tinted	Tinted	Tinted	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop	Heat-Stop

หมายเหตุ : พิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์จากค่าใช้จ่ายโดยรวม (Life-Cycle Cost) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี
กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10%ต่อปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3%ต่อปี

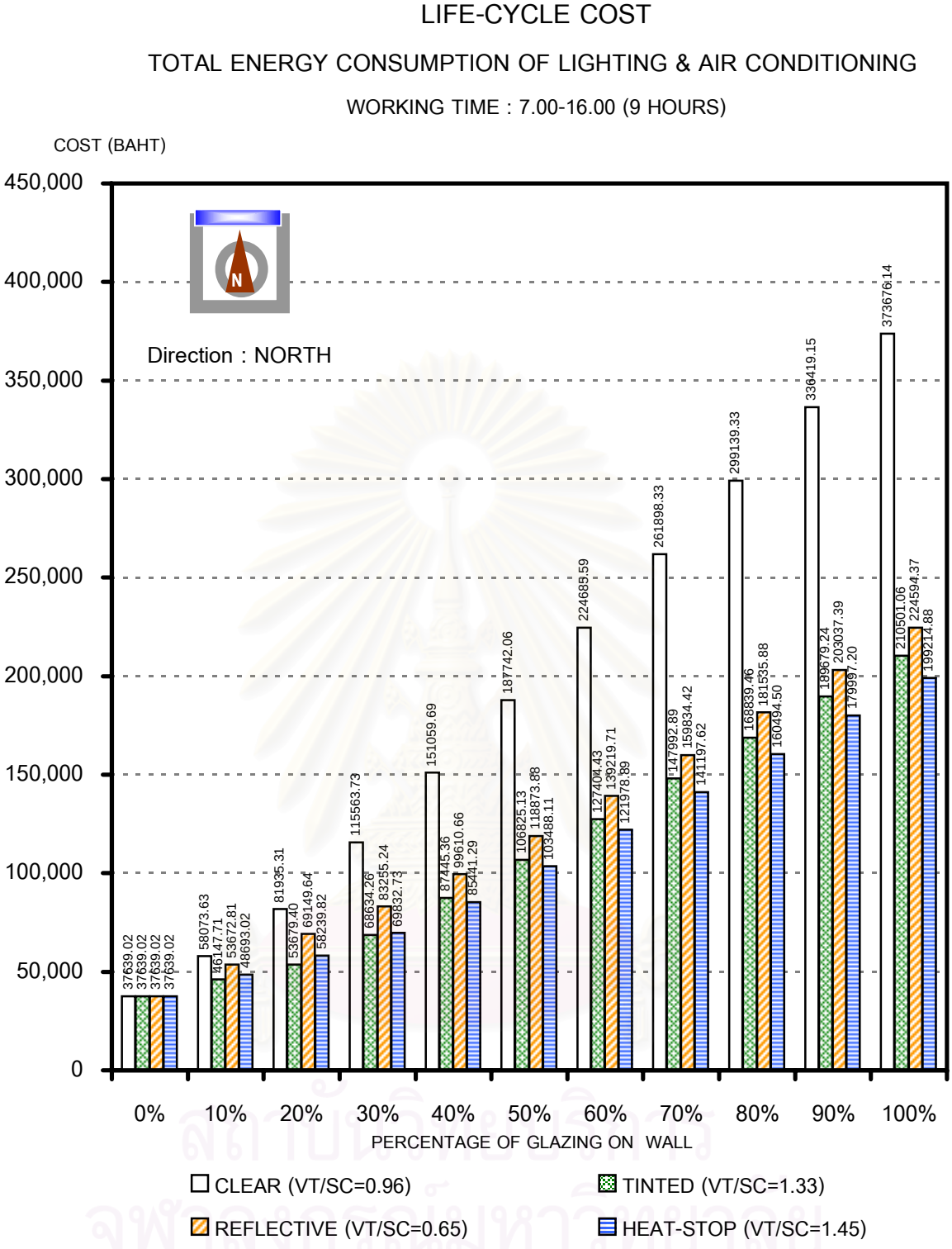
5.1.3 บทสรุปในการกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสมในการประหยัดพลังงาน

จากการวิเคราะห์ พบว่า ช่วงเวลาการทำงาน 10.00-19.00 น. เป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานต่ำที่สุด โดยต่ำกว่าช่วง 9.00-18.00 น. ประมาณ 10% และช่วง 7.00-16.00 น. ประมาณ 12% เมื่อใช้กระจก Clear (หรือต่ำกว่าช่วง 9.00-18.00 น. ประมาณ 4% และช่วง 7.00-16.00 น. ประมาณ 3% เมื่อใช้กระจก Heat-Stop) ซึ่งยังไม่สามารถสรุปช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้อาคารได้อย่างชัดเจนนัก เนื่องจากช่วงเวลา 10.00-19.00 น. นั้น มีช่วงเวลาที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรงถึง 2 ชั้วโมง คือ 18.00-19.00 น. ซึ่งในช่วงเวลาสองชั่วโมงนี้ จะสามารถลดการใช้พลังงานในการปรับลงได้อย่างมาก ซึ่งหากพิจารณาต่อไปในช่วง 11.00-20.00 น. 12.00-21.00 น. หรือ 13.00-22.00 น. เรื่อยไปโดยทำงานในช่วงเวลากลางคืนมากขึ้น ก็จะยิ่งทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้อีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้น หากจะกล่าวถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมในการประหยัดพลังงานแล้วนั้น ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ลักษณะของหน้าที่การงาน การติดต่อสื่อสารกับสายงานสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

บทสรุปของช่วงเวลาที่เหมาะสมจึงอาจกล่าวในลักษณะของช่วงเวลาที่ควรหลีกเลี่ยง เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงสุด คือ ช่วงเวลา 8.00-17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาการทำงานมาตรฐานทั่วไปในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นส่วนราชการ เอกชน รัฐวิสาหกิจ หรือหน่วยงานอื่นๆ ในประเทศไทย ซึ่งหากย้ายช่วงเวลาการทำงานให้เร็วขึ้น 1 ชั่วโมง เป็น 7.00-16.00 น. ก็จะทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้ 0.04 – 0.05 % หากย้ายช่วงเวลาการทำงานให้ช้าลง 1 ชั่วโมง เป็น 9.00-18.00 น. ก็จะทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้ 0.47 – 2.90 % หรือหากย้ายช่วงเวลาการทำงานให้ช้าลง 2 ชั่วโมง เป็น 10.00-19.00 น. ก็จะทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้ถึง 2.98 – 11.58 % ซึ่งหากทุกๆ หน่วยงานให้ความร่วมมือในการเลื่อนเวลาการทำงานแล้ว ประเทศชาติก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบริโภคพลังงานส่วนนี้ลงได้เป็นจำนวนมหาศาล

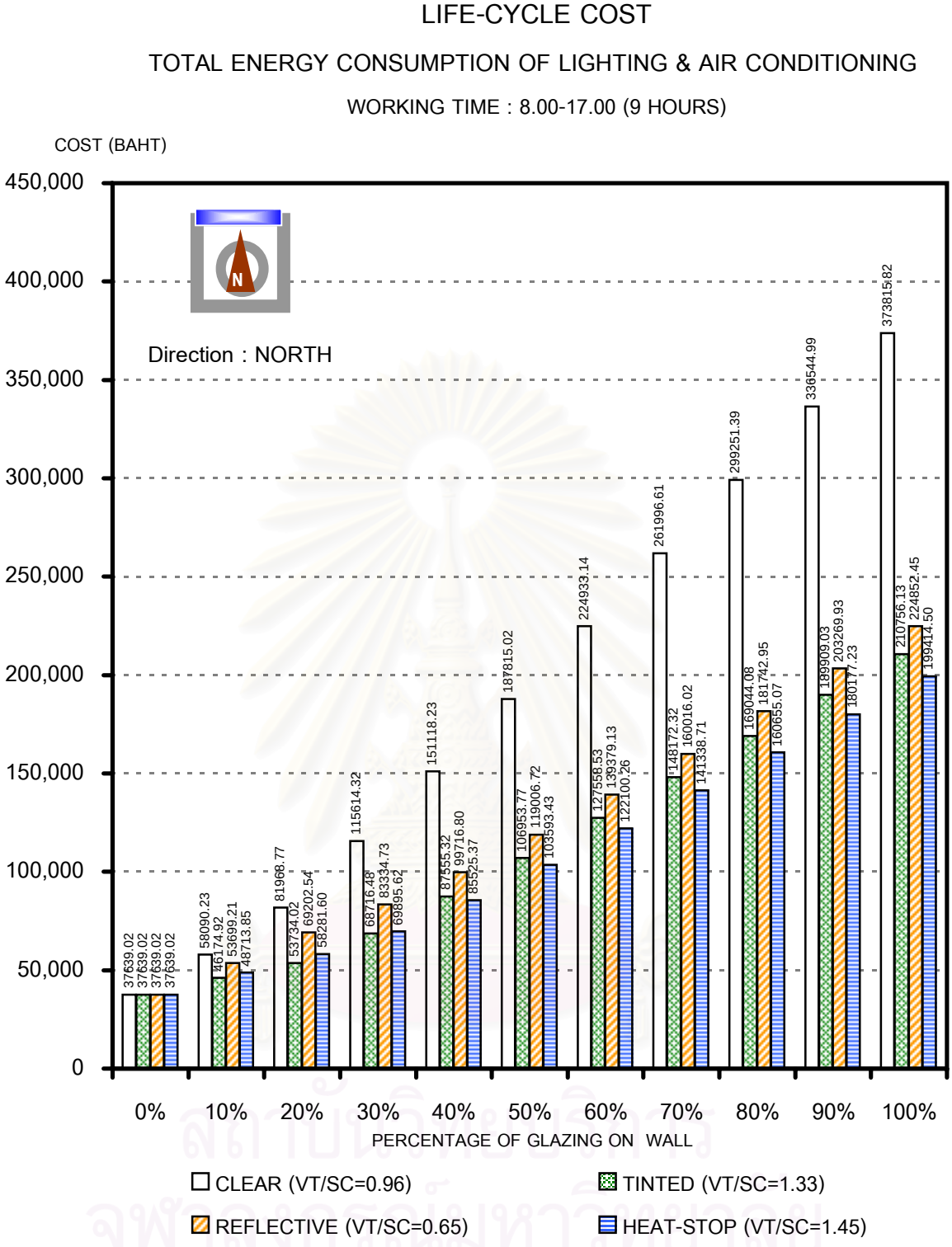
อนึ่ง บทสรุปของการกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสมในการประหยัดพลังงานในงานวิจัยชิ้นนี้ คำนึงถึงเพียงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศในอาคาร ที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารผ่านช่องแสงกระจกด้านข้างเท่านั้น มิได้คำนึงถึงพลังงานที่ใช้เนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น พลังงานการปรับอากาศอันเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่ภายในอาคาร พลังงานการปรับอากาศจากความร้อนที่ส่งผ่านกรอบอาคารส่วนอื่นๆ คือ หลังคา ผนัง และพื้น เป็นต้น ซึ่งหากทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากทุกๆ ปัจจัยรวมกันแล้ว ก็จะทำให้การกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสมในการประหยัดพลังงานมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



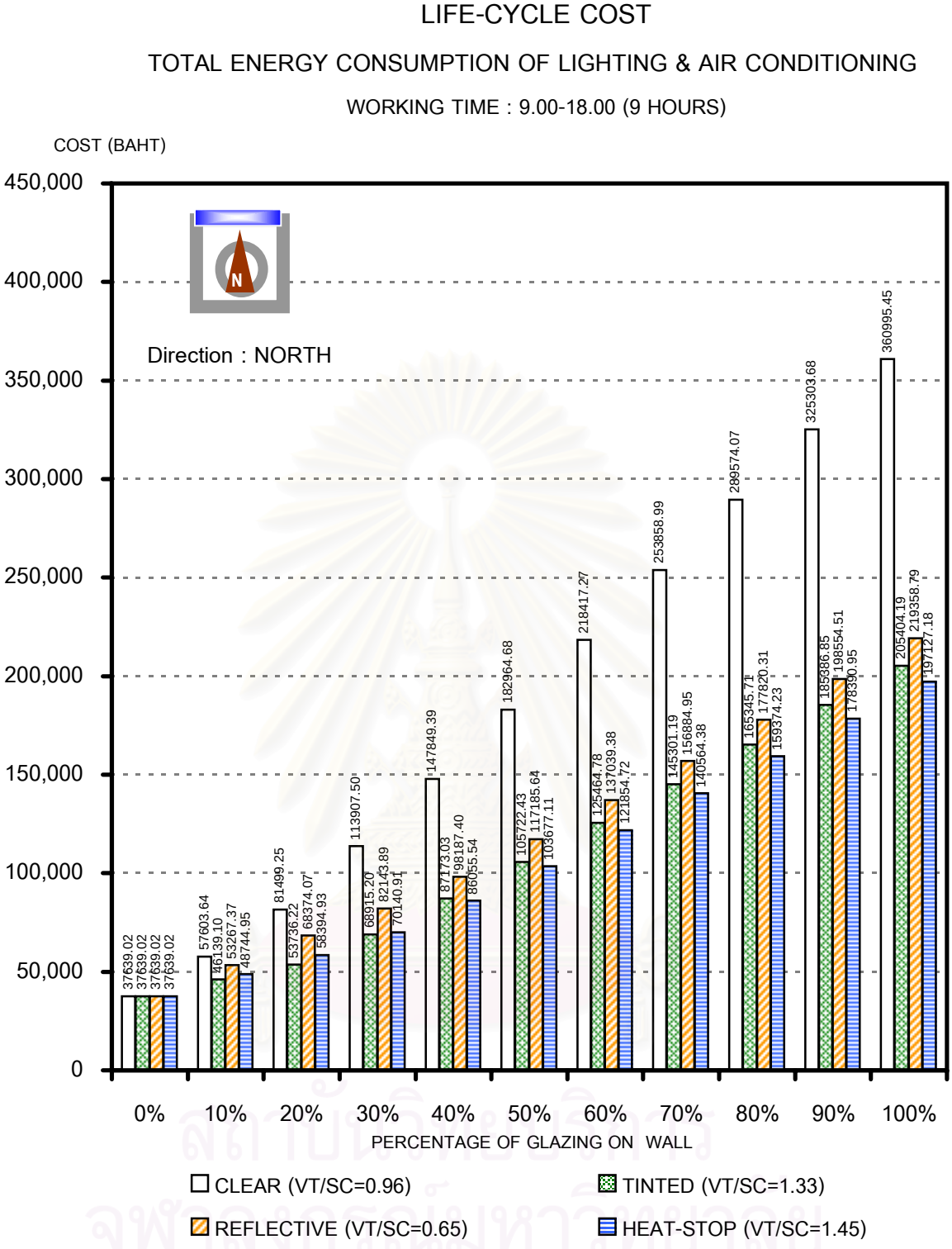
แผนภูมิที่ 5.9 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่** 7.00-16.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



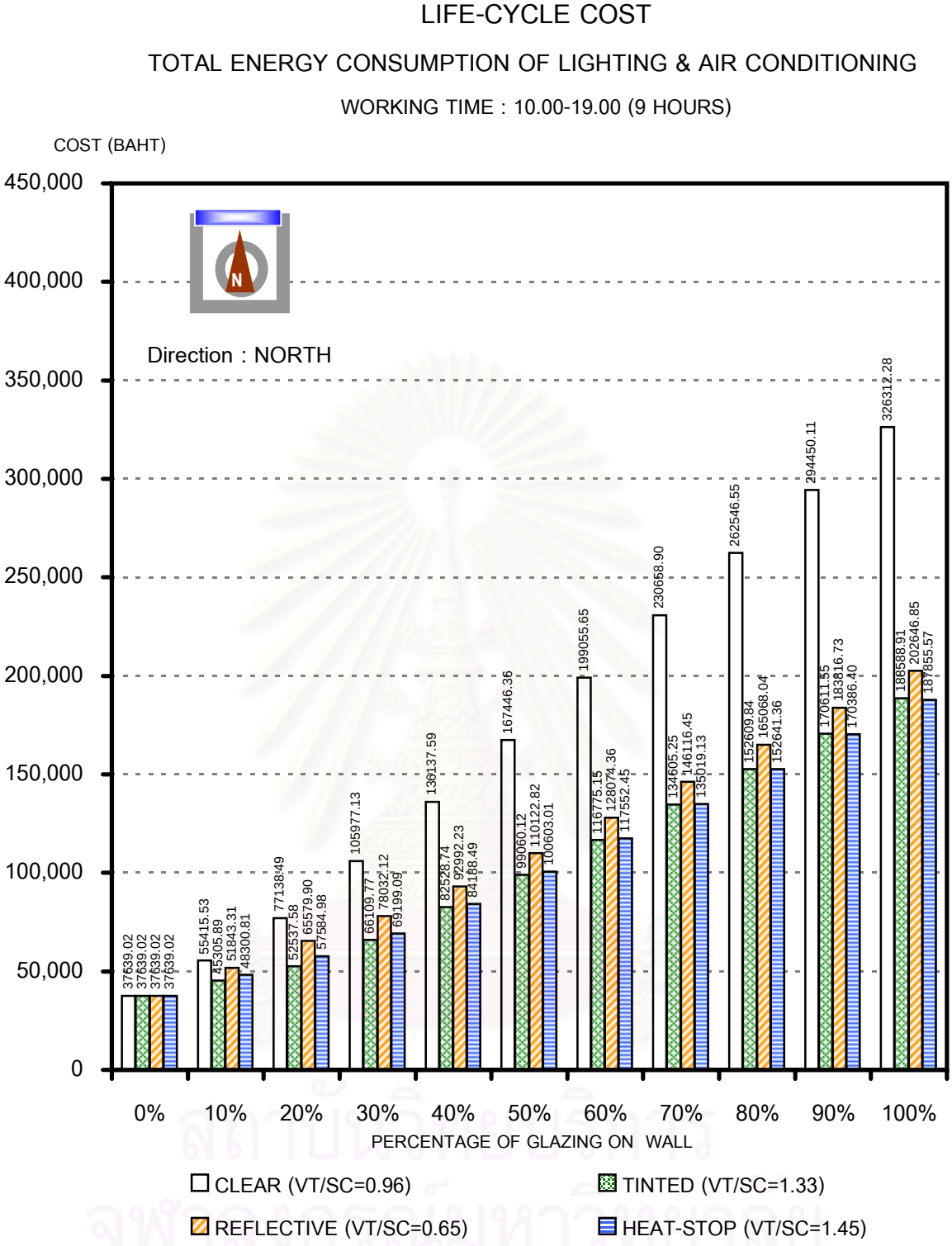
แผนภูมิที่ 5.10 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่** 8.00-17.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



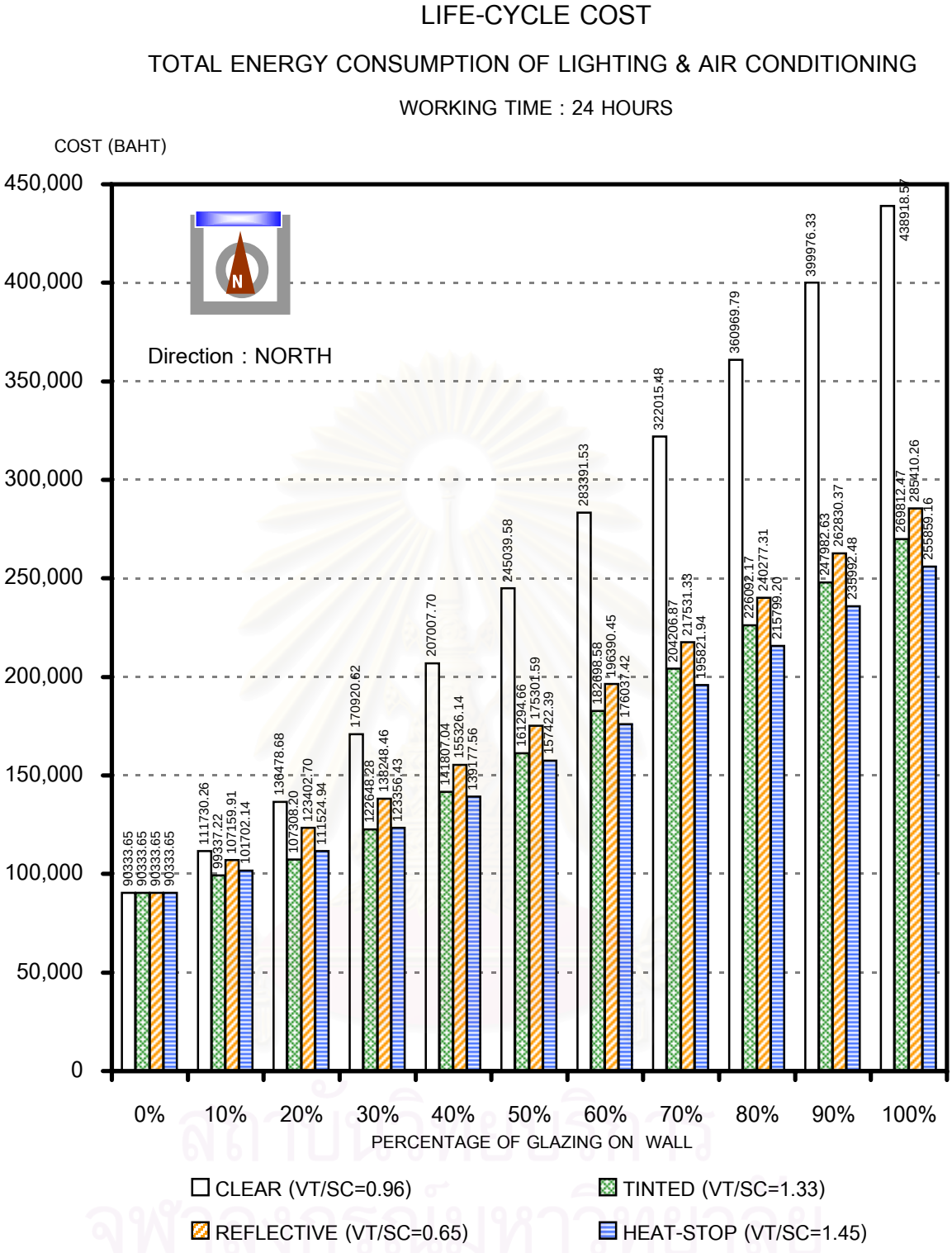
แผนภูมิที่ 5.11 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่** 9.00-18.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



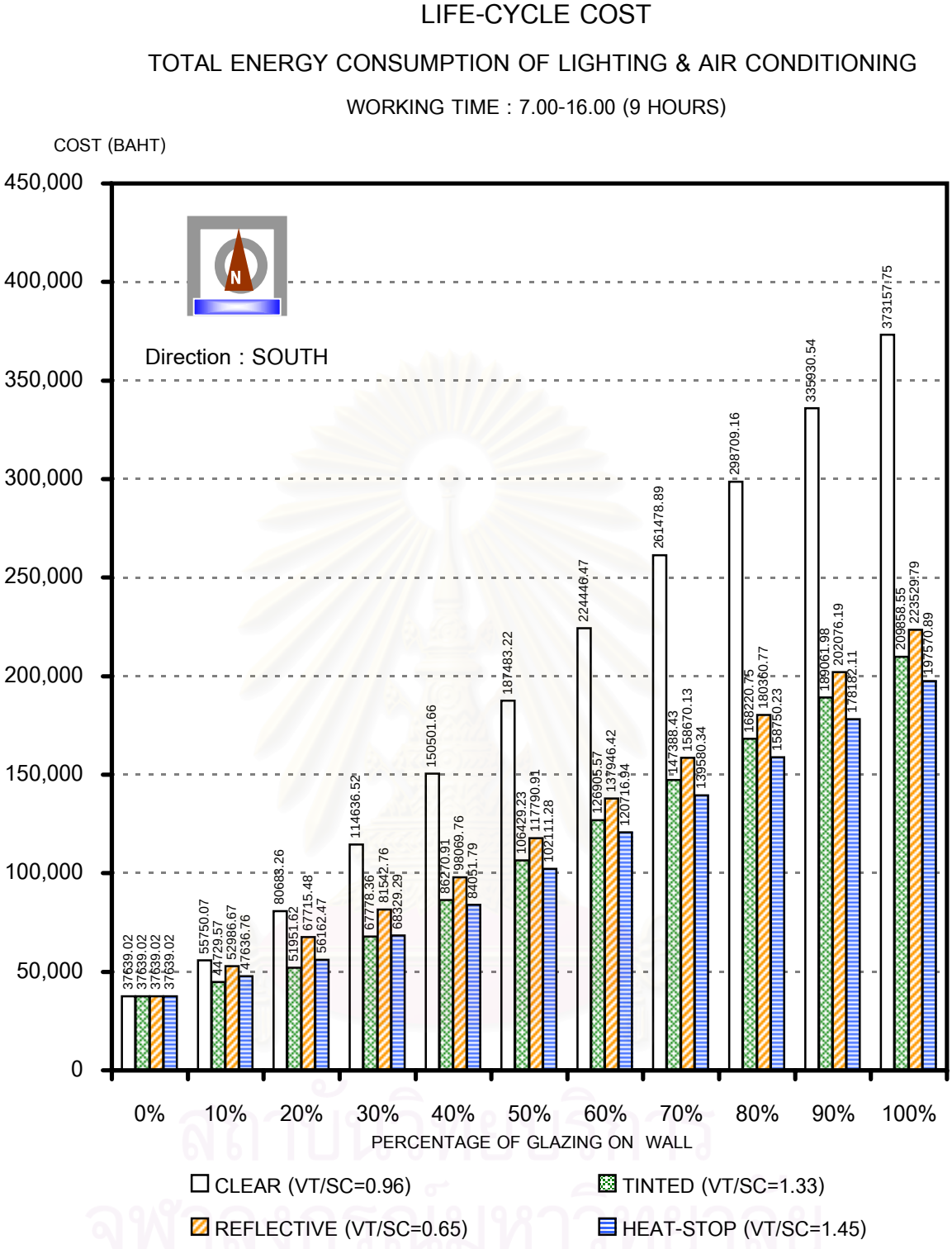
แผนภูมิที่ 5.12 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่** 10.00-19.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



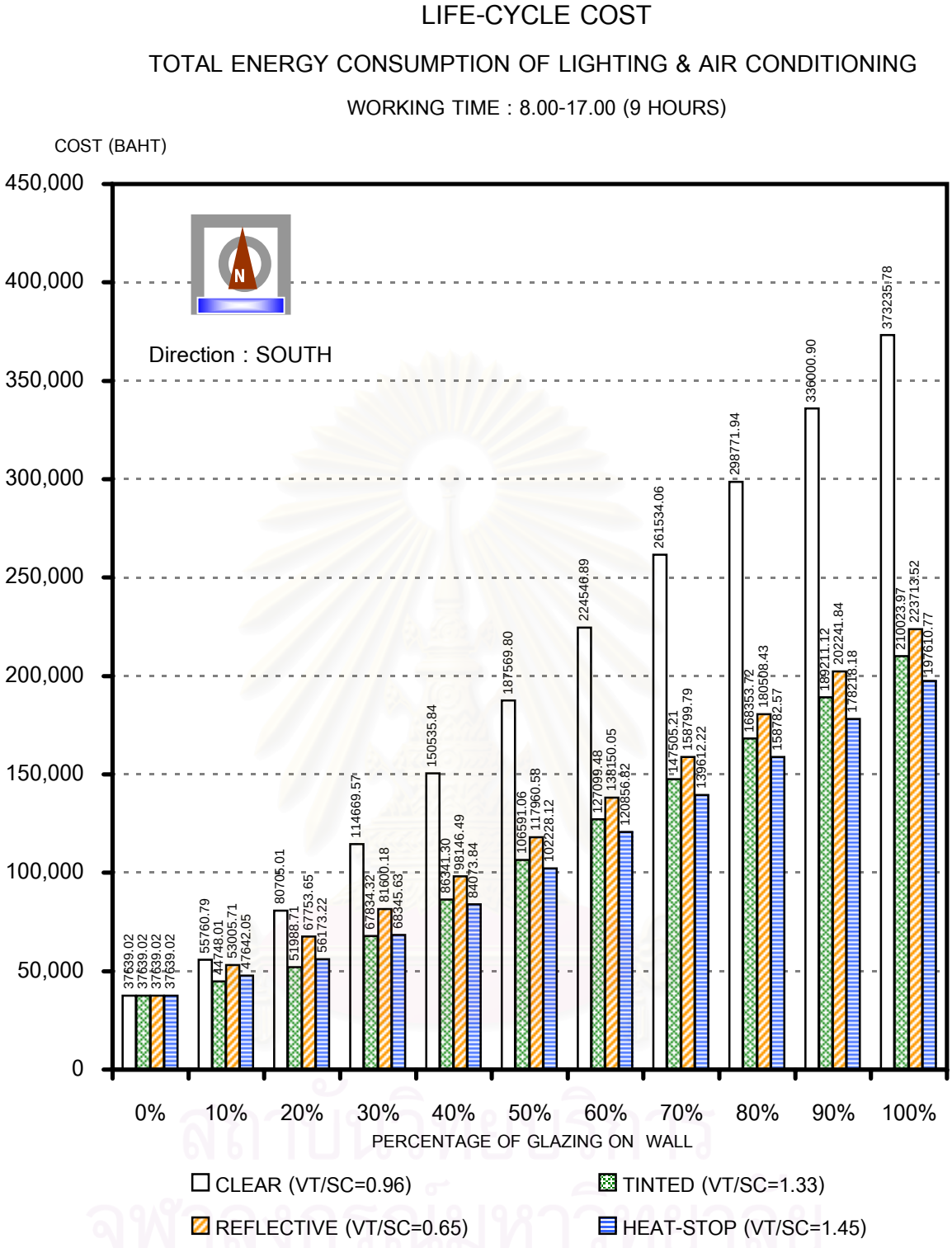
แผนภูมิที่ 5.13 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศเหนือ เป็นเวลา** 24 **ชั่วโมงต่อวัน**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



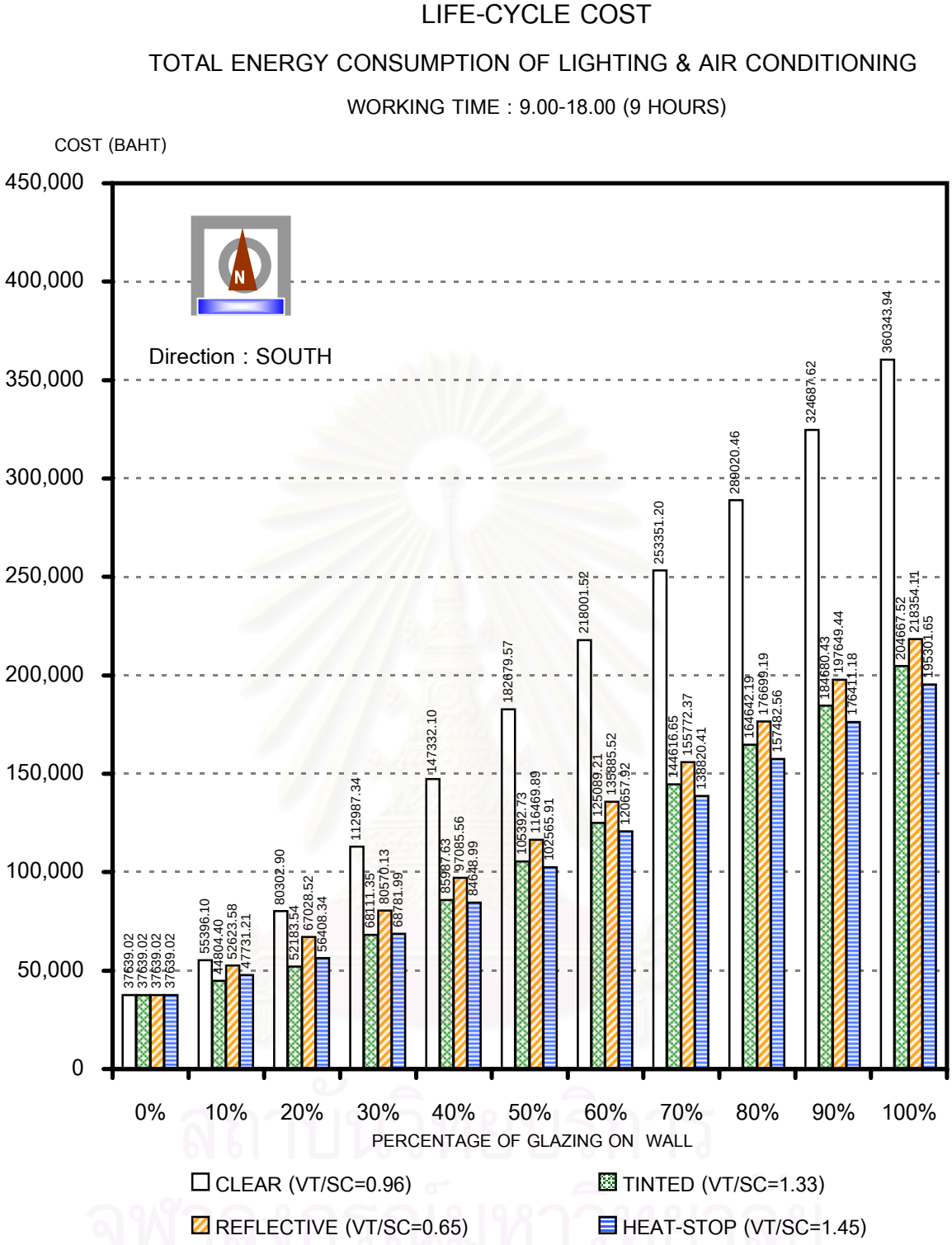
แผนภูมิที่ 5.14 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศใต้ ตั้งแต่** 7.00-16.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



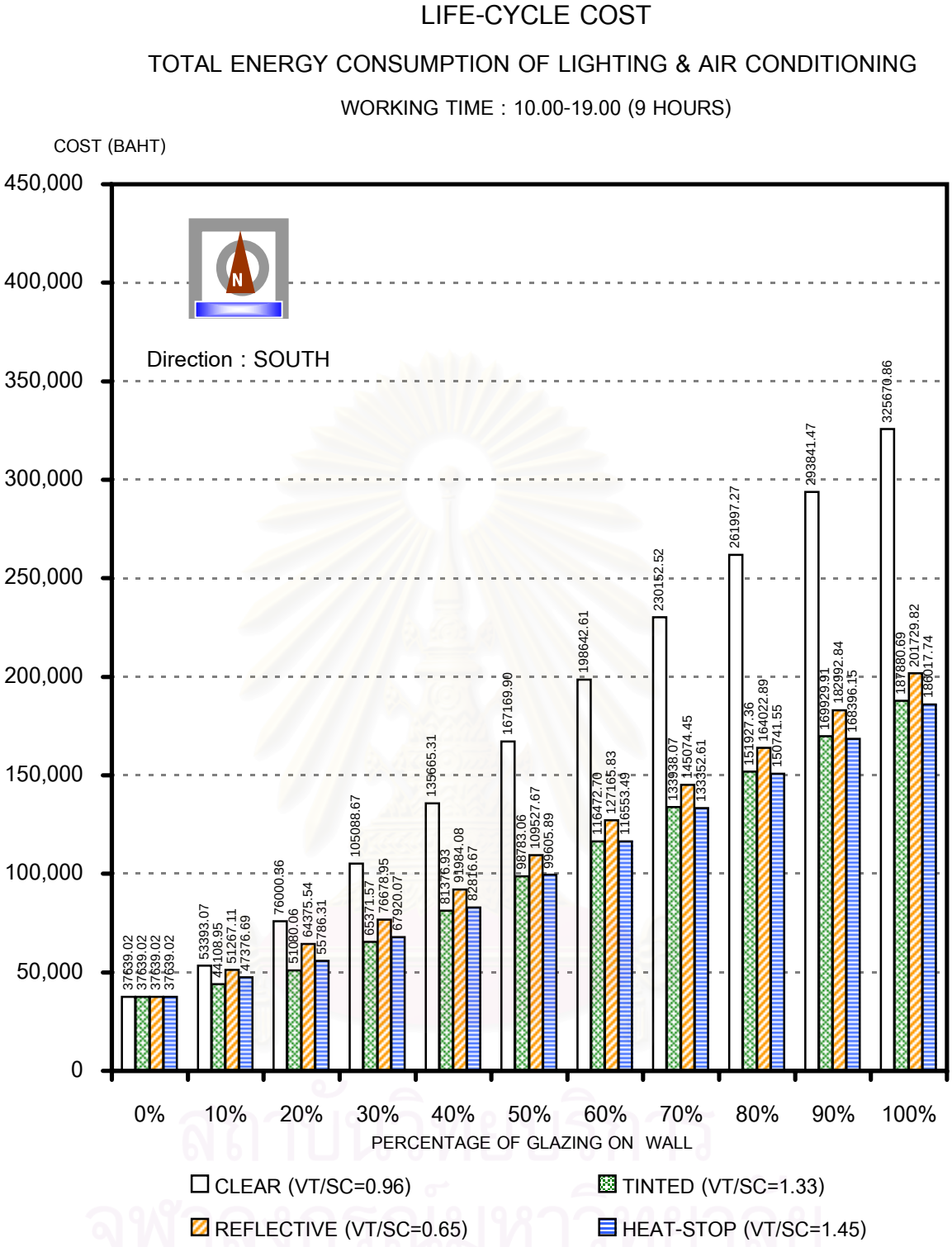
แผนภูมิที่ 5.15 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศใต้ ตั้งแต่** 8.00-17.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



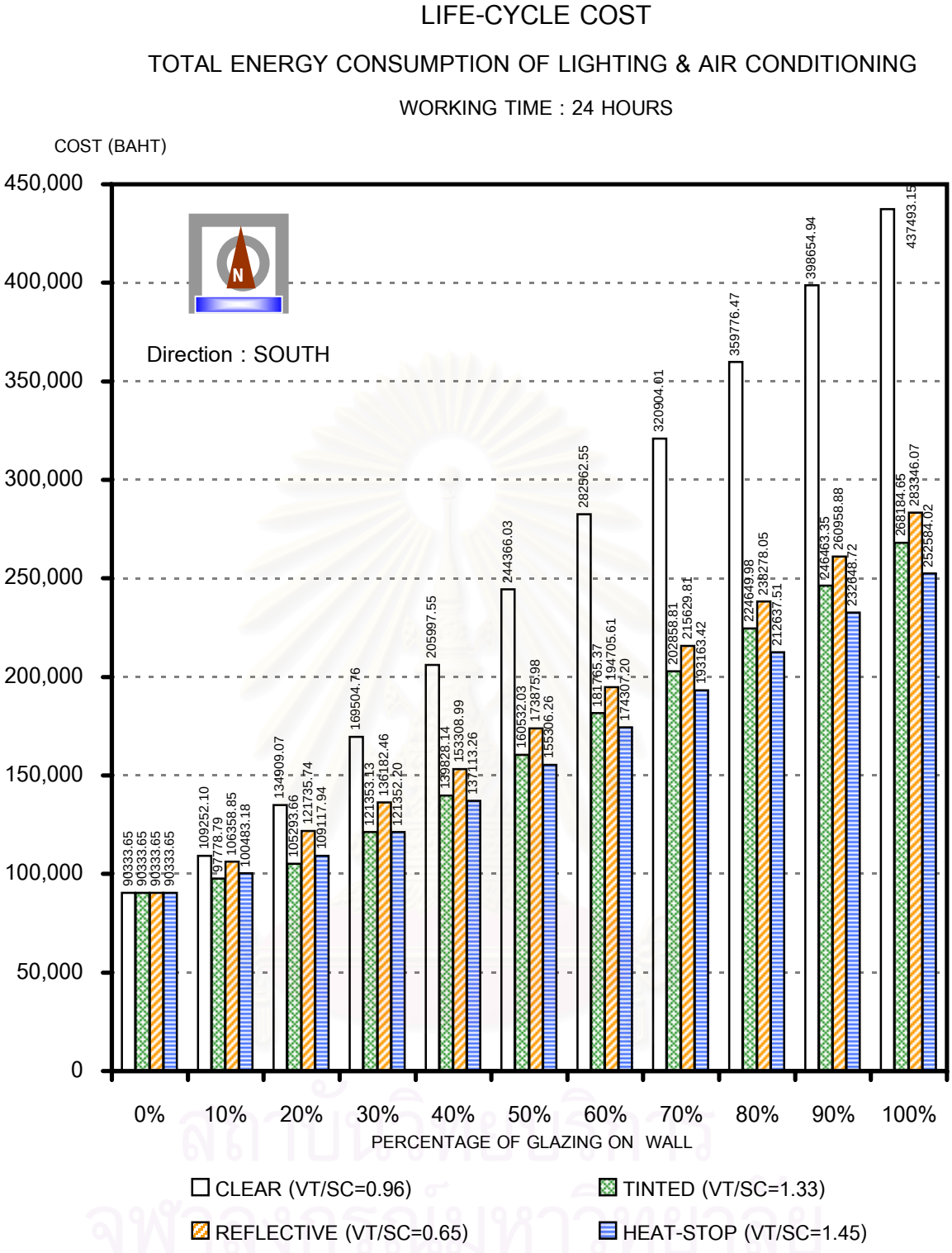
แผนภูมิที่ 5.16 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศใต้ ตั้งแต่** 9.00-18.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



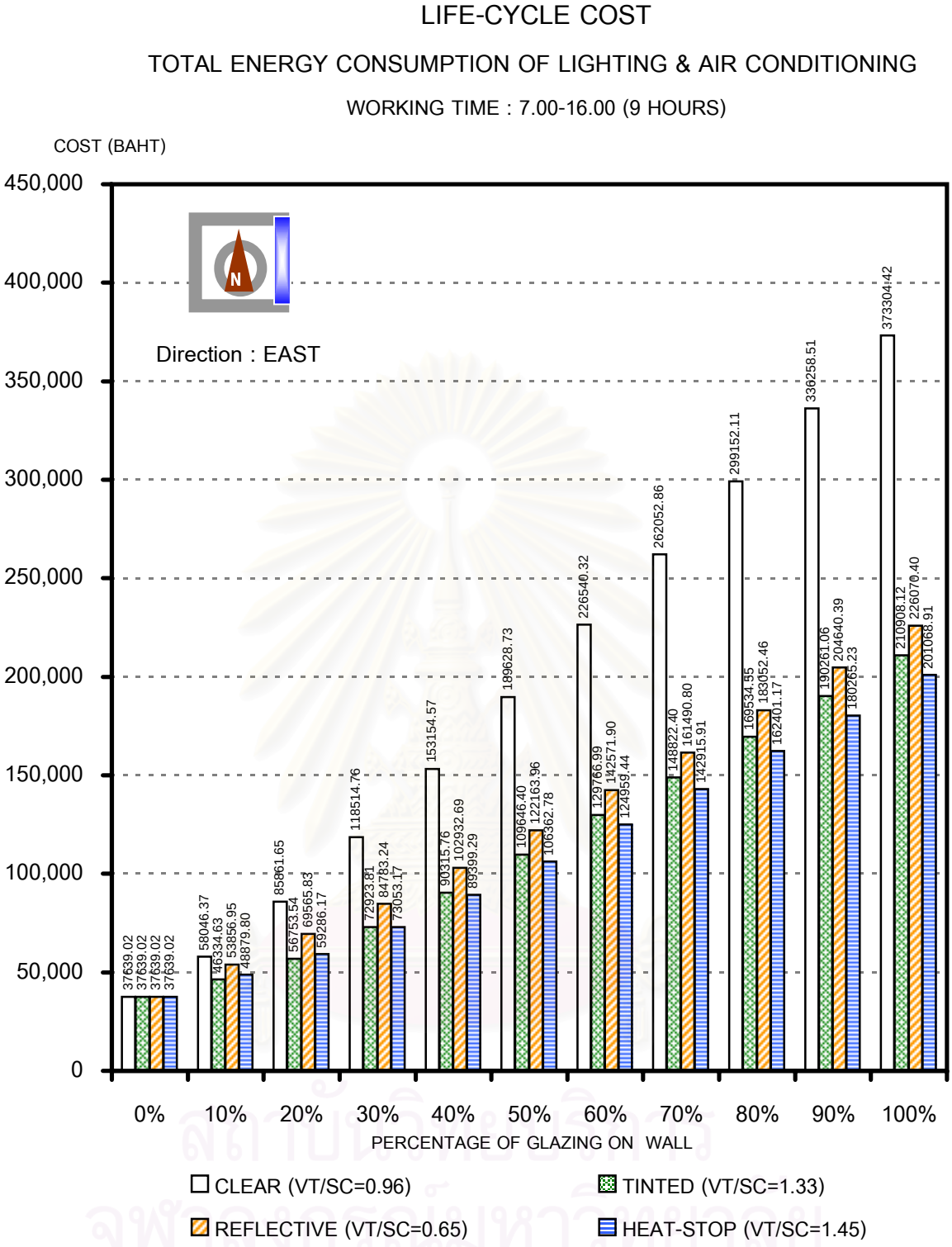
แผนภูมิที่ 5.17 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศใต้ ตั้งแต่** 10.00-19.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



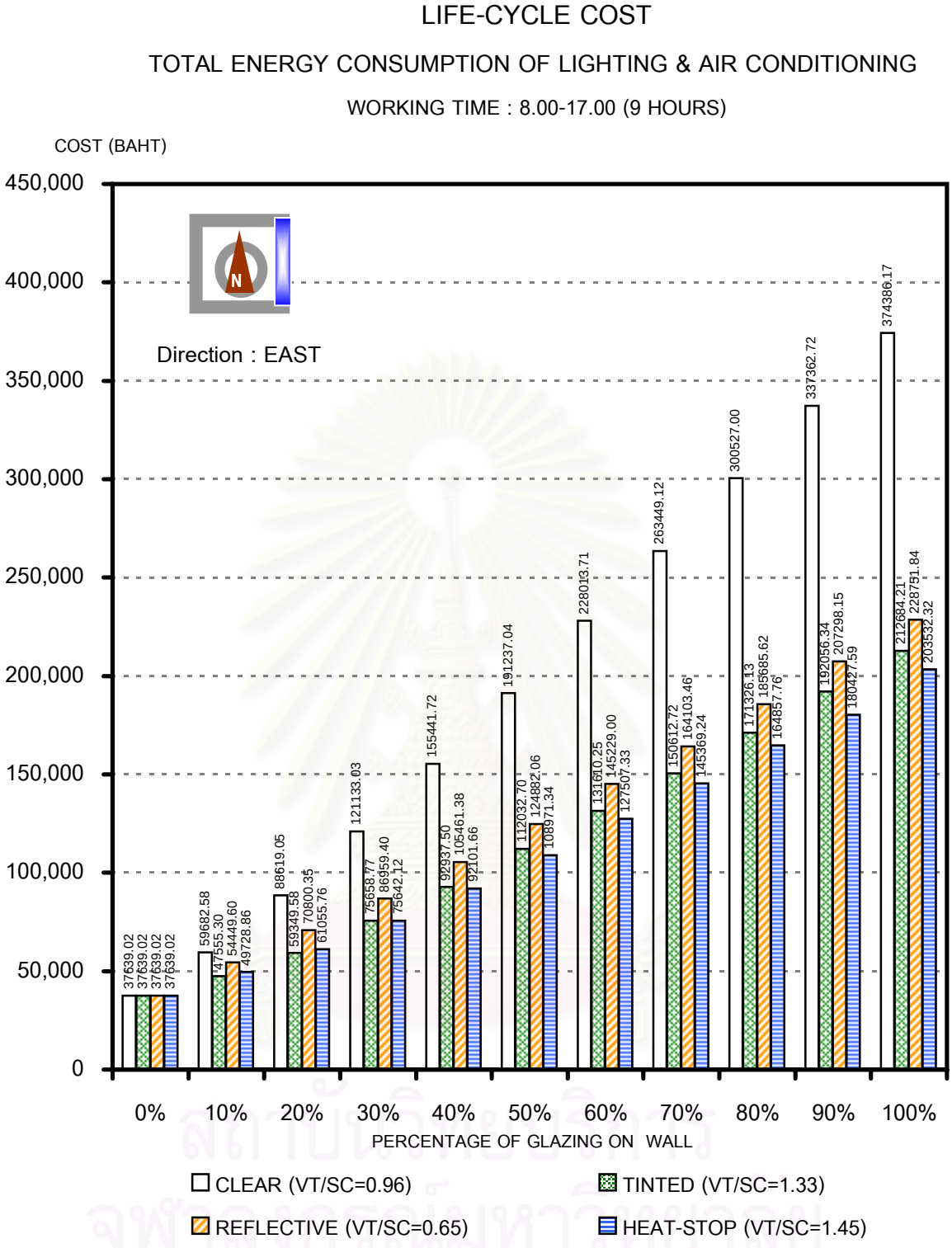
แผนภูมิที่ 5.18 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศใต้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



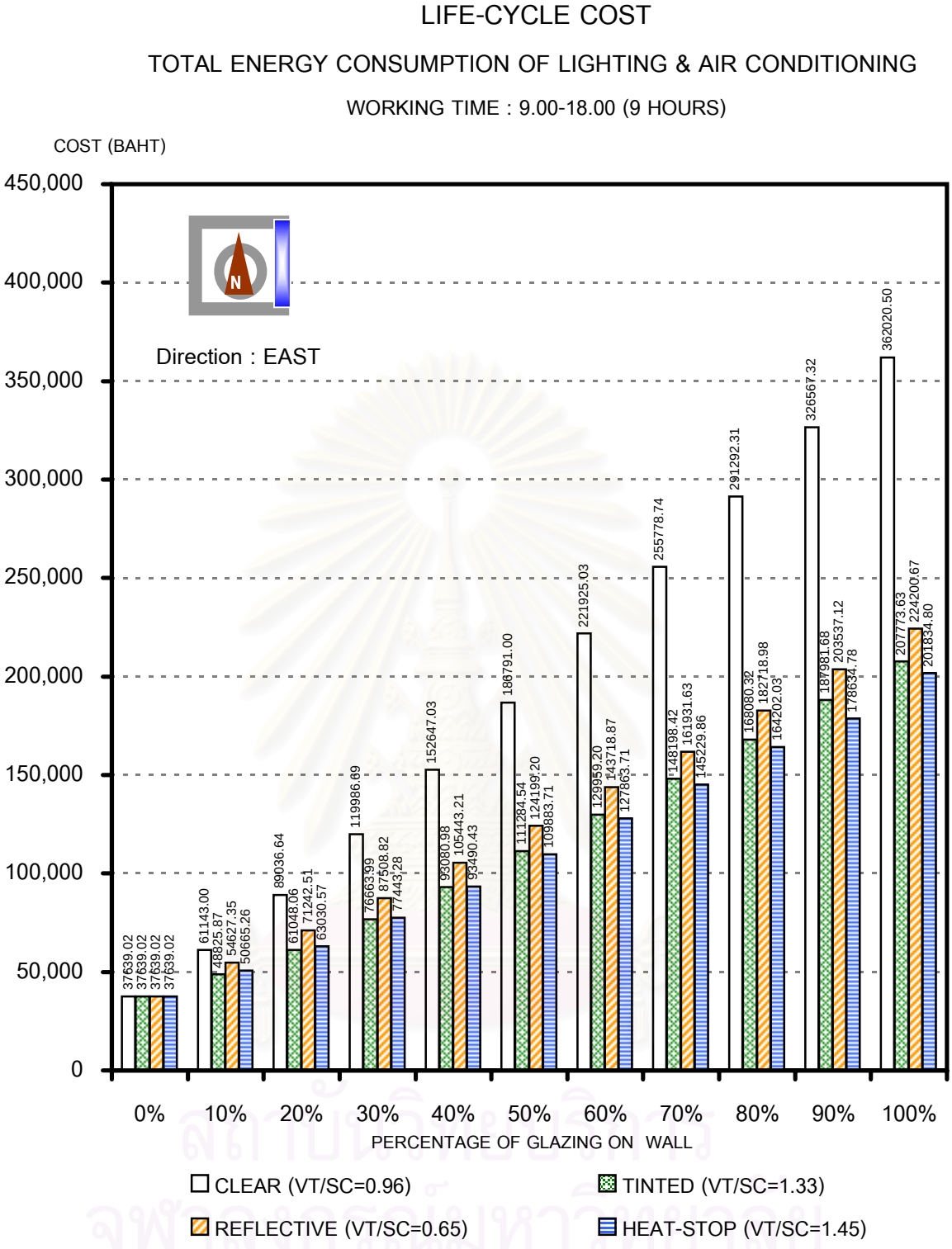
แผนภูมิที่ 5.19 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่** 7.00-16.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้น การใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



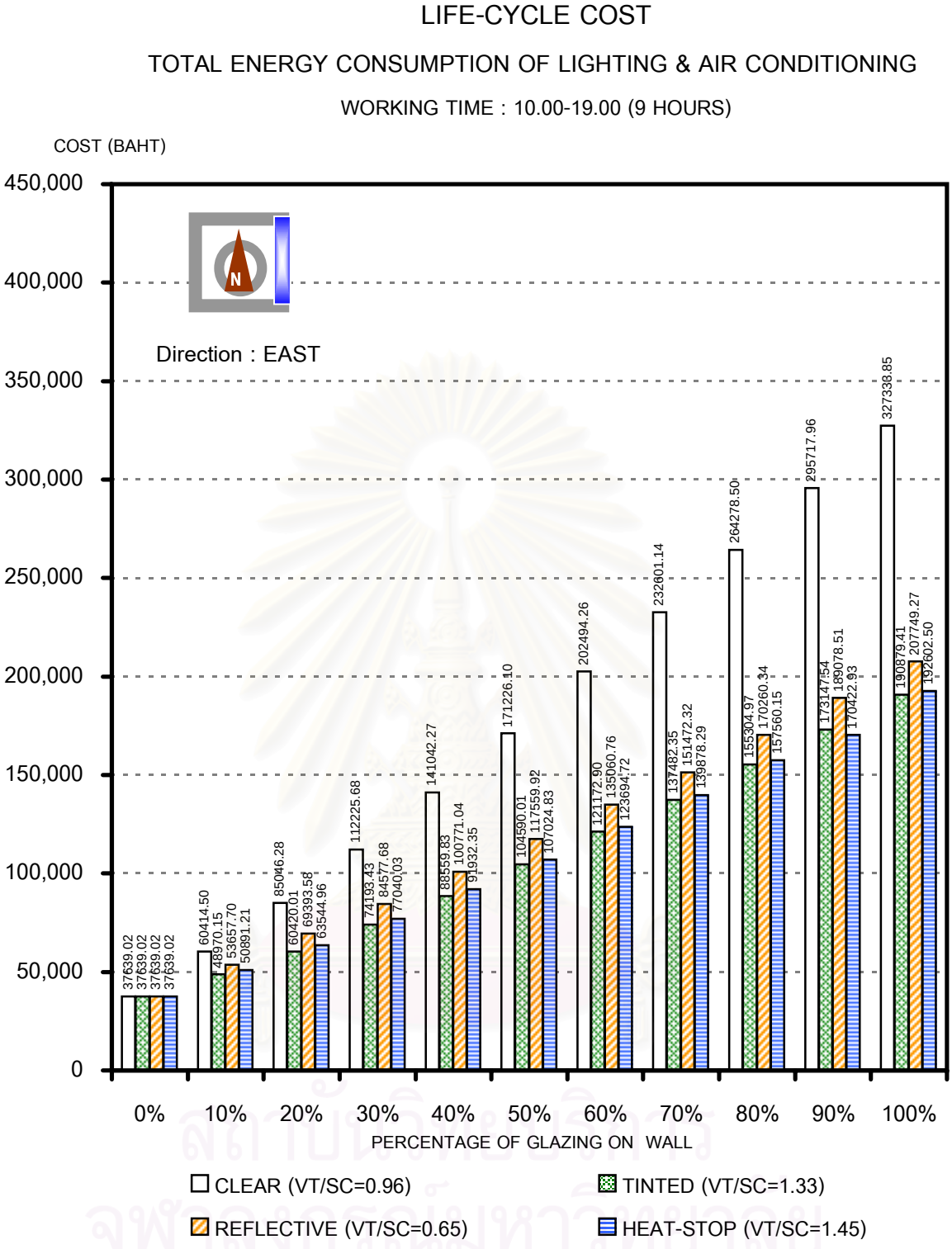
แผนภูมิที่ 5.20 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่** 8.00-17.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้น การใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



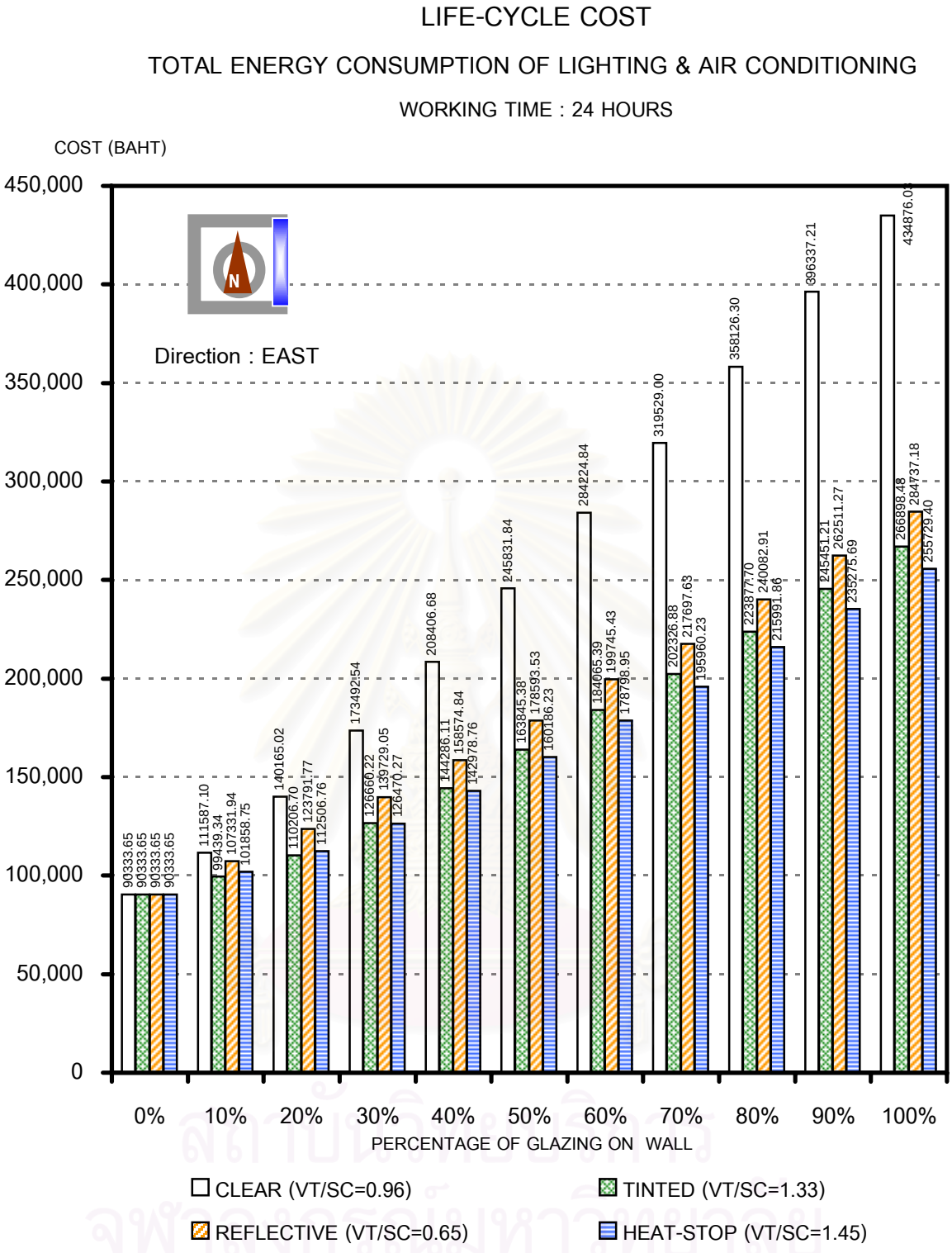
แผนภูมิที่ 5.21 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่ 9.00-18.00 น.

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้น การใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



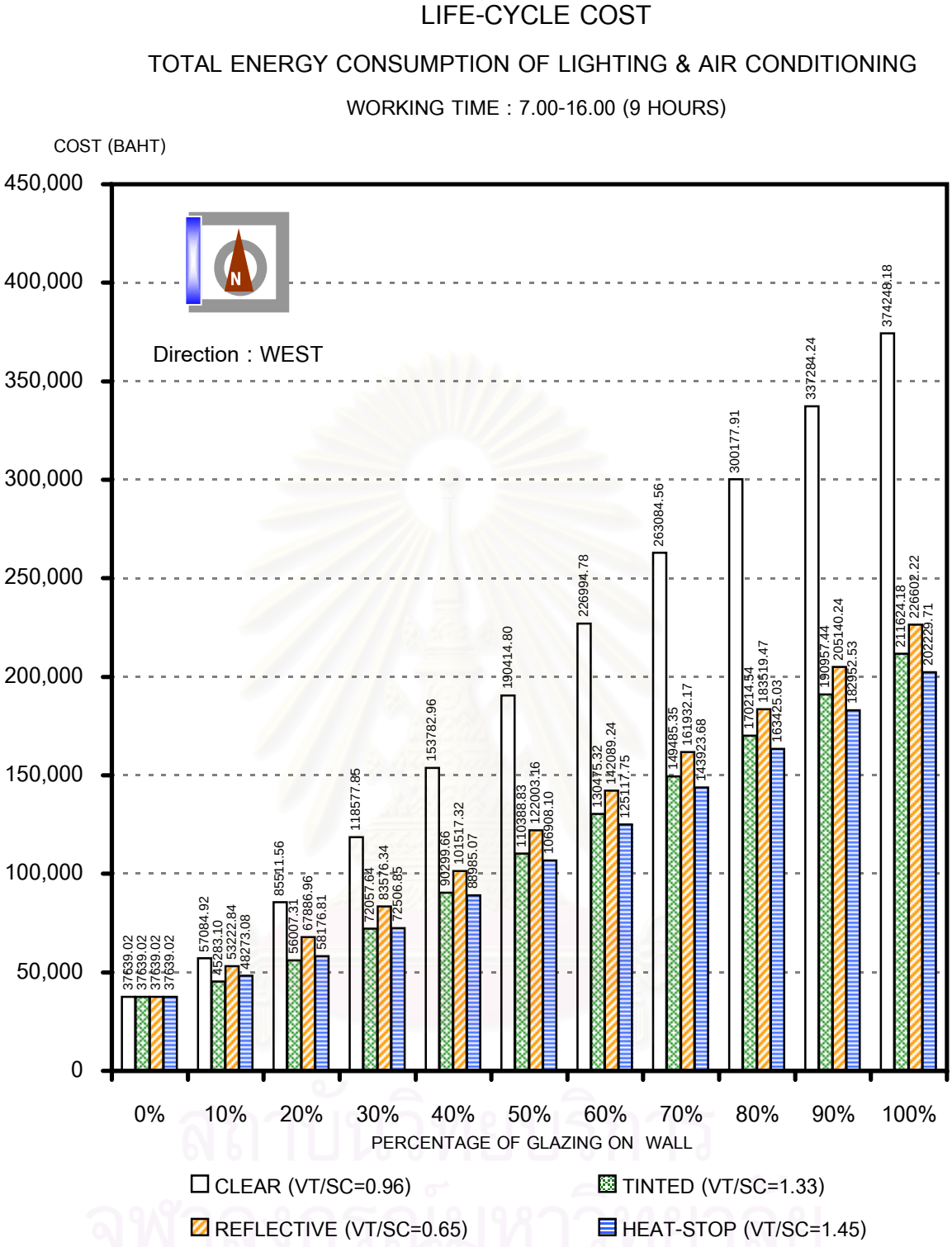
แผนภูมิที่ 5.22 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันออก ตั้งแต่ 10.00-19.00 น.

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้น การใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



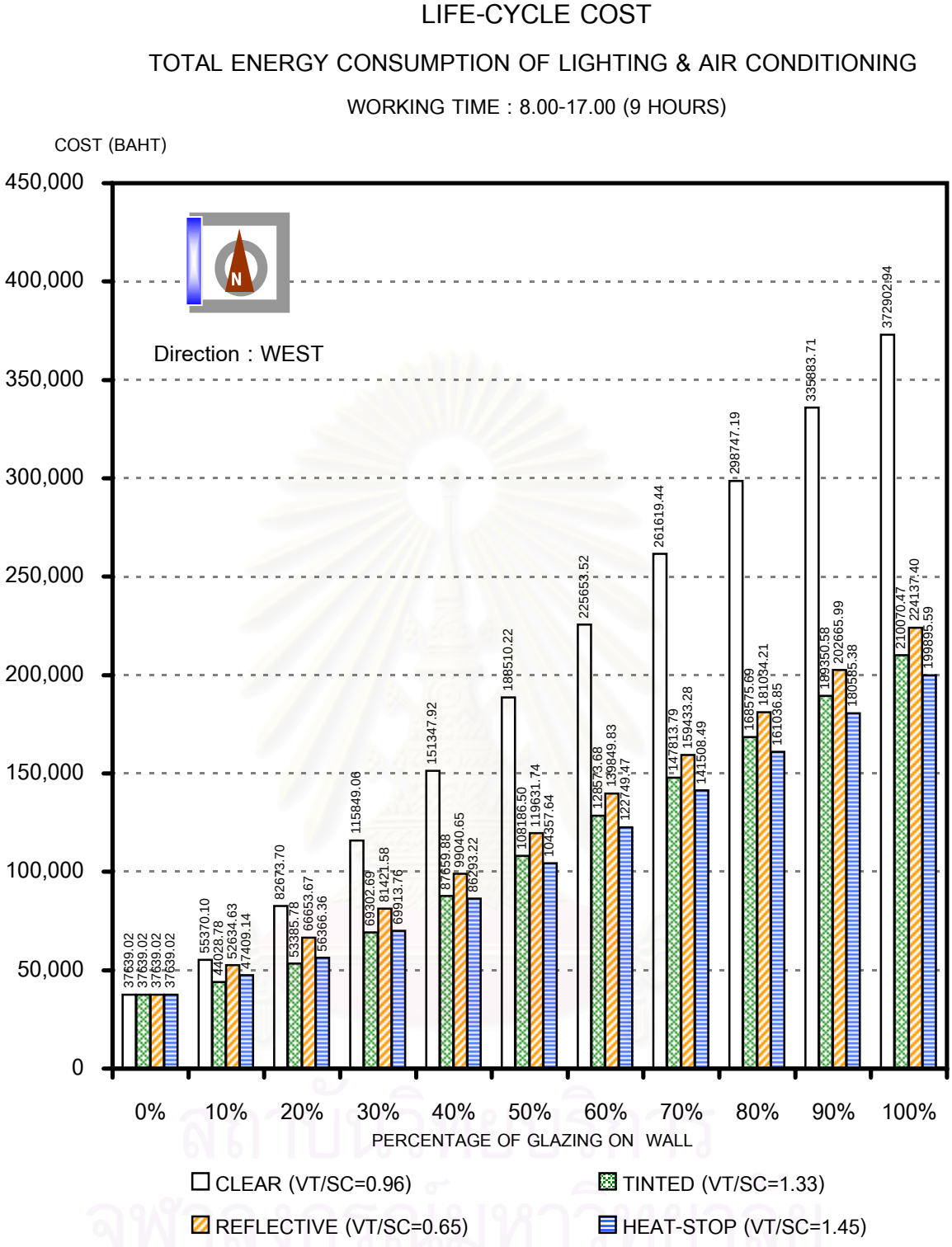
แผนภูมิที่ 5.23 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันออก เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้น การใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



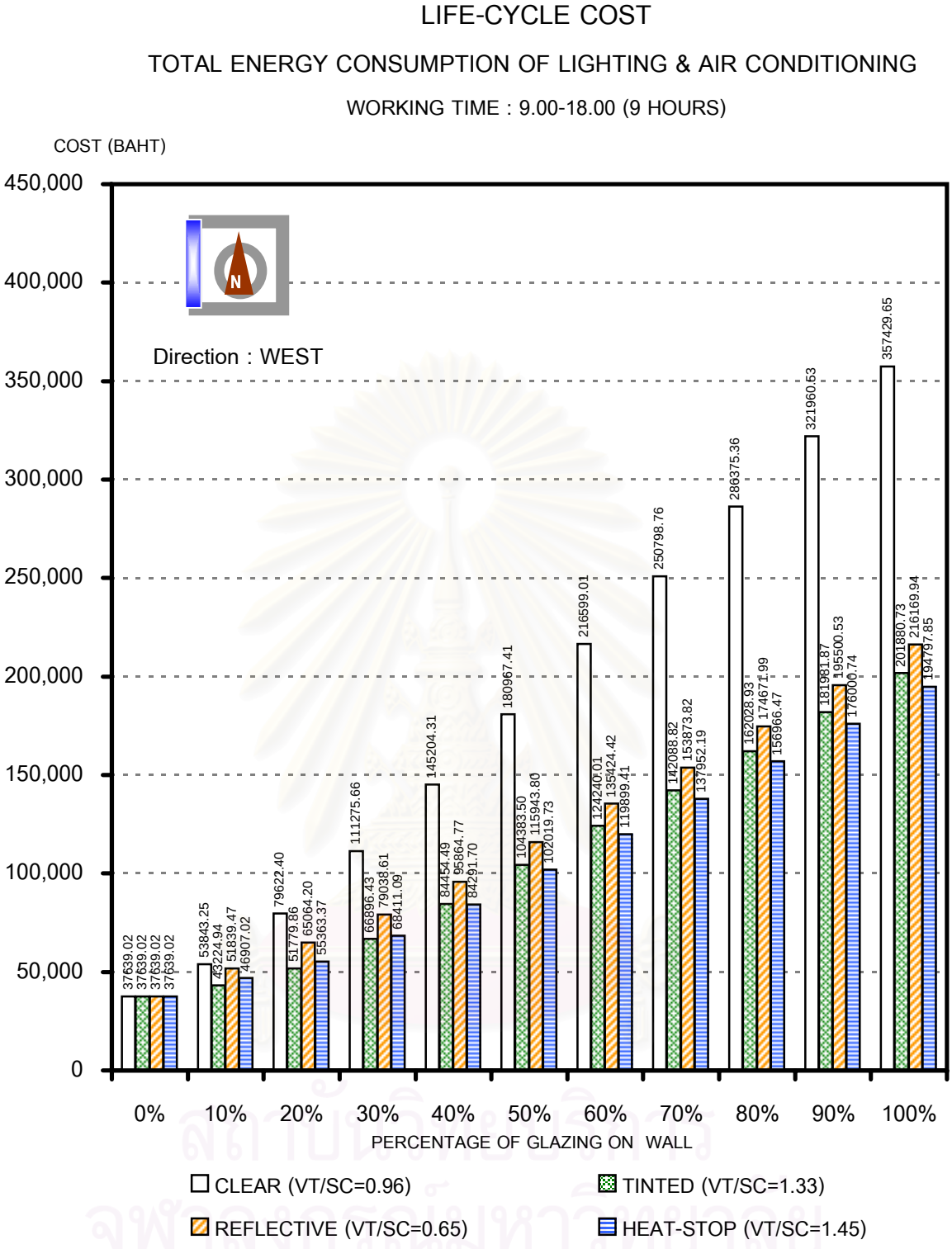
แผนภูมิที่ 5.24 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่** 7.00-16.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



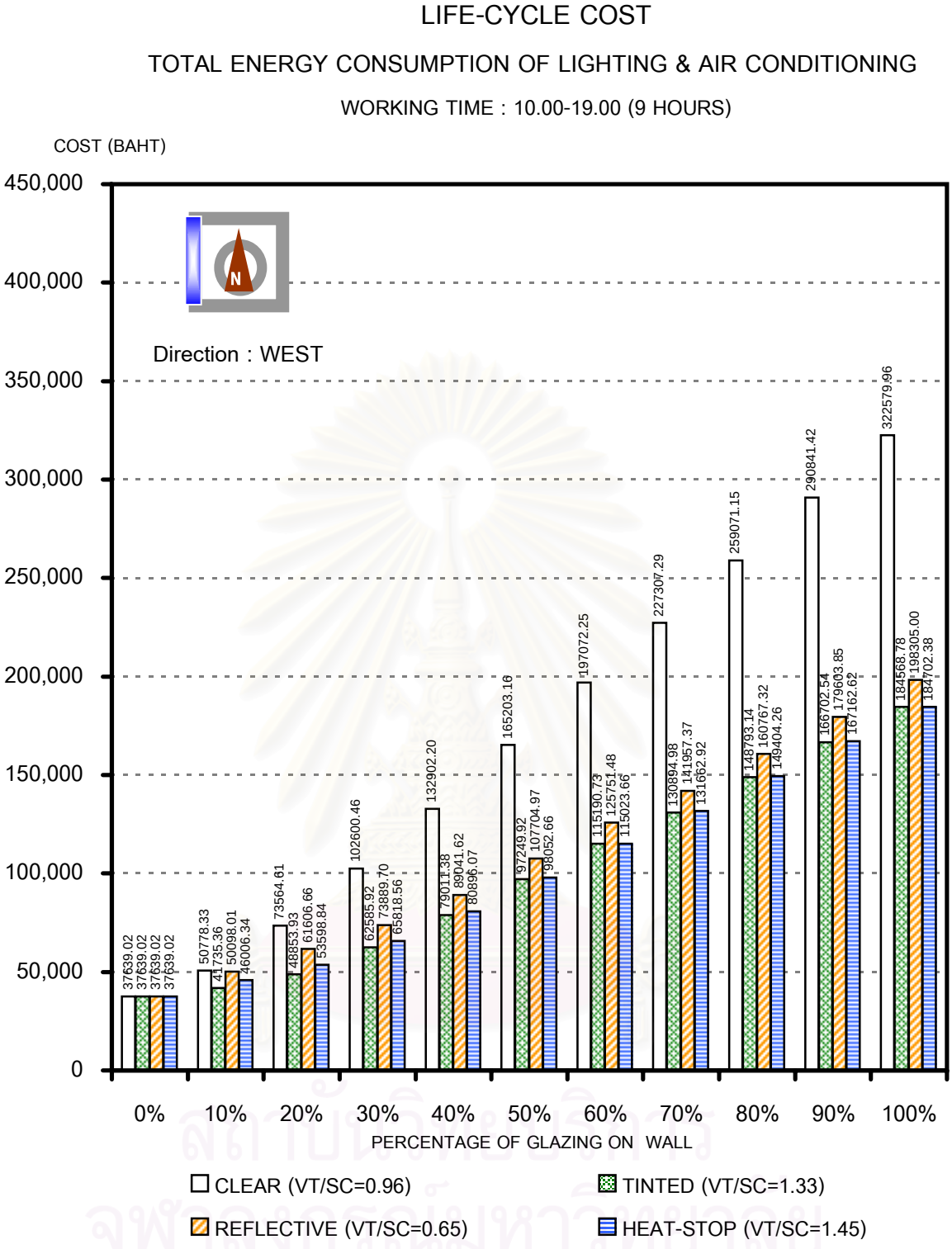
แผนภูมิที่ 5.25 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่** 8.00-17.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



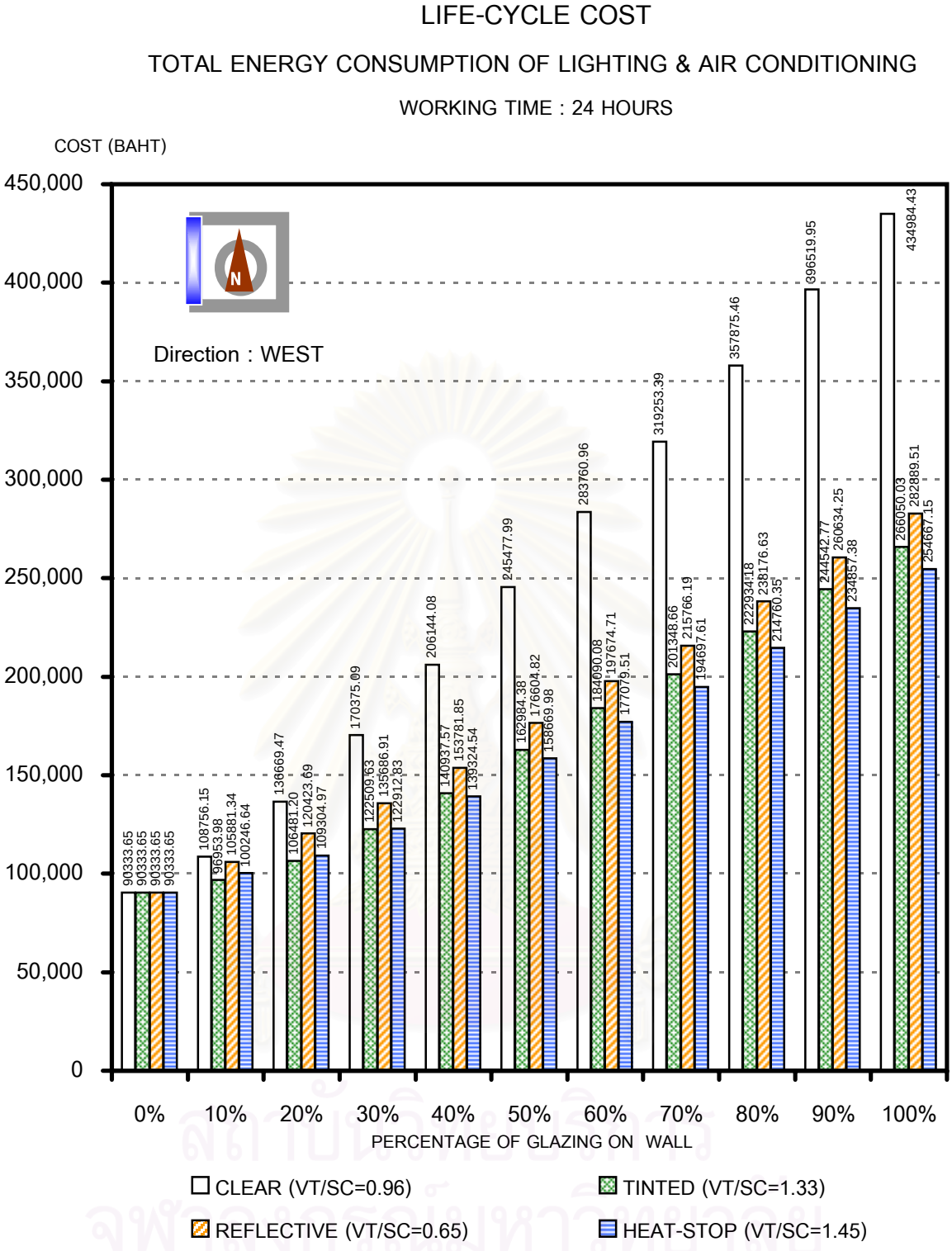
แผนภูมิที่ 5.26 **แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม** (LCC) **ตลอดอายุการใช้งาน** 10 **ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่** 9.00-18.00 **น.**

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



แผนภูมิที่ 5.27 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันตก ตั้งแต่ 10.00-19.00 น.

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)



แผนภูมิที่ 5.28 แสดงค่าใช้จ่ายโดยรวม (LCC) ตลอดอายุการใช้งาน 10 ปี ในส่วนของการเพิ่มการส่องสว่างและการปรับอากาศ เมื่อใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกด้านข้างชนิดต่างๆ ด้านทิศตะวันตก เป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อวัน

จากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของพื้นที่ช่องแสงกระจกทดสอบทุกชนิด แปรผันตรงกับค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วน ดังนั้นการใช้พื้นที่ช่องแสงกระจกที่มากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น (ในการคำนวณ LLC กำหนดให้คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 2.50 บาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ย 10% ต่อปี ในระยะเวลา 10 ปี และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้าเป็น 3% ต่อปี)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ ทำการจำลองรูปแบบของช่องแสงกระจกด้านข้างโดยพิจารณาจากตำแหน่งการเปิดช่องแสงด้านข้างที่ดีที่สุด คือ เป็นตำแหน่งช่องแสงด้านข้างส่วนบนที่ตำแหน่งของกระจกด้านบนติดกับเพดาน แล้วจึงทำการปรับขยายสัดส่วนของช่องแสงไล่ลงมาตามแนวผนังเรื่อยๆ โดยยังคงให้กระจกด้านบนติดกับเพดานไว้ ซึ่งอาจจะได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนเล็กน้อยเมื่อนำไปเทียบกับรูปแบบการเปิดช่องแสงด้านข้างส่วนกลางที่ต้องการให้ผู้ใช้อาคารได้เห็นทัศนียภาพภายนอกอาคารได้เต็มที่ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อไปจึงควรศึกษาวิจัยในส่วนของความเหมาะสมของขนาด รูปแบบ และสัดส่วนของช่องแสงกระจกด้านข้างที่มีผลต่อความรู้สึกของผู้ใช้อาคาร แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบร่วมกันกับปริมาณการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศในอาคาร

2. ในการวิจัยขั้นสูงในเบื้องลึกต่อไป ควรทำการศึกษาวิจัยถึงผลกระทบของการใช้ช่องแสงกระจกด้านข้างอันมีต่อมวลสารภายใน (Thermal Mass) ก่อให้เกิดเป็นความร้อนที่สะสมภายในอาคาร (Thermal Sink) ซึ่งมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศในช่วงเริ่มต้นของการเปิดและระหว่างการใช้งานระบบปรับอากาศ โดยทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลาการใช้งาน และแต่ละช่วงวันทำงาน เช่น การใช้งานอาคาร 5 วันต่อสัปดาห์ (ไม่ได้ใช้งาน 2 วัน) จะมีผลกระทบต่อความร้อนที่สะสมในอาคารอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อาคาร 6 วันต่อสัปดาห์ (ไม่ได้ใช้งาน 1 วัน) และการใช้อาคารตลอดทั้งสัปดาห์โดยไม่ปล่อยให้มีความร้อนสะสมอยู่ภายใน แล้วทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละกรณี เป็นต้น

3. ในการวิจัยเพิ่มเติม ควรศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิผิวกระจก (Mean Radiant Temperature, MRT) ที่มีผลต่อความรู้สึกสบาย (Human Sensation) ของผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร

4. ควรทำการทดสอบเปรียบเทียบกระจกชนิดเดียวกัน แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient, SC) และค่าการส่องผ่านของแสง (Visible Light Transmittance, VT) ต่างๆ กันไป เพิ่มเติม เพื่อนำมาสรุปเป็นความสัมพันธ์ในเชิงการใช้พลังงานในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

5. ควรทำการทดสอบในทุกๆ ฤดูกาล และทุกๆ สภาพท้องฟ้า เนื่องจากจะได้ศึกษาอิทธิพลจากดวงอาทิตย์รวมทั้งสภาพแวดล้อมได้อย่างครบถ้วนตลอดทั้งปี นำไปสู่การตัดสินใจเลือกใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมมากขึ้น

6. ควรทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของลักษณะช่องแสงและองค์ประกอบอื่นๆที่ทำให้ได้แสงธรรมชาติมาใช้งานอย่างเพียงพอและเหมาะสม ในขณะที่ยังคงได้รับปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาเท่ากันไม่เปลี่ยนแปลง (สัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อผนังเท่ากัน)

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คมกฤช ชูเกียรติมั่น. 2540. การใช้แสงธรรมชาติเสริมเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษา อาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2540. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. 2539. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ: อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

พรรณชลัท สุริโยธิน. 2543. วัสดุและการก่อสร้าง: กระจก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนทร บุญญาธิการ. 2542. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อเนก ทองปิยะภูมิ. เศรษฐศาสตร์อาคารง่ายนิดเดียว: การประเมินความคุ้มค่าในการสร้างอาคารประหยัดพลังงาน. อาษา (10:45-11:45): 52-60.

ภาษาอังกฤษ

America Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineerings. 2001. ASHRAE Refrigeration Systems and Applications Handbook. SI Edition. (n.p.).

America Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineerings. 1993. ASHRAE Refrigeration Systems and Applications Handbook. SI Edition. (n.p.).

Bradshaw, V. 1993. Building Control Systems. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.

Chirarattananon, Surapong. 2001. Daylighting and Artificial Lighting Integration : Experimental Cases and A Demonstration at AIT Library. Pathum Thani: Asian Institute of Technology.

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

Illuminance Engineering Society of North American. 1981. IES Lighhting Handbook. New York.

Kaufman, John E. Eds. 1981. IES Lighting Handbook : Application Volume. New York: Illuminating Engineering Society of North America.

Lechner, Norbert. 1991. Heating, Cooling, Lighting : Design Methods for Architects. New York: John Wiley & Sons.

Moore, Fuller. 1991. Concepts and Practice of Architectural Daylighting. New York: Van Nostrand Reinhold.

Robbins, Claude L. 1986. Daylighting : Design and Analysis. New York: Van Nostrand Reinhold.

Stein, Benjamin and Reynolds, John S. 1992. Mechanlcal and Electrical Equipment for Buildings. 8th Edition. New York: John Wiley & Sons.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กมล เกียรติเรืองกมลา. 2541. โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณแสงธรรมชาติ โดยใช้ข้อมูลสภาพท้องฟ้าในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกษียร ธรานนท์. 2538. อิทธิพลของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกต่อการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนินทร์ ทิพโยภาส. 2537. การนำเสนอรูปแบบตึกแถวลักษณะพาณิชย์กึ่งพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ และแสงสว่าง ให้แก่ผู้ใช้อาคาร กรณีศึกษา : เขต กทม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไชยะ แช่มน้อย. 2544. พื้นฐานวิศวกรรมการส่องสว่าง เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ: ส.เอเชียเพรส.

ทศพร นามเทพ. 2542. เทคนิคการประมาณค่าความส่องสว่างจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์-ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย. 2542. เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน. วิทยานิพนธ์-ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรณจิรา ทิศาวิภาต. 2541. ผลของการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร ผ่านช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฤทธิ์ จิตตสาตรา. 2538. ศักยภาพการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร กรณีศึกษาอาคารคณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วัชระ มั่งวิทิตกุล. 2544. กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: อินเตอร์ พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง.

สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งมงคล. 2542. การใช้กระจก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม.

ภาษาอังกฤษ

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

Beckman, A. William and John, A. Duffie. 1980. Solar Engineering of Thermal Processes. New York: John Wiley & Sons.

Button, David and Pye, Brian., eds. 1994. Glass in Building : A Guide to Modern Architectural Glass Performance. Oxford: Butterworth-heinemann.

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

Flynn, John E., Kremers, Jack A., Segil, Athur W. and Staffy, Gary R. 1992. Architectural Interior Systems : Lighting Acoustic and Air Condition. 3rd Edition. New York: Van Nostrand Reinhold.

Givoni, B. 1992. Energy and Building. Amsterdam: Elsevier Sequoia.

Givoni, B. 1976. Man, Climate and Architecture. Second Edition. London: Applied Science Pub.

Hastings, S. Robert and Crenshaw, Richard W. 1977. Window Design Strategies to Conserve Energy. Washington: U.S.Government Printing Office.

Jarnet, Turner. 1996. Lighting : An Introduction to Light, Lighting and Light Use. London.

Kaufman, John E. Eds. 1981. IES Lighting Handbook 1981 : Reference Volume. New York: Illuminating Engineering Society of North America.

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

Moore, Fuller. 1993. Environmental Control Systems. New York: McGraw-Hill.

Olgyay, Victor. 1973. Design with Climate : Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. New Jersey: Princeton University Press.

Watson, Donald. Eds. 1993. The Energy Design Handbook. Washington: AIA Press.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก. ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 6.1 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจกแต่ละชนิดด้านทิศเหนือ ในสภาวะปรับอากาศ

วัน/เดือน/ปี	เวลา	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิผิวกระจกทดสอบ (องศาเซลเซียส)							
				Heat-Stop		Tinted-Green		Reflective-Yellow		Clear	
		ภายนอก	ภายใน	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก
4/16/2546	0:00	29.69	23.07	26.00	28.48	27.02	27.53	27.02	27.63	27.02	27.69
4/16/2546	1:00	29.36	24.02	25.99	28.33	26.82	27.13	26.88	27.19	26.75	27.38
4/16/2546	2:00	29.40	22.60	25.91	28.39	26.99	27.50	26.99	27.45	26.99	27.69
4/16/2546	3:00	28.91	23.00	25.86	27.90	26.63	27.01	26.63	26.96	26.56	27.24
4/16/2546	4:00	28.80	22.69	25.75	27.66	26.45	26.90	26.51	26.95	26.45	27.24
4/16/2546	5:00	27.98	22.44	25.69	27.42	26.07	26.45	26.14	26.49	26.14	26.70
4/16/2546	6:00	28.09	23.89	25.55	27.29	25.87	26.12	26.06	26.25	25.87	26.52
4/16/2546	7:00	28.47	24.34	25.68	28.10	26.63	26.95	26.82	26.73	26.51	26.95
4/16/2546	8:00	30.61	23.68	26.61	31.24	29.02	29.59	29.08	29.44	28.58	29.46
4/16/2546	9:00	33.18	24.87	28.05	35.11	31.66	32.36	31.73	32.00	30.84	31.73
4/16/2546	10:00	35.57	23.01	29.00	37.78	33.24	34.25	33.30	33.92	32.29	33.55
4/16/2546	11:00	37.11	22.78	29.46	39.50	34.27	35.54	34.46	35.16	33.33	34.72
4/16/2546	12:00	38.79	22.83	30.14	41.40	35.23	36.53	35.58	36.11	34.13	35.58
4/16/2546	13:00	39.87	23.02	30.91	42.40	35.89	37.22	36.28	36.79	34.70	36.15
4/16/2546	14:00	40.42	23.40	31.34	42.87	36.19	37.46	36.58	37.06	35.01	36.46
4/16/2546	15:00	38.07	23.63	31.57	42.28	35.69	37.19	36.12	36.56	34.79	36.12
4/16/2546	16:00	37.55	23.74	30.92	40.63	34.56	36.04	34.90	35.61	33.70	35.03
4/16/2546	17:00	35.20	23.73	30.02	38.54	32.57	34.62	32.99	34.23	32.11	33.31
4/16/2546	18:00	33.47	23.13	28.41	33.73	30.12	30.88	30.06	30.38	29.87	30.82
4/16/2546	19:00	31.60	22.13	26.85	30.78	27.99	28.75	27.93	28.25	28.05	28.94
4/16/2546	20:00	30.13	22.37	26.20	29.18	27.22	27.72	27.15	27.32	27.22	27.91
4/16/2546	21:00	29.94	23.52	25.87	28.67	26.95	27.40	26.95	27.15	26.95	27.53
4/16/2546	22:00	29.90	22.84	25.96	28.63	27.17	27.68	27.17	27.43	27.10	27.80
4/16/2546	23:00	29.26	24.62	25.96	28.25	26.85	27.17	26.97	27.00	26.85	27.29
4/17/2546	0:00	29.37	23.58	25.88	28.55	27.02	27.53	27.09	27.33	27.02	27.66
4/17/2546	1:00	29.15	22.60	25.85	28.07	26.74	27.18	26.74	27.04	26.74	27.31
4/17/2546	2:00	28.95	22.46	25.78	27.75	26.48	26.99	26.54	26.97	26.54	27.11
4/17/2546	3:00	28.19	23.42	25.65	27.30	26.09	26.54	26.15	26.48	26.22	26.66
4/17/2546	4:00	27.71	24.15	25.42	26.82	25.74	26.00	25.87	25.98	25.74	26.06
4/17/2546	5:00	27.26	24.58	25.35	26.43	25.48	25.67	25.67	25.67	25.48	25.73
4/17/2546	6:00	26.91	22.71	25.32	26.34	25.39	25.71	25.58	25.71	25.39	25.77
4/17/2546	7:00	28.22	24.34	25.42	27.33	26.31	26.50	26.50	26.45	26.06	26.44
4/17/2546	8:00	30.47	24.50	26.41	30.53	28.57	29.01	28.76	28.70	28.25	29.33
4/17/2546	9:00	33.13	22.59	27.49	33.64	30.67	31.43	30.73	31.14	30.10	31.05
4/17/2546	10:00	36.03	24.43	28.24	36.59	32.30	33.57	32.43	33.21	31.65	32.85
4/17/2546	11:00	36.20	22.37	29.24	39.47	34.18	35.38	34.30	35.07	33.23	34.68
4/17/2546	12:00	37.93	22.53	30.04	41.26	35.22	36.42	35.35	35.93	34.02	35.54

ตารางที่ 6.2 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจกแต่ละชนิดด้านทิศใต้ ในสภาวะปรับอากาศ

วัน/เดือน/ปี	เวลา	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิผิวกระจกทดสอบ (องศาเซลเซียส)							
				Heat-Stop		Tinted-Green		Reflective-Yellow		Clear	
		ภายนอก	ภายใน	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก
4/16/2546	0:00	29.69	23.07	26.00	28.48	27.02	27.53	27.02	27.63	27.02	27.69
4/16/2546	1:00	29.36	24.02	25.99	28.33	26.82	27.13	26.88	27.19	26.75	27.38
4/16/2546	2:00	29.40	22.60	25.91	28.39	26.99	27.50	26.99	27.45	26.99	27.69
4/16/2546	3:00	28.91	23.00	25.86	27.90	26.63	27.01	26.63	26.96	26.56	27.24
4/16/2546	4:00	28.80	22.69	25.75	27.66	26.45	26.90	26.51	26.95	26.45	27.24
4/16/2546	5:00	27.98	22.44	25.69	27.42	26.07	26.45	26.14	26.49	26.14	26.70
4/16/2546	6:00	28.09	23.89	25.55	27.29	25.87	26.12	26.06	26.25	25.87	26.52
4/16/2546	7:00	28.47	24.34	25.68	28.10	26.63	26.95	26.82	26.73	26.51	26.95
4/16/2546	8:00	30.61	23.68	26.61	31.24	29.02	29.59	29.08	29.44	28.58	29.46
4/16/2546	9:00	33.18	24.87	28.05	35.11	31.66	32.36	31.73	32.00	30.84	31.73
4/16/2546	10:00	35.57	23.01	29.00	37.78	33.24	34.25	33.30	33.92	32.29	33.55
4/16/2546	11:00	37.11	22.78	29.46	39.50	34.27	35.54	34.46	35.16	33.33	34.72
4/16/2546	12:00	38.79	22.83	30.14	41.40	35.23	36.53	35.58	36.11	34.13	35.58
4/16/2546	13:00	39.87	23.02	30.91	42.40	35.89	37.22	36.28	36.79	34.70	36.15
4/16/2546	14:00	40.42	23.40	31.34	42.87	36.19	37.46	36.58	37.06	35.01	36.46
4/16/2546	15:00	38.07	23.63	31.57	42.28	35.69	37.19	36.12	36.56	34.79	36.12
4/16/2546	16:00	37.55	23.74	30.92	40.63	34.56	36.04	34.90	35.61	33.70	35.03
4/16/2546	17:00	35.20	23.73	30.02	38.54	32.57	34.62	32.99	34.23	32.11	33.31
4/16/2546	18:00	33.47	23.13	28.41	33.73	30.12	30.88	30.06	30.38	29.87	30.82
4/16/2546	19:00	31.60	22.13	26.85	30.78	27.99	28.75	27.93	28.25	28.05	28.94
4/16/2546	20:00	30.13	22.37	26.20	29.18	27.22	27.72	27.15	27.32	27.22	27.91
4/16/2546	21:00	29.94	23.52	25.87	28.67	26.95	27.40	26.95	27.15	26.95	27.53
4/16/2546	22:00	29.90	22.84	25.96	28.63	27.17	27.68	27.17	27.43	27.10	27.80
4/16/2546	23:00	29.26	24.62	25.96	28.25	26.85	27.17	26.97	27.00	26.85	27.29
4/17/2546	0:00	29.37	23.58	25.88	28.55	27.02	27.53	27.09	27.33	27.02	27.66
4/17/2546	1:00	29.15	22.60	25.85	28.07	26.74	27.18	26.74	27.04	26.74	27.31
4/17/2546	2:00	28.95	22.46	25.78	27.75	26.48	26.99	26.54	26.97	26.54	27.11
4/17/2546	3:00	28.19	23.42	25.65	27.30	26.09	26.54	26.15	26.48	26.22	26.66
4/17/2546	4:00	27.71	24.15	25.42	26.82	25.74	26.00	25.87	25.98	25.74	26.06
4/17/2546	5:00	27.26	24.58	25.35	26.43	25.48	25.67	25.67	25.67	25.48	25.73
4/17/2546	6:00	26.91	22.71	25.32	26.34	25.39	25.71	25.58	25.71	25.39	25.77
4/17/2546	7:00	28.22	24.34	25.42	27.33	26.31	26.50	26.50	26.45	26.06	26.44
4/17/2546	8:00	30.47	24.50	26.41	30.53	28.57	29.01	28.76	28.70	28.25	29.33
4/17/2546	9:00	33.13	22.59	27.49	33.64	30.67	31.43	30.73	31.14	30.10	31.05
4/17/2546	10:00	36.03	24.43	28.24	36.59	32.30	33.57	32.43	33.21	31.65	32.85
4/17/2546	11:00	36.20	22.37	29.24	39.47	34.18	35.38	34.30	35.07	33.23	34.68
4/17/2546	12:00	37.93	22.53	30.04	41.26	35.22	36.42	35.35	35.93	34.02	35.54

ตารางที่ 6.3 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจกแต่ละชนิดด้านทิศตะวันออก ในสภาวะปรับอากาศ

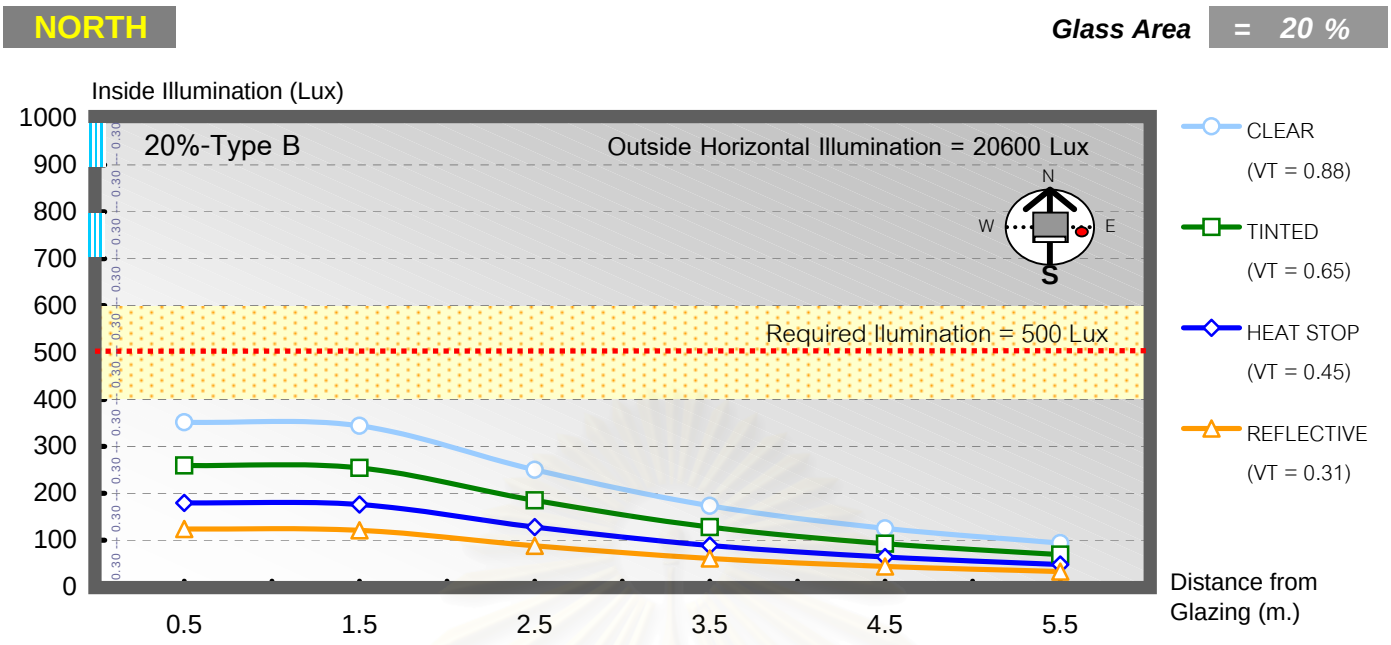
วัน/เดือน/ปี	เวลา	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิผิวกระจกทดสอบ (องศาเซลเซียส)							
				Heat-Stop		Tinted-Green		Reflective-Yellow		Clear	
		ภายนอก	ภายใน	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก
4/10/2546	0:00	29.69	23.07	26.83	28.93	27.59	28.04	27.59	28.04	27.72	28.29
4/10/2546	1:00	29.36	24.02	26.69	28.59	27.39	27.77	27.52	27.83	27.58	27.58
4/10/2546	2:00	29.40	22.60	26.67	28.77	27.44	27.88	27.63	27.94	27.56	27.88
4/10/2546	3:00	28.91	23.00	26.50	28.34	27.14	27.45	27.26	27.58	27.20	27.58
4/10/2546	4:00	28.80	22.69	26.39	28.17	27.02	27.47	27.21	27.47	27.15	27.34
4/10/2546	5:00	27.98	22.44	26.33	27.92	26.65	27.03	26.84	27.09	26.77	26.96
4/10/2546	6:00	28.09	23.89	26.12	27.52	26.44	26.76	26.50	26.82	26.57	26.70
4/10/2546	7:00	28.47	24.34	26.31	28.86	27.33	27.71	27.65	28.09	27.27	27.52
4/10/2546	8:00	30.61	23.68	29.78	38.62	33.32	33.71	34.54	33.57	30.42	30.54
4/10/2546	9:00	33.18	24.87	32.93	45.44	37.66	38.58	39.03	37.84	34.59	33.18
4/10/2546	10:00	35.57	23.01	35.20	49.75	40.78	42.38	41.62	41.70	37.92	38.54
4/10/2546	11:00	37.11	22.78	35.35	49.65	40.51	41.86	41.52	41.38	37.87	39.44
4/10/2546	12:00	38.79	22.83	34.43	45.69	38.77	40.06	39.83	39.59	37.09	38.98
4/10/2546	13:00	39.87	23.02	33.32	42.63	36.92	38.21	37.61	38.04	35.65	36.91
4/10/2546	14:00	40.42	23.40	32.48	41.17	35.86	37.32	36.34	37.09	34.91	36.27
4/10/2546	15:00	38.07	23.63	32.00	39.58	35.07	36.15	35.44	35.93	34.00	35.42
4/10/2546	16:00	37.55	23.74	31.37	37.93	34.06	34.84	34.33	34.97	33.06	34.52
4/10/2546	17:00	35.20	23.73	30.40	36.09	32.69	33.44	32.95	33.50	31.84	33.44
4/10/2546	18:00	33.47	23.13	29.30	33.79	30.56	31.39	30.82	31.51	30.26	31.64
4/10/2546	19:00	31.60	22.13	27.99	31.48	28.82	29.51	29.07	29.58	29.01	29.70
4/10/2546	20:00	30.13	22.37	27.28	29.94	27.85	28.42	28.04	28.42	28.04	28.42
4/10/2546	21:00	29.94	23.52	26.83	29.30	27.65	28.16	27.72	28.22	27.78	28.22
4/10/2546	22:00	29.90	22.84	26.85	29.20	27.80	28.25	27.93	28.31	27.93	28.37
4/10/2546	23:00	29.26	24.62	26.66	28.69	27.55	27.93	27.55	27.99	27.67	27.80
4/11/2546	0:00	29.37	23.58	26.64	28.86	27.59	28.10	27.72	28.16	27.72	28.29
4/11/2546	1:00	29.15	22.60	26.61	28.58	27.31	27.75	27.44	27.82	27.37	27.88
4/11/2546	2:00	28.95	22.46	26.48	28.32	27.05	27.43	27.24	27.49	27.18	27.43
4/11/2546	3:00	28.19	23.42	26.28	27.81	26.66	26.98	26.79	27.04	26.79	26.98
4/11/2546	4:00	27.71	24.15	26.00	27.27	26.25	26.44	26.25	26.57	26.38	26.38
4/11/2546	5:00	27.26	24.58	25.86	26.88	26.05	26.24	26.05	26.30	26.18	26.24
4/11/2546	6:00	26.91	22.71	25.90	26.91	26.02	26.28	26.15	26.34	26.09	26.21
4/11/2546	7:00	28.22	24.34	26.63	30.95	27.14	27.52	28.73	28.34	27.08	27.27
4/11/2546	8:00	30.47	24.50	29.20	44.26	35.97	36.79	37.23	36.58	30.84	30.79
4/11/2546	9:00	33.13	22.59	32.51	51.20	40.00	41.64	41.07	41.32	35.39	33.64
4/11/2546	10:00	36.03	24.43	35.77	53.25	42.31	43.88	42.82	43.39	38.72	39.62
4/11/2546	11:00	36.20	22.37	36.28	51.42	41.41	42.81	41.94	42.36	38.50	39.16
4/11/2546	12:00	37.93	22.53	35.17	46.28	39.24	40.43	39.72	39.82	37.18	38.56

ตารางที่ 6.4 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอก-ภายในกระจกแต่ละชนิดด้านทิศตะวันตก ในสภาวะปรับอากาศ

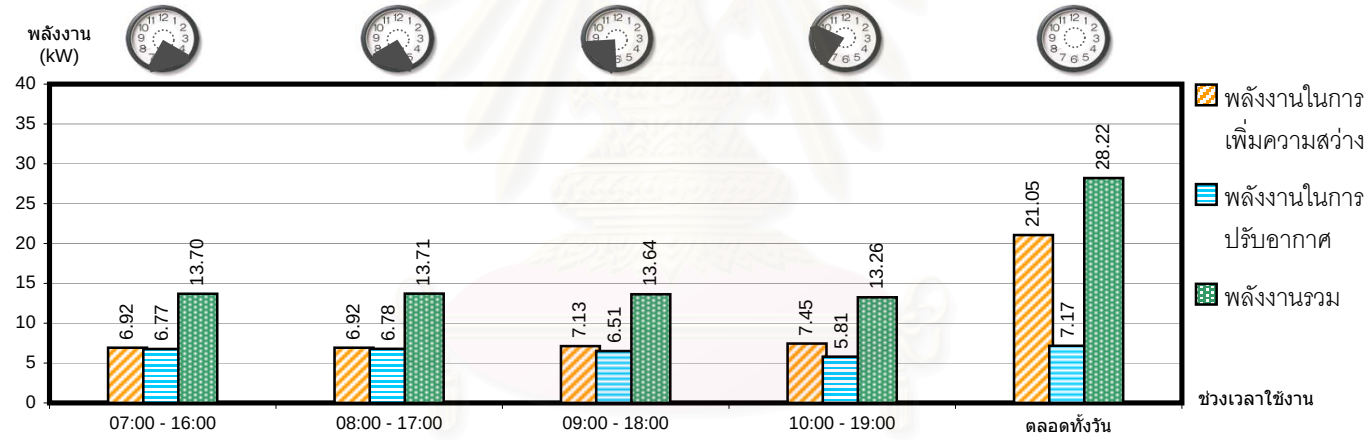
วัน/เดือน/ปี	เวลา	อุณหภูมิอากาศ (องศาเซลเซียส)		อุณหภูมิผิวกระจกทดสอบ (องศาเซลเซียส)							
				Heat-Stop		Tinted-Green		Reflective-Yellow		Clear	
		ภายนอก	ภายใน	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก	ภายใน	ภายนอก
4/10/2546	0:00	28.69	24.80	26.83	28.93	27.59	28.04	27.59	28.04	27.72	28.29
4/10/2546	1:00	28.72	23.30	26.69	28.59	27.39	27.77	27.52	27.83	27.58	27.58
4/10/2546	2:00	28.81	21.57	26.67	28.77	27.44	27.88	27.63	27.94	27.56	27.88
4/10/2546	3:00	28.38	24.57	26.50	28.34	27.14	27.45	27.26	27.58	27.20	27.58
4/10/2546	4:00	28.20	24.15	26.39	28.17	27.02	27.47	27.21	27.47	27.15	27.34
4/10/2546	5:00	27.65	23.93	26.33	27.92	26.65	27.03	26.84	27.09	26.77	26.96
4/10/2546	6:00	27.88	23.12	26.12	27.52	26.44	26.76	26.50	26.82	26.57	26.70
4/10/2546	7:00	28.13	24.39	26.31	28.40	26.93	27.71	26.95	28.09	26.75	27.52
4/10/2546	8:00	29.62	24.46	26.75	31.94	28.11	31.21	28.20	31.21	27.49	29.90
4/10/2546	9:00	31.86	22.65	27.52	35.00	29.53	34.08	29.69	33.93	28.45	32.38
4/10/2546	10:00	34.17	23.03	28.38	38.30	31.05	37.00	31.46	36.41	29.67	34.71
4/10/2546	11:00	36.19	22.49	29.34	42.00	32.97	39.37	33.58	38.88	31.14	36.89
4/10/2546	12:00	37.82	22.22	30.38	45.53	34.90	41.70	35.49	40.87	33.11	39.08
4/10/2546	13:00	38.27	23.00	31.69	49.27	36.57	44.23	36.87	42.52	34.40	40.15
4/10/2546	14:00	40.35	24.26	33.00	51.36	39.40	45.92	39.74	44.92	36.64	41.96
4/10/2546	15:00	40.11	23.49	34.64	51.94	41.71	45.08	42.51	43.91	39.15	41.21
4/10/2546	16:00	38.66	23.25	35.27	49.76	41.68	42.72	42.51	41.12	39.06	38.85
4/10/2546	17:00	36.21	23.72	35.10	43.74	40.69	39.17	41.98	37.95	38.00	35.73
4/10/2546	18:00	33.90	23.04	33.86	38.25	38.36	34.47	39.90	33.73	35.18	32.25
4/10/2546	19:00	32.05	22.37	31.32	33.94	34.35	30.51	35.62	30.19	31.28	29.70
4/10/2546	20:00	30.62	21.33	28.93	31.31	29.83	29.00	30.46	28.42	29.43	28.42
4/10/2546	21:00	29.89	22.90	27.61	29.76	28.19	28.50	28.00	28.22	28.26	28.22
4/10/2546	22:00	29.44	23.53	27.39	29.37	28.04	28.25	27.93	28.31	28.13	28.37
4/10/2546	23:00	29.02	21.25	27.03	29.08	27.55	27.93	27.55	27.99	27.61	27.80
4/11/2546	0:00	28.83	21.89	26.93	28.93	27.59	28.10	27.72	28.16	27.72	28.29
4/11/2546	1:00	28.42	21.58	26.61	28.45	27.31	27.75	27.44	27.82	27.37	27.88
4/11/2546	2:00	27.74	21.47	26.48	27.77	27.05	27.43	27.24	27.49	27.18	27.43
4/11/2546	3:00	27.36	23.29	26.28	27.43	26.66	26.98	26.79	27.04	26.79	26.98
4/11/2546	4:00	26.77	21.68	26.00	27.00	26.25	26.44	26.25	26.57	26.38	26.38
4/11/2546	5:00	26.52	23.35	25.86	26.80	26.05	26.24	26.05	26.30	26.18	26.24
4/11/2546	6:00	26.50	22.00	25.90	26.84	26.02	26.28	26.15	26.34	26.09	26.21
4/11/2546	7:00	27.40	23.09	26.16	28.40	26.63	27.52	26.82	27.71	26.39	27.27
4/11/2546	8:00	29.76	21.84	27.07	33.59	28.49	31.94	28.97	31.21	27.68	30.10
4/11/2546	9:00	32.34	22.65	28.43	37.00	30.91	35.44	31.48	34.56	29.62	32.67
4/11/2546	10:00	35.19	23.03	30.33	41.07	33.74	38.06	34.26	37.38	32.32	35.89
4/11/2546	11:00	36.71	22.49	32.92	47.23	35.17	41.07	35.69	39.71	33.91	37.57
4/11/2546	12:00	38.88	22.22	34.59	51.94	37.27	46.82	38.02	45.76	36.09	39.69

ตารางที่ 6.5 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจกแต่ละชนิดด้านทิศเหนือ ในสภาวะไม่ปรับอากาศ

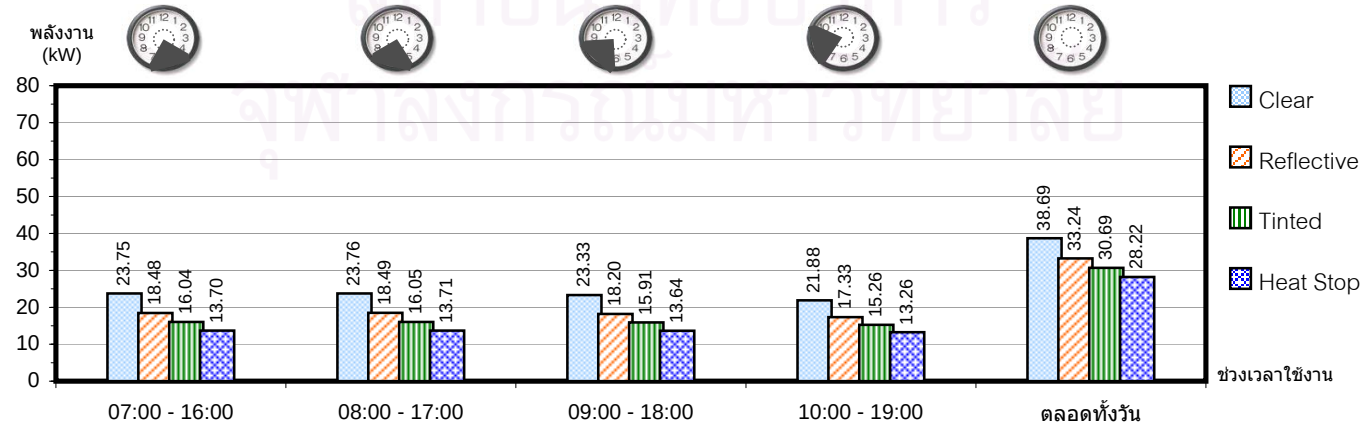
วัน/เดือน/ปี	เวลา	อากาศภายนอก	อุณหภูมิอากาศภายในกล่องกระจกทดสอบ (องศาเซลเซียส)				ค่าความส่องสว่าง
		(องศาเซลเซียส)	Heat-Stop	Tinted-Green	Reflective-Yellow	Clear	ภายนอก (Lux)
4/12/2546	0:00	29.69	29.25	28.50	28.69	27.74	0
4/12/2546	1:00	29.36	29.09	28.21	28.38	27.46	0
4/12/2546	2:00	30.36	28.71	27.88	28.00	27.05	0
4/12/2546	3:00	31.36	28.25	27.51	27.67	26.70	0
4/12/2546	4:00	32.36	27.96	27.34	27.48	26.53	0
4/12/2546	5:00	33.36	27.59	26.99	27.15	26.18	0
4/12/2546	6:00	34.36	27.15	26.59	26.74	25.97	1020
4/12/2546	7:00	35.36	27.00	26.82	26.96	26.94	10300
4/12/2546	8:00	36.36	27.40	28.24	27.99	28.94	20600
4/12/2546	9:00	37.36	28.60	30.63	30.12	31.77	28700
4/12/2546	10:00	38.36	30.44	33.35	32.72	34.87	35200
4/12/2546	11:00	39.36	32.48	36.40	35.58	38.48	40000
4/12/2546	12:00	40.36	34.75	39.54	38.66	42.11	43100
4/12/2546	13:00	41.36	36.86	41.58	40.76	44.08	39300
4/12/2546	14:00	42.36	38.37	43.08	42.20	45.71	26600
4/12/2546	15:00	43.36	39.26	43.15	42.59	45.72	28700
4/12/2546	16:00	44.36	39.61	42.69	42.06	44.82	18166
4/12/2546	17:00	45.36	38.88	40.70	40.13	42.33	10250
4/12/2546	18:00	46.36	37.23	38.04	37.73	38.48	2160
4/12/2546	19:00	47.36	35.49	35.05	34.80	35.17	450
4/12/2546	20:00	48.36	33.75	32.93	32.74	32.67	0
4/12/2546	21:00	49.36	32.42	31.47	31.40	31.09	0
4/12/2546	22:00	50.36	31.18	30.42	30.42	30.06	0
4/12/2546	23:00	51.36	30.28	29.52	29.58	29.00	0
4/13/2546	0:00	52.36	29.69	29.05	29.18	28.45	0
4/13/2546	1:00	53.36	29.07	28.75	28.81	27.98	0
4/13/2546	2:00	54.36	28.53	28.28	28.28	27.53	0
4/13/2546	3:00	55.36	28.20	27.88	27.94	27.20	0
4/13/2546	4:00	56.36	27.87	27.49	27.61	26.87	0
4/13/2546	5:00	57.36	27.46	27.21	27.27	26.57	0
4/13/2546	6:00	58.36	27.24	26.80	26.99	26.48	1130
4/13/2546	7:00	59.36	27.22	27.15	27.15	27.15	11300
4/13/2546	8:00	60.36	27.81	28.96	28.64	29.59	22700
4/13/2546	9:00	61.36	29.26	31.35	30.78	32.49	31300
4/13/2546	10:00	62.36	30.89	34.05	33.29	35.76	31000
4/13/2546	11:00	63.36	32.88	36.73	35.97	38.87	31200
4/13/2546	12:00	37.93	34.75	39.03	38.40	41.36	42100



แผนภูมิที่ 6.1 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type B)

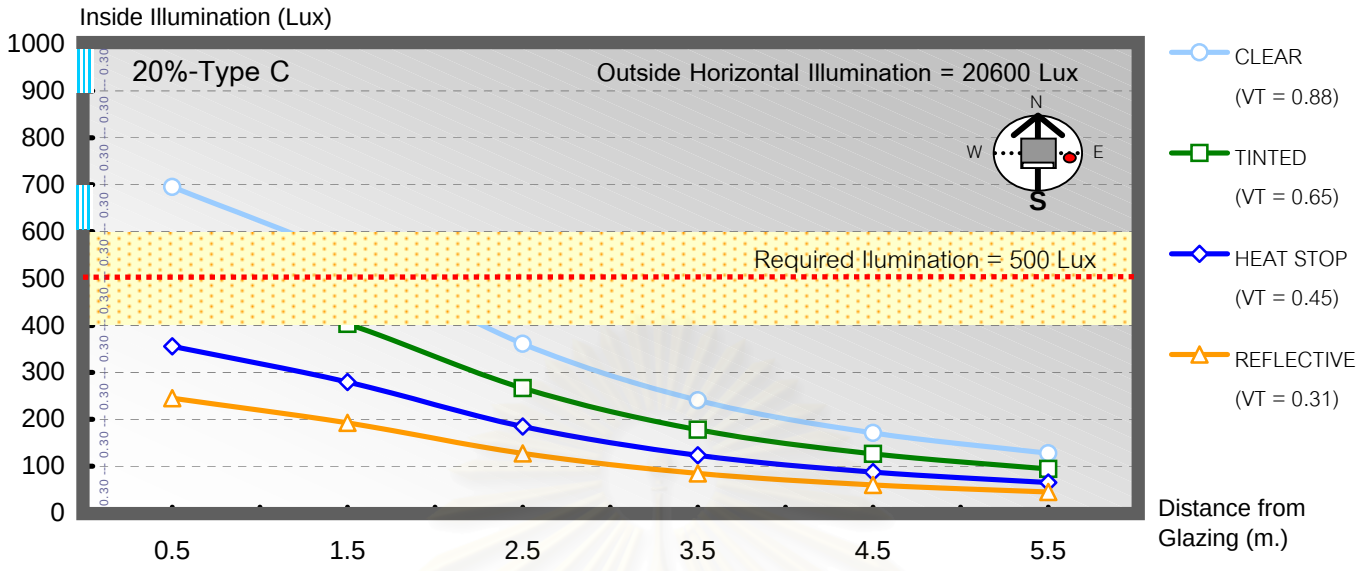


แผนภูมิที่ 6.2 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

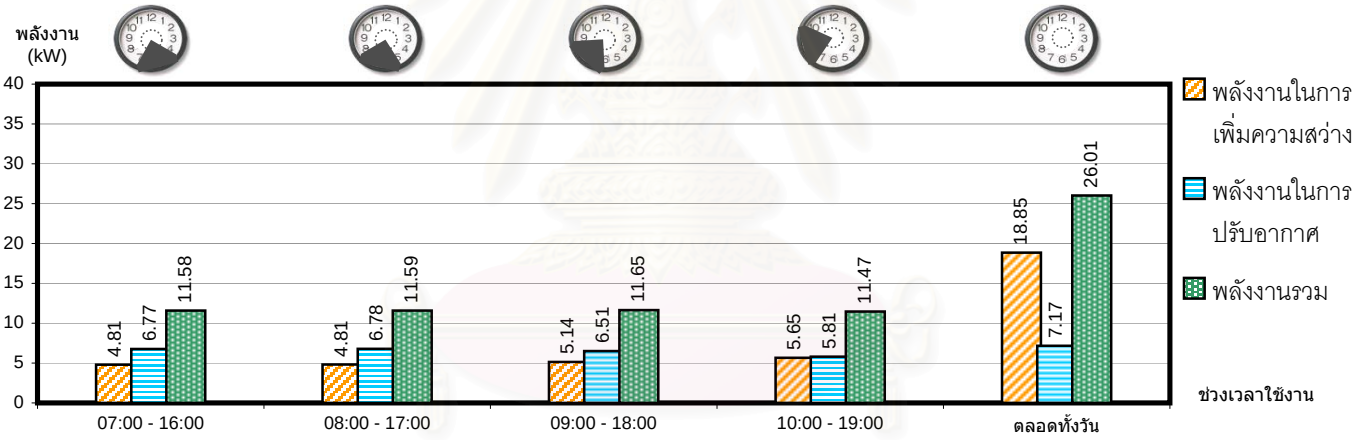


แผนภูมิที่ 6.3 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

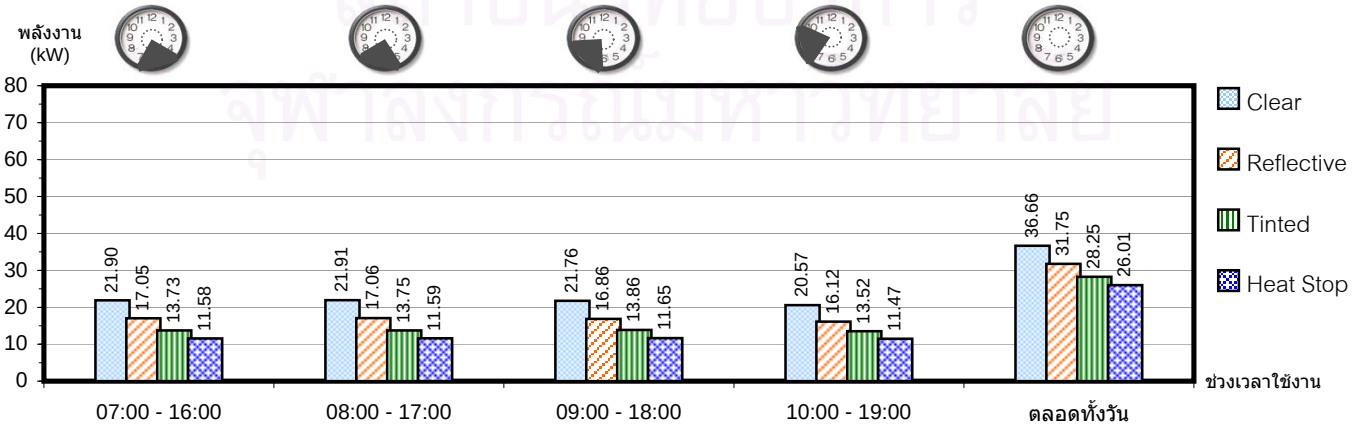
NORTH **Glass Area = 20 %**



แผนภูมิที่ 6.4 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type C)

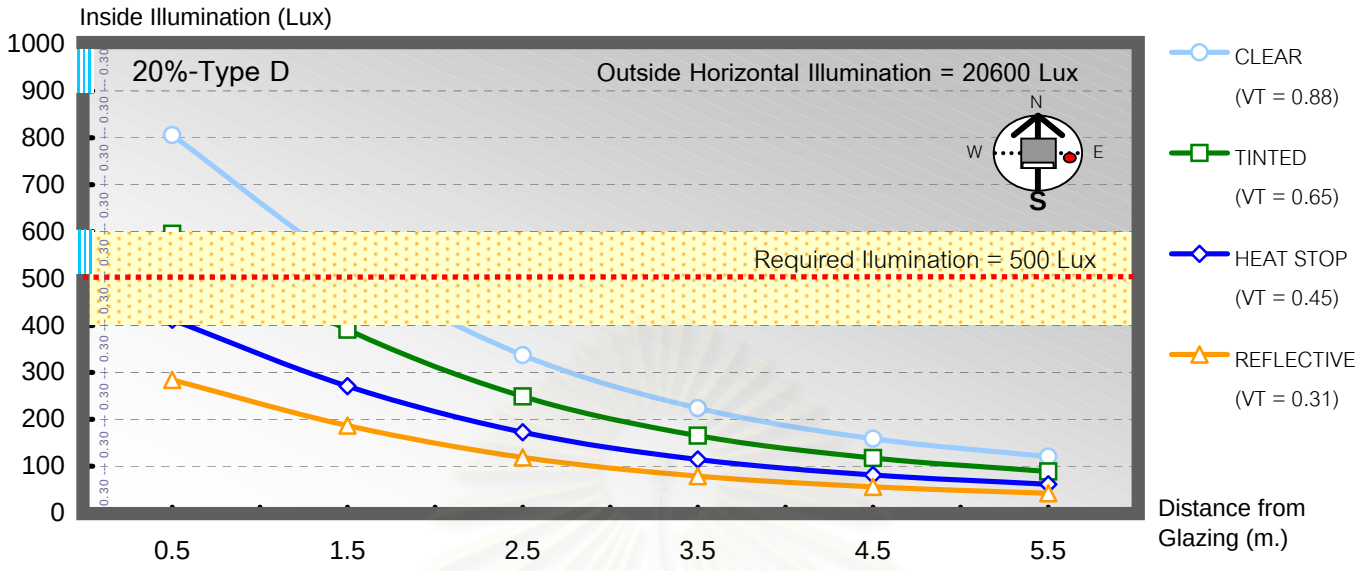


แผนภูมิที่ 6.5 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

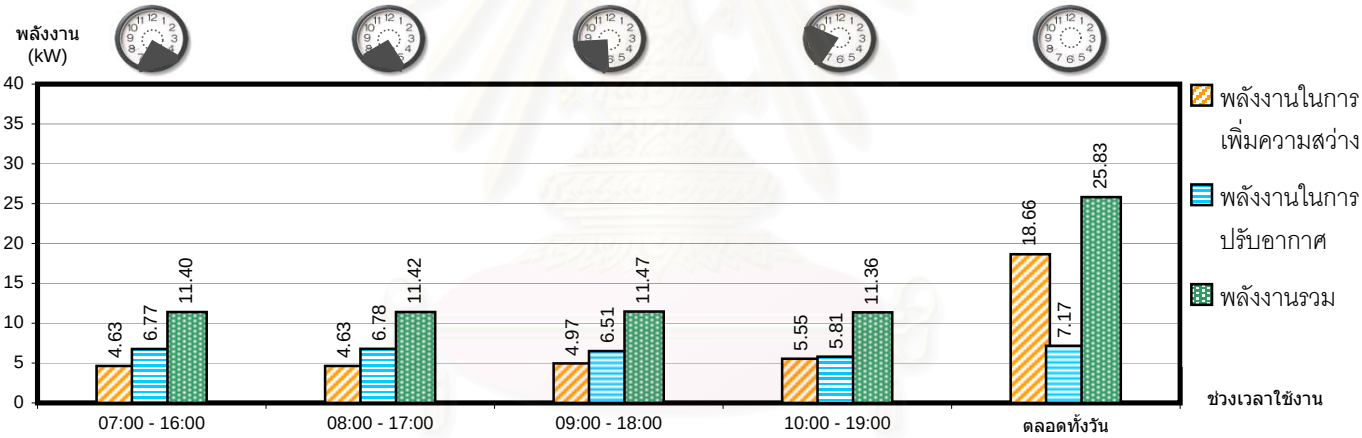


แผนภูมิที่ 6.6 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

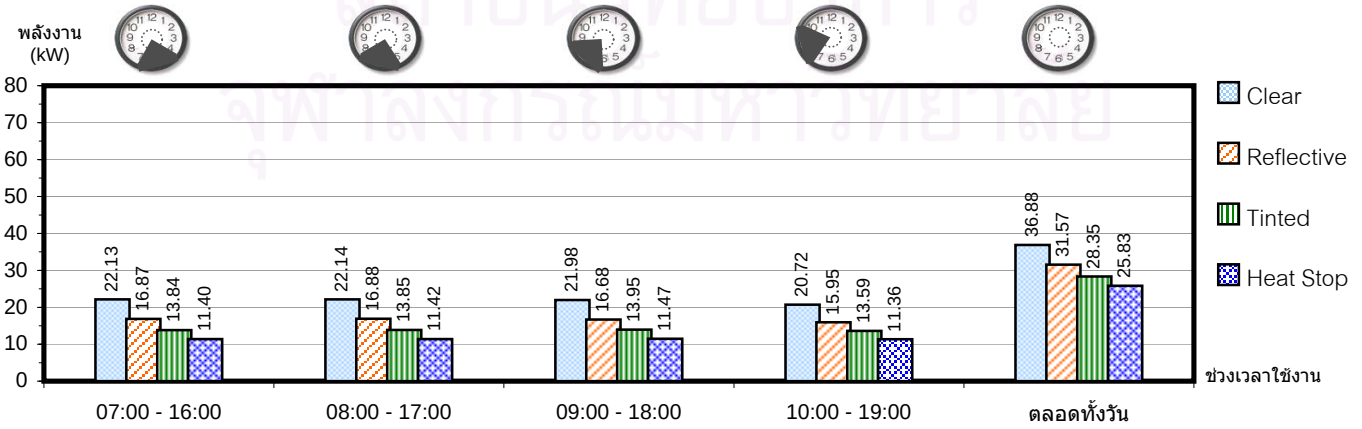
NORTH **Glass Area = 20 %**



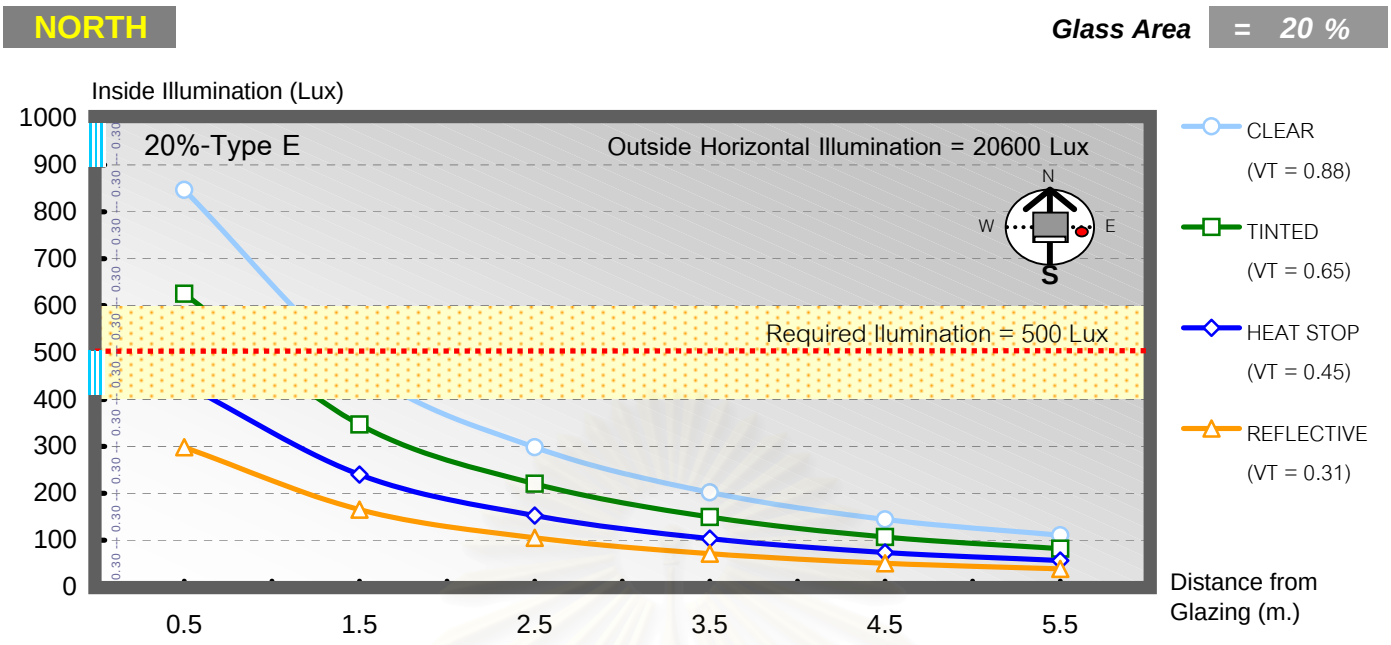
แผนภูมิที่ 6.7 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type D)



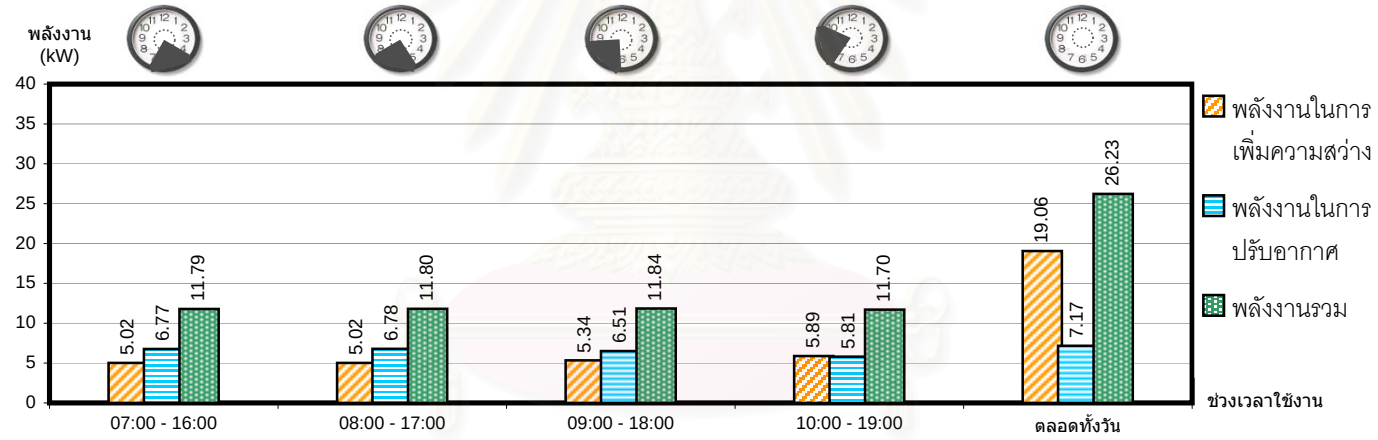
แผนภูมิที่ 6.8 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



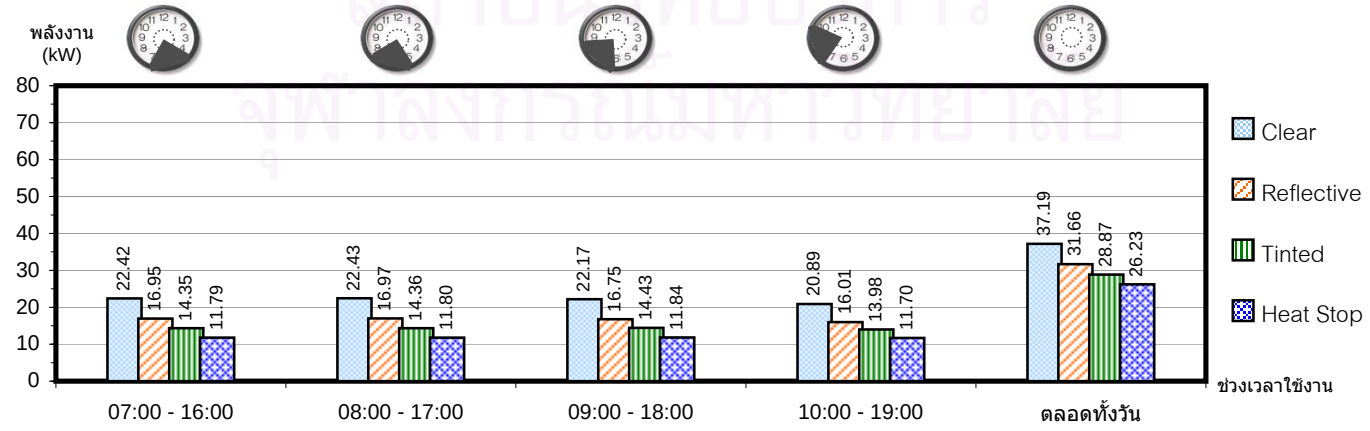
แผนภูมิที่ 6.9 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกทด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



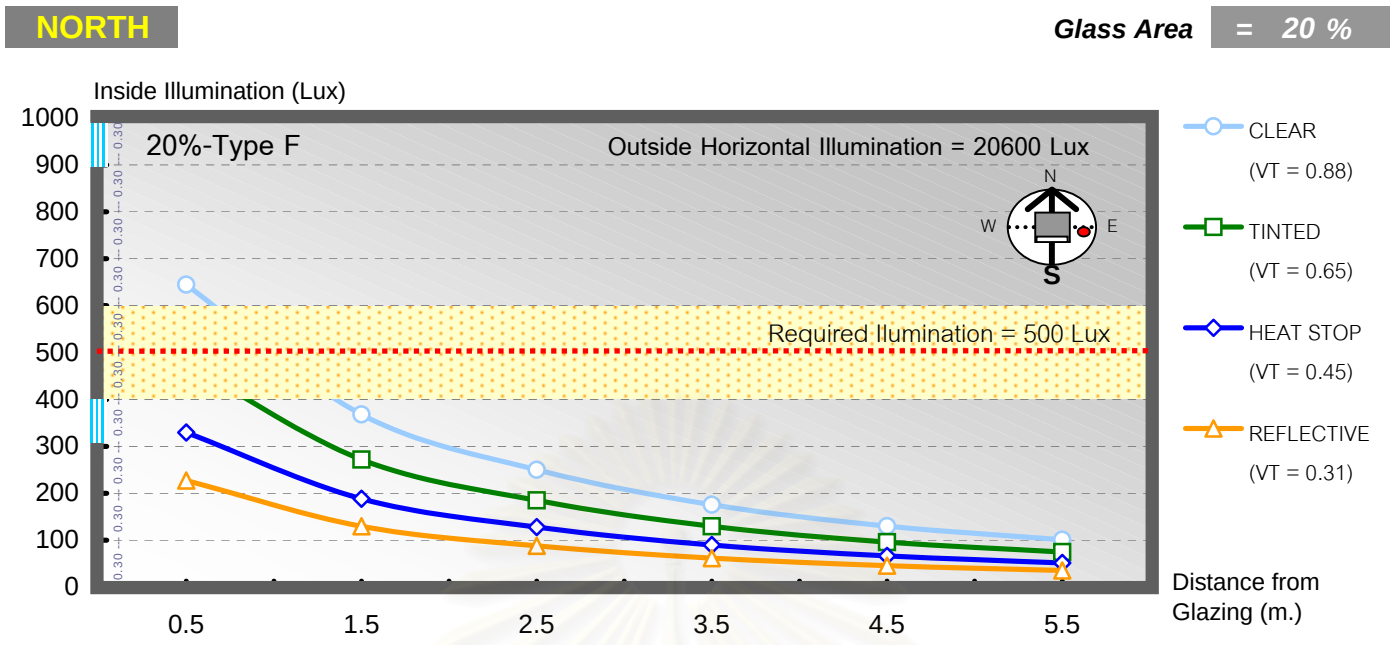
แผนภูมิที่ 6.10 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type E)



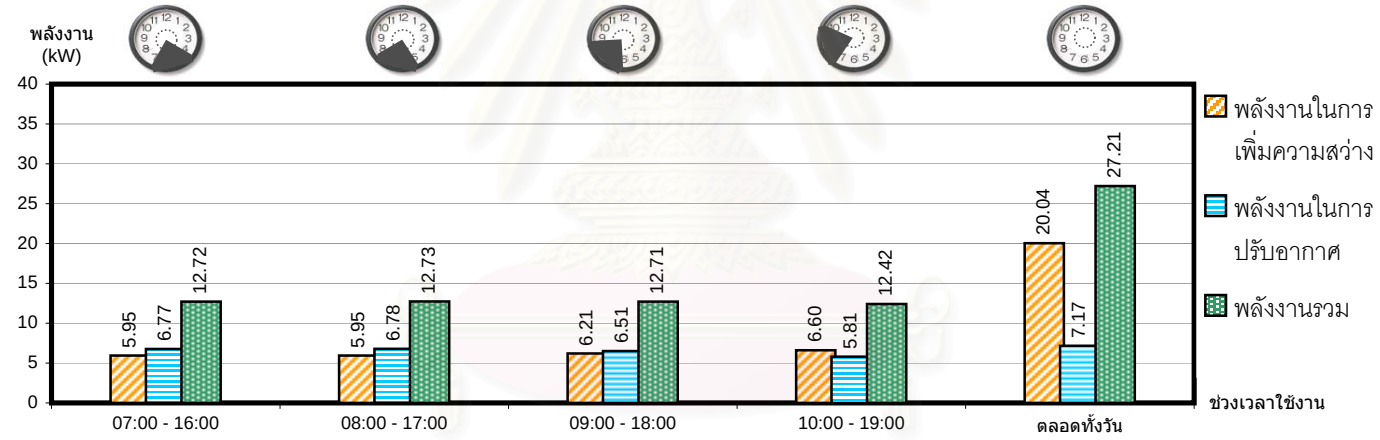
แผนภูมิที่ 6.11 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



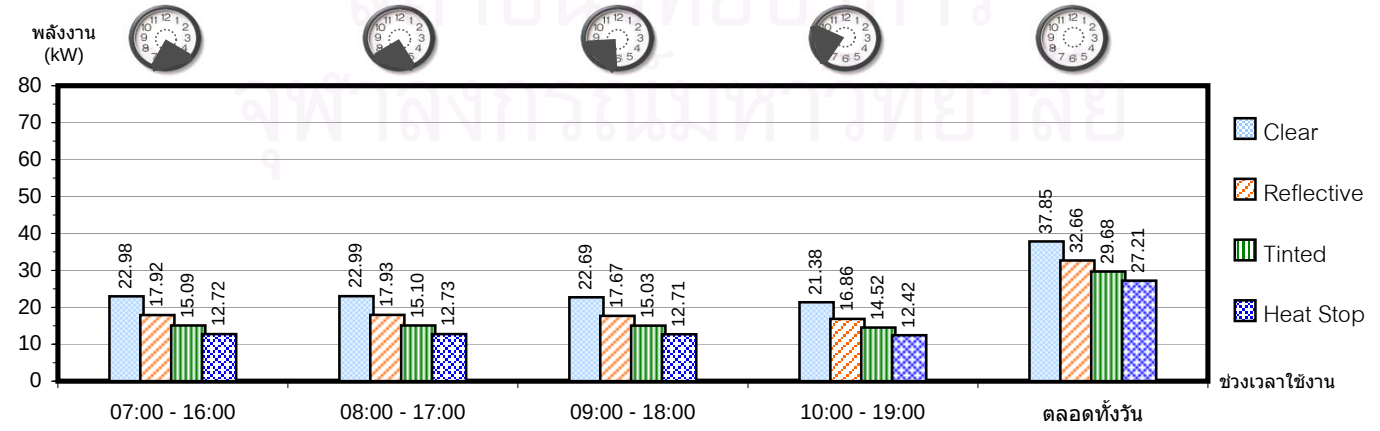
แผนภูมิที่ 6.12 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



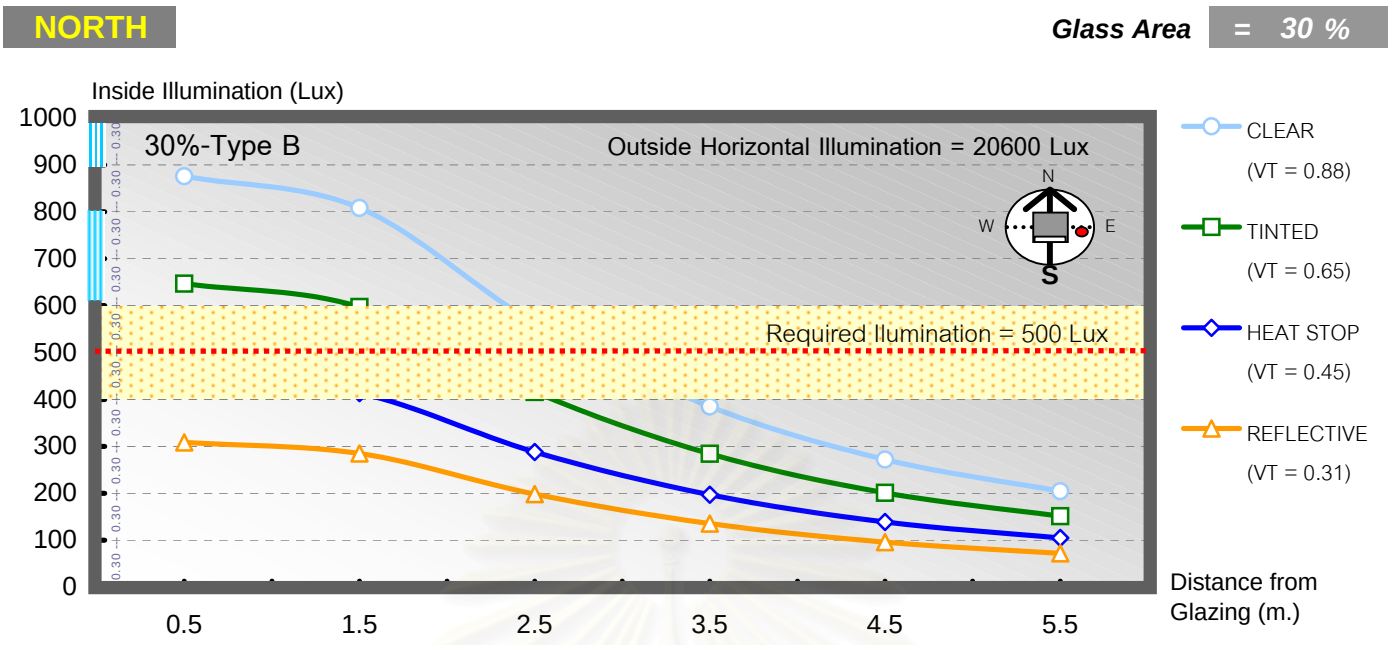
แผนภูมิที่ 6.13 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 20% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type F)



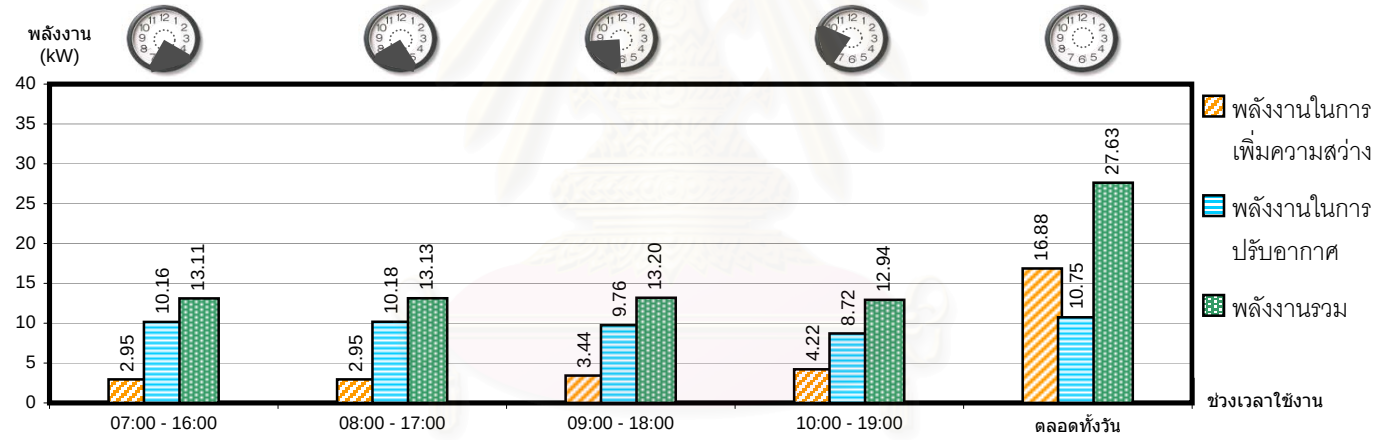
แผนภูมิที่ 6.14 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



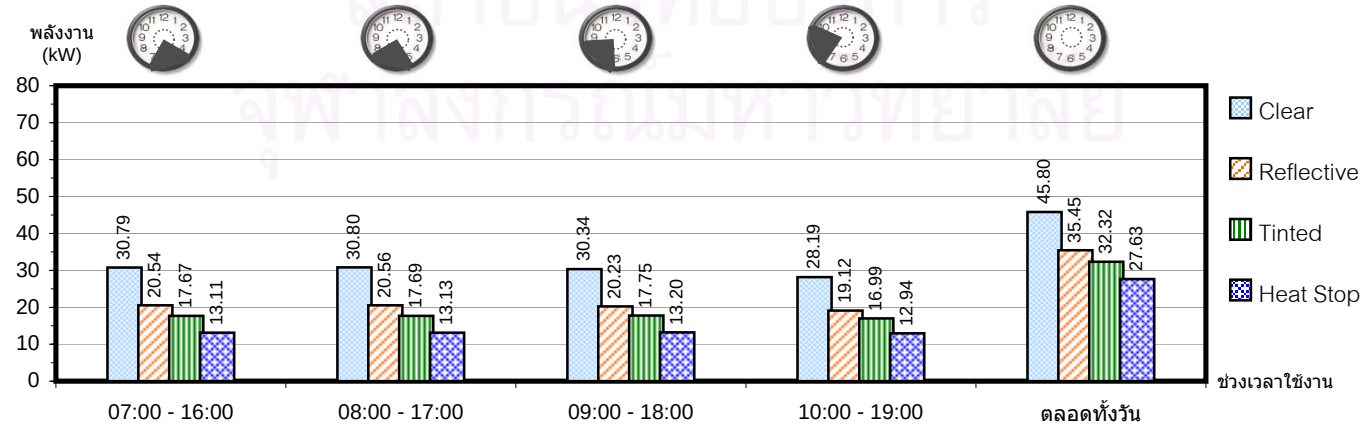
แผนภูมิที่ 6.15 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.16 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type B)

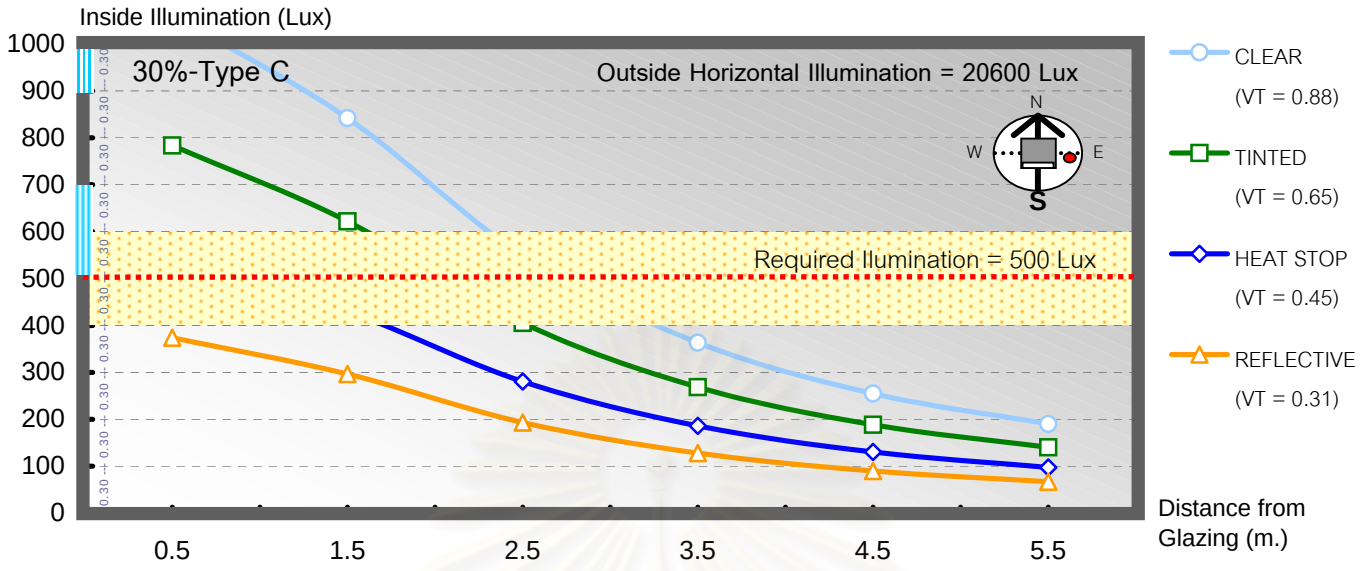


แผนภูมิที่ 6.17 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

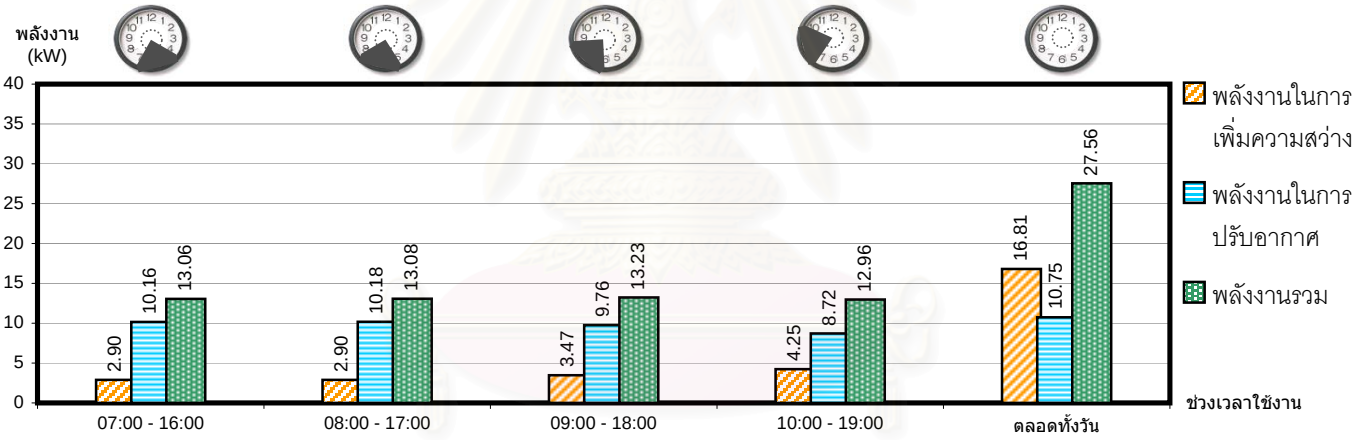


แผนภูมิที่ 6.18 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

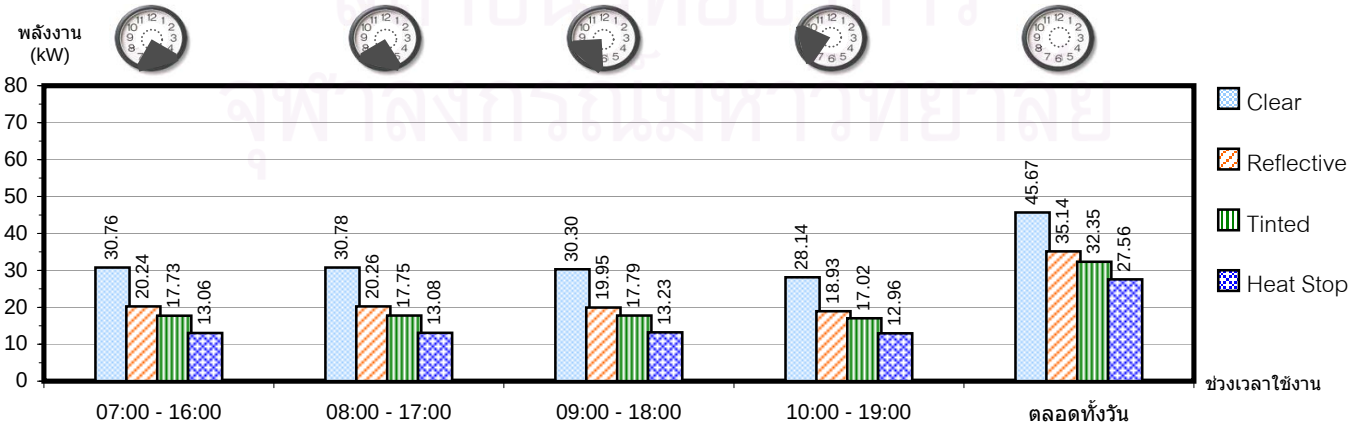
NORTH **Glass Area = 30 %**



แผนภูมิที่ 6.19 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type C)

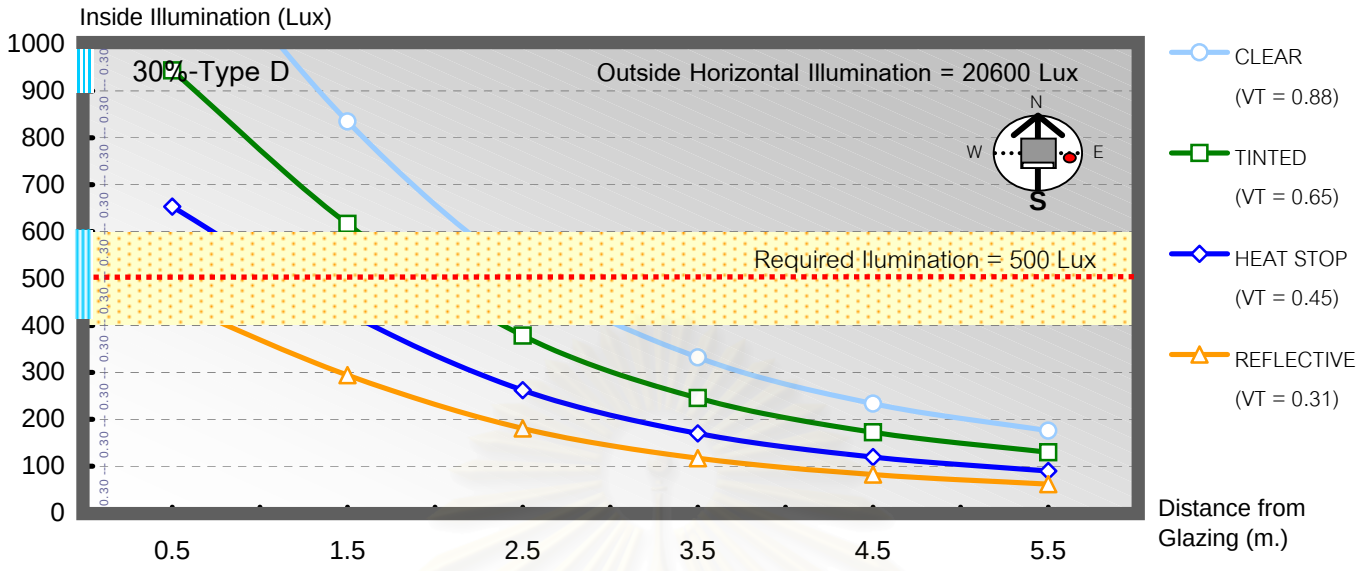


แผนภูมิที่ 6.20 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

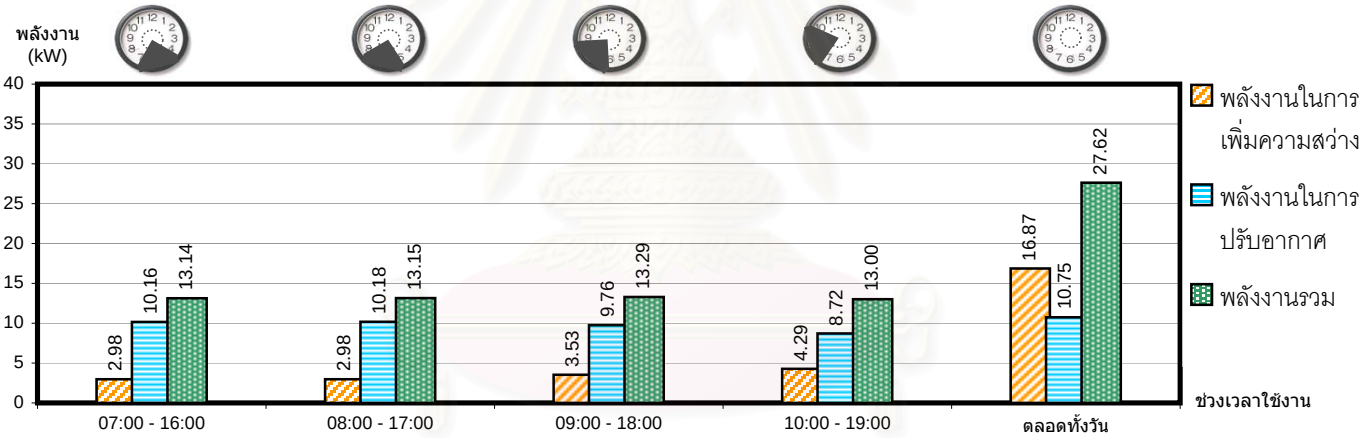


แผนภูมิที่ 6.21 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

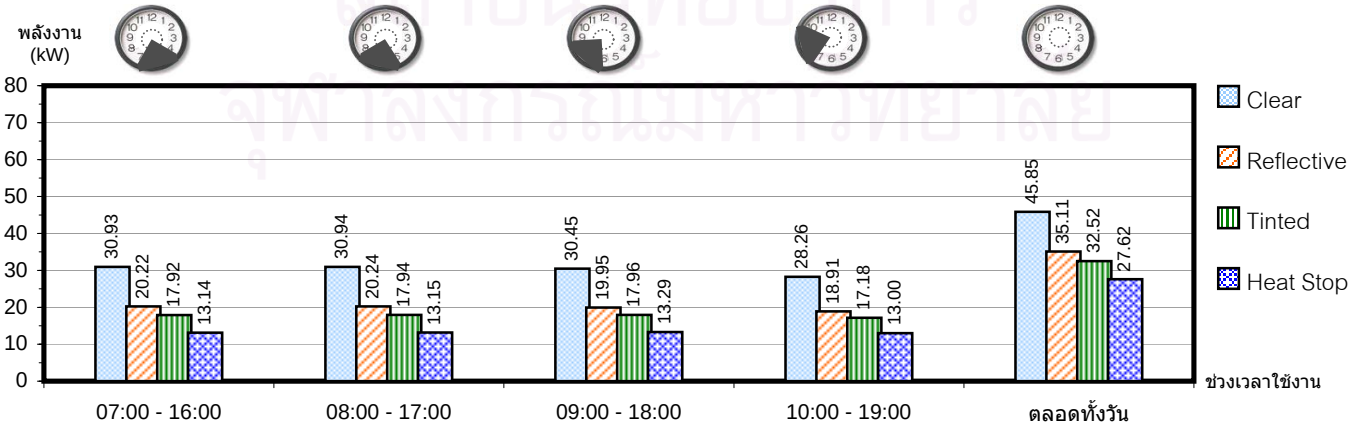
NORTH **Glass Area = 30 %**



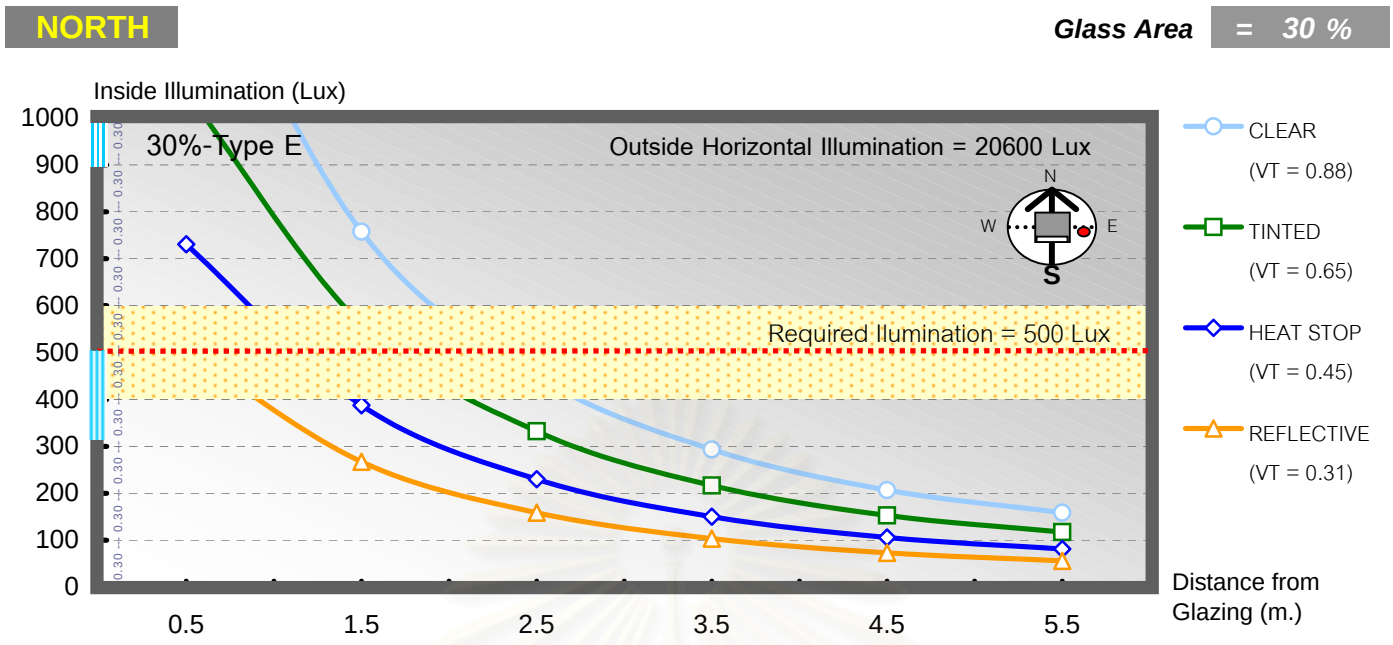
แผนภูมิที่ 6.22 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type D)



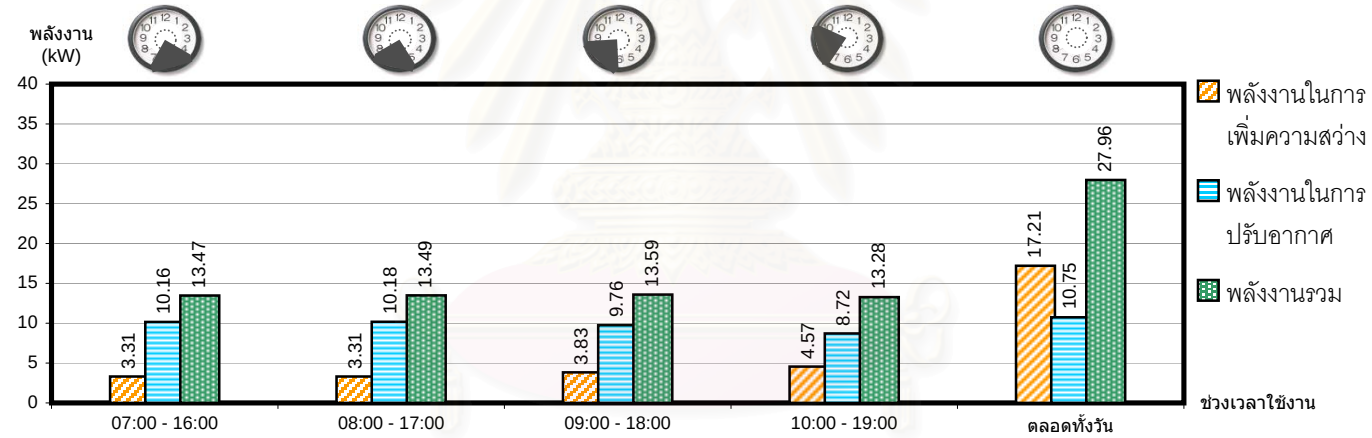
แผนภูมิที่ 6.23 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



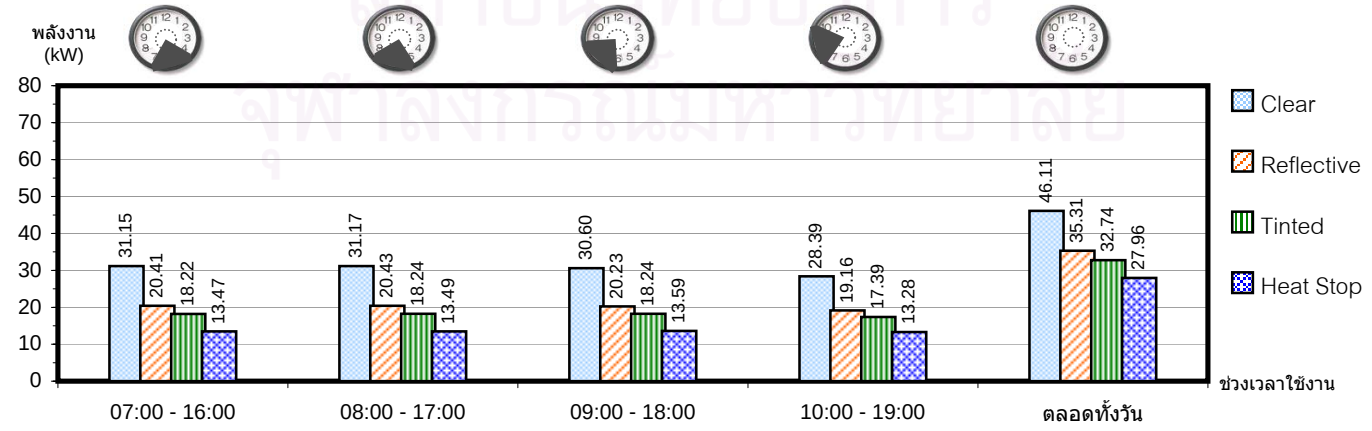
แผนภูมิที่ 6.24 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



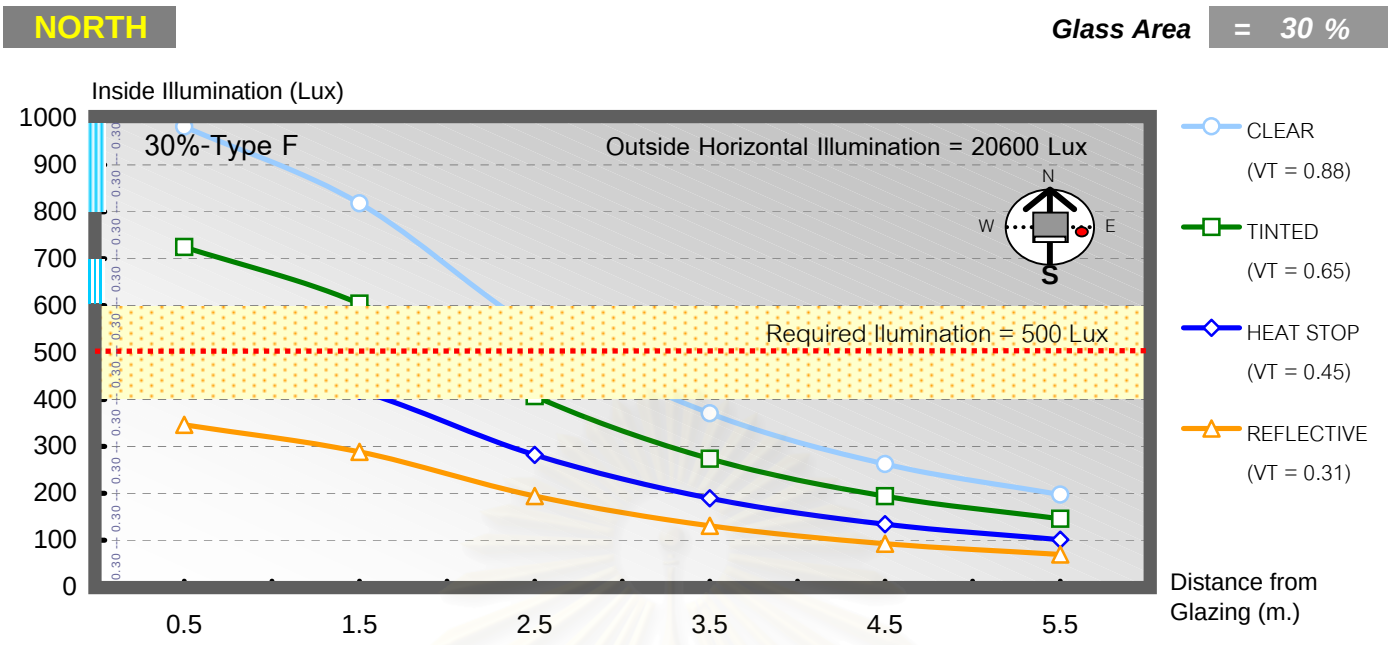
แผนภูมิที่ 6.25 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type E)



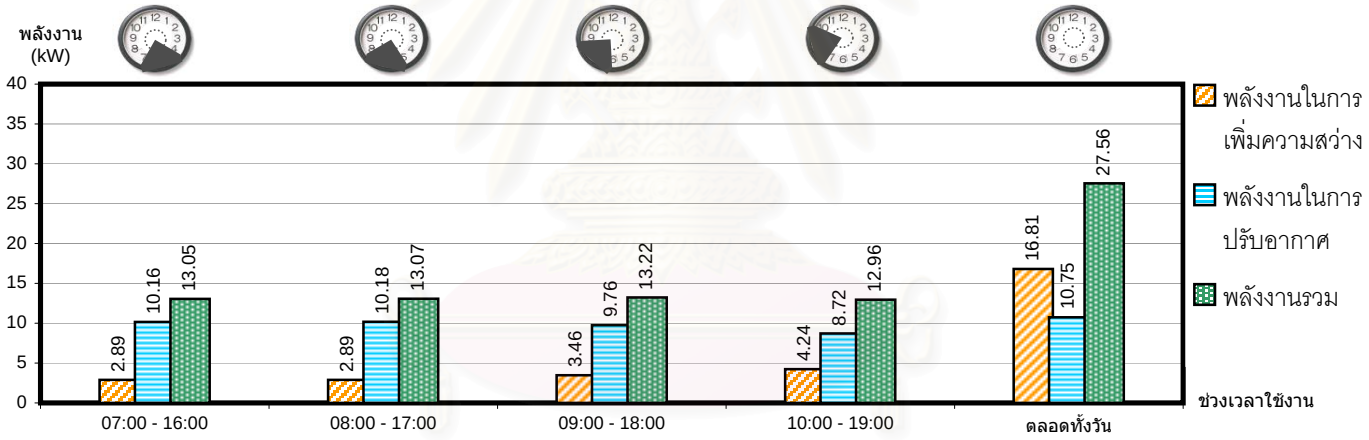
แผนภูมิที่ 6.26 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



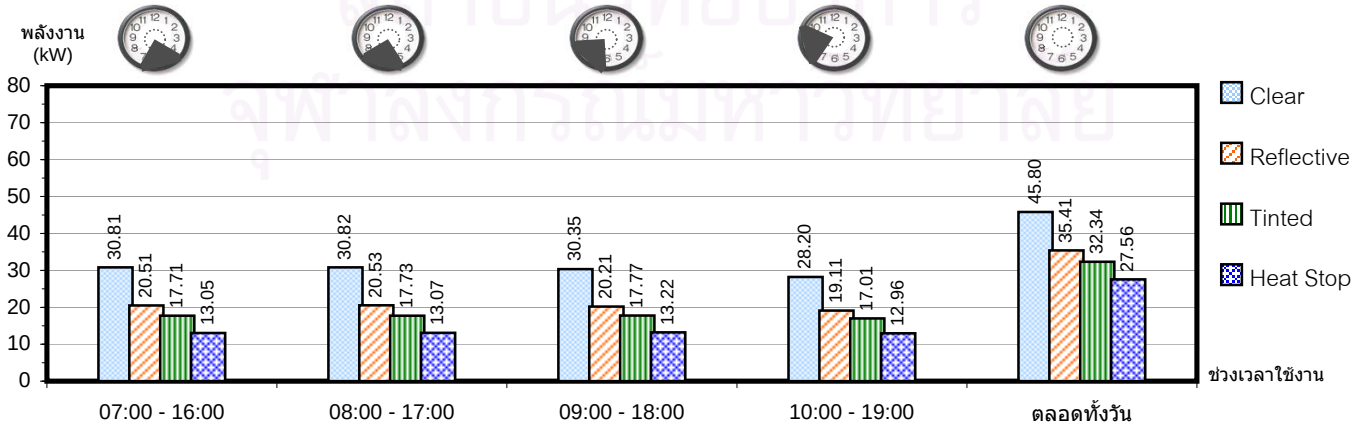
แผนภูมิที่ 6.27 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



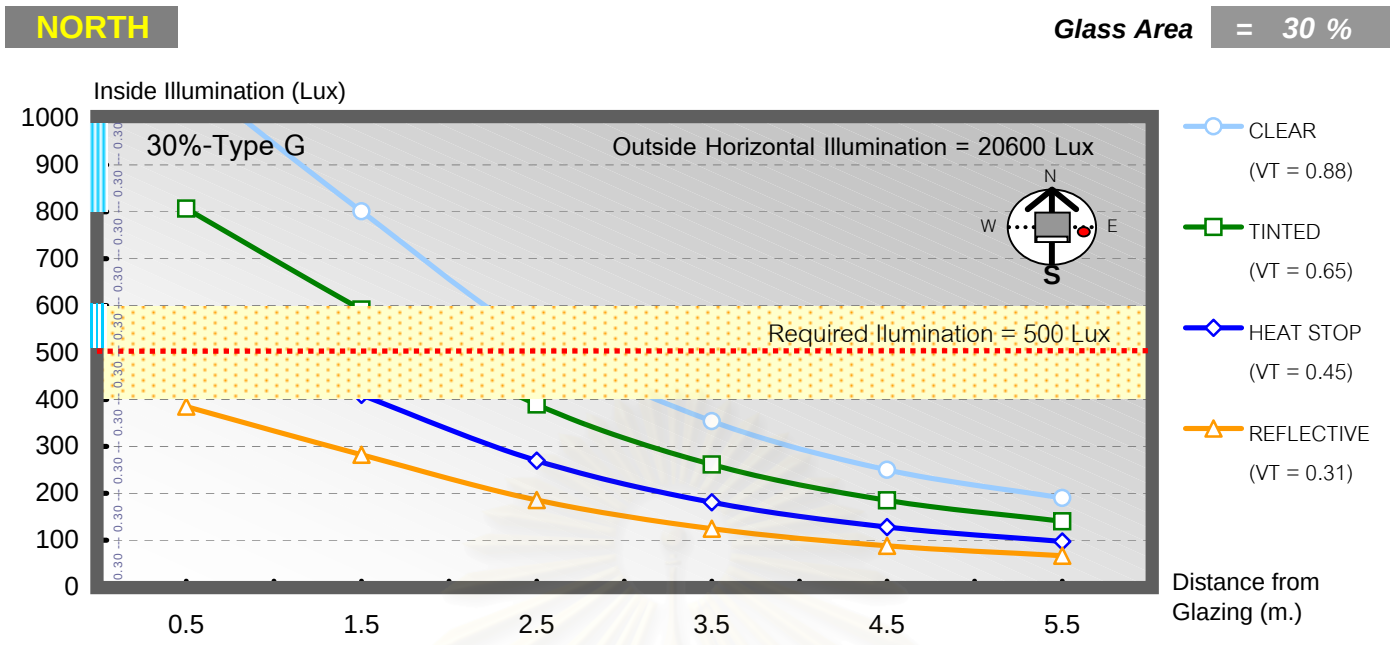
แผนภูมิที่ 6.28 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type F)



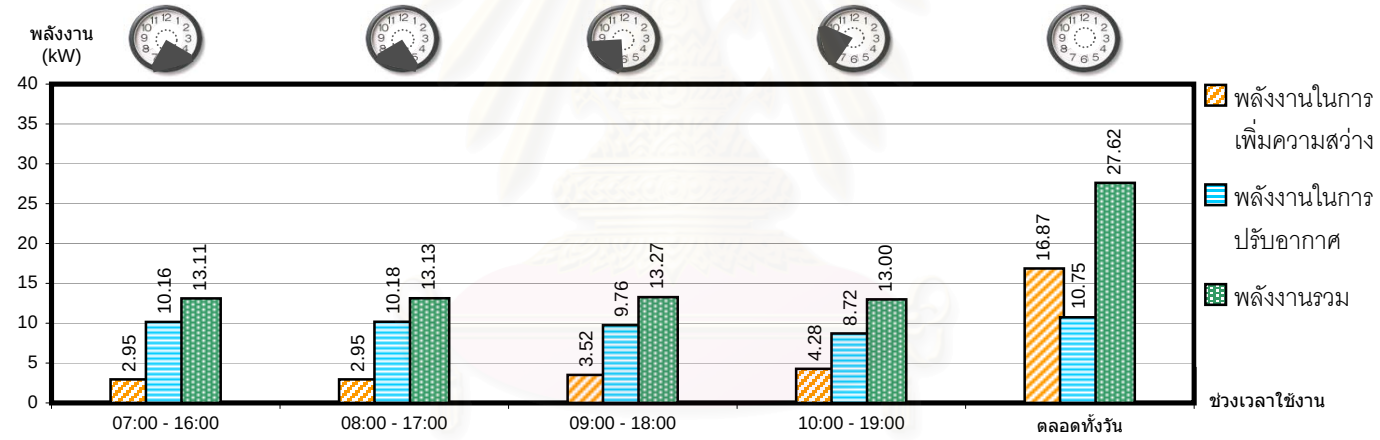
แผนภูมิที่ 6.29 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



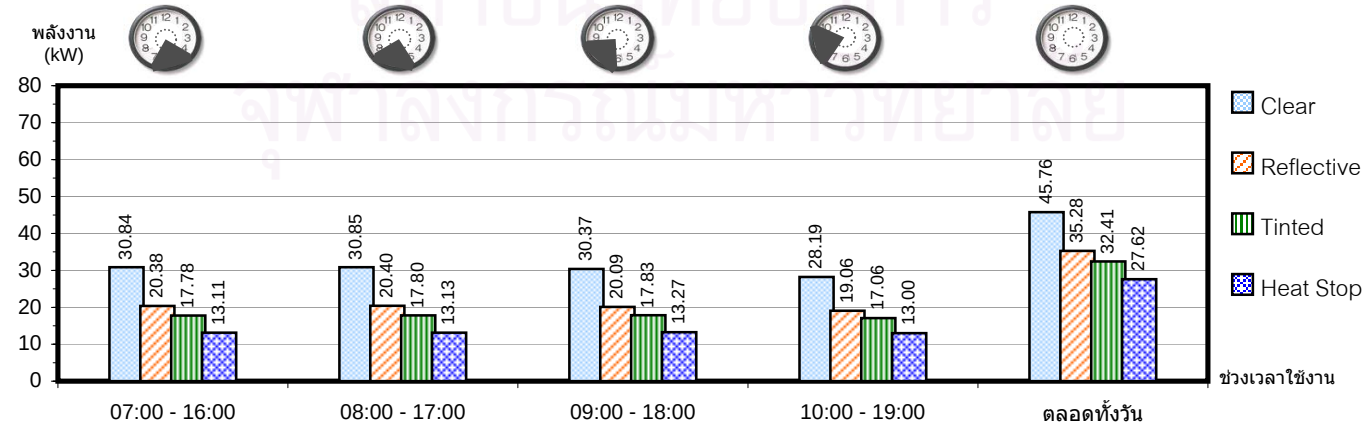
แผนภูมิที่ 6.30 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



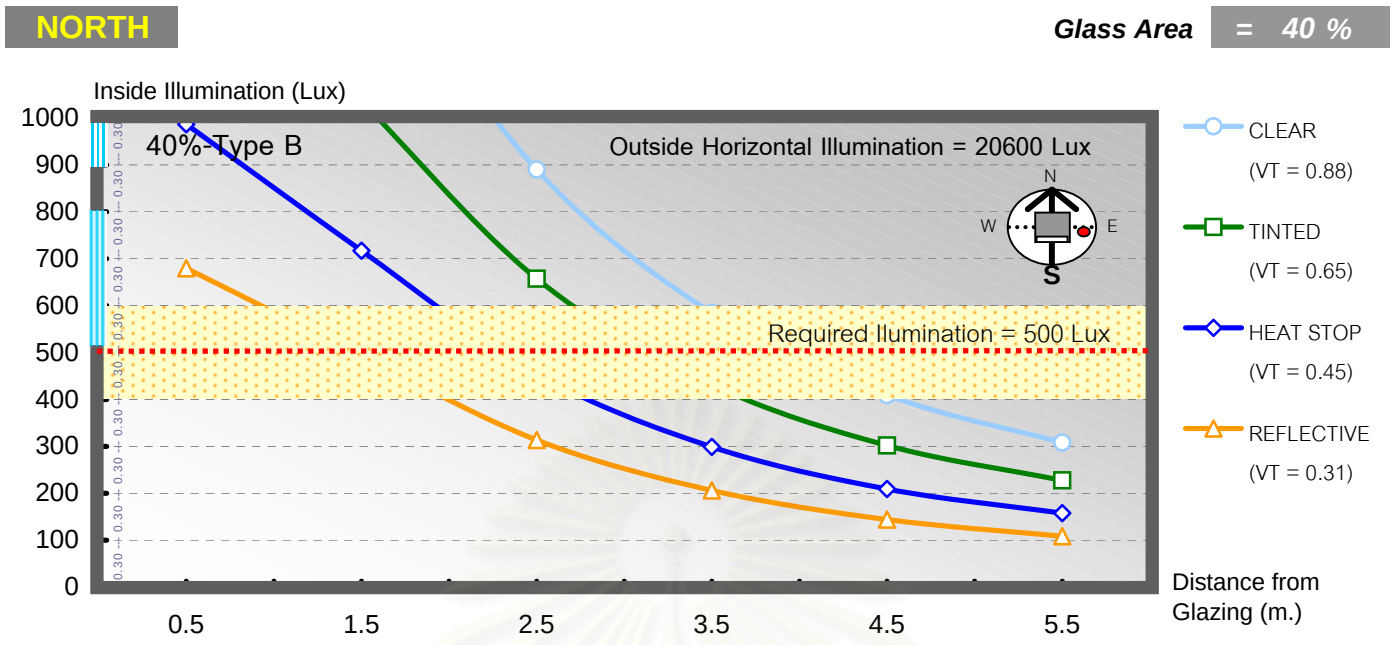
แผนภูมิที่ 6.31 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 30% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type G)



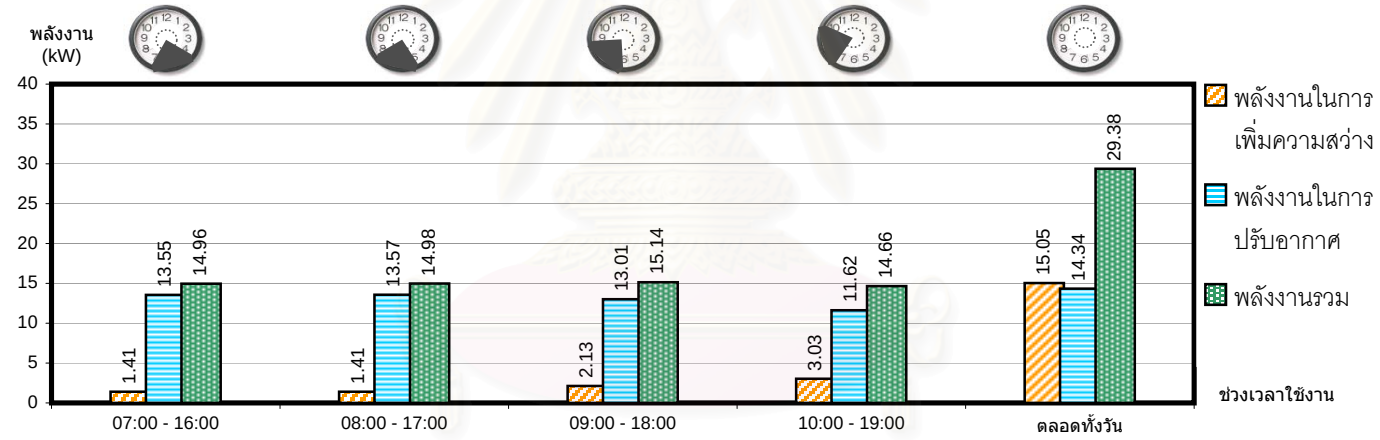
แผนภูมิที่ 6.32 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



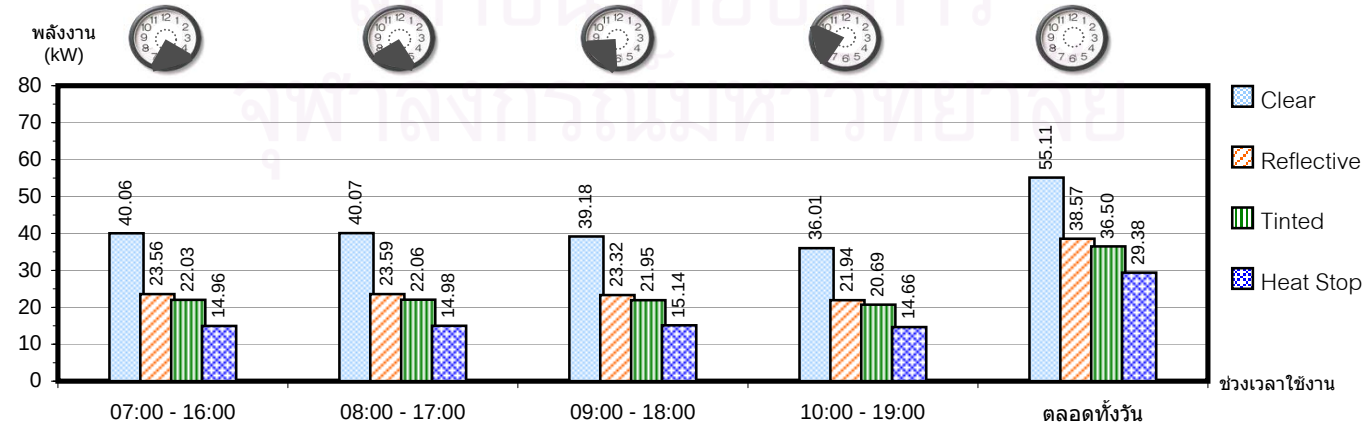
แผนภูมิที่ 6.33 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



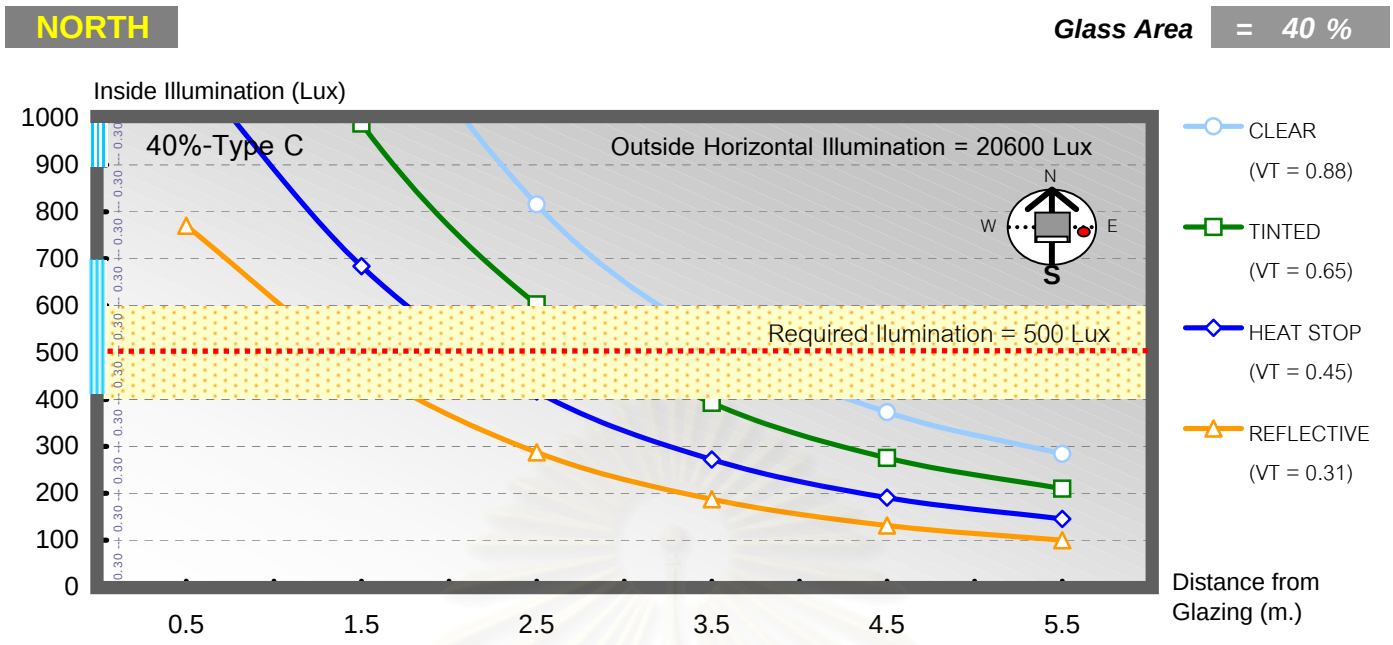
แผนภูมิที่ 6.34 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type B)



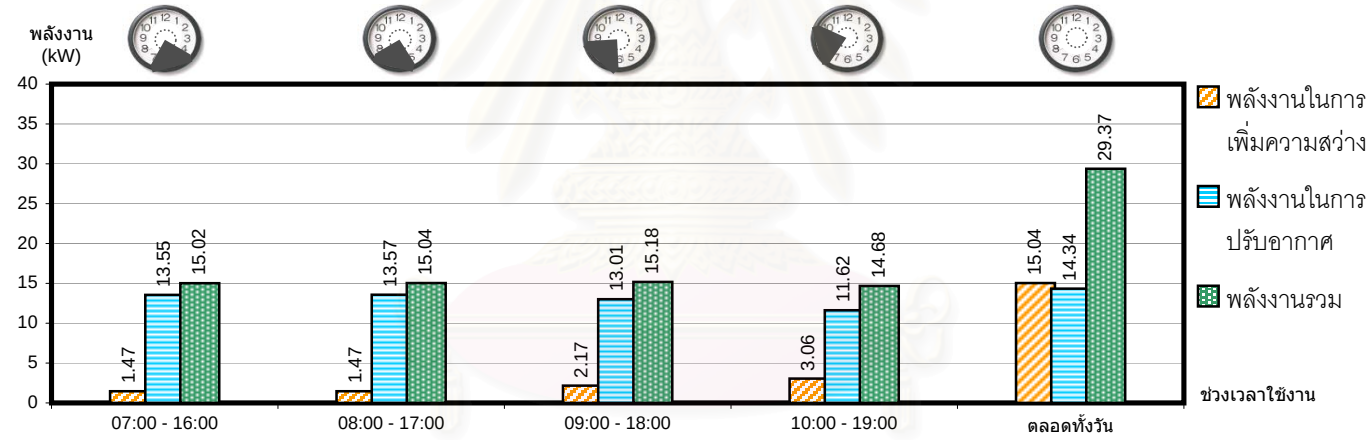
แผนภูมิที่ 6.35 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



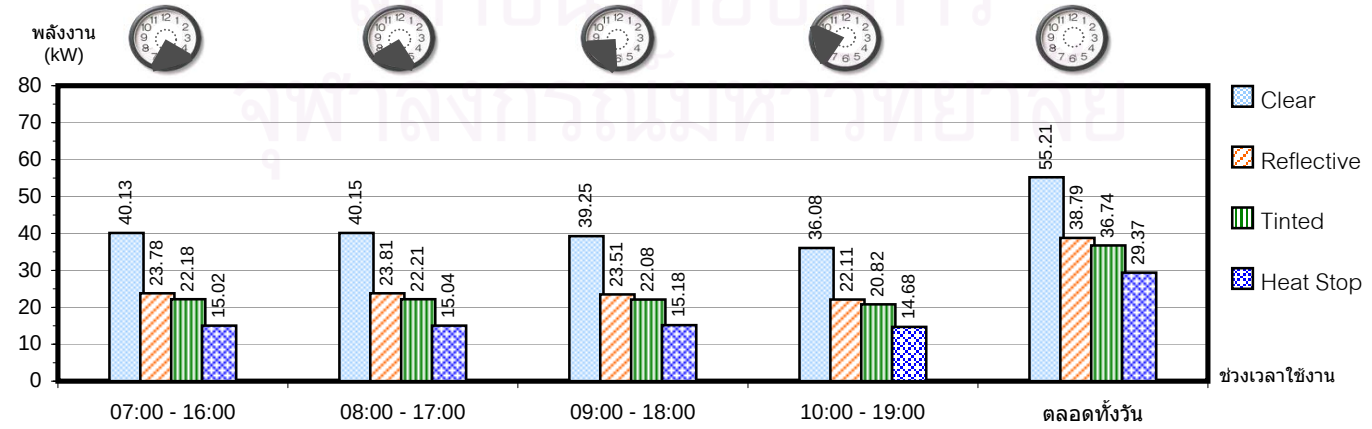
แผนภูมิที่ 6.36 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



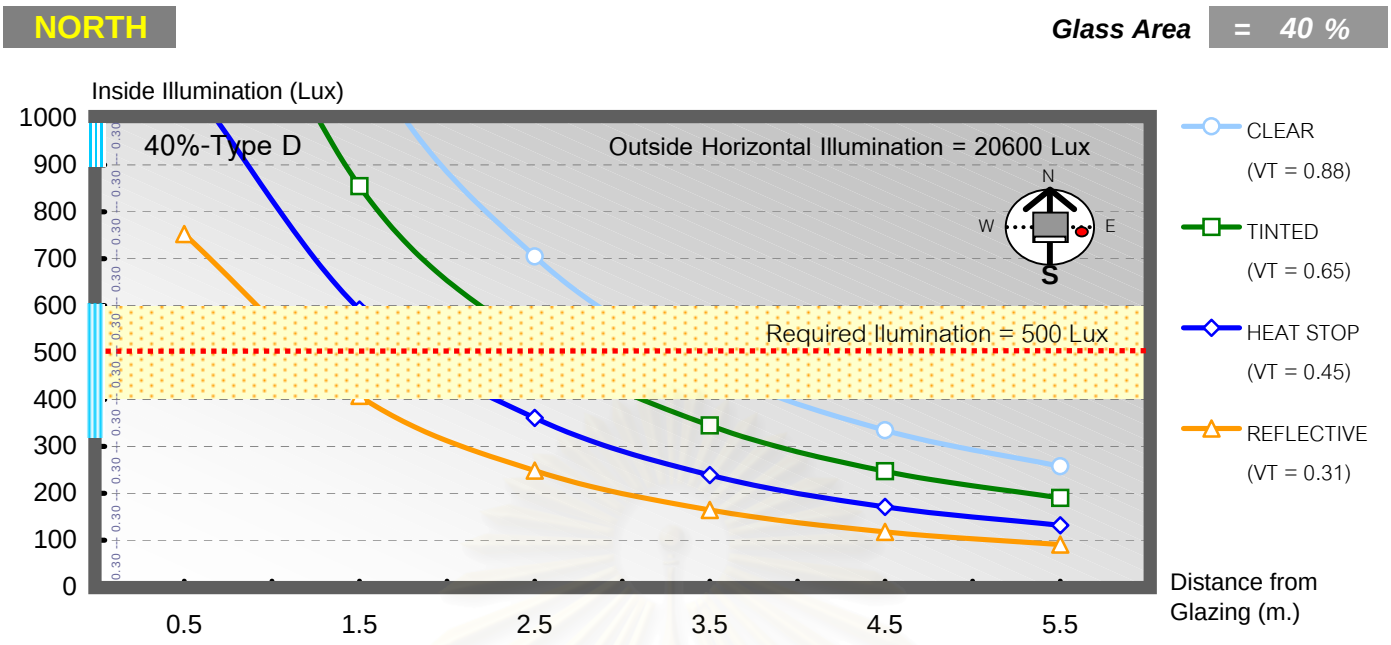
แผนภูมิที่ 6.37 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type C)



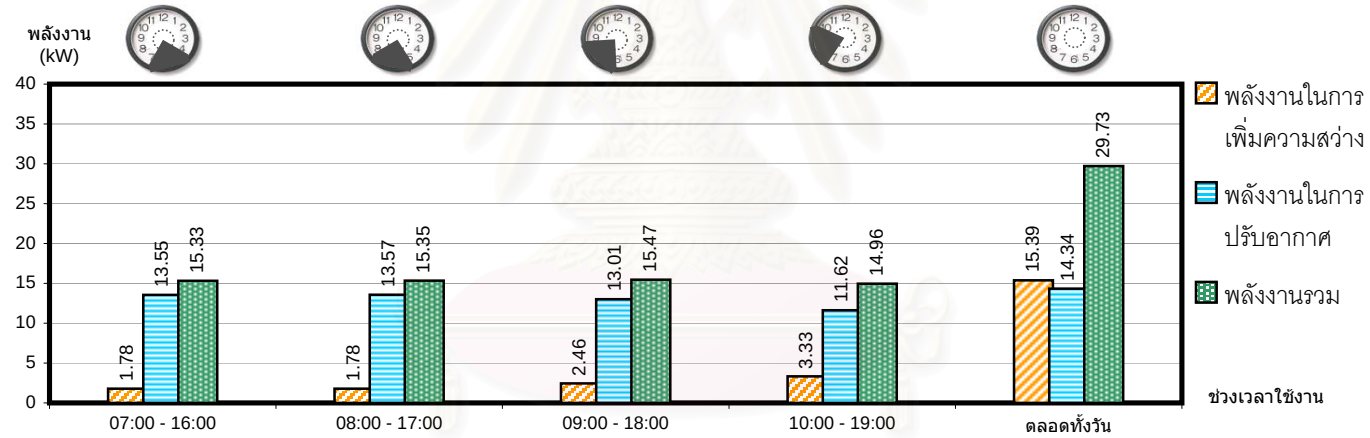
แผนภูมิที่ 6.38 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



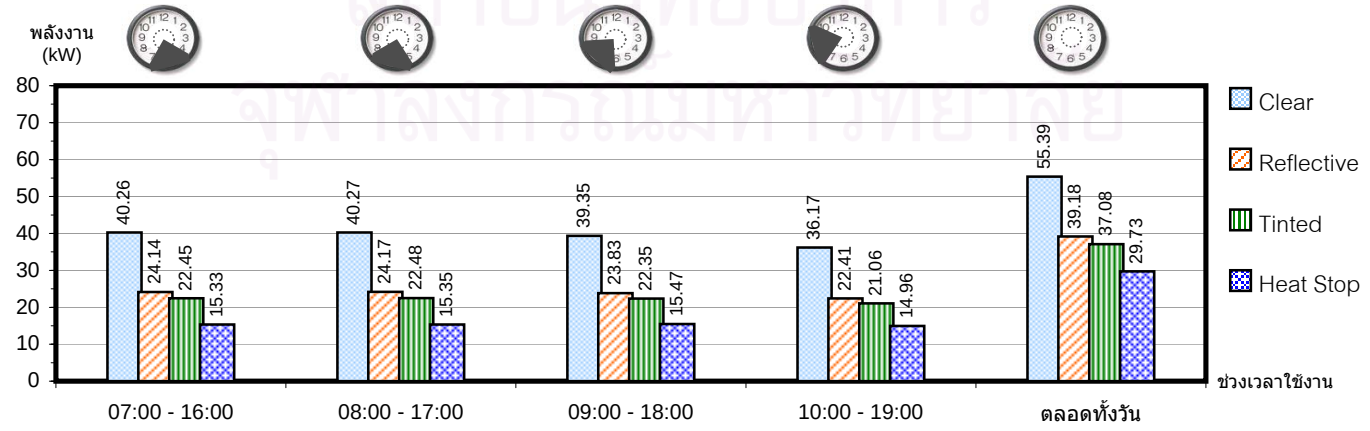
แผนภูมิที่ 3.39 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.40 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type D)

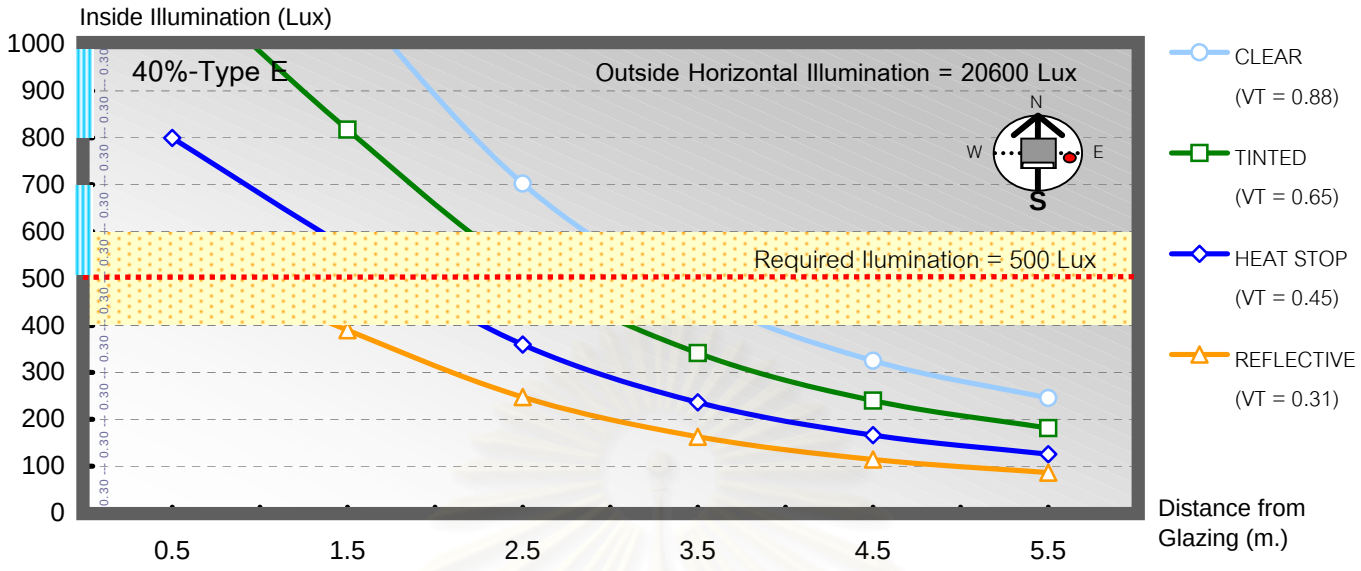


แผนภูมิที่ 6.41 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

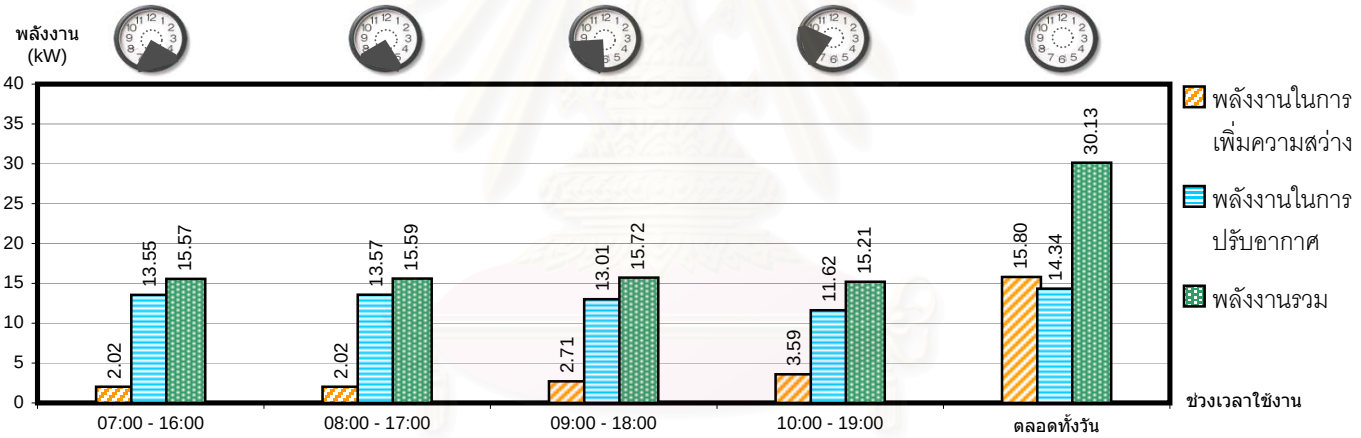


แผนภูมิที่ 6.42 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

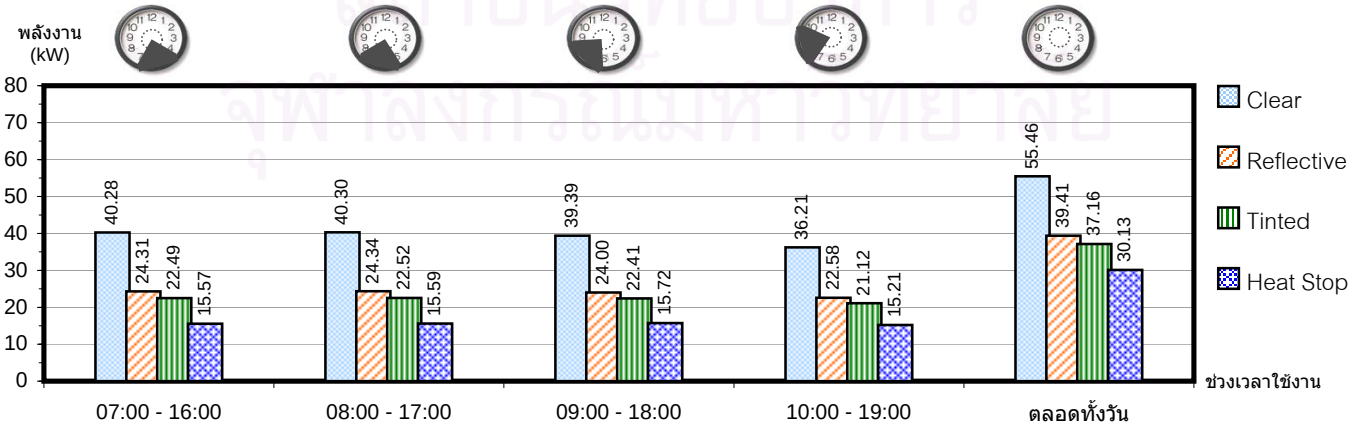
NORTH **Glass Area = 40 %**



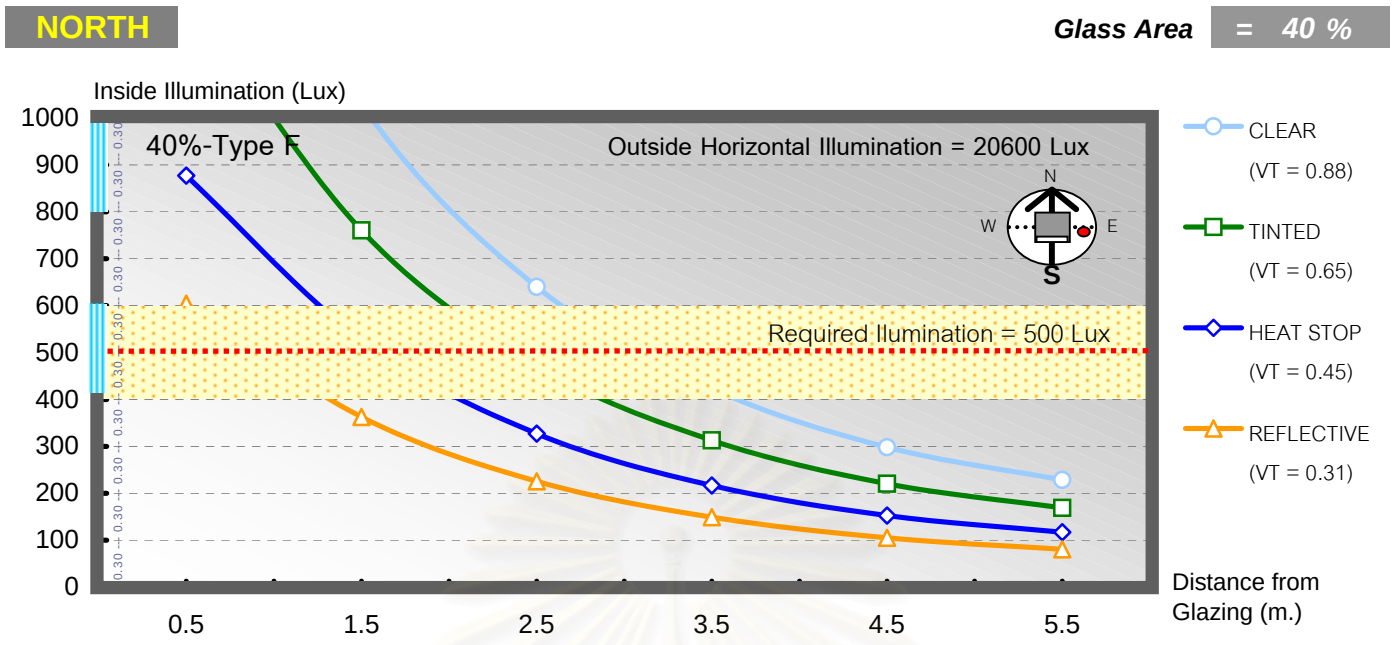
แผนภูมิที่ 6.43 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type E)



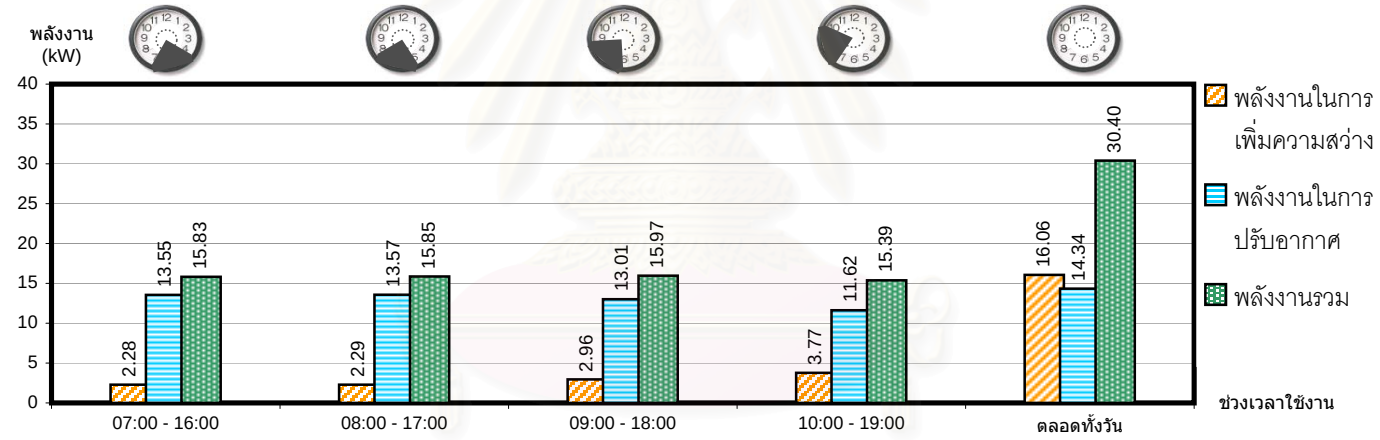
แผนภูมิที่ 6.44 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



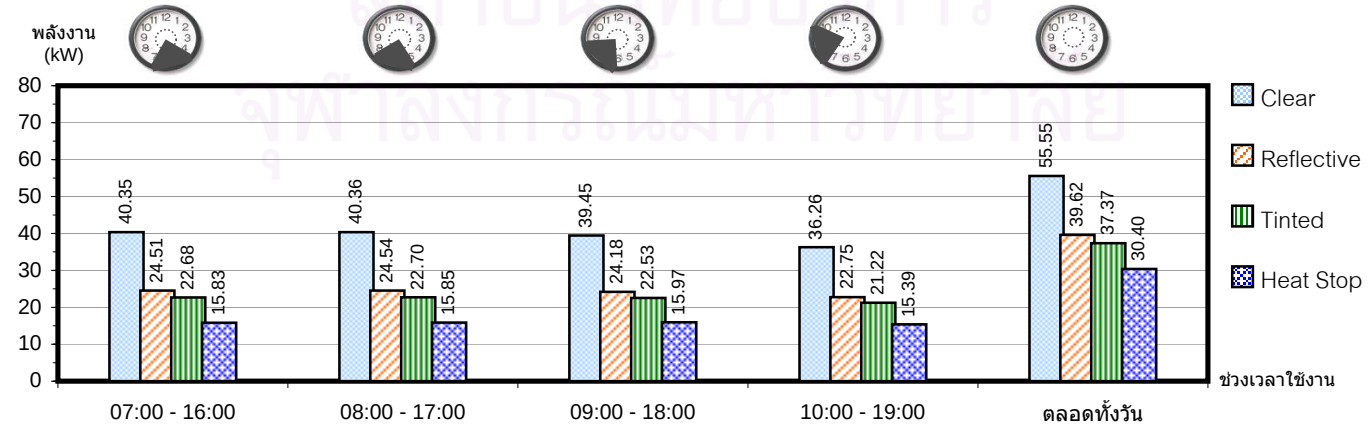
แผนภูมิที่ 6.45 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.46 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type F)

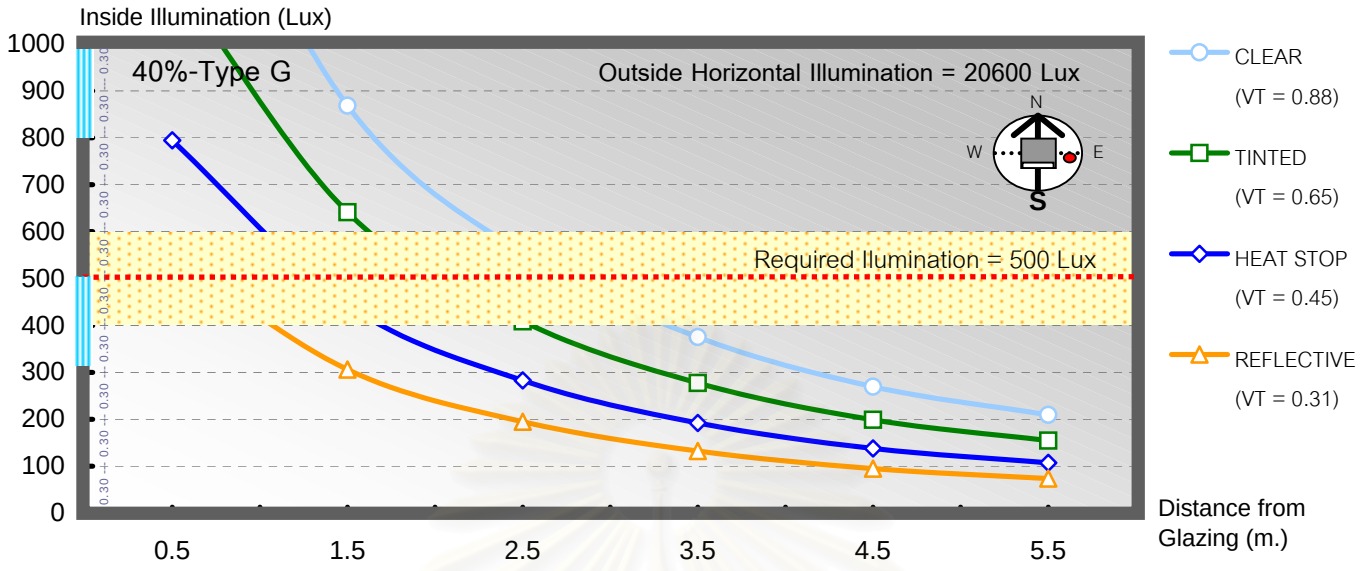


แผนภูมิที่ 6.47 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

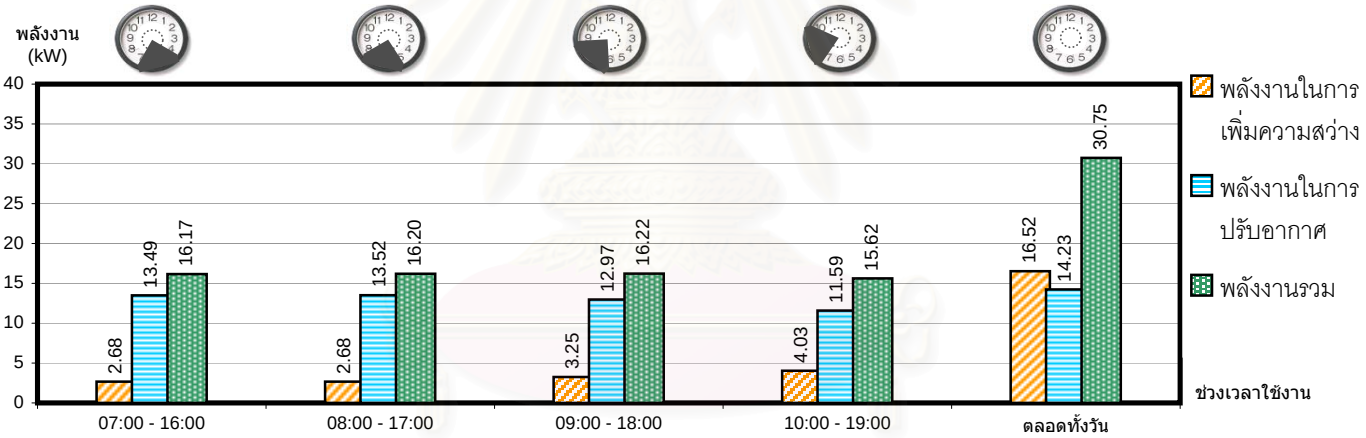


แผนภูมิที่ 6.48 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

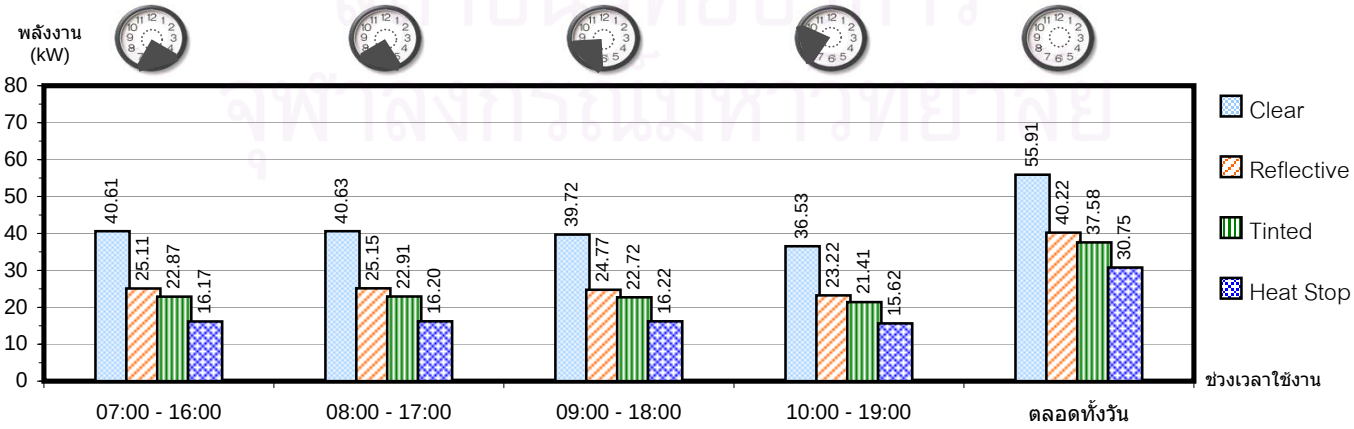
NORTH **Glass Area = 40 %**



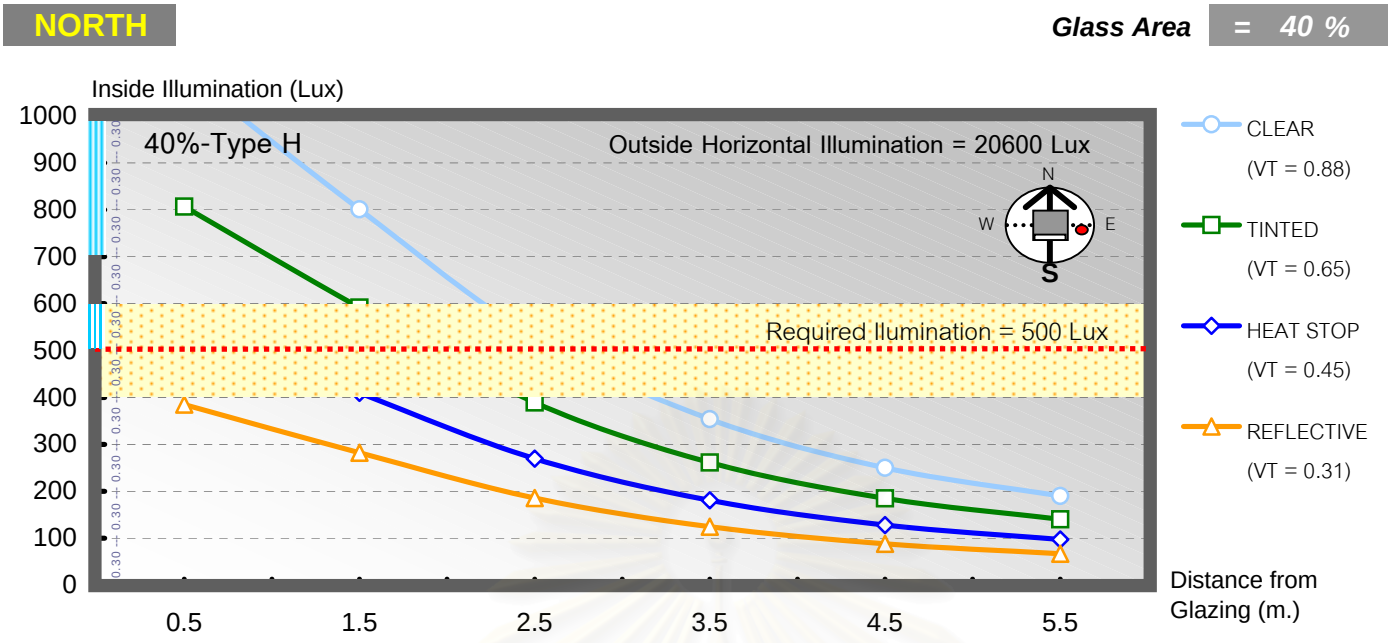
แผนภูมิที่ 6.49 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type G)



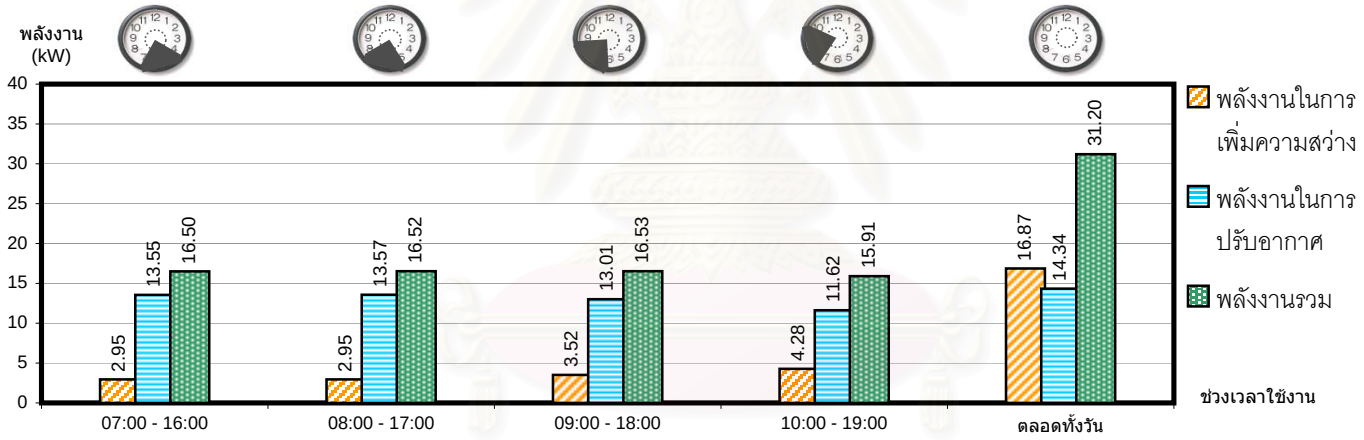
แผนภูมิที่ 6.50 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



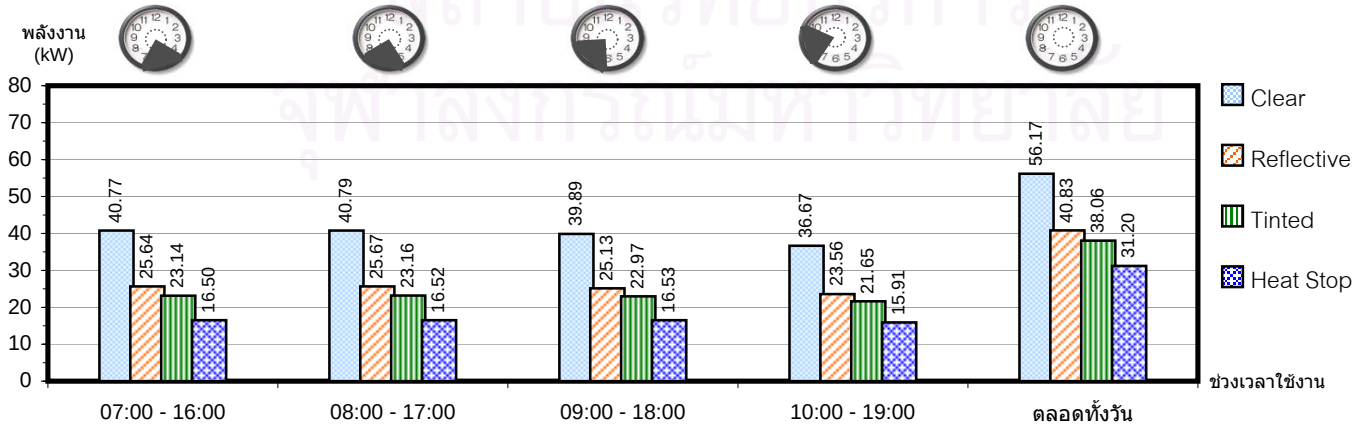
แผนภูมิที่ 6.51 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



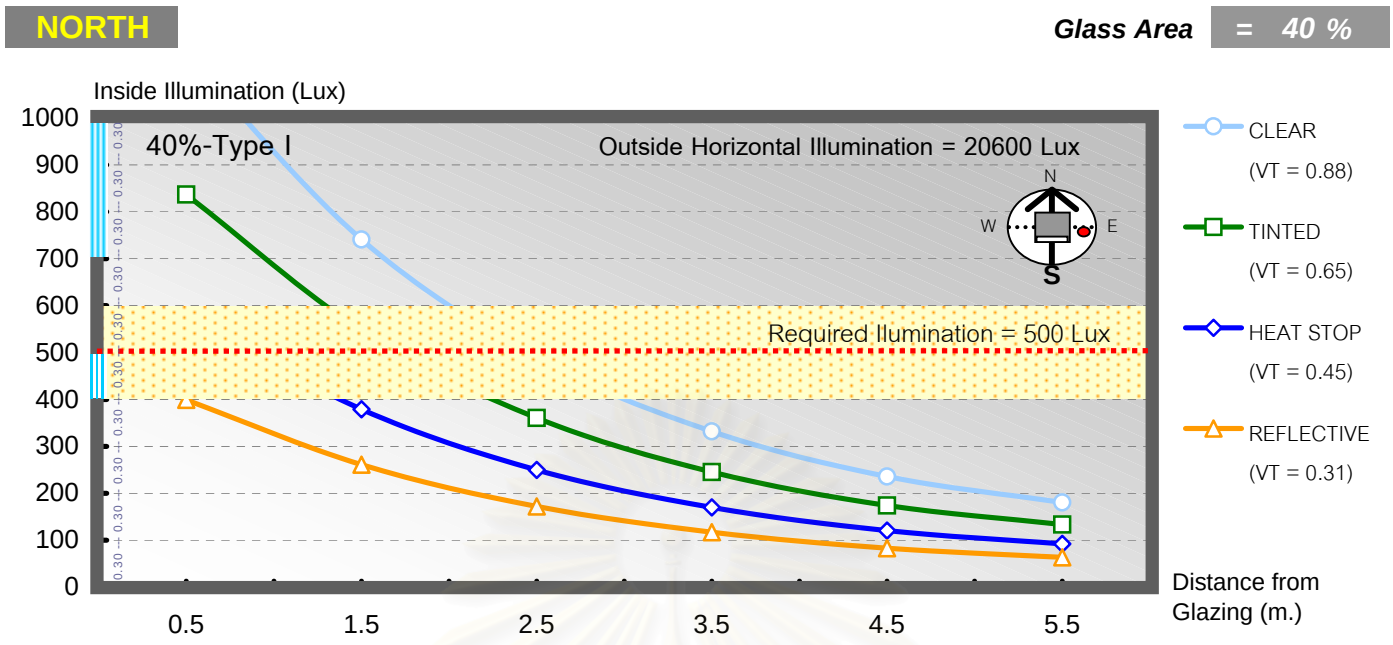
แผนภูมิที่ 6.52 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type H)



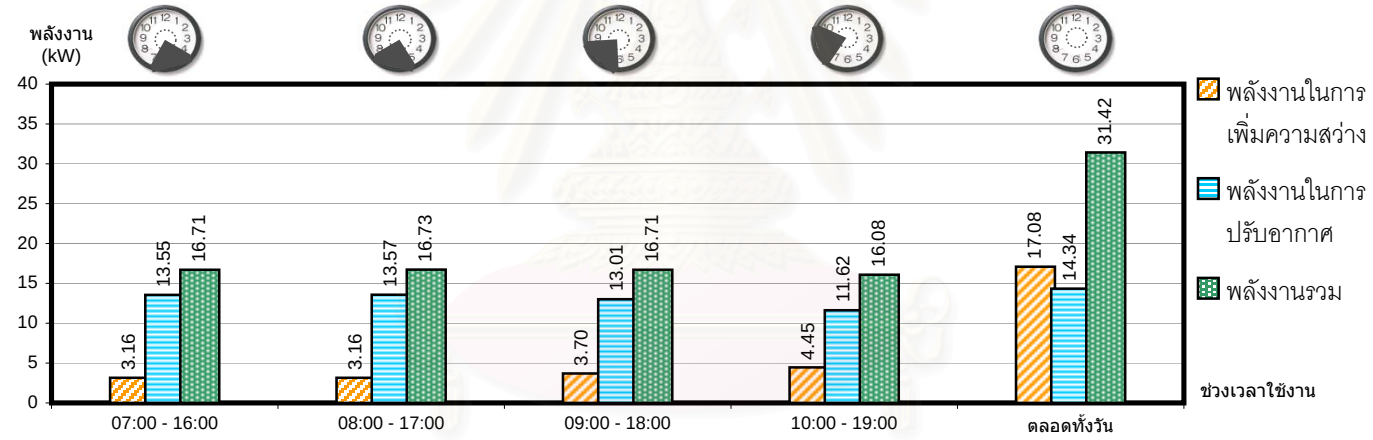
แผนภูมิที่ 6.53 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



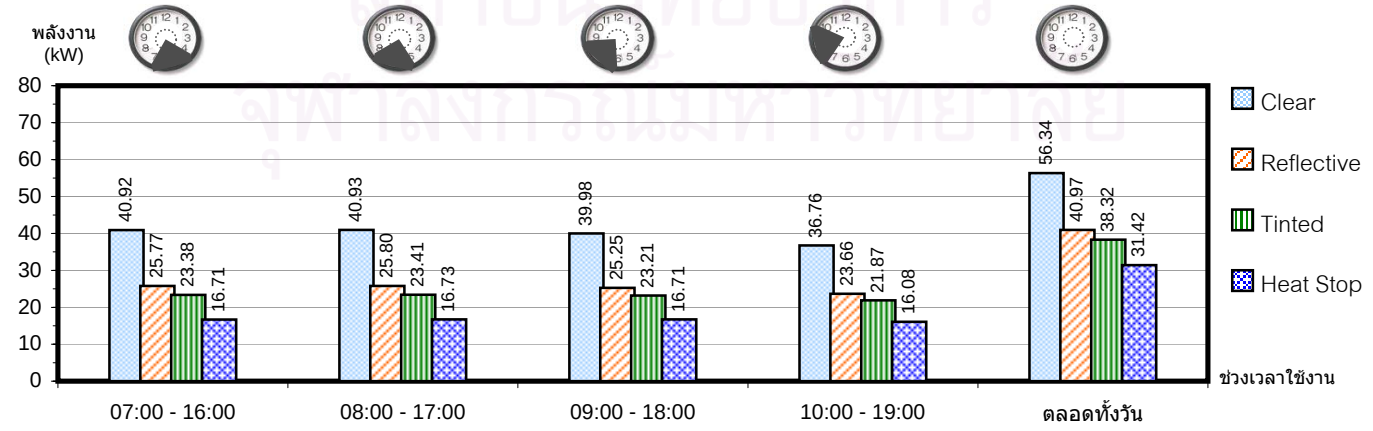
แผนภูมิที่ 6.54 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



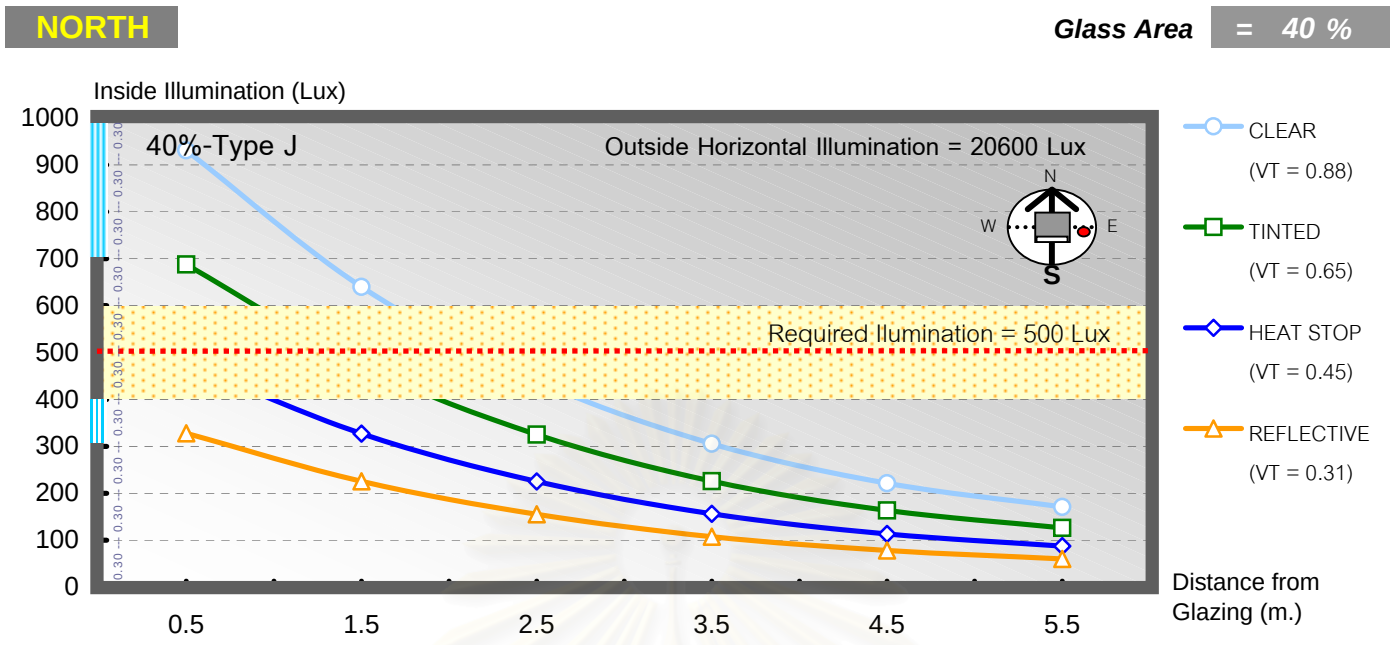
แผนภูมิที่ 6.55 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type I)



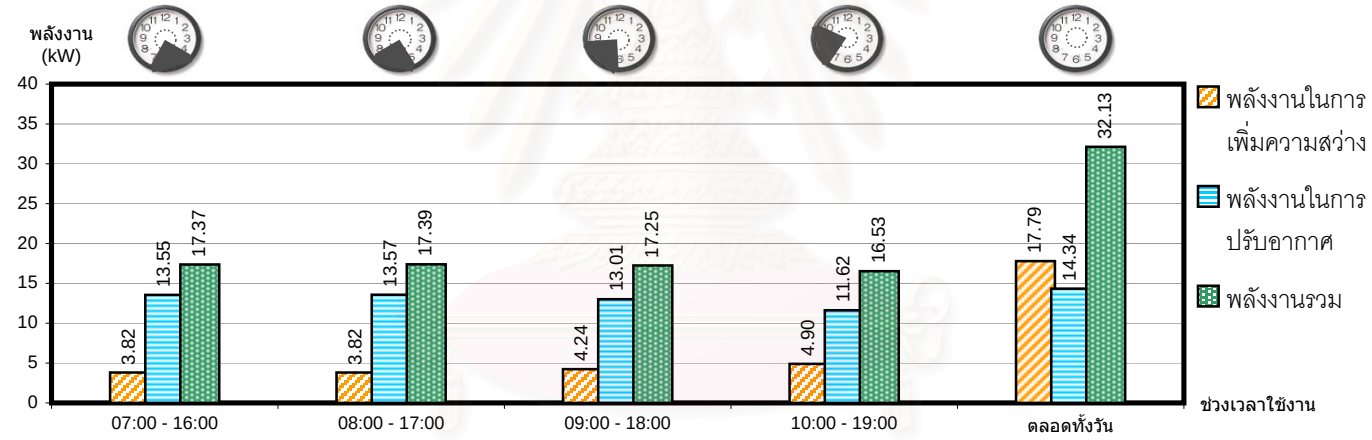
แผนภูมิที่ 6.56 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



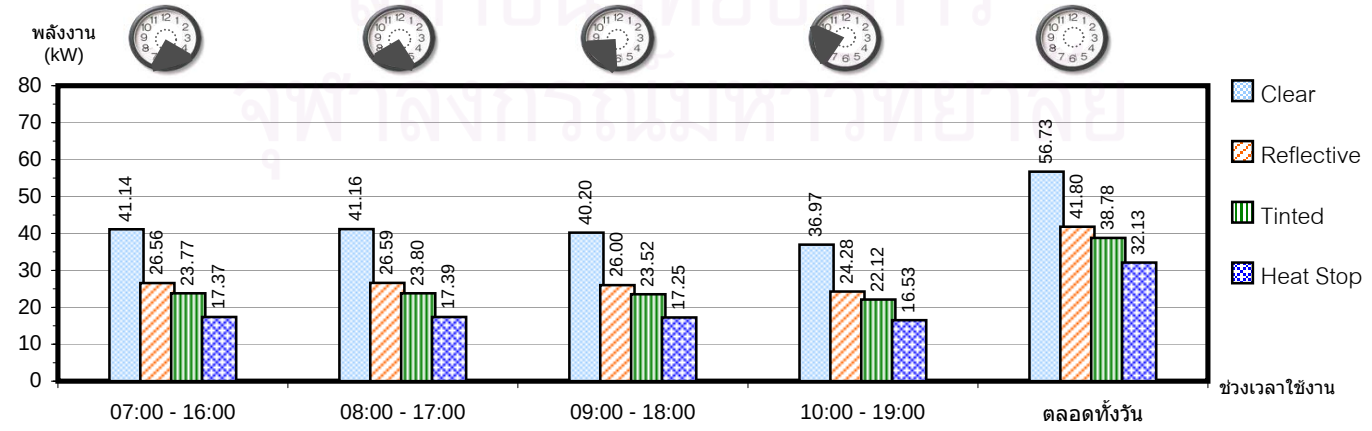
แผนภูมิที่ 6.57 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.58 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 40% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type J)

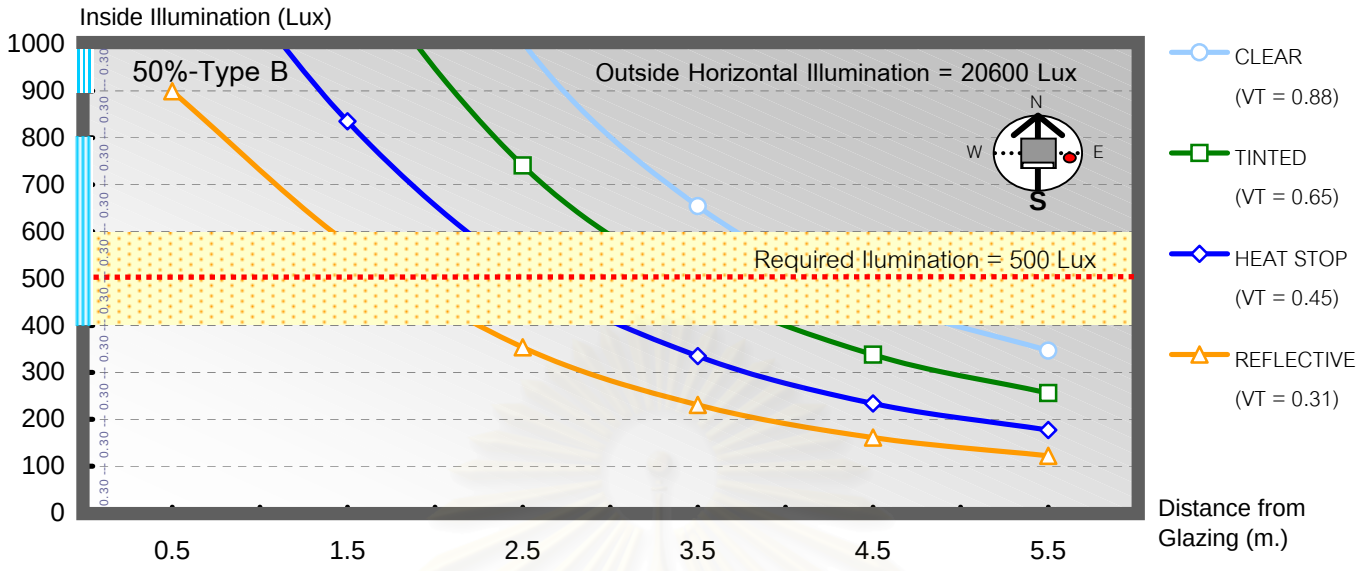


แผนภูมิที่ 6.59 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type J) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

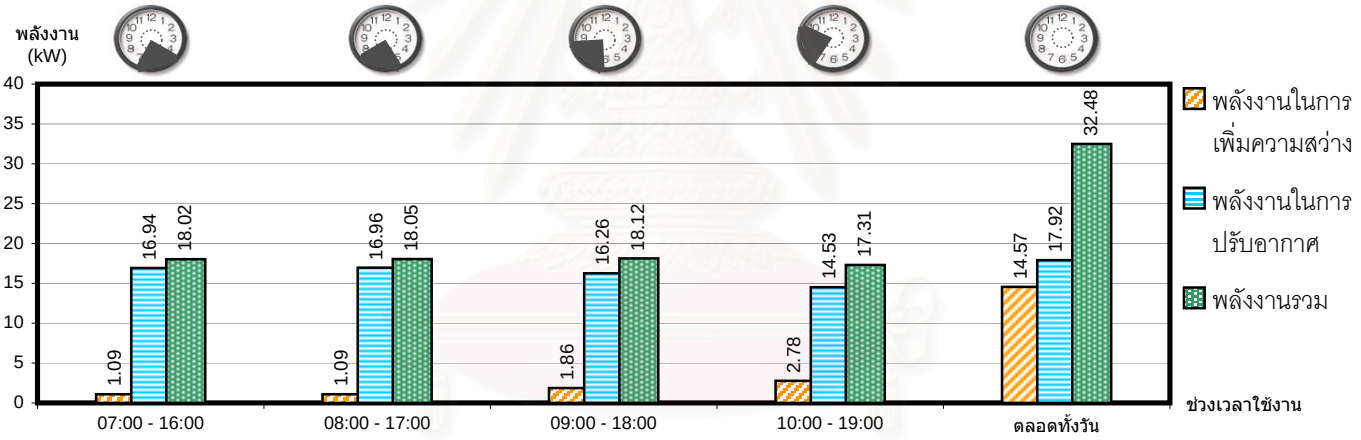


แผนภูมิที่ 6.60 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type J) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

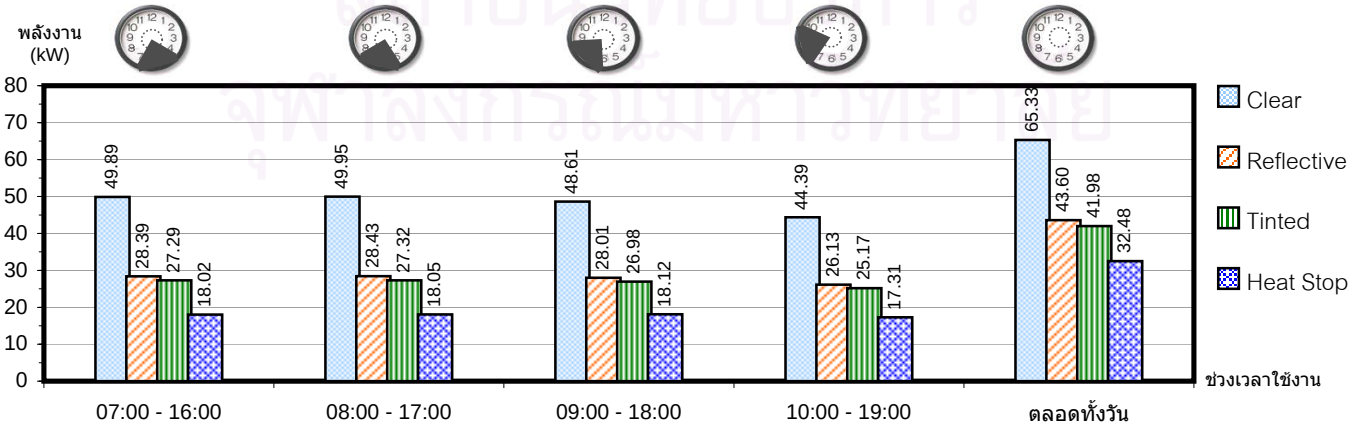
NORTH **Glass Area = 50 %**



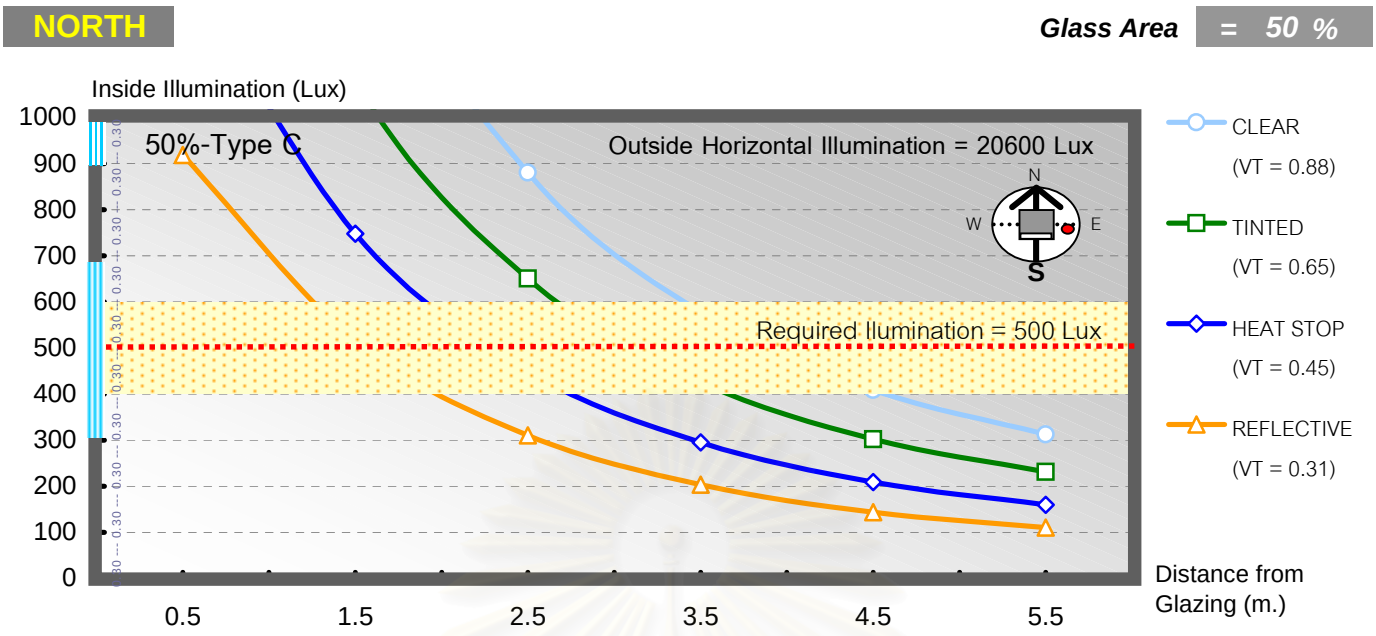
แผนภูมิที่ 6.61 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type B)



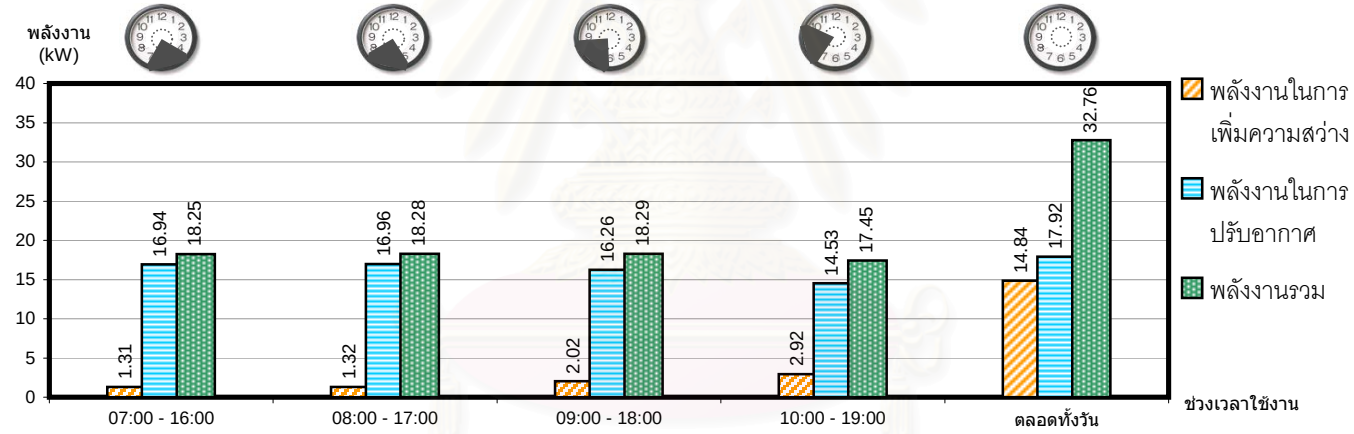
แผนภูมิที่ 6.62 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



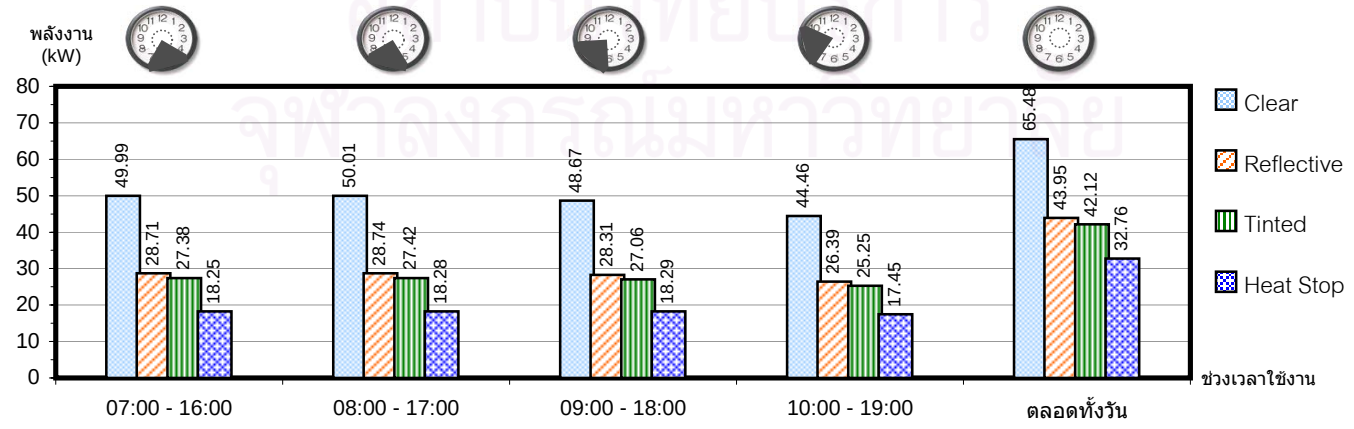
แผนภูมิที่ 6.63 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.64 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type C)

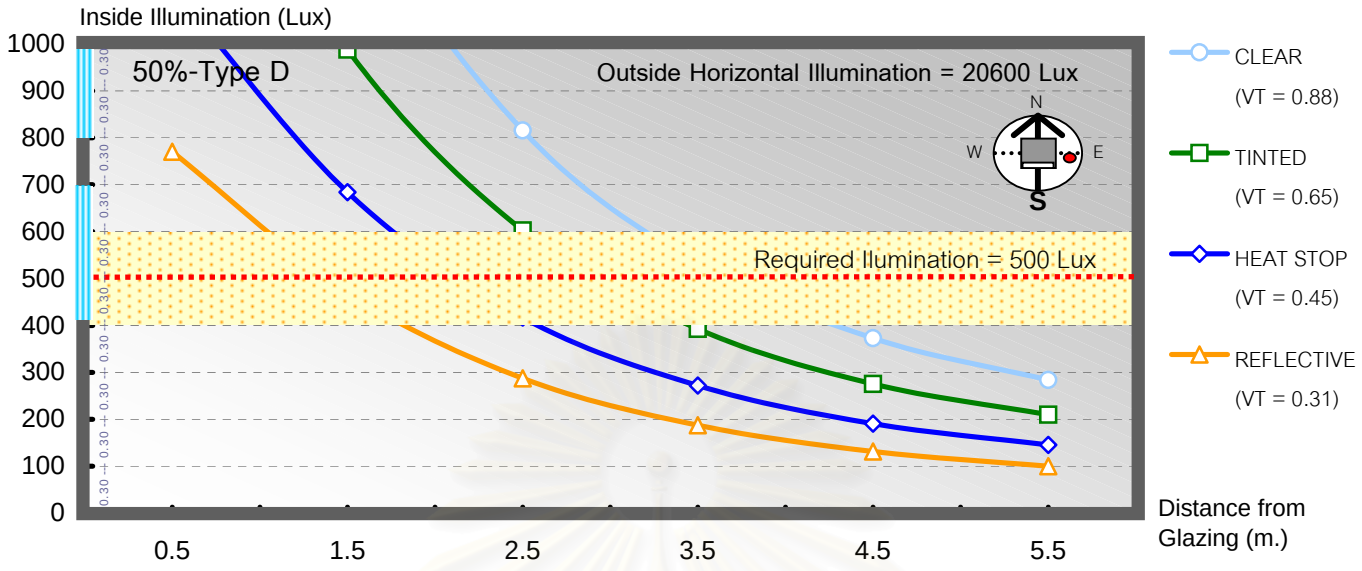


แผนภูมิที่ 6.65 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

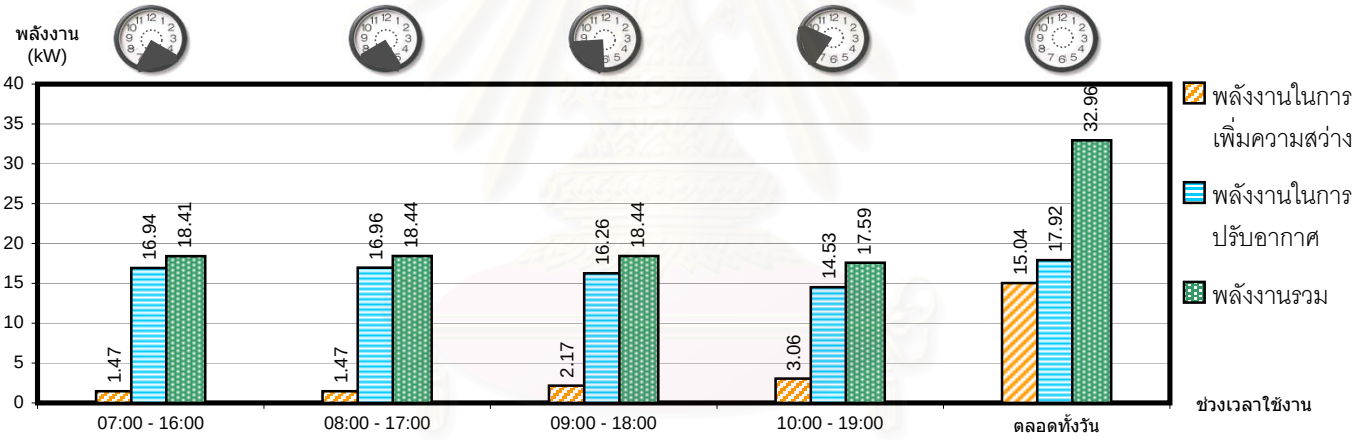


แผนภูมิที่ 6.66 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

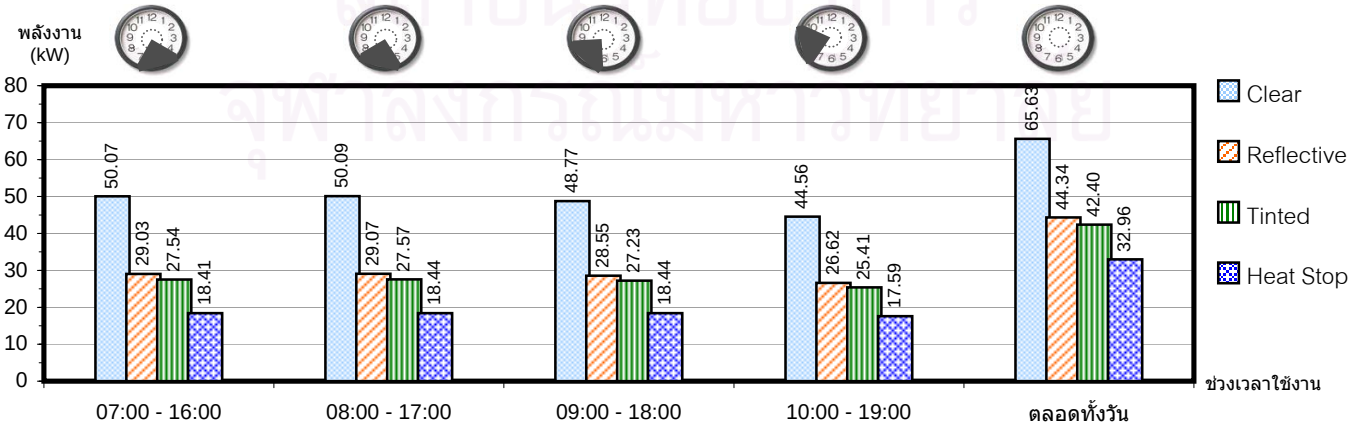
NORTH **Glass Area = 50 %**



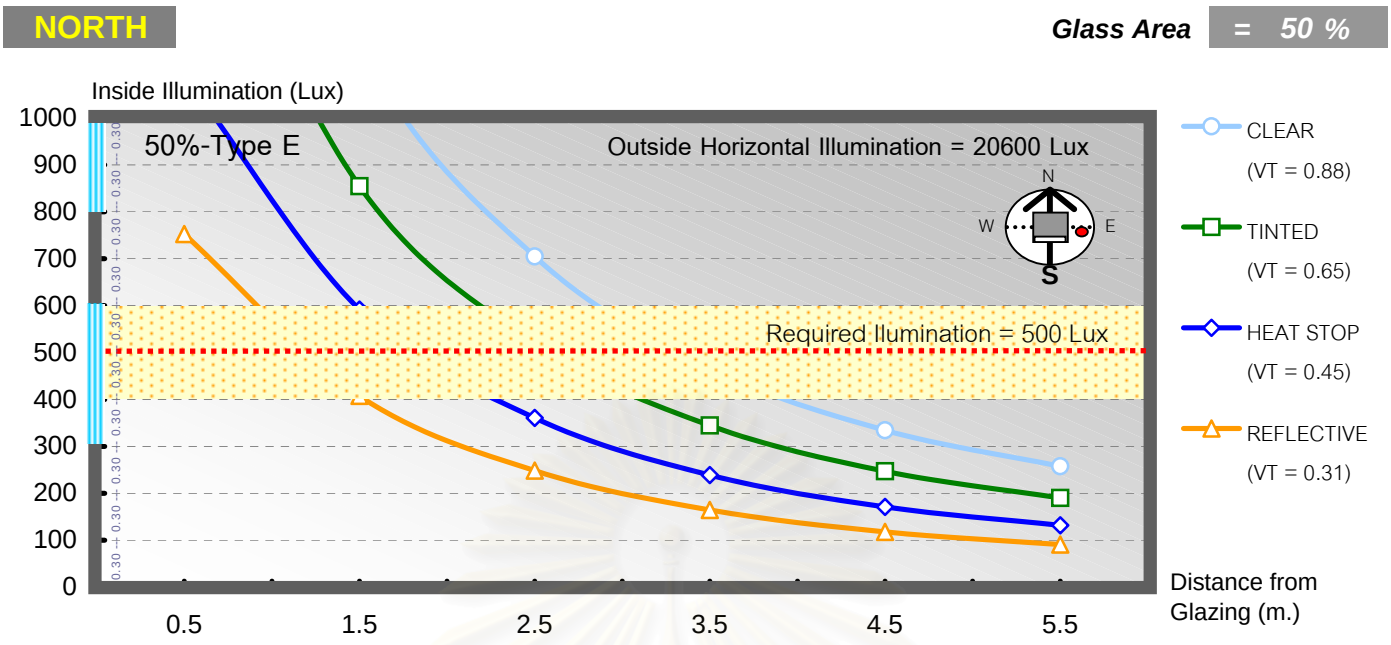
แผนภูมิที่ 6.67 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type D)



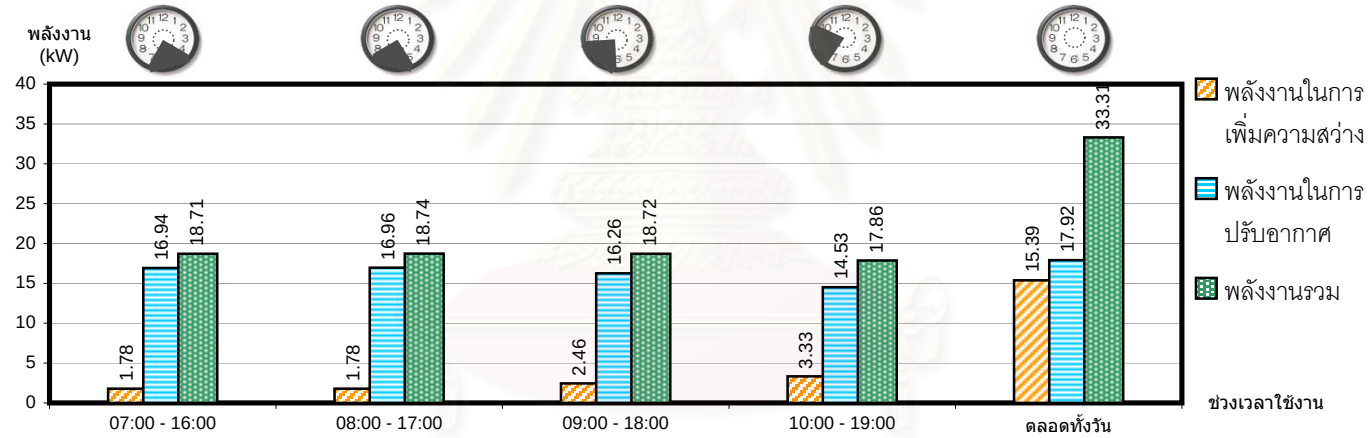
แผนภูมิที่ 6.68 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



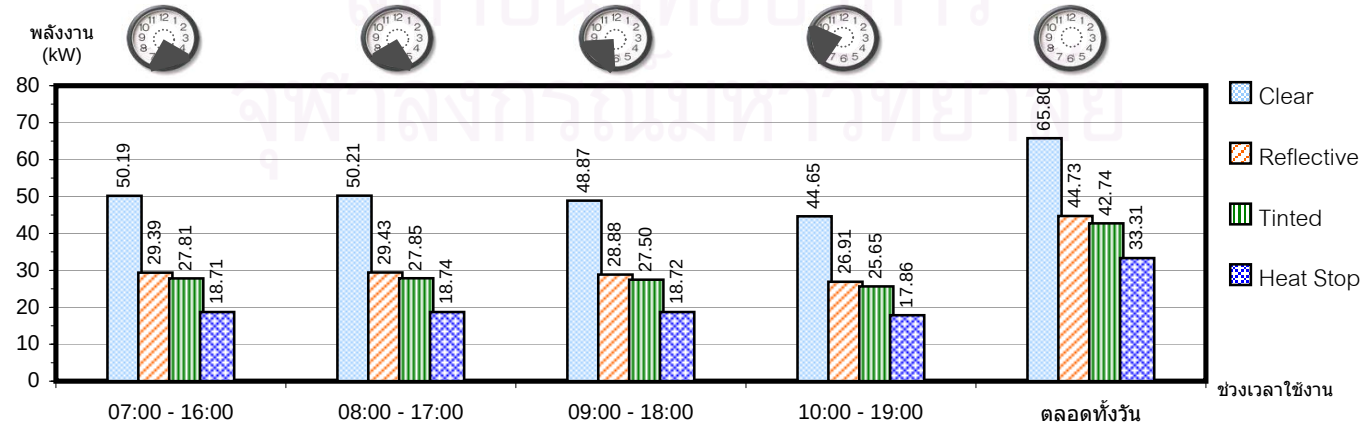
แผนภูมิที่ 6.69 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.70 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type E)

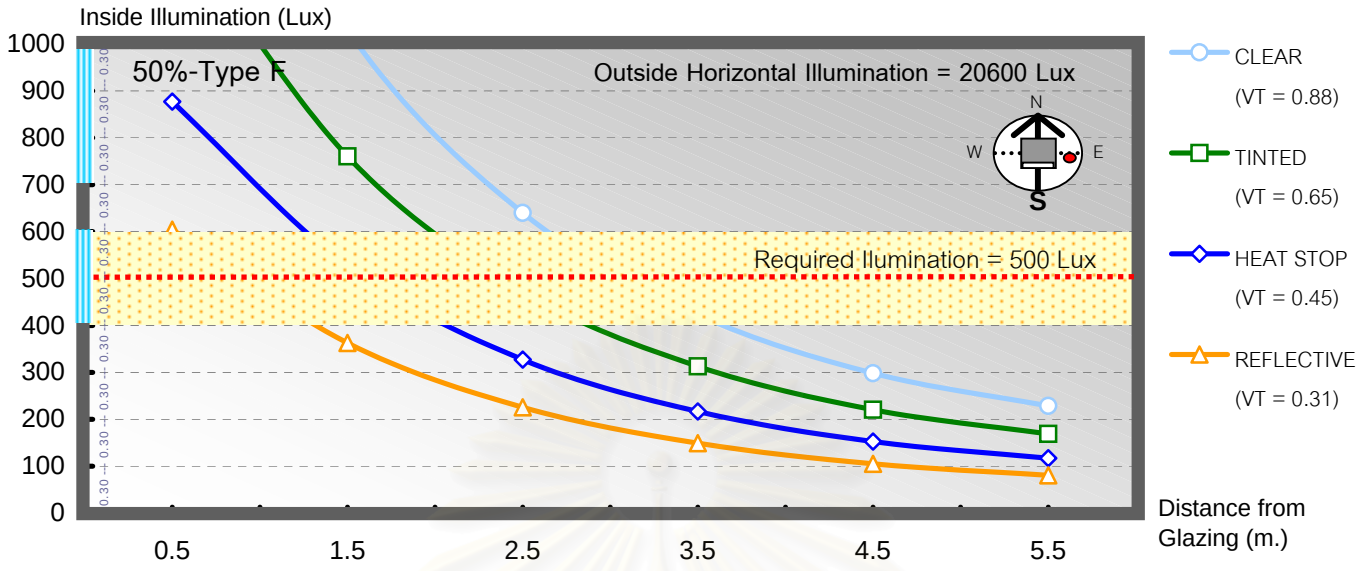


แผนภูมิที่ 6.71 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

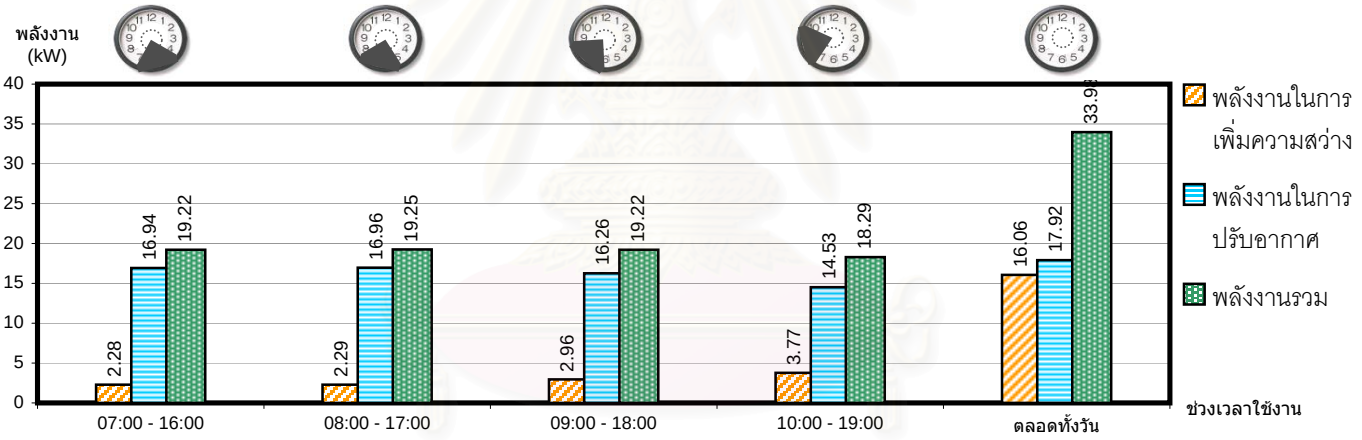


แผนภูมิที่ 6.72 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

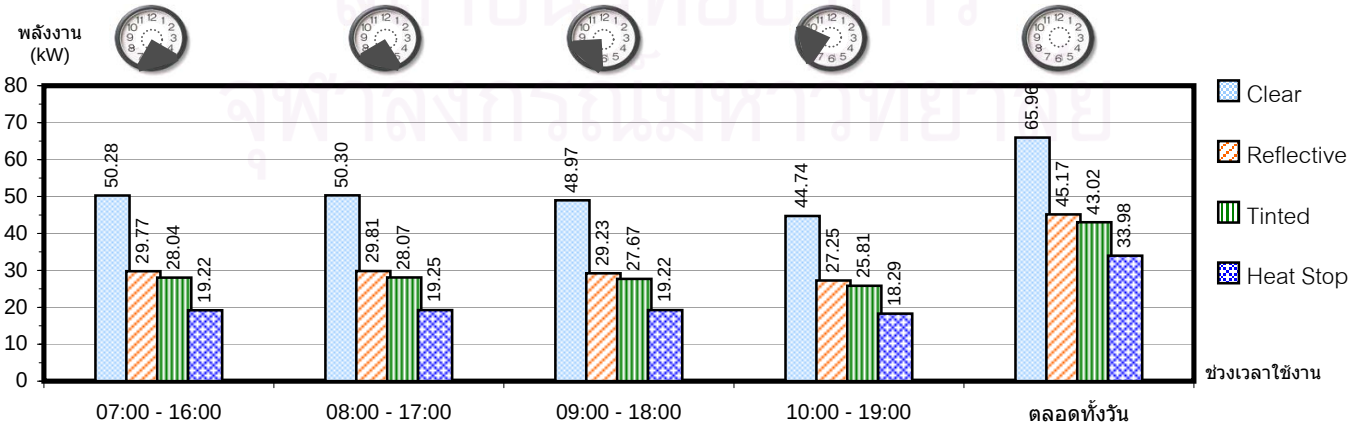
NORTH **Glass Area = 50 %**



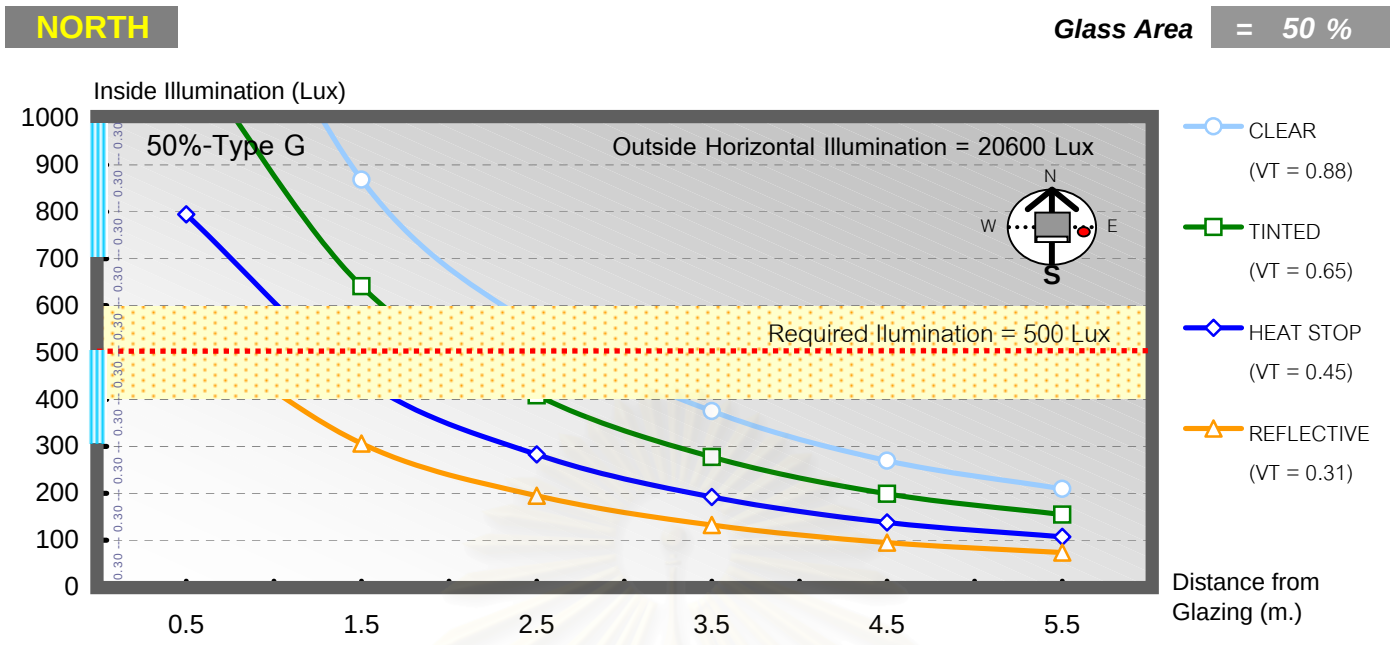
แผนภูมิที่ 6.73 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type F)



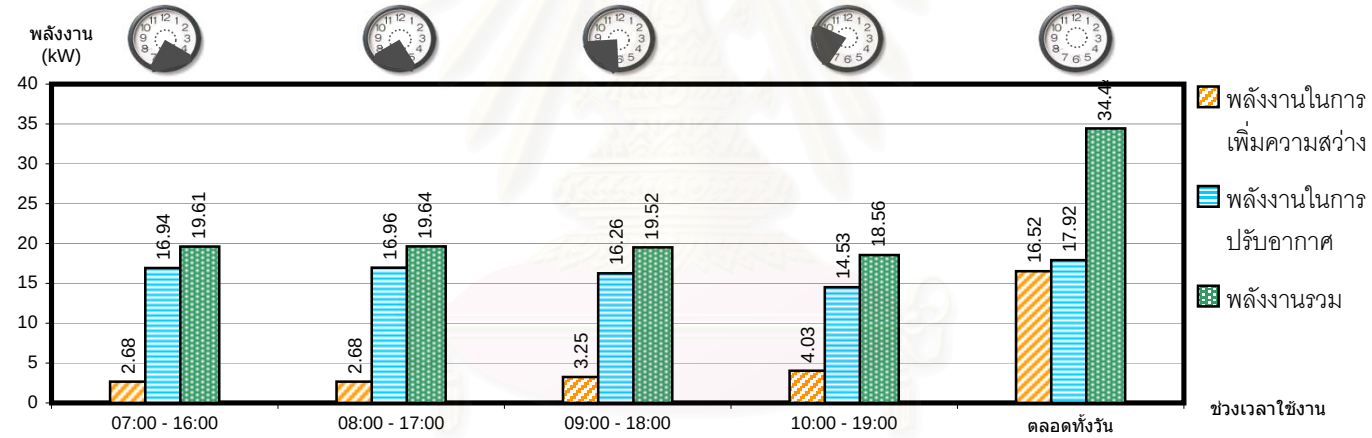
แผนภูมิที่ 6.74 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



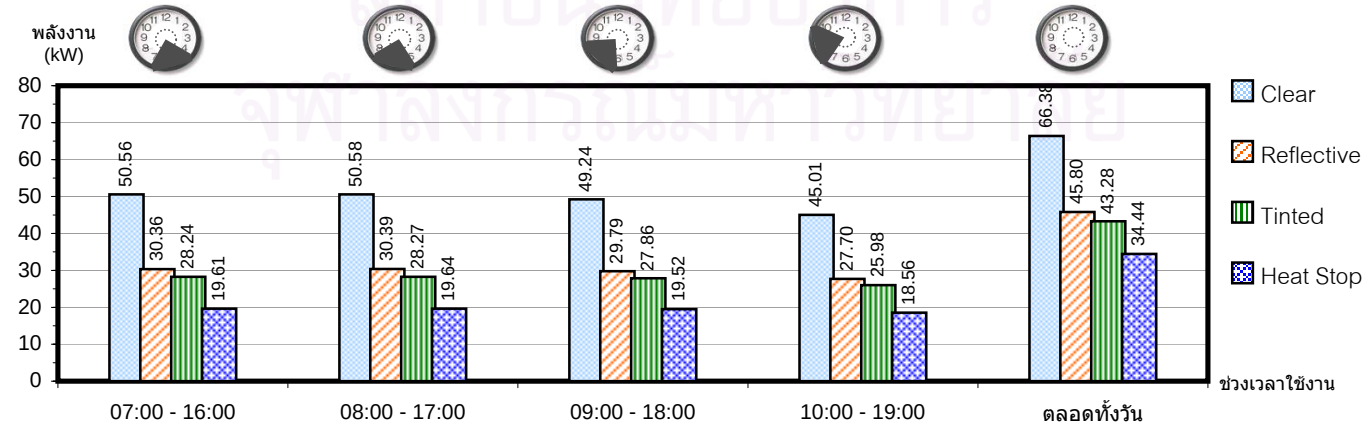
แผนภูมิที่ 6.75 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



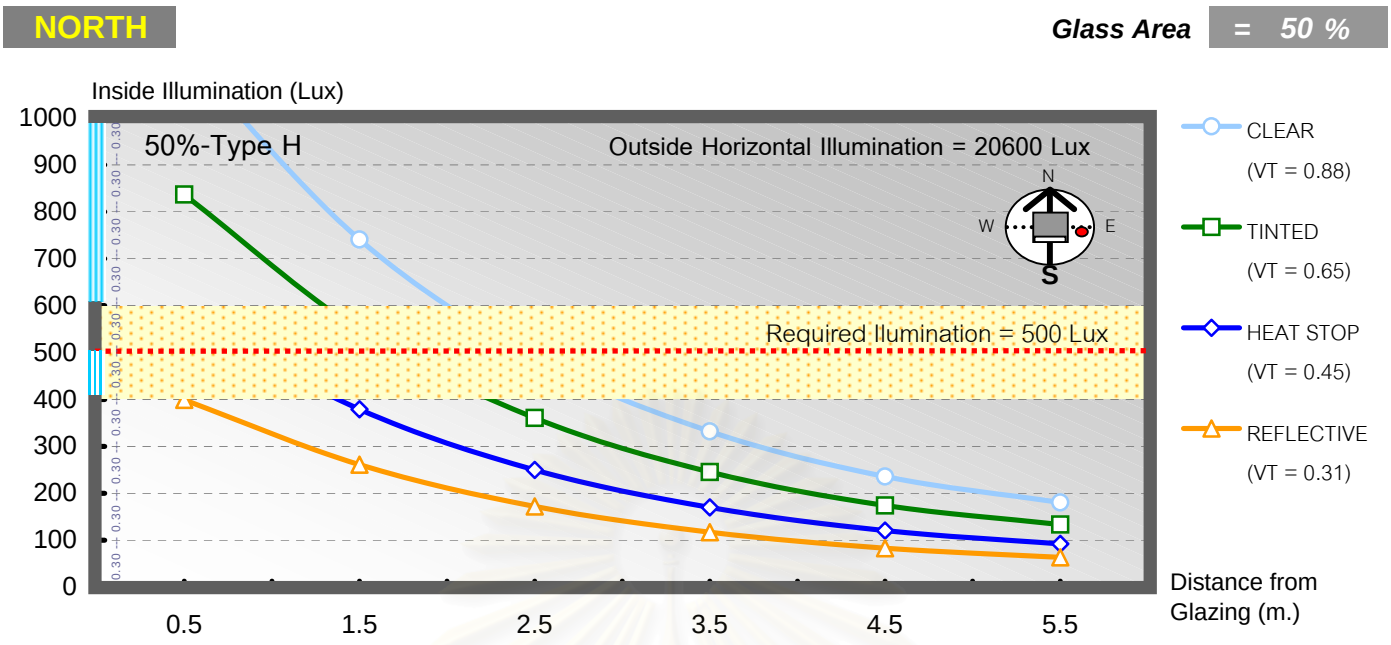
แผนภูมิที่ 6.76 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type G)



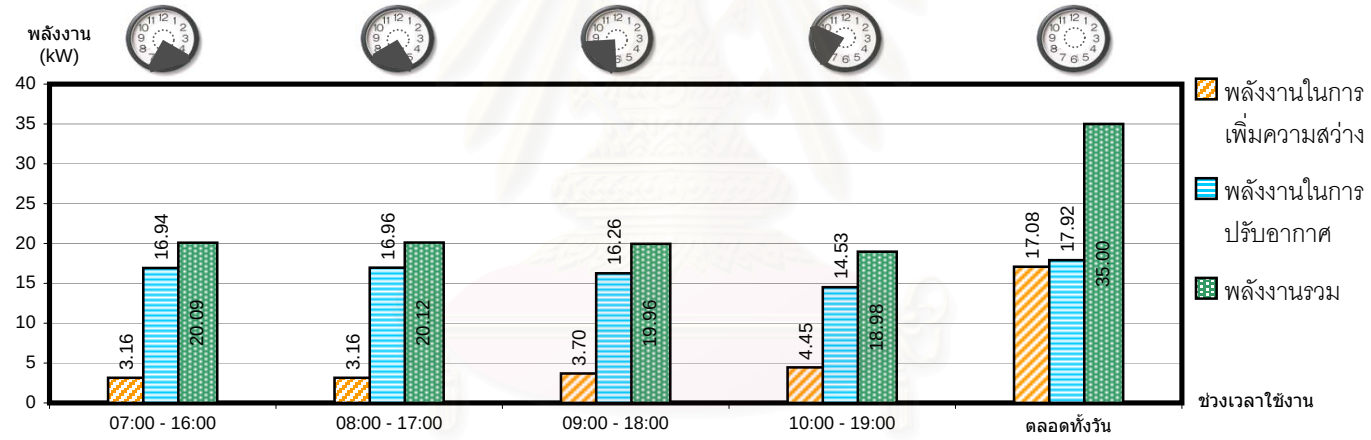
แผนภูมิที่ 6.77 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



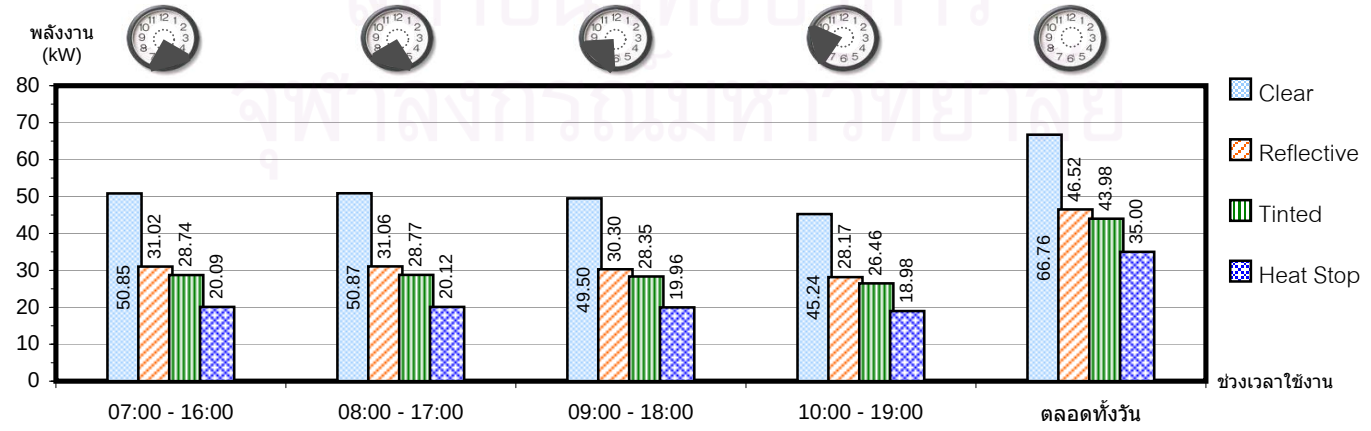
แผนภูมิที่ 6.78 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



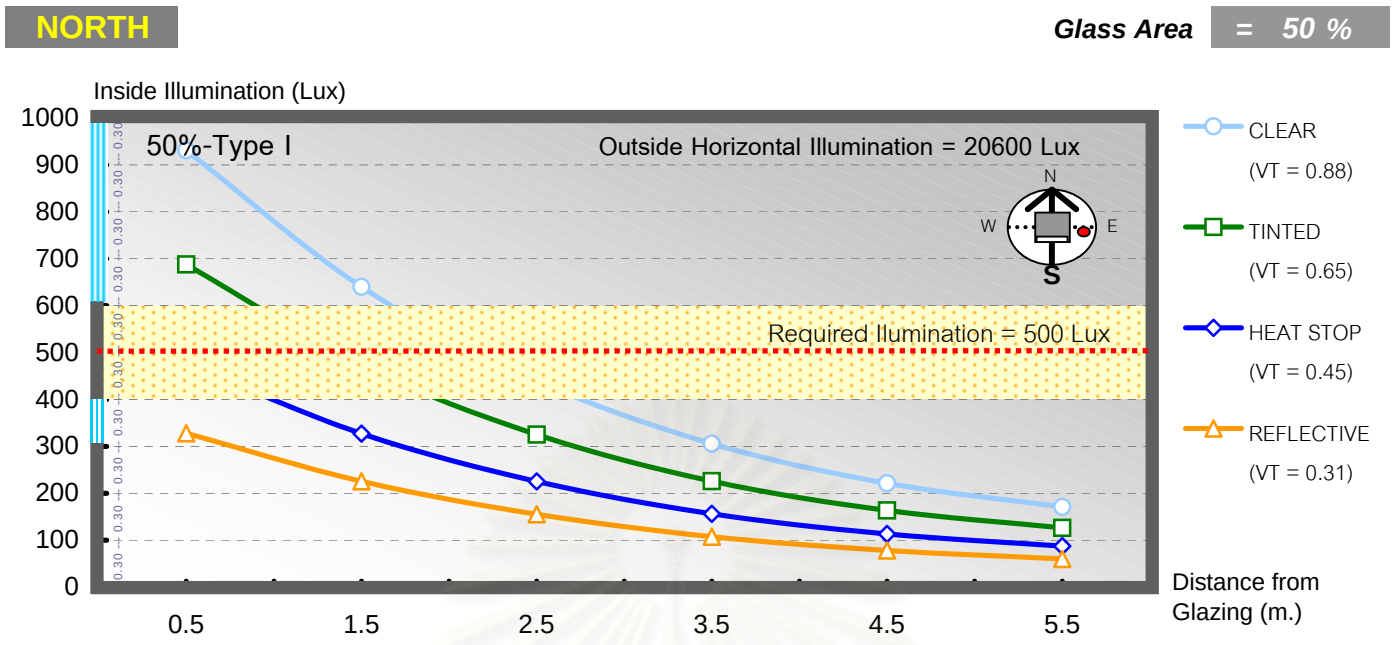
แผนภูมิที่ 6.79 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type H)



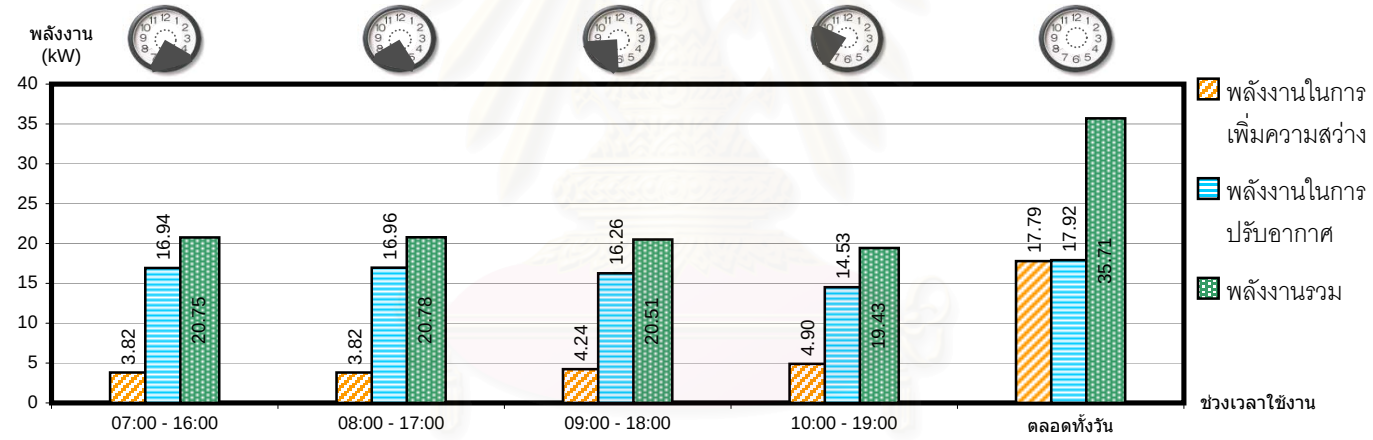
แผนภูมิที่ 6.80 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



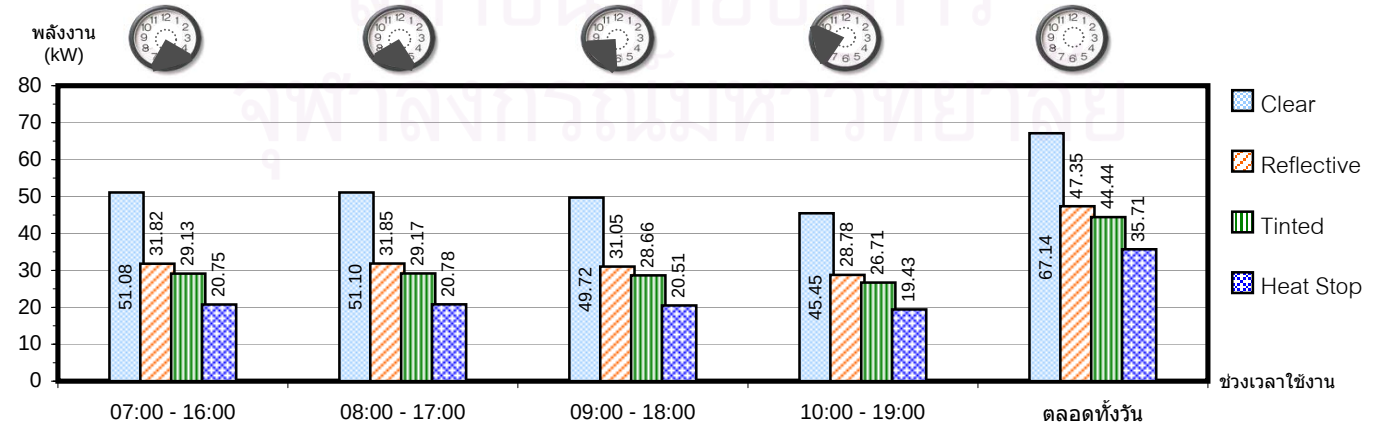
แผนภูมิที่ 6.81 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



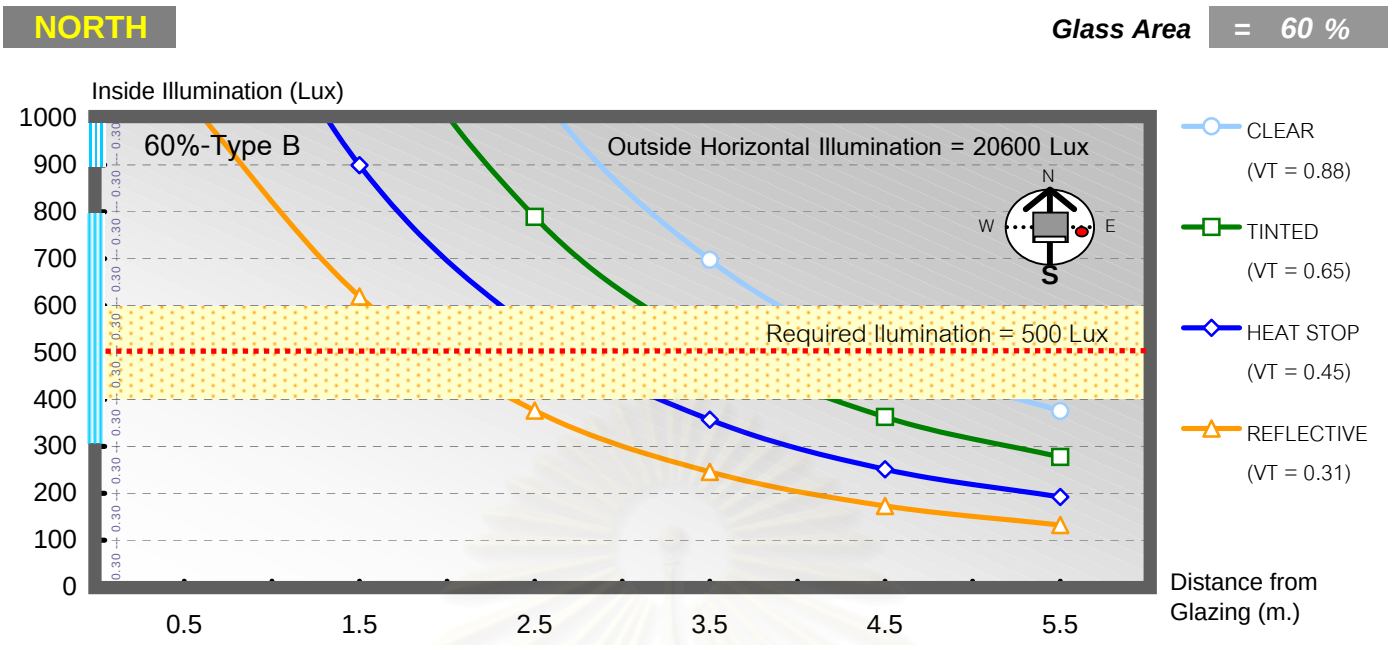
แผนภูมิที่ 6.82 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 50% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type I)



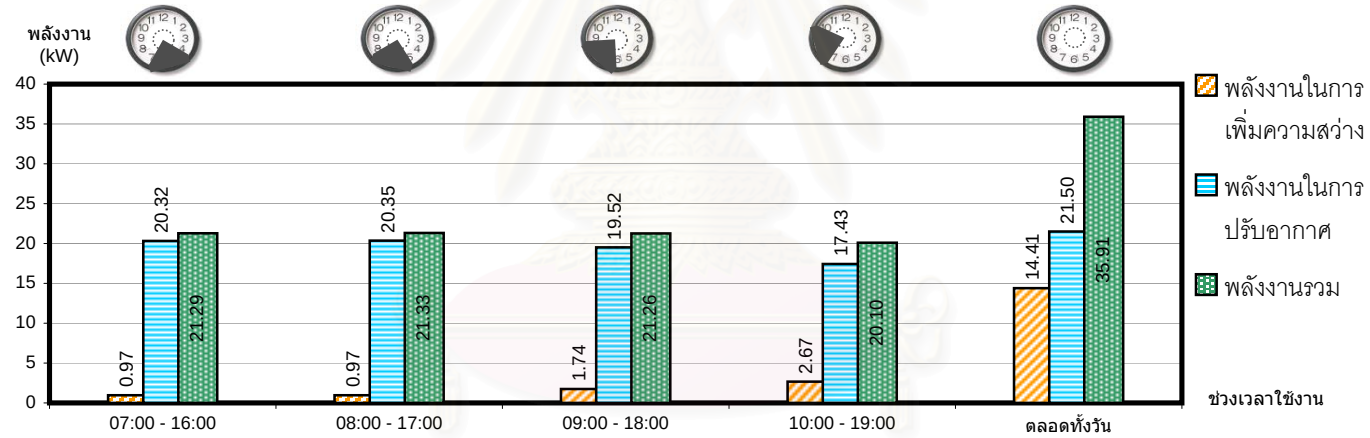
แผนภูมิที่ 6.83 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



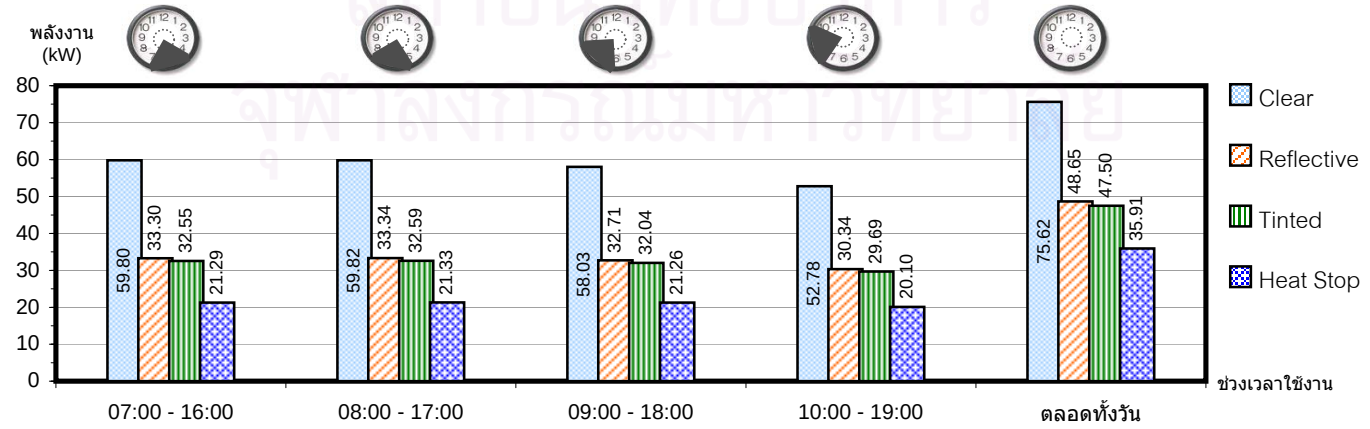
แผนภูมิที่ 6.84 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



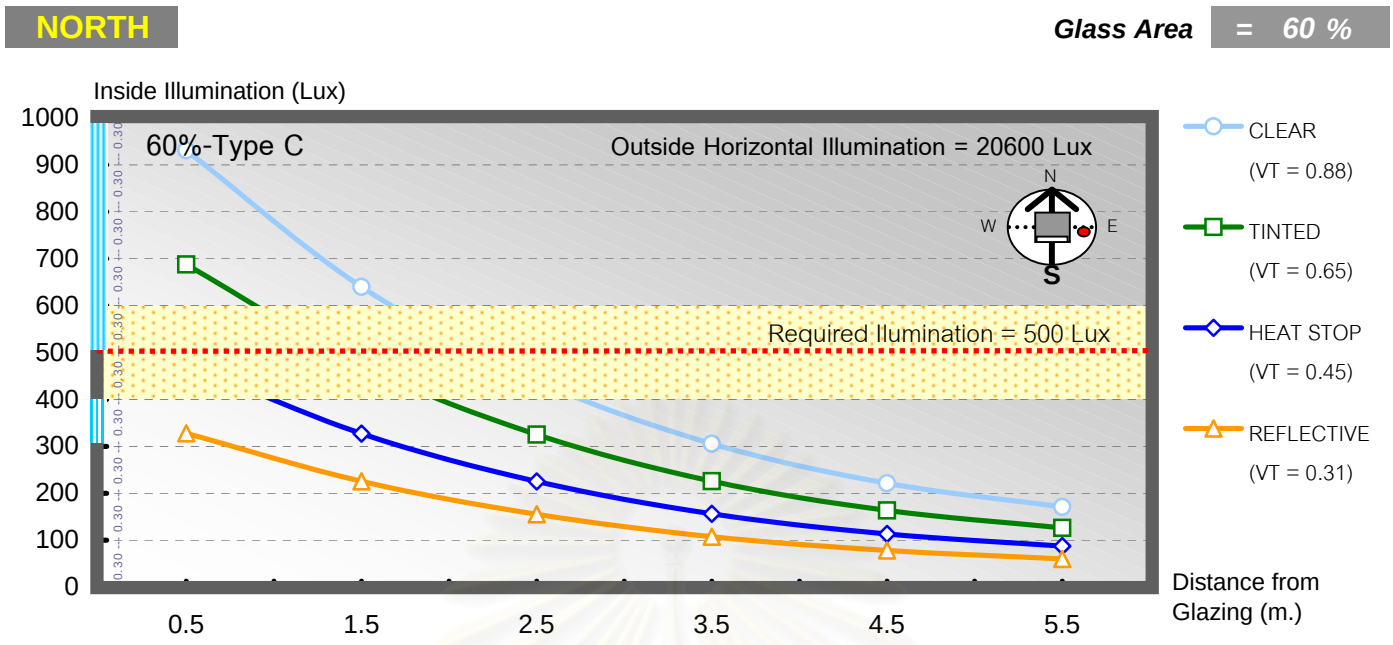
แผนภูมิที่ 6.85 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 60% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type B)



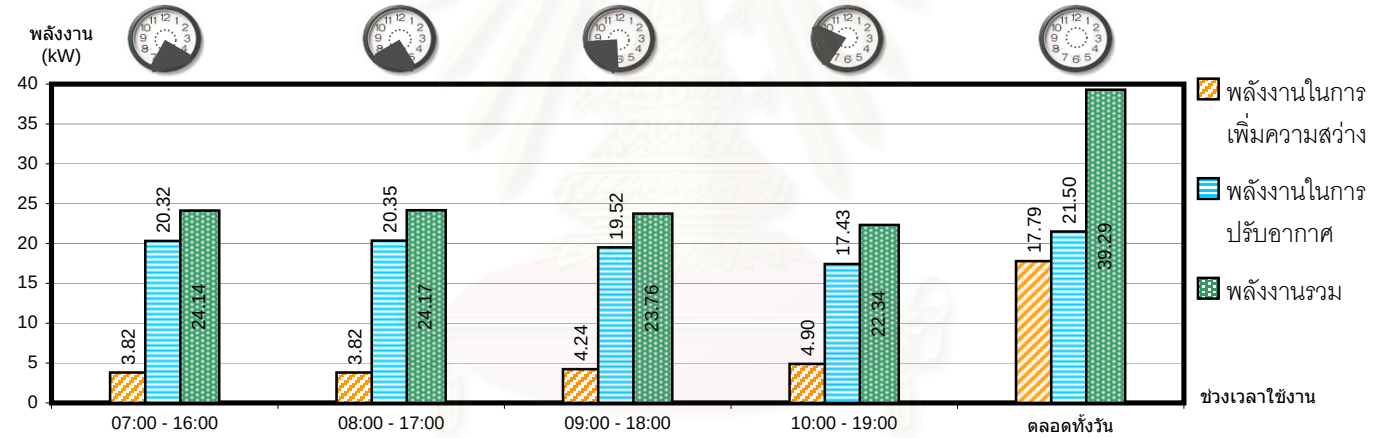
แผนภูมิที่ 6.86 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



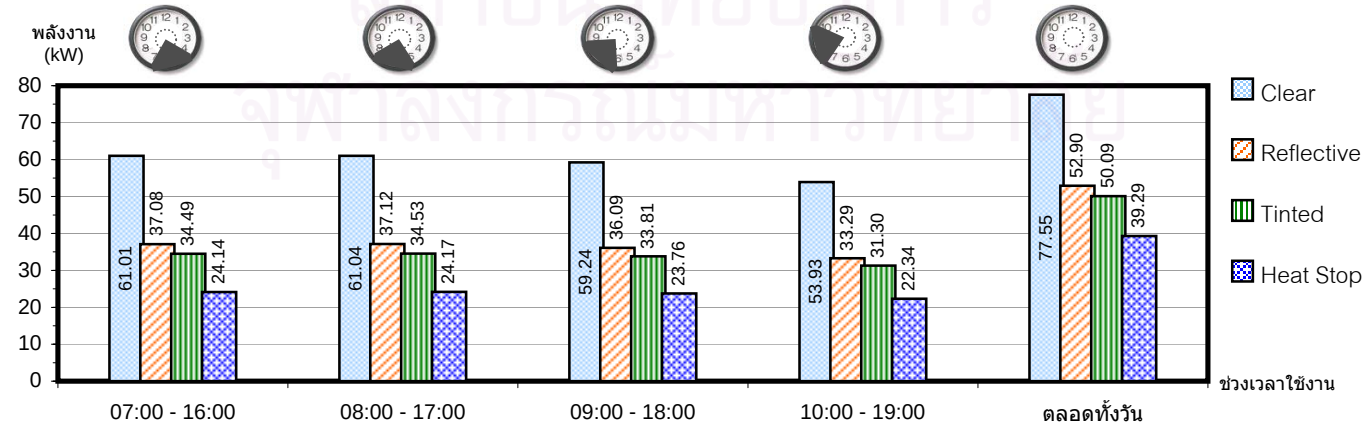
แผนภูมิที่ 6.87 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



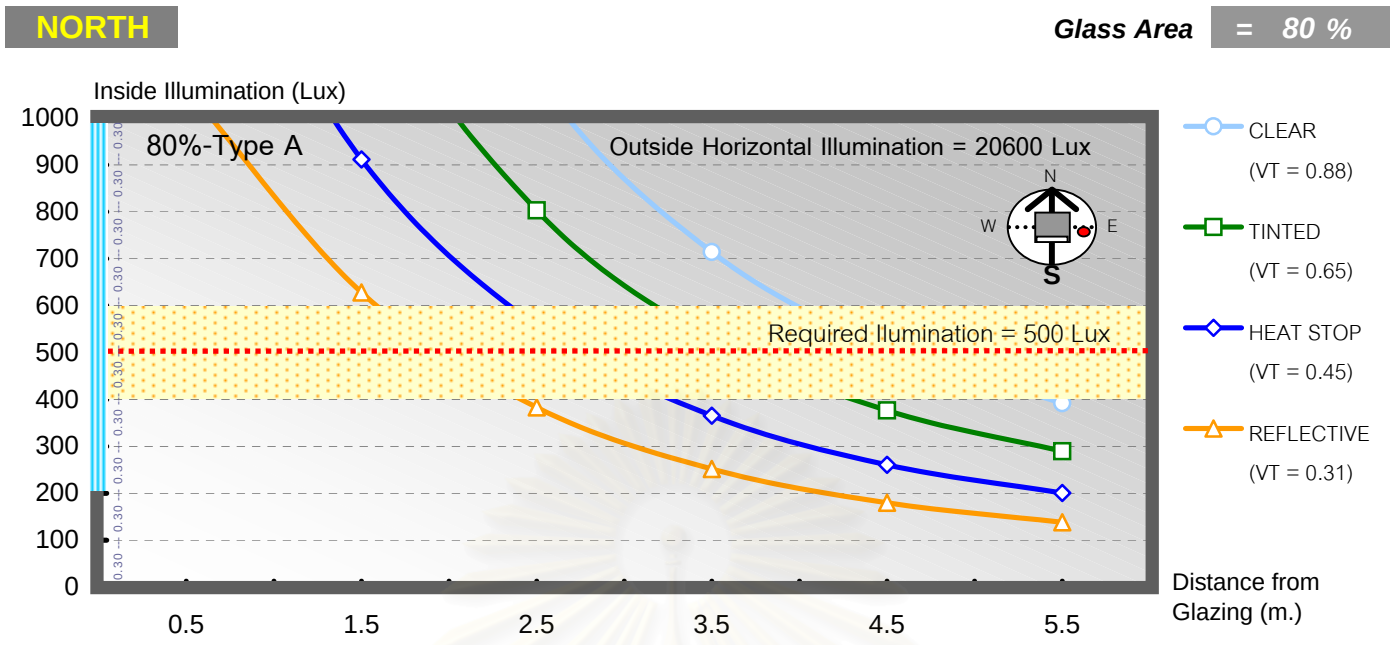
แผนภูมิที่ 6.88 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 60% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type C)



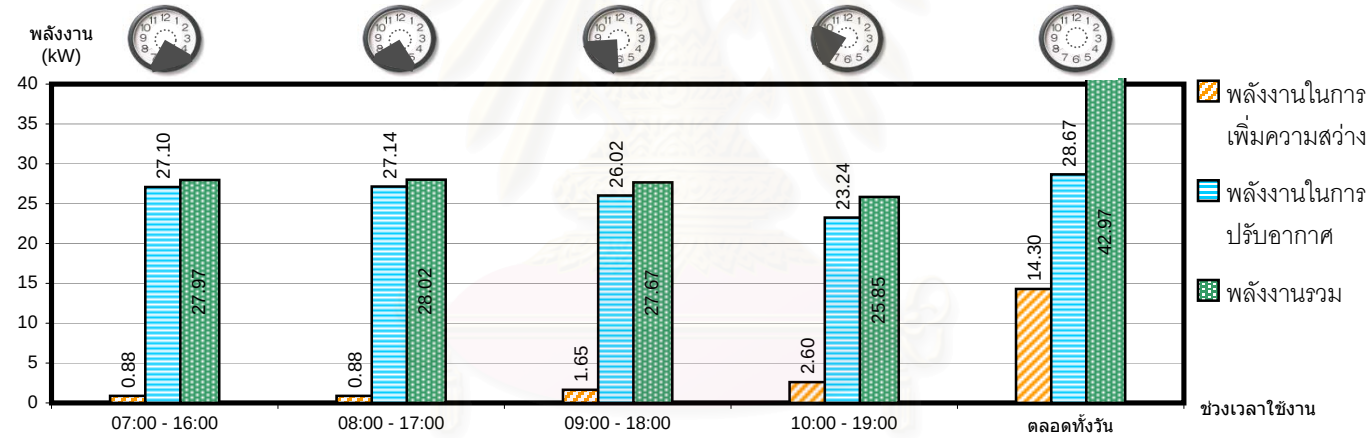
แผนภูมิที่ 6.89 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



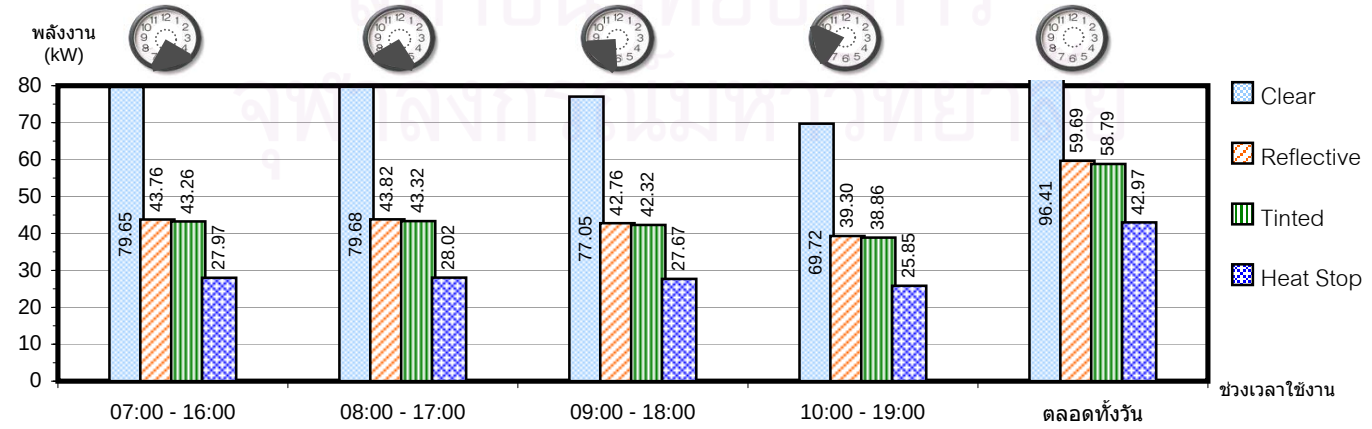
แผนภูมิที่ 6.90 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.91 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 80% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)

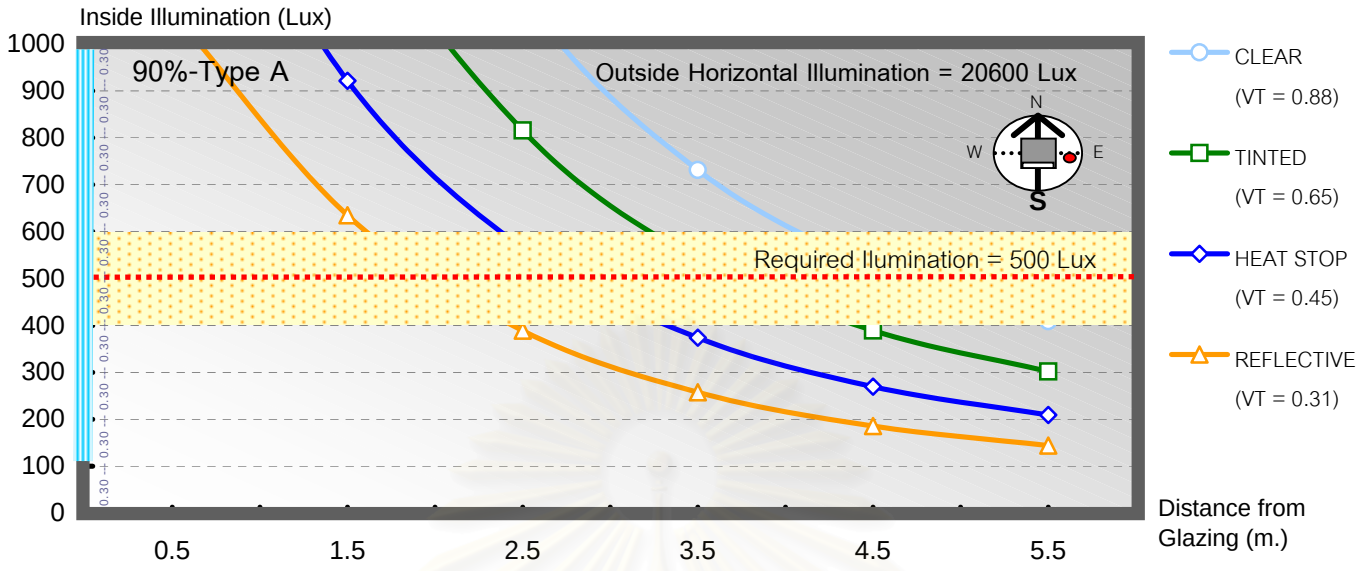


แผนภูมิที่ 6.92 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 80% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

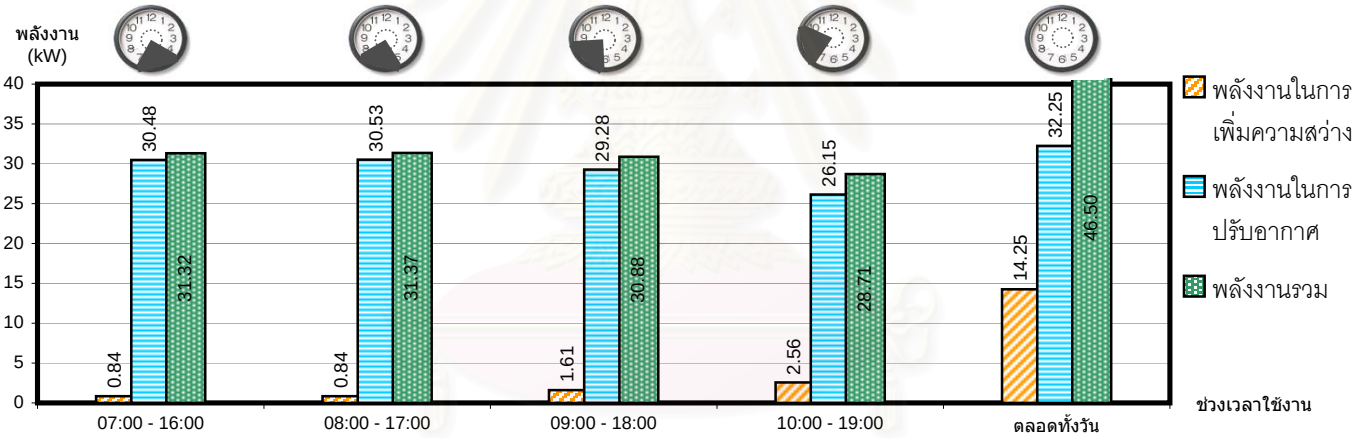


แผนภูมิที่ 6.93 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 80% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

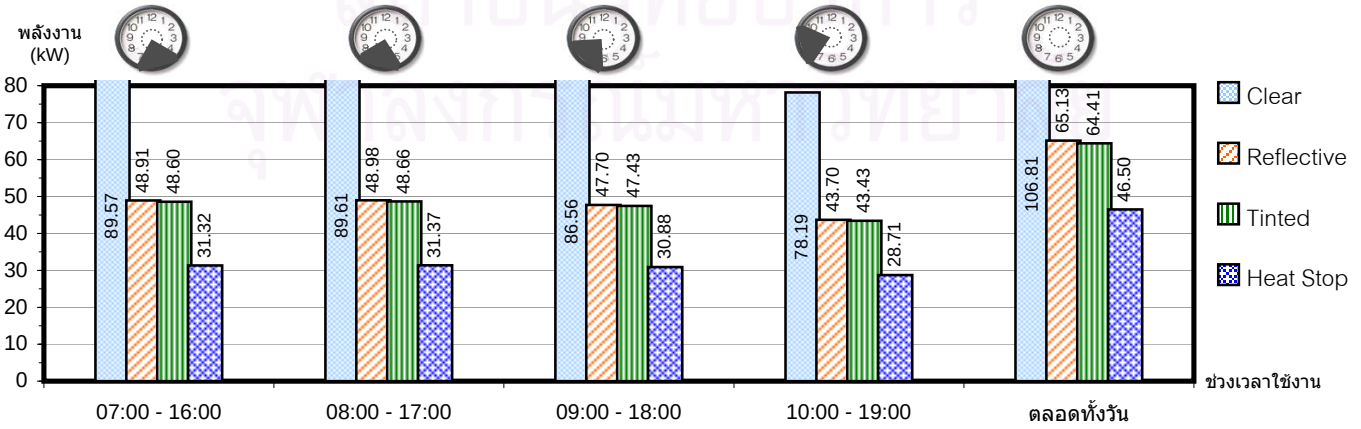
NORTH **Glass Area = 90 %**



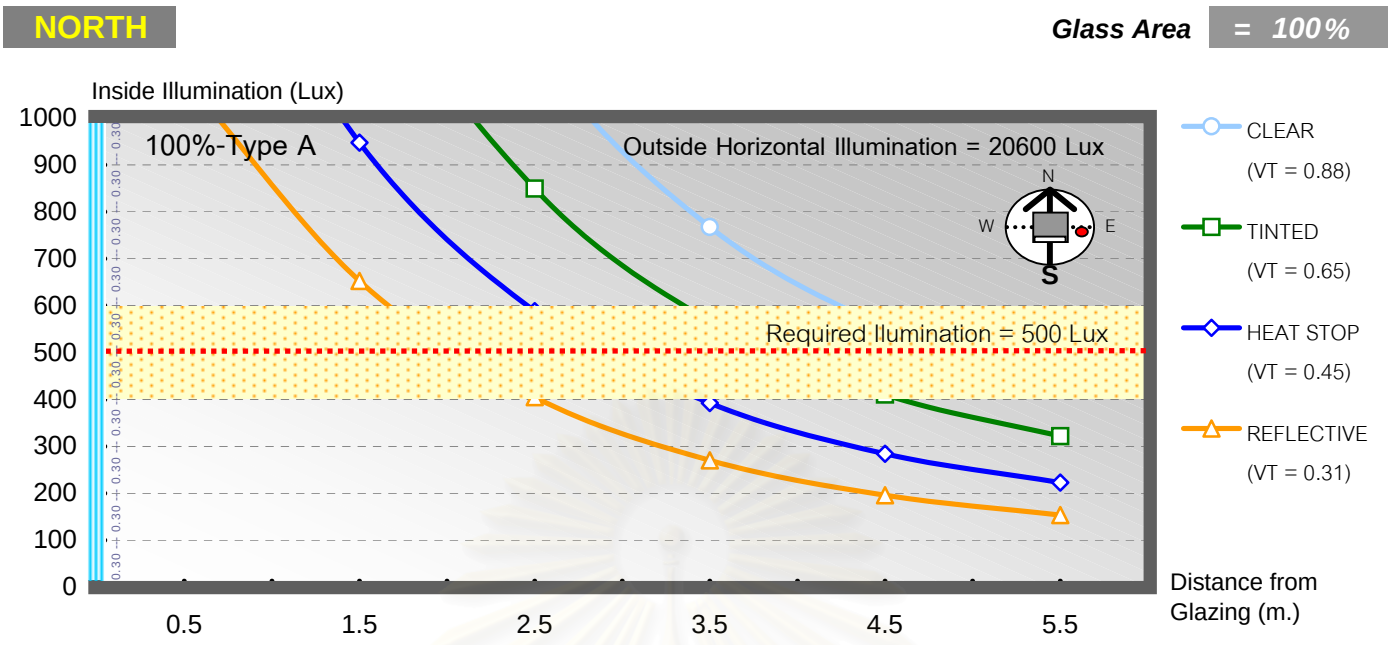
แผนภูมิที่ 6.94 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 90% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



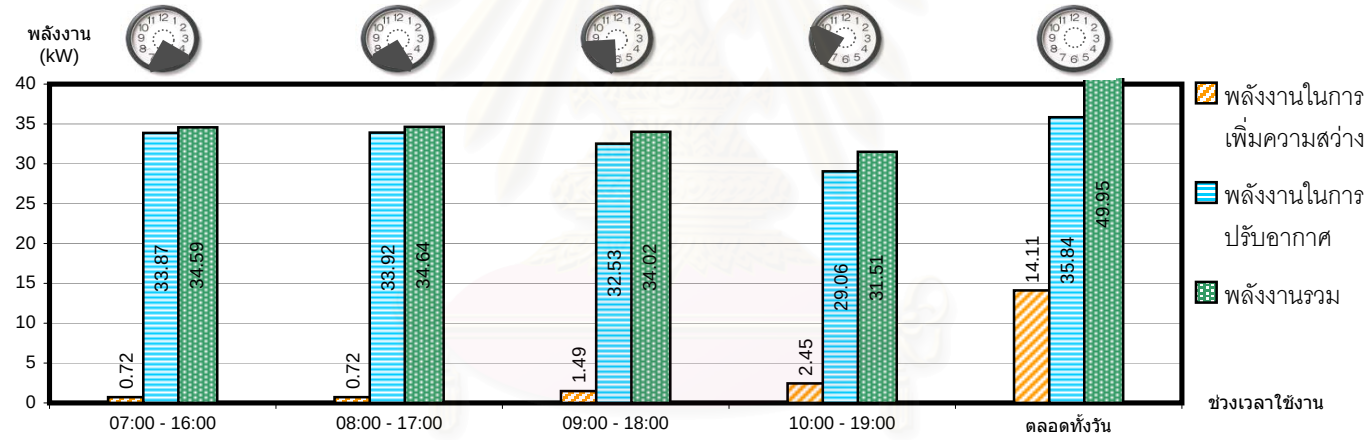
แผนภูมิที่ 6.95 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 90% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



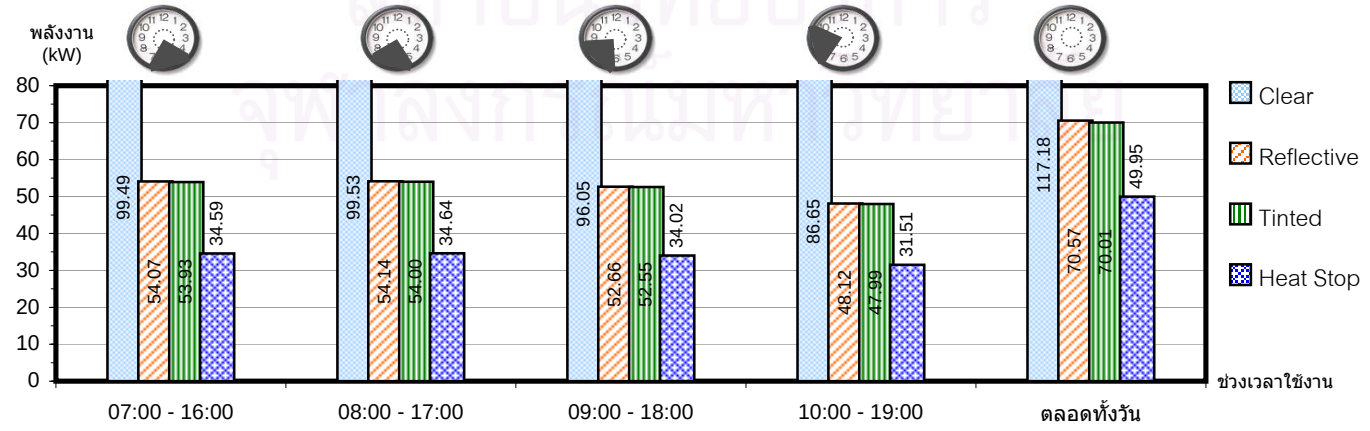
แผนภูมิที่ 6.96 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 90% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.97 แสดงค่าความส่องสว่างภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร ที่ระยะต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศเหนือ เวลา 8.00 น. วัดสูงจากพื้น (Working Plane) 0.75 เมตร (พื้นที่กระจก เท่ากับ 100% ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ - Type A)



แผนภูมิที่ 6.98 แสดงการใช้พลังงานในการเพิ่มความส่องสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจก Heat Stop ด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 100% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ



แผนภูมิที่ 6.99 แสดงการใช้พลังงานรวมในส่วนของแสงสว่างและการปรับอากาศ ตามช่วงเวลาใช้งานต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศเหนือ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 100% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ตารางที่ 6.6 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 10% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	5.01	9.93	14.94
	08:00 - 17:00	9	5.01	9.93	14.95
	09:00 - 18:00	9	5.33	9.51	14.85
	10:00 - 19:00	9	5.83	8.48	14.30
	ตลอดทั้งวัน	24	19.06	10.40	29.46
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	6.46	5.36	11.82
	08:00 - 17:00	9	6.46	5.37	11.83
	09:00 - 18:00	9	6.70	5.15	11.85
	10:00 - 19:00	9	7.06	4.59	11.66
	ตลอดทั้งวัน	24	20.57	5.64	26.22
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	8.44	5.26	13.70
	08:00 - 17:00	9	8.44	5.27	13.71
	09:00 - 18:00	9	8.55	5.05	13.60
	10:00 - 19:00	9	8.72	4.51	13.23
	ตลอดทั้งวัน	24	22.64	5.54	28.18
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	7.61	3.37	10.99
	08:00 - 17:00	9	7.61	3.38	10.99
	09:00 - 18:00	9	7.78	3.24	11.02
	10:00 - 19:00	9	8.03	2.90	10.93
	ตลอดทั้งวัน	24	21.78	3.56	25.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.7 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.67	19.86	21.53
	08:00 - 17:00	9	1.67	19.87	21.54
	09:00 - 18:00	9	2.40	19.03	21.43
	10:00 - 19:00	9	3.30	16.96	20.26
	ตลอดทั้งวัน	24	15.45	20.80	36.25
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.75	10.72	13.47
	08:00 - 17:00	9	2.76	10.73	13.49
	09:00 - 18:00	9	3.25	10.29	13.54
	10:00 - 19:00	9	4.06	9.19	13.24
	ตลอดทั้งวัน	24	16.67	11.29	27.96
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.50	10.52	17.02
	08:00 - 17:00	9	6.50	10.54	17.04
	09:00 - 18:00	9	6.74	10.10	16.84
	10:00 - 19:00	9	7.10	9.02	16.12
	ตลอดทั้งวัน	24	20.61	11.09	31.70
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	4.62	6.75	11.37
	08:00 - 17:00	9	4.62	6.76	11.38
	09:00 - 18:00	9	4.97	6.48	11.45
	10:00 - 19:00	9	5.50	5.80	11.29
	ตลอดทั้งวัน	24	18.65	7.12	25.77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.8 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.16	19.86	23.02
	08:00 - 17:00	9	3.16	19.87	23.03
	09:00 - 18:00	9	3.62	19.03	22.65
	10:00 - 19:00	9	4.40	16.96	21.35
	ตลอดทั้งวัน	24	17.11	20.80	37.91
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	4.74	10.72	15.46
	08:00 - 17:00	9	4.74	10.73	15.48
	09:00 - 18:00	9	5.08	10.29	15.37
	10:00 - 19:00	9	5.59	9.19	14.78
	ตลอดทั้งวัน	24	18.78	11.29	30.07
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	7.71	10.52	18.23
	08:00 - 17:00	9	7.71	10.54	18.25
	09:00 - 18:00	9	7.87	10.10	17.98
	10:00 - 19:00	9	8.12	9.02	17.14
	ตลอดทั้งวัน	24	21.88	11.09	32.97
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	6.56	6.75	13.30
	08:00 - 17:00	9	6.56	6.76	13.32
	09:00 - 18:00	9	6.79	6.48	13.27
	10:00 - 19:00	9	7.14	5.80	12.94
	ตลอดทั้งวัน	24	20.67	7.12	27.79

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.9 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.69	19.86	21.55
	08:00 - 17:00	9	1.69	19.87	21.56
	09:00 - 18:00	9	2.40	19.03	21.42
	10:00 - 19:00	9	3.29	16.96	20.24
	ตลอดทั้งวัน	24	15.43	20.80	36.23
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.63	10.72	13.35
	08:00 - 17:00	9	2.63	10.73	13.36
	09:00 - 18:00	9	3.22	10.29	13.51
	10:00 - 19:00	9	4.00	9.19	13.19
	ตลอดทั้งวัน	24	16.52	11.29	27.80
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.02	10.52	16.54
	08:00 - 17:00	9	6.02	10.54	16.55
	09:00 - 18:00	9	6.27	10.10	16.37
	10:00 - 19:00	9	6.66	9.02	15.68
	ตลอดทั้งวัน	24	20.11	11.09	31.20
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	4.18	6.75	10.93
	08:00 - 17:00	9	4.18	6.76	10.94
	09:00 - 18:00	9	4.55	6.48	11.04
	10:00 - 19:00	9	5.18	5.80	10.97
	ตลอดทั้งวัน	24	18.19	7.12	25.31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.10 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.86	19.86	21.72
	08:00 - 17:00	9	1.86	19.87	21.73
	09:00 - 18:00	9	2.55	19.03	21.58
	10:00 - 19:00	9	3.43	16.96	20.39
	ตลอดทั้งวัน	24	15.60	20.80	36.39
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.79	10.72	13.51
	08:00 - 17:00	9	2.80	10.73	13.53
	09:00 - 18:00	9	3.36	10.29	13.65
	10:00 - 19:00	9	4.13	9.19	13.32
	ตลอดทั้งวัน	24	16.67	11.29	27.96
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.95	10.52	16.47
	08:00 - 17:00	9	5.95	10.54	16.49
	09:00 - 18:00	9	6.21	10.10	16.31
	10:00 - 19:00	9	6.61	9.02	15.63
	ตลอดทั้งวัน	24	20.04	11.09	31.13
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	4.27	6.75	11.02
	08:00 - 17:00	9	4.28	6.76	11.03
	09:00 - 18:00	9	4.65	6.48	11.14
	10:00 - 19:00	9	5.26	5.80	11.06
	ตลอดทั้งวัน	24	18.28	7.12	25.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.11 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.24	19.86	22.10
	08:00 - 17:00	9	2.24	19.87	22.11
	09:00 - 18:00	9	2.92	19.03	21.95
	10:00 - 19:00	9	3.73	16.96	20.69
	ตลอดทั้งวัน	24	16.00	20.80	36.80
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.17	10.72	13.89
	08:00 - 17:00	9	3.17	10.73	13.91
	09:00 - 18:00	9	3.71	10.29	14.00
	10:00 - 19:00	9	4.46	9.19	13.64
	ตลอดทั้งวัน	24	17.07	11.29	28.36
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.16	10.52	16.68
	08:00 - 17:00	9	6.16	10.54	16.70
	09:00 - 18:00	9	6.41	10.10	16.51
	10:00 - 19:00	9	6.78	9.02	15.80
	ตลอดทั้งวัน	24	20.26	11.09	31.35
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	4.58	6.75	11.33
	08:00 - 17:00	9	4.59	6.76	11.34
	09:00 - 18:00	9	4.94	6.48	11.43
	10:00 - 19:00	9	5.52	5.80	11.32
	ตลอดทั้งวัน	24	18.60	7.12	25.72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.12 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.72	19.86	22.58
	08:00 - 17:00	9	2.73	19.87	22.60
	09:00 - 18:00	9	3.29	19.03	22.32
	10:00 - 19:00	9	4.08	16.96	21.03
	ตลอดทั้งวัน	24	16.59	20.80	37.39
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.90	10.72	14.62
	08:00 - 17:00	9	3.90	10.73	14.64
	09:00 - 18:00	9	4.40	10.29	14.69
	10:00 - 19:00	9	5.04	9.19	14.22
	ตลอดทั้งวัน	24	17.88	11.29	29.16
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	7.01	10.52	17.53
	08:00 - 17:00	9	7.01	10.54	17.54
	09:00 - 18:00	9	7.21	10.10	17.31
	10:00 - 19:00	9	7.51	9.02	16.53
	ตลอดทั้งวัน	24	21.15	11.09	32.23
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.43	6.75	12.17
	08:00 - 17:00	9	5.43	6.76	12.19
	09:00 - 18:00	9	5.72	6.48	12.20
	10:00 - 19:00	9	6.25	5.80	12.05
	ตลอดทั้งวัน	24	19.50	7.12	26.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.13 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.77	29.79	30.56
	08:00 - 17:00	9	0.77	29.80	30.57
	09:00 - 18:00	9	1.57	28.54	30.12
	10:00 - 19:00	9	2.54	25.43	27.97
	ตลอดทั้งวัน	24	14.26	31.20	45.46
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.38	16.08	17.45
	08:00 - 17:00	9	1.38	16.10	17.48
	09:00 - 18:00	9	2.12	15.44	17.56
	10:00 - 19:00	9	3.04	13.78	16.82
	ตลอดทั้งวัน	24	15.08	16.93	32.01
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.32	15.78	20.10
	08:00 - 17:00	9	4.32	15.81	20.13
	09:00 - 18:00	9	4.69	15.15	19.84
	10:00 - 19:00	9	5.26	13.53	18.79
	ตลอดทั้งวัน	24	18.33	16.63	34.96
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.62	10.12	12.74
	08:00 - 17:00	9	2.62	10.14	12.76
	09:00 - 18:00	9	3.16	9.73	12.89
	10:00 - 19:00	9	3.97	8.69	12.66
	ตลอดทั้งวัน	24	16.50	10.67	27.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.14 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.77	29.79	30.56
	08:00 - 17:00	9	0.77	29.80	30.58
	09:00 - 18:00	9	1.58	28.54	30.12
	10:00 - 19:00	9	2.54	25.43	27.98
	ตลอดทั้งวัน	24	14.27	31.20	45.46
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.38	16.08	17.46
	08:00 - 17:00	9	1.39	16.10	17.49
	09:00 - 18:00	9	2.13	15.44	17.56
	10:00 - 19:00	9	3.04	13.78	16.82
	ตลอดทั้งวัน	24	15.09	16.93	32.02
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.33	15.78	20.11
	08:00 - 17:00	9	4.33	15.81	20.13
	09:00 - 18:00	9	4.70	15.15	19.85
	10:00 - 19:00	9	5.27	13.53	18.80
	ตลอดทั้งวัน	24	18.34	16.63	34.97
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.63	10.12	12.75
	08:00 - 17:00	9	2.63	10.14	12.77
	09:00 - 18:00	9	3.17	9.73	12.89
	10:00 - 19:00	9	3.98	8.69	12.67
	ตลอดทั้งวัน	24	16.51	10.67	27.19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.15 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.77	29.79	30.56
	08:00 - 17:00	9	0.77	29.80	30.57
	09:00 - 18:00	9	1.56	28.54	30.10
	10:00 - 19:00	9	2.52	25.43	27.95
	ตลอดทั้งวัน	24	14.18	31.20	45.38
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.44	16.08	17.52
	08:00 - 17:00	9	1.44	16.10	17.54
	09:00 - 18:00	9	2.17	15.44	17.60
	10:00 - 19:00	9	3.07	13.78	16.85
	ตลอดทั้งวัน	24	15.12	16.93	32.04
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.08	15.78	19.86
	08:00 - 17:00	9	4.08	15.81	19.89
	09:00 - 18:00	9	4.47	15.15	19.62
	10:00 - 19:00	9	5.11	13.53	18.64
	ตลอดทั้งวัน	24	18.08	16.63	34.71
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.53	10.12	12.65
	08:00 - 17:00	9	2.53	10.14	12.67
	09:00 - 18:00	9	3.13	9.73	12.85
	10:00 - 19:00	9	3.93	8.69	12.62
	ตลอดทั้งวัน	24	16.39	10.67	27.07

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.16 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.87	29.79	30.67
	08:00 - 17:00	9	0.88	29.80	30.68
	09:00 - 18:00	9	1.65	28.54	30.19
	10:00 - 19:00	9	2.60	25.43	28.03
	ตลอดทั้งวัน	24	14.30	31.20	45.50
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.47	16.08	17.55
	08:00 - 17:00	9	1.47	16.10	17.57
	09:00 - 18:00	9	2.17	15.44	17.61
	10:00 - 19:00	9	3.06	13.78	16.84
	ตลอดทั้งวัน	24	15.04	16.93	31.97
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.07	15.78	19.85
	08:00 - 17:00	9	4.07	15.81	19.88
	09:00 - 18:00	9	4.57	15.15	19.72
	10:00 - 19:00	9	5.19	13.53	18.72
	ตลอดทั้งวัน	24	18.06	16.63	34.68
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.70	10.12	12.82
	08:00 - 17:00	9	2.70	10.14	12.84
	09:00 - 18:00	9	3.28	9.73	13.01
	10:00 - 19:00	9	4.06	8.69	12.75
	ตลอดทั้งวัน	24	16.55	10.67	27.22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.17 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.19	29.79	30.98
	08:00 - 17:00	9	1.19	29.80	30.99
	09:00 - 18:00	9	1.91	28.54	30.45
	10:00 - 19:00	9	2.82	25.43	28.25
	ตลอดทั้งวัน	24	14.65	31.20	45.85
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.75	16.08	17.82
	08:00 - 17:00	9	1.75	16.10	17.85
	09:00 - 18:00	9	2.43	15.44	17.86
	10:00 - 19:00	9	3.30	13.78	17.08
	ตลอดทั้งวัน	24	15.35	16.93	32.28
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.30	15.78	20.08
	08:00 - 17:00	9	4.30	15.81	20.11
	09:00 - 18:00	9	4.78	15.15	19.93
	10:00 - 19:00	9	5.37	13.53	18.90
	ตลอดทั้งวัน	24	18.30	16.63	34.92
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.02	10.12	13.14
	08:00 - 17:00	9	3.02	10.14	13.16
	09:00 - 18:00	9	3.57	9.73	13.29
	10:00 - 19:00	9	4.32	8.69	13.01
	ตลอดทั้งวัน	24	16.88	10.67	27.55

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.18 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.75	29.79	30.54
	08:00 - 17:00	9	0.75	29.80	30.56
	09:00 - 18:00	9	1.55	28.54	30.09
	10:00 - 19:00	9	2.51	25.43	27.94
	ตลอดทั้งวัน	24	14.17	31.20	45.37
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.42	16.08	17.50
	08:00 - 17:00	9	1.42	16.10	17.52
	09:00 - 18:00	9	2.15	15.44	17.59
	10:00 - 19:00	9	3.06	13.78	16.84
	ตลอดทั้งวัน	24	15.11	16.93	32.04
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.17	15.78	19.95
	08:00 - 17:00	9	4.17	15.81	19.98
	09:00 - 18:00	9	4.55	15.15	19.70
	10:00 - 19:00	9	5.19	13.53	18.72
	ตลอดทั้งวัน	24	18.17	16.63	34.80
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.59	10.12	12.71
	08:00 - 17:00	9	2.59	10.14	12.73
	09:00 - 18:00	9	3.19	9.73	12.92
	10:00 - 19:00	9	3.99	8.69	12.69
	ตลอดทั้งวัน	24	16.46	10.67	27.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.19 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.79	29.79	30.58
	08:00 - 17:00	9	0.79	29.80	30.60
	09:00 - 18:00	9	1.58	28.54	30.12
	10:00 - 19:00	9	2.54	25.43	27.97
	ตลอดทั้งวัน	24	14.22	31.20	45.42
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.49	16.08	17.57
	08:00 - 17:00	9	1.49	16.10	17.60
	09:00 - 18:00	9	2.21	15.44	17.65
	10:00 - 19:00	9	3.11	13.78	16.89
	ตลอดทั้งวัน	24	15.18	16.93	32.11
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.15	15.78	19.93
	08:00 - 17:00	9	4.16	15.81	19.96
	09:00 - 18:00	9	4.54	15.15	19.69
	10:00 - 19:00	9	5.17	13.53	18.70
	ตลอดทั้งวัน	24	18.16	16.63	34.78
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.58	10.12	12.70
	08:00 - 17:00	9	2.59	10.14	12.72
	09:00 - 18:00	9	3.17	9.73	12.90
	10:00 - 19:00	9	3.97	8.69	12.66
	ตลอดทั้งวัน	24	16.45	10.67	27.13

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.20 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.93	29.79	30.72
	08:00 - 17:00	9	0.93	29.80	30.74
	09:00 - 18:00	9	1.71	28.54	30.26
	10:00 - 19:00	9	2.67	25.43	28.10
	ตลอดทั้งวัน	24	14.39	31.20	45.59
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.59	16.08	17.66
	08:00 - 17:00	9	1.59	16.10	17.69
	09:00 - 18:00	9	2.29	15.44	17.73
	10:00 - 19:00	9	3.19	13.78	16.97
	ตลอดทั้งวัน	24	15.29	16.93	32.22
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.38	15.78	20.16
	08:00 - 17:00	9	4.38	15.81	20.19
	09:00 - 18:00	9	4.76	15.15	19.91
	10:00 - 19:00	9	5.36	13.53	18.89
	ตลอดทั้งวัน	24	18.39	16.63	35.02
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.77	10.12	12.89
	08:00 - 17:00	9	2.77	10.14	12.91
	09:00 - 18:00	9	3.33	9.73	13.06
	10:00 - 19:00	9	4.11	8.69	12.80
	ตลอดทั้งวัน	24	16.65	10.67	27.32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.21 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.13	29.79	30.92
	08:00 - 17:00	9	1.13	29.80	30.94
	09:00 - 18:00	9	1.88	28.54	30.42
	10:00 - 19:00	9	2.81	25.43	28.24
	ตลอดทั้งวัน	24	14.65	31.20	45.85
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.91	16.08	17.98
	08:00 - 17:00	9	1.91	16.10	18.01
	09:00 - 18:00	9	2.61	15.44	18.04
	10:00 - 19:00	9	3.49	13.78	17.27
	ตลอดทั้งวัน	24	15.69	16.93	32.62
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.93	15.78	20.71
	08:00 - 17:00	9	4.93	15.81	20.74
	09:00 - 18:00	9	5.25	15.15	20.41
	10:00 - 19:00	9	5.83	13.53	19.36
	ตลอดทั้งวัน	24	18.98	16.63	35.60
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.24	10.12	13.36
	08:00 - 17:00	9	3.24	10.14	13.38
	09:00 - 18:00	9	3.78	9.73	13.51
	10:00 - 19:00	9	4.54	8.69	13.24
	ตลอดทั้งวัน	24	17.17	10.67	27.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.22 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.38	39.72	40.11
	08:00 - 17:00	9	0.39	39.74	40.12
	09:00 - 18:00	9	1.20	38.06	39.25
	10:00 - 19:00	9	2.18	33.91	36.09
	ตลอดทั้งวัน	24	13.59	41.60	55.19
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.73	21.43	22.16
	08:00 - 17:00	9	0.73	21.47	22.20
	09:00 - 18:00	9	1.52	20.58	22.10
	10:00 - 19:00	9	2.48	18.37	20.85
	ตลอดทั้งวัน	24	14.15	22.57	36.72
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.87	21.04	23.91
	08:00 - 17:00	9	2.87	21.07	23.94
	09:00 - 18:00	9	3.45	20.20	23.65
	10:00 - 19:00	9	4.23	18.04	22.27
	ตลอดทั้งวัน	24	16.77	22.17	38.94
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.58	13.49	15.07
	08:00 - 17:00	9	1.58	13.52	15.10
	09:00 - 18:00	9	2.30	12.97	15.27
	10:00 - 19:00	9	3.19	11.59	14.79
	ตลอดทั้งวัน	24	15.31	14.23	29.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.23 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.27	39.72	39.99
	08:00 - 17:00	9	0.27	39.74	40.01
	09:00 - 18:00	9	1.05	38.06	39.10
	10:00 - 19:00	9	2.02	33.91	35.93
	ตลอดทั้งวัน	24	13.35	41.60	54.95
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.49	21.43	21.93
	08:00 - 17:00	9	0.49	21.47	21.96
	09:00 - 18:00	9	1.28	20.58	21.86
	10:00 - 19:00	9	2.24	18.37	20.62
	ตลอดทั้งวัน	24	13.74	22.57	36.31
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.23	21.04	23.27
	08:00 - 17:00	9	2.23	21.07	23.30
	09:00 - 18:00	9	2.92	20.20	23.12
	10:00 - 19:00	9	3.74	18.04	21.78
	ตลอดทั้งวัน	24	16.02	22.17	38.19
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.11	13.49	14.60
	08:00 - 17:00	9	1.11	13.52	14.63
	09:00 - 18:00	9	1.89	12.97	14.85
	10:00 - 19:00	9	2.80	11.59	14.40
	ตลอดทั้งวัน	24	14.61	14.23	28.84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.24 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.31	39.72	40.03
	08:00 - 17:00	9	0.31	39.74	40.05
	09:00 - 18:00	9	1.08	38.06	39.14
	10:00 - 19:00	9	2.06	33.91	35.97
	ตลอดทั้งวัน	24	13.41	41.60	55.01
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.57	21.43	22.00
	08:00 - 17:00	9	0.57	21.47	22.04
	09:00 - 18:00	9	1.34	20.58	21.92
	10:00 - 19:00	9	2.30	18.37	20.67
	ตลอดทั้งวัน	24	13.83	22.57	36.41
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.39	21.04	23.43
	08:00 - 17:00	9	2.39	21.07	23.47
	09:00 - 18:00	9	3.06	20.20	23.27
	10:00 - 19:00	9	3.86	18.04	21.90
	ตลอดทั้งวัน	24	16.19	22.17	38.36
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.29	13.49	14.78
	08:00 - 17:00	9	1.29	13.52	14.81
	09:00 - 18:00	9	2.00	12.97	14.97
	10:00 - 19:00	9	2.90	11.59	14.50
	ตลอดทั้งวัน	24	14.81	14.23	29.04

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.25 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.41	39.72	40.13
	08:00 - 17:00	9	0.41	39.74	40.15
	09:00 - 18:00	9	1.19	38.06	39.24
	10:00 - 19:00	9	2.16	33.91	36.07
	ตลอดทั้งวัน	24	13.57	41.60	55.17
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.77	21.43	22.21
	08:00 - 17:00	9	0.77	21.47	22.24
	09:00 - 18:00	9	1.54	20.58	22.12
	10:00 - 19:00	9	2.49	18.37	20.87
	ตลอดทั้งวัน	24	14.16	22.57	36.74
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.79	21.04	23.82
	08:00 - 17:00	9	2.79	21.07	23.86
	09:00 - 18:00	9	3.35	20.20	23.56
	10:00 - 19:00	9	4.12	18.04	22.16
	ตลอดทั้งวัน	24	16.62	22.17	38.79
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.50	13.49	14.99
	08:00 - 17:00	9	1.50	13.52	15.01
	09:00 - 18:00	9	2.19	12.97	15.16
	10:00 - 19:00	9	3.07	11.59	14.67
	ตลอดทั้งวัน	24	15.07	14.23	29.30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.26 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.42	39.72	40.14
	08:00 - 17:00	9	0.42	39.74	40.16
	09:00 - 18:00	9	1.23	38.06	39.28
	10:00 - 19:00	9	2.21	33.91	36.12
	ตลอดทั้งวัน	24	13.63	41.60	55.23
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.81	21.43	22.24
	08:00 - 17:00	9	0.81	21.47	22.28
	09:00 - 18:00	9	1.59	20.58	22.17
	10:00 - 19:00	9	2.54	18.37	20.91
	ตลอดทั้งวัน	24	14.24	22.57	36.81
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.87	21.04	23.91
	08:00 - 17:00	9	2.87	21.07	23.94
	09:00 - 18:00	9	3.44	20.20	23.64
	10:00 - 19:00	9	4.21	18.04	22.24
	ตลอดทั้งวัน	24	16.76	22.17	38.93
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.65	13.49	15.14
	08:00 - 17:00	9	1.65	13.52	15.17
	09:00 - 18:00	9	2.35	12.97	15.32
	10:00 - 19:00	9	3.24	11.59	14.83
	ตลอดทั้งวัน	24	15.36	14.23	29.59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.27 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.52	39.72	40.25
	08:00 - 17:00	9	0.53	39.74	40.26
	09:00 - 18:00	9	1.30	38.06	39.35
	10:00 - 19:00	9	2.26	33.91	36.17
	ตลอดทั้งวัน	24	13.76	41.60	55.36
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.02	21.43	22.45
	08:00 - 17:00	9	1.02	21.47	22.49
	09:00 - 18:00	9	1.79	20.58	22.37
	10:00 - 19:00	9	2.71	18.37	21.09
	ตลอดทั้งวัน	24	14.48	22.57	37.05
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.12	21.04	24.16
	08:00 - 17:00	9	3.12	21.07	24.20
	09:00 - 18:00	9	3.66	20.20	23.87
	10:00 - 19:00	9	4.42	18.04	22.45
	ตลอดทั้งวัน	24	17.02	22.17	39.19
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.86	13.49	15.36
	08:00 - 17:00	9	1.87	13.52	15.38
	09:00 - 18:00	9	2.55	12.97	15.52
	10:00 - 19:00	9	3.43	11.59	15.02
	ตลอดทั้งวัน	24	15.59	14.23	29.82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.28 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.69	39.72	40.41
	08:00 - 17:00	9	0.69	39.74	40.43
	09:00 - 18:00	9	1.46	38.06	39.52
	10:00 - 19:00	9	2.42	33.91	36.33
	ตลอดทั้งวัน	24	14.05	41.60	55.65
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.25	21.43	22.68
	08:00 - 17:00	9	1.25	21.47	22.72
	09:00 - 18:00	9	1.97	20.58	22.55
	10:00 - 19:00	9	2.88	18.37	21.25
	ตลอดทั้งวัน	24	14.78	22.57	37.35
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.69	21.04	24.73
	08:00 - 17:00	9	3.70	21.07	24.77
	09:00 - 18:00	9	4.21	20.20	24.41
	10:00 - 19:00	9	4.86	18.04	22.90
	ตลอดทั้งวัน	24	17.64	22.17	39.81
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.39	13.49	15.88
	08:00 - 17:00	9	2.39	13.52	15.91
	09:00 - 18:00	9	2.99	12.97	15.96
	10:00 - 19:00	9	3.79	11.59	15.39
	ตลอดทั้งวัน	24	16.18	14.23	30.41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.29 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.79	39.72	40.51
	08:00 - 17:00	9	0.79	39.74	40.53
	09:00 - 18:00	9	1.58	38.06	39.63
	10:00 - 19:00	9	2.54	33.91	36.45
	ตลอดทั้งวัน	24	14.22	41.60	55.82
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.49	21.43	22.93
	08:00 - 17:00	9	1.49	21.47	22.96
	09:00 - 18:00	9	2.21	20.58	22.79
	10:00 - 19:00	9	3.11	18.37	21.49
	ตลอดทั้งวัน	24	15.18	22.57	37.75
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.15	21.04	25.19
	08:00 - 17:00	9	4.16	21.07	25.23
	09:00 - 18:00	9	4.54	20.20	24.74
	10:00 - 19:00	9	5.17	18.04	23.21
	ตลอดทั้งวัน	24	18.16	22.17	40.33
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.58	13.49	16.08
	08:00 - 17:00	9	2.59	13.52	16.10
	09:00 - 18:00	9	3.17	12.97	16.14
	10:00 - 19:00	9	3.97	11.59	15.56
	ตลอดทั้งวัน	24	16.45	14.23	30.69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.30 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.93	39.72	40.65
	08:00 - 17:00	9	0.93	39.74	40.67
	09:00 - 18:00	9	1.71	38.06	39.77
	10:00 - 19:00	9	2.67	33.91	36.58
	ตลอดทั้งวัน	24	14.39	41.60	55.99
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.59	21.43	23.02
	08:00 - 17:00	9	1.59	21.47	23.06
	09:00 - 18:00	9	2.29	20.58	22.88
	10:00 - 19:00	9	3.19	18.37	21.56
	ตลอดทั้งวัน	24	15.29	22.57	37.86
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.38	21.04	25.42
	08:00 - 17:00	9	4.38	21.07	25.46
	09:00 - 18:00	9	4.76	20.20	24.96
	10:00 - 19:00	9	5.36	18.04	23.40
	ตลอดทั้งวัน	24	18.39	22.17	40.56
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.77	13.49	16.26
	08:00 - 17:00	9	2.77	13.52	16.29
	09:00 - 18:00	9	3.33	12.97	16.30
	10:00 - 19:00	9	4.11	11.59	15.70
	ตลอดทั้งวัน	24	16.65	14.23	30.88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.31 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type J) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.13	39.72	40.85
	08:00 - 17:00	9	1.13	39.74	40.87
	09:00 - 18:00	9	1.88	38.06	39.94
	10:00 - 19:00	9	2.81	33.91	36.72
	ตลอดทั้งวัน	24	14.65	41.60	56.25
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.91	21.43	23.34
	08:00 - 17:00	9	1.91	21.47	23.38
	09:00 - 18:00	9	2.61	20.58	23.19
	10:00 - 19:00	9	3.49	18.37	21.87
	ตลอดทั้งวัน	24	15.69	22.57	38.26
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.93	21.04	25.97
	08:00 - 17:00	9	4.93	21.07	26.00
	09:00 - 18:00	9	5.25	20.20	25.46
	10:00 - 19:00	9	5.83	18.04	23.87
	ตลอดทั้งวัน	24	18.98	22.17	41.15
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.24	13.49	16.73
	08:00 - 17:00	9	3.24	13.52	16.76
	09:00 - 18:00	9	3.78	12.97	16.75
	10:00 - 19:00	9	4.54	11.59	16.13
	ตลอดทั้งวัน	24	17.17	14.23	31.41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.32 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนขั้วโมง	ภาระใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.27	49.65	49.92
	08:00 - 17:00	9	0.27	49.67	49.94
	09:00 - 18:00	9	1.05	47.57	48.62
	10:00 - 19:00	9	2.02	42.39	44.41
	ตลอดทั้งวัน	24	13.35	52.00	65.34
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.49	26.79	27.28
	08:00 - 17:00	9	0.49	26.84	27.33
	09:00 - 18:00	9	1.28	25.73	27.00
	10:00 - 19:00	9	2.24	22.97	25.21
	ตลอดทั้งวัน	24	13.74	28.22	41.96
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.23	26.30	28.53
	08:00 - 17:00	9	2.23	26.34	28.57
	09:00 - 18:00	9	2.92	25.25	28.17
	10:00 - 19:00	9	3.74	22.55	26.29
	ตลอดทั้งวัน	24	16.02	27.71	43.74
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.11	16.87	17.97
	08:00 - 17:00	9	1.11	16.90	18.00
	09:00 - 18:00	9	1.89	16.21	18.10
	10:00 - 19:00	9	2.80	14.49	17.29
	ตลอดทั้งวัน	24	14.61	17.79	32.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.33 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.18	49.65	49.83
	08:00 - 17:00	9	0.18	49.67	49.85
	09:00 - 18:00	9	0.93	47.57	48.50
	10:00 - 19:00	9	1.89	42.39	44.28
	ตลอดทั้งวัน	24	13.12	52.00	65.12
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.37	26.79	27.16
	08:00 - 17:00	9	0.37	26.84	27.21
	09:00 - 18:00	9	1.16	25.73	26.88
	10:00 - 19:00	9	2.13	22.97	25.10
	ตลอดทั้งวัน	24	13.54	28.22	41.75
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	1.75	26.30	28.05
	08:00 - 17:00	9	1.75	26.34	28.09
	09:00 - 18:00	9	2.44	25.25	27.70
	10:00 - 19:00	9	3.32	22.55	25.87
	ตลอดทั้งวัน	24	15.44	27.71	43.15
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.83	16.87	17.70
	08:00 - 17:00	9	0.83	16.90	17.73
	09:00 - 18:00	9	1.60	16.21	17.81
	10:00 - 19:00	9	2.56	14.49	17.05
	ตลอดทั้งวัน	24	14.25	17.79	32.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.34 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนขั้วโคม	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.27	49.65	49.92
	08:00 - 17:00	9	0.27	49.67	49.94
	09:00 - 18:00	9	1.02	47.57	48.59
	10:00 - 19:00	9	1.99	42.39	44.38
	ตลอดทั้งวัน	24	13.30	52.00	65.30
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.49	26.79	27.28
	08:00 - 17:00	9	0.49	26.84	27.33
	09:00 - 18:00	9	1.26	25.73	26.98
	10:00 - 19:00	9	2.22	22.97	25.18
	ตลอดทั้งวัน	24	13.70	28.22	41.92
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.02	26.30	28.31
	08:00 - 17:00	9	2.02	26.34	28.36
	09:00 - 18:00	9	2.69	25.25	27.94
	10:00 - 19:00	9	3.51	22.55	26.06
	ตลอดทั้งวัน	24	15.65	27.71	43.36
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.10	16.87	17.97
	08:00 - 17:00	9	1.10	16.90	18.00
	09:00 - 18:00	9	1.87	16.21	18.08
	10:00 - 19:00	9	2.78	14.49	17.27
	ตลอดทั้งวัน	24	14.57	17.79	32.37

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

างที่ 6.35 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนขั้วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.31	49.65	49.96
	08:00 - 17:00	9	0.31	49.67	49.99
	09:00 - 18:00	9	1.08	47.57	48.65
	10:00 - 19:00	9	2.06	42.39	44.45
	ตลอดทั้งวัน	24	13.41	52.00	65.41
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.57	26.79	27.36
	08:00 - 17:00	9	0.57	26.84	27.41
	09:00 - 18:00	9	1.34	25.73	27.06
	10:00 - 19:00	9	2.30	22.97	25.26
	ตลอดทั้งวัน	24	13.83	28.22	42.05
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.39	26.30	28.69
	08:00 - 17:00	9	2.39	26.34	28.74
	09:00 - 18:00	9	3.06	25.25	28.32
	10:00 - 19:00	9	3.86	22.55	26.41
	ตลอดทั้งวัน	24	16.19	27.71	43.90
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.29	16.87	18.15
	08:00 - 17:00	9	1.29	16.90	18.19
	09:00 - 18:00	9	2.00	16.21	18.21
	10:00 - 19:00	9	2.90	14.49	17.39
	ตลอดทั้งวัน	24	14.81	17.79	32.60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.36 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.41	49.65	50.06
	08:00 - 17:00	9	0.41	49.67	50.08
	09:00 - 18:00	9	1.19	47.57	48.76
	10:00 - 19:00	9	2.16	42.39	44.55
	ตลอดทั้งวัน	24	13.57	52.00	65.57
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.77	26.79	27.56
	08:00 - 17:00	9	0.77	26.84	27.61
	09:00 - 18:00	9	1.54	25.73	27.26
	10:00 - 19:00	9	2.49	22.97	25.46
	ตลอดทั้งวัน	24	14.16	28.22	42.38
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.79	26.30	29.08
	08:00 - 17:00	9	2.79	26.34	29.13
	09:00 - 18:00	9	3.35	25.25	28.61
	10:00 - 19:00	9	4.12	22.55	26.67
	ตลอดทั้งวัน	24	16.62	27.71	44.33
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.50	16.87	18.36
	08:00 - 17:00	9	1.50	16.90	18.39
	09:00 - 18:00	9	2.19	16.21	18.40
	10:00 - 19:00	9	3.07	14.49	17.56
	ตลอดทั้งวัน	24	15.07	17.79	32.86

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.37 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.52	49.65	50.18
	08:00 - 17:00	9	0.53	49.67	50.20
	09:00 - 18:00	9	1.30	47.57	48.87
	10:00 - 19:00	9	2.26	42.39	44.65
	ตลอดทั้งวัน	24	13.76	52.00	65.76
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.02	26.79	27.81
	08:00 - 17:00	9	1.02	26.84	27.85
	09:00 - 18:00	9	1.79	25.73	27.52
	10:00 - 19:00	9	2.71	22.97	25.68
	ตลอดทั้งวัน	24	14.48	28.22	42.69
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.12	26.30	29.42
	08:00 - 17:00	9	3.12	26.34	29.46
	09:00 - 18:00	9	3.66	25.25	28.92
	10:00 - 19:00	9	4.42	22.55	26.96
	ตลอดทั้งวัน	24	17.02	27.71	44.73
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.86	16.87	18.73
	08:00 - 17:00	9	1.87	16.90	18.76
	09:00 - 18:00	9	2.55	16.21	18.76
	10:00 - 19:00	9	3.43	14.49	17.91
	ตลอดทั้งวัน	24	15.59	17.79	33.38

ตารางที่ 6.38 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.69	49.65	50.34
	08:00 - 17:00	9	0.69	49.67	50.36
	09:00 - 18:00	9	1.46	47.57	49.03
	10:00 - 19:00	9	2.42	42.39	44.81
	ตลอดทั้งวัน	24	14.05	52.00	66.05
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.25	26.79	28.04
	08:00 - 17:00	9	1.25	26.84	28.09
	09:00 - 18:00	9	1.97	25.73	27.69
	10:00 - 19:00	9	2.88	22.97	25.84
	ตลอดทั้งวัน	24	14.78	28.22	42.99
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.69	26.30	29.99
	08:00 - 17:00	9	3.70	26.34	30.04
	09:00 - 18:00	9	4.21	25.25	29.46
	10:00 - 19:00	9	4.86	22.55	27.41
	ตลอดทั้งวัน	24	17.64	27.71	45.35
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.39	16.87	19.26
	08:00 - 17:00	9	2.39	16.90	19.29
	09:00 - 18:00	9	2.99	16.21	19.20
	10:00 - 19:00	9	3.79	14.49	18.28
	ตลอดทั้งวัน	24	16.18	17.79	33.97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.39 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.93	49.65	50.58
	08:00 - 17:00	9	0.93	49.67	50.60
	09:00 - 18:00	9	1.71	47.57	49.28
	10:00 - 19:00	9	2.67	42.39	45.06
	ตลอดทั้งวัน	24	14.39	52.00	66.39
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.59	26.79	28.38
	08:00 - 17:00	9	1.59	26.84	28.42
	09:00 - 18:00	9	2.29	25.73	28.02
	10:00 - 19:00	9	3.19	22.97	26.15
	ตลอดทั้งวัน	24	15.29	28.22	43.51
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.38	26.30	30.68
	08:00 - 17:00	9	4.38	26.34	30.73
	09:00 - 18:00	9	4.76	25.25	30.01
	10:00 - 19:00	9	5.36	22.55	27.91
	ตลอดทั้งวัน	24	18.39	27.71	46.11
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.77	16.87	19.63
	08:00 - 17:00	9	2.77	16.90	19.67
	09:00 - 18:00	9	3.33	16.21	19.54
	10:00 - 19:00	9	4.11	14.49	18.60
	ตลอดทั้งวัน	24	16.65	17.79	34.44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.40 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.13	49.65	50.78
	08:00 - 17:00	9	1.13	49.67	50.81
	09:00 - 18:00	9	1.88	47.57	49.45
	10:00 - 19:00	9	2.81	42.39	45.20
	ตลอดทั้งวัน	24	14.65	52.00	66.65
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.91	26.79	28.70
	08:00 - 17:00	9	1.91	26.84	28.75
	09:00 - 18:00	9	2.61	25.73	28.33
	10:00 - 19:00	9	3.49	22.97	26.46
	ตลอดทั้งวัน	24	15.69	28.22	43.90
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.93	26.30	31.23
	08:00 - 17:00	9	4.93	26.34	31.27
	09:00 - 18:00	9	5.25	25.25	30.51
	10:00 - 19:00	9	5.83	22.55	28.38
	ตลอดทั้งวัน	24	18.98	27.71	46.69
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.24	16.87	20.10
	08:00 - 17:00	9	3.24	16.90	20.14
	09:00 - 18:00	9	3.78	16.21	19.99
	10:00 - 19:00	9	4.54	14.49	19.03
	ตลอดทั้งวัน	24	17.17	17.79	34.96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.41 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.18	59.58	59.76
	08:00 - 17:00	9	0.18	59.61	59.79
	09:00 - 18:00	9	0.93	57.08	58.01
	10:00 - 19:00	9	1.89	50.87	52.76
	ตลอดทั้งวัน	24	13.12	62.40	75.52
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.37	32.15	32.52
	08:00 - 17:00	9	0.37	32.20	32.57
	09:00 - 18:00	9	1.16	30.87	32.03
	10:00 - 19:00	9	2.13	27.56	29.69
	ตลอดทั้งวัน	24	13.54	33.86	47.40
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	1.75	31.56	33.31
	08:00 - 17:00	9	1.75	31.61	33.37
	09:00 - 18:00	9	2.45	30.30	32.75
	10:00 - 19:00	9	3.33	27.06	30.39
	ตลอดทั้งวัน	24	15.45	33.26	48.70
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.83	20.24	21.08
	08:00 - 17:00	9	0.84	20.28	21.11
	09:00 - 18:00	9	1.61	19.45	21.06
	10:00 - 19:00	9	2.56	17.39	19.95
	ตลอดทั้งวัน	24	14.26	21.35	35.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.42 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.16	59.58	59.74
	08:00 - 17:00	9	0.16	59.61	59.77
	09:00 - 18:00	9	0.88	57.08	57.96
	10:00 - 19:00	9	1.84	50.87	52.71
	ตลอดทั้งวัน	24	13.04	62.40	75.44
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.30	32.15	32.45
	08:00 - 17:00	9	0.30	32.20	32.50
	09:00 - 18:00	9	1.07	30.87	31.94
	10:00 - 19:00	9	2.04	27.56	29.60
	ตลอดทั้งวัน	24	13.41	33.86	47.27
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	1.51	31.56	33.06
	08:00 - 17:00	9	1.51	31.61	33.12
	09:00 - 18:00	9	2.20	30.30	32.51
	10:00 - 19:00	9	3.09	27.06	30.15
	ตลอดทั้งวัน	24	15.07	33.26	48.32
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.72	20.24	20.97
	08:00 - 17:00	9	0.73	20.28	21.00
	09:00 - 18:00	9	1.49	19.45	20.95
	10:00 - 19:00	9	2.45	17.39	19.84
	ตลอดทั้งวัน	24	14.10	21.35	35.45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.43 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.13	59.58	60.71
	08:00 - 17:00	9	1.13	59.61	60.74
	09:00 - 18:00	9	1.88	57.08	58.96
	10:00 - 19:00	9	2.81	50.87	53.67
	ตลอดทั้งวัน	24	14.65	62.40	77.05
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.91	32.15	34.06
	08:00 - 17:00	9	1.91	32.20	34.11
	09:00 - 18:00	9	2.61	30.87	33.48
	10:00 - 19:00	9	3.49	27.56	31.05
	ตลอดทั้งวัน	24	15.69	33.86	49.55
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.93	31.56	36.49
	08:00 - 17:00	9	4.93	31.61	36.54
	09:00 - 18:00	9	5.25	30.30	35.56
	10:00 - 19:00	9	5.83	27.06	32.89
	ตลอดทั้งวัน	24	18.98	33.26	52.23
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.24	20.24	23.48
	08:00 - 17:00	9	3.24	20.28	23.52
	09:00 - 18:00	9	3.78	19.45	23.23
	10:00 - 19:00	9	4.54	17.39	21.93
	ตลอดทั้งวัน	24	17.17	21.35	38.52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

างที่ 6.44 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 70% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.16	69.51	69.67
	08:00 - 17:00	9	0.16	69.54	69.70
	09:00 - 18:00	9	0.88	66.60	67.48
	10:00 - 19:00	9	1.84	59.35	61.19
	ตลอดทั้งวัน	24	13.05	72.80	85.84
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.30	37.51	37.81
	08:00 - 17:00	9	0.30	37.57	37.87
	09:00 - 18:00	9	1.07	36.02	37.09
	10:00 - 19:00	9	2.04	32.15	34.20
	ตลอดทั้งวัน	24	13.42	39.50	52.92
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	1.51	36.82	38.33
	08:00 - 17:00	9	1.51	36.88	38.39
	09:00 - 18:00	9	2.21	35.35	37.56
	10:00 - 19:00	9	3.10	31.57	34.66
	ตลอดทั้งวัน	24	15.07	38.80	53.87
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.73	23.61	24.34
	08:00 - 17:00	9	0.73	23.66	24.39
	09:00 - 18:00	9	1.50	22.69	24.19
	10:00 - 19:00	9	2.45	20.29	22.74
	ตลอดทั้งวัน	24	14.10	24.91	39.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.45 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 80% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.15	79.44	79.59
	08:00 - 17:00	9	0.15	79.48	79.63
	09:00 - 18:00	9	0.87	76.11	76.98
	10:00 - 19:00	9	1.83	67.82	69.65
	ตลอดทั้งวัน	24	13.02	83.19	96.21
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.28	42.87	43.15
	08:00 - 17:00	9	0.28	42.94	43.22
	09:00 - 18:00	9	1.05	41.16	42.21
	10:00 - 19:00	9	2.03	36.75	38.77
	ตลอดทั้งวัน	24	13.38	45.15	58.53
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	1.46	42.08	43.54
	08:00 - 17:00	9	1.46	42.15	43.61
	09:00 - 18:00	9	2.16	40.41	42.57
	10:00 - 19:00	9	3.06	36.08	39.14
	ตลอดทั้งวัน	24	15.01	44.34	59.35
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.62	26.99	27.61
	08:00 - 17:00	9	0.62	27.04	27.66
	09:00 - 18:00	9	1.39	25.94	27.33
	10:00 - 19:00	9	2.35	23.18	25.53
	ตลอดทั้งวัน	24	13.92	28.47	42.38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทางที่ 6.46 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 90% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.13	89.37	89.51
	08:00 - 17:00	9	0.13	89.41	89.55
	09:00 - 18:00	9	0.85	85.62	86.48
	10:00 - 19:00	9	1.81	76.30	78.11
	ตลอดทั้งวัน	24	12.99	93.59	106.59
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.27	48.23	48.49
	08:00 - 17:00	9	0.27	48.30	48.57
	09:00 - 18:00	9	1.04	46.31	47.34
	10:00 - 19:00	9	2.01	41.34	43.35
	ตลอดทั้งวัน	24	13.36	50.79	64.15
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	1.42	47.34	48.75
	08:00 - 17:00	9	1.42	47.42	48.83
	09:00 - 18:00	9	2.13	45.46	47.58
	10:00 - 19:00	9	3.02	40.59	43.61
	ตลอดทั้งวัน	24	14.96	49.88	64.85
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.59	30.36	30.95
	08:00 - 17:00	9	0.59	30.42	31.01
	09:00 - 18:00	9	1.36	29.18	30.54
	10:00 - 19:00	9	2.32	26.08	28.40
	ตลอดทั้งวัน	24	13.87	32.02	45.90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.47 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกทดสอบด้านทิศใต้ ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 100% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.12	99.30	99.43
	08:00 - 17:00	9	0.12	99.35	99.47
	09:00 - 18:00	9	0.83	95.14	95.97
	10:00 - 19:00	9	1.79	84.78	86.57
	ตลอดทั้งวัน	24	12.96	103.99	116.95
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.24	53.59	53.82
	08:00 - 17:00	9	0.24	53.67	53.91
	09:00 - 18:00	9	1.01	51.45	52.46
	10:00 - 19:00	9	1.98	45.93	47.92
	ตลอดทั้งวัน	24	13.31	56.43	69.74
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	1.30	52.60	53.90
	08:00 - 17:00	9	1.31	52.68	53.99
	09:00 - 18:00	9	2.02	50.51	52.53
	10:00 - 19:00	9	2.93	45.10	48.02
	ตลอดทั้งวัน	24	14.83	55.43	70.26
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.54	33.73	34.28
	08:00 - 17:00	9	0.54	33.79	34.34
	09:00 - 18:00	9	1.32	32.42	33.74
	10:00 - 19:00	9	2.28	28.98	31.26
	ตลอดทั้งวัน	24	13.81	35.58	49.39

าบันวิทยบริการ

ตารางที่ 6.48 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 10% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	5.60	9.96	15.56
	08:00 - 17:00	9	6.04	9.96	16.00
	09:00 - 18:00	9	6.86	9.54	16.40
	10:00 - 19:00	9	7.70	8.50	16.20
	ตลอดทั้งวัน	24	19.63	10.45	30.07
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	6.86	5.39	12.25
	08:00 - 17:00	9	7.18	5.40	12.58
	09:00 - 18:00	9	7.75	5.17	12.92
	10:00 - 19:00	9	8.35	4.61	12.96
	ตลอดทั้งวัน	24	20.95	5.70	26.65
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	8.63	5.29	13.92
	08:00 - 17:00	9	8.78	5.30	14.08
	09:00 - 18:00	9	9.06	5.07	14.13
	10:00 - 19:00	9	9.34	4.53	13.87
	ตลอดทั้งวัน	24	22.82	5.60	28.42
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	7.89	3.42	11.31
	08:00 - 17:00	9	8.11	3.43	11.54
	09:00 - 18:00	9	8.51	3.29	11.80
	10:00 - 19:00	9	8.92	2.93	11.86
	ตลอดทั้งวัน	24	22.04	3.64	25.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.49 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.00	19.91	22.92
	08:00 - 17:00	9	3.74	19.92	23.66
	09:00 - 18:00	9	4.70	19.08	23.78
	10:00 - 19:00	9	5.69	17.00	22.69
	ตลอดทั้งวัน	24	16.74	20.90	37.64
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.97	10.79	14.76
	08:00 - 17:00	9	4.67	10.80	15.46
	09:00 - 18:00	9	5.58	10.34	15.92
	10:00 - 19:00	9	6.53	9.22	15.75
	ตลอดทั้งวัน	24	17.86	11.40	29.25
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.91	10.59	17.50
	08:00 - 17:00	9	7.23	10.60	17.83
	09:00 - 18:00	9	7.80	10.15	17.95
	10:00 - 19:00	9	8.40	9.05	17.45
	ตลอดทั้งวัน	24	21.01	11.20	32.20
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.34	6.85	12.19
	08:00 - 17:00	9	5.81	6.86	12.67
	09:00 - 18:00	9	6.63	6.57	13.21
	10:00 - 19:00	9	7.48	5.87	13.34
	ตลอดทั้งวัน	24	19.35	7.27	26.62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.50 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.97	19.91	22.88
	08:00 - 17:00	9	3.69	19.92	23.61
	09:00 - 18:00	9	4.65	19.08	23.72
	10:00 - 19:00	9	5.63	17.00	22.63
	ตลอดทั้งวัน	24	16.68	20.90	37.58
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.93	10.79	14.72
	08:00 - 17:00	9	4.61	10.80	15.41
	09:00 - 18:00	9	5.52	10.34	15.87
	10:00 - 19:00	9	6.46	9.22	15.69
	ตลอดทั้งวัน	24	17.80	11.40	29.20
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.65	10.59	17.23
	08:00 - 17:00	9	6.98	10.60	17.58
	09:00 - 18:00	9	7.64	10.15	17.79
	10:00 - 19:00	9	8.32	9.05	17.37
	ตลอดทั้งวัน	24	20.73	11.20	31.93
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.20	6.85	12.05
	08:00 - 17:00	9	5.69	6.86	12.55
	09:00 - 18:00	9	6.51	6.57	13.08
	10:00 - 19:00	9	7.34	5.87	13.21
	ตลอดทั้งวัน	24	19.20	7.27	26.47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.51 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.88	19.91	22.79
	08:00 - 17:00	9	3.59	19.92	23.51
	09:00 - 18:00	9	4.53	19.08	23.61
	10:00 - 19:00	9	5.52	17.00	22.52
	ตลอดทั้งวัน	24	16.57	20.90	37.47
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.88	10.79	14.67
	08:00 - 17:00	9	4.54	10.80	15.34
	09:00 - 18:00	9	5.44	10.34	15.78
	10:00 - 19:00	9	6.37	9.22	15.60
	ตลอดทั้งวัน	24	17.73	11.40	29.13
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.51	10.59	17.10
	08:00 - 17:00	9	6.86	10.60	17.46
	09:00 - 18:00	9	7.51	10.15	17.66
	10:00 - 19:00	9	8.18	9.05	17.23
	ตลอดทั้งวัน	24	20.59	11.20	31.79
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.14	6.85	11.99
	08:00 - 17:00	9	5.69	6.86	12.55
	09:00 - 18:00	9	6.49	6.57	13.06
	10:00 - 19:00	9	7.32	5.87	13.18
	ตลอดทั้งวัน	24	19.12	7.27	26.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.52 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.97	19.91	22.88
	08:00 - 17:00	9	3.67	19.92	23.59
	09:00 - 18:00	9	4.61	19.08	23.68
	10:00 - 19:00	9	5.58	17.00	22.58
	ตลอดทั้งวัน	24	16.66	20.90	37.55
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.95	10.79	14.74
	08:00 - 17:00	9	4.59	10.80	15.39
	09:00 - 18:00	9	5.48	10.34	15.82
	10:00 - 19:00	9	6.40	9.22	15.62
	ตลอดทั้งวัน	24	17.79	11.40	29.19
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.54	10.59	17.13
	08:00 - 17:00	9	6.89	10.60	17.49
	09:00 - 18:00	9	7.53	10.15	17.67
	10:00 - 19:00	9	8.18	9.05	17.23
	ตลอดทั้งวัน	24	20.62	11.20	31.81
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.21	6.85	12.06
	08:00 - 17:00	9	5.74	6.86	12.60
	09:00 - 18:00	9	6.53	6.57	13.10
	10:00 - 19:00	9	7.33	5.87	13.20
	ตลอดทั้งวัน	24	19.19	7.27	26.47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทางที่ 6.53 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.19	19.91	23.11
	08:00 - 17:00	9	3.84	19.92	23.76
	09:00 - 18:00	9	4.76	19.08	23.83
	10:00 - 19:00	9	5.73	17.00	22.73
	ตลอดทั้งวัน	24	16.91	20.90	37.81
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	4.18	10.79	14.96
	08:00 - 17:00	9	4.81	10.80	15.60
	09:00 - 18:00	9	5.68	10.34	16.02
	10:00 - 19:00	9	6.58	9.22	15.81
	ตลอดทั้งวัน	24	18.04	11.40	29.44
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.63	10.59	17.22
	08:00 - 17:00	9	6.97	10.60	17.57
	09:00 - 18:00	9	7.56	10.15	17.71
	10:00 - 19:00	9	8.18	9.05	17.23
	ตลอดทั้งวัน	24	20.72	11.20	31.91
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.41	6.85	12.26
	08:00 - 17:00	9	5.91	6.86	12.77
	09:00 - 18:00	9	6.67	6.57	13.25
	10:00 - 19:00	9	7.46	5.87	13.32
	ตลอดทั้งวัน	24	19.41	7.27	26.68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.54 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.86	19.91	23.77
	08:00 - 17:00	9	4.51	19.92	24.43
	09:00 - 18:00	9	5.41	19.08	24.49
	10:00 - 19:00	9	6.34	17.00	23.34
	ตลอดทั้งวัน	24	17.69	20.90	38.58
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	4.84	10.79	15.63
	08:00 - 17:00	9	5.39	10.80	16.19
	09:00 - 18:00	9	6.20	10.34	16.54
	10:00 - 19:00	9	7.04	9.22	16.26
	ตลอดทั้งวัน	24	18.79	11.40	30.19
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	7.19	10.59	17.78
	08:00 - 17:00	9	7.47	10.60	18.06
	09:00 - 18:00	9	8.02	10.15	18.16
	10:00 - 19:00	9	8.58	9.05	17.64
	ตลอดทั้งวัน	24	21.32	11.20	32.52
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	6.08	6.85	12.93
	08:00 - 17:00	9	6.55	6.86	13.41
	09:00 - 18:00	9	7.21	6.57	13.78
	10:00 - 19:00	9	7.89	5.87	13.76
	ตลอดทั้งวัน	24	20.13	7.27	27.40

สถาบันวิทยบริการ
าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.55 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.72	29.87	31.59
	08:00 - 17:00	9	2.42	29.88	32.30
	09:00 - 18:00	9	3.37	28.61	31.98
	10:00 - 19:00	9	4.38	25.50	29.88
	ตลอดทั้งวัน	24	15.15	31.35	46.49
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.65	16.18	18.83
	08:00 - 17:00	9	3.37	16.20	19.57
	09:00 - 18:00	9	4.33	15.51	19.84
	10:00 - 19:00	9	5.34	13.84	19.17
	ตลอดทั้งวัน	24	16.30	17.10	33.40
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.06	15.88	20.94
	08:00 - 17:00	9	5.63	15.90	21.53
	09:00 - 18:00	9	6.46	15.22	21.68
	10:00 - 19:00	9	7.31	13.58	20.89
	ตลอดทั้งวัน	24	19.05	16.79	35.84
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.71	10.27	13.98
	08:00 - 17:00	9	4.39	10.29	14.68
	09:00 - 18:00	9	5.31	9.86	15.17
	10:00 - 19:00	9	6.26	8.80	15.06
	ตลอดทั้งวัน	24	17.56	10.91	28.46

สถาบันวิทยบริการ
าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ารางที่ 6.56 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.66	29.87	31.53
	08:00 - 17:00	9	2.34	29.88	32.22
	09:00 - 18:00	9	3.29	28.61	31.90
	10:00 - 19:00	9	4.30	25.50	29.80
	ตลอดทั้งวัน	24	15.05	31.35	46.39
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.58	16.18	18.76
	08:00 - 17:00	9	3.28	16.20	19.48
	09:00 - 18:00	9	4.23	15.51	19.74
	10:00 - 19:00	9	5.22	13.84	19.06
	ตลอดทั้งวัน	24	16.20	17.10	33.30
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.98	15.88	20.86
	08:00 - 17:00	9	5.55	15.90	21.44
	09:00 - 18:00	9	6.36	15.22	21.58
	10:00 - 19:00	9	7.19	13.58	20.77
	ตลอดทั้งวัน	24	18.95	16.79	35.75
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.75	10.27	14.02
	08:00 - 17:00	9	4.42	10.29	14.70
	09:00 - 18:00	9	5.32	9.86	15.18
	10:00 - 19:00	9	6.26	8.80	15.06
	ตลอดทั้งวัน	24	17.58	10.91	28.49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.57 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.66	29.87	31.53
	08:00 - 17:00	9	2.32	29.88	32.20
	09:00 - 18:00	9	3.27	28.61	31.88
	10:00 - 19:00	9	4.27	25.50	29.77
	ตลอดทั้งวัน	24	14.96	31.35	46.31
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.46	16.18	18.64
	08:00 - 17:00	9	3.14	16.20	19.34
	09:00 - 18:00	9	4.08	15.51	19.59
	10:00 - 19:00	9	5.07	13.84	18.90
	ตลอดทั้งวัน	24	16.06	17.10	33.16
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.94	15.88	20.82
	08:00 - 17:00	9	5.48	15.90	21.38
	09:00 - 18:00	9	6.27	15.22	21.49
	10:00 - 19:00	9	7.08	13.58	20.66
	ตลอดทั้งวัน	24	18.90	16.79	35.70
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.81	10.27	14.08
	08:00 - 17:00	9	4.45	10.29	14.74
	09:00 - 18:00	9	5.34	9.86	15.20
	10:00 - 19:00	9	6.26	8.80	15.06
	ตลอดทั้งวัน	24	17.62	10.91	28.53

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.58 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.88	29.87	31.75
	08:00 - 17:00	9	2.51	29.88	32.39
	09:00 - 18:00	9	3.46	28.61	32.07
	10:00 - 19:00	9	4.46	25.50	29.96
	ตลอดทั้งวัน	24	15.21	31.35	46.56
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.67	16.18	18.85
	08:00 - 17:00	9	3.34	16.20	19.54
	09:00 - 18:00	9	4.27	15.51	19.78
	10:00 - 19:00	9	5.25	13.84	19.08
	ตลอดทั้งวัน	24	16.29	17.10	33.38
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.21	15.88	21.09
	08:00 - 17:00	9	5.71	15.90	21.61
	09:00 - 18:00	9	6.47	15.22	21.70
	10:00 - 19:00	9	7.26	13.58	20.84
	ตลอดทั้งวัน	24	19.17	16.79	35.97
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.90	10.27	14.17
	08:00 - 17:00	9	4.52	10.29	14.81
	09:00 - 18:00	9	5.39	9.86	15.25
	10:00 - 19:00	9	6.29	8.80	15.09
	ตลอดทั้งวัน	24	17.72	10.91	28.63

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.59 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.35	29.87	32.22
	08:00 - 17:00	9	3.01	29.88	32.89
	09:00 - 18:00	9	3.95	28.61	32.56
	10:00 - 19:00	9	4.94	25.50	30.44
	ตลอดทั้งวัน	24	15.80	31.35	47.14
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.16	16.18	19.34
	08:00 - 17:00	9	3.79	16.20	19.98
	09:00 - 18:00	9	4.68	15.51	20.19
	10:00 - 19:00	9	5.62	13.84	19.45
	ตลอดทั้งวัน	24	16.88	17.10	33.98
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.69	15.88	21.57
	08:00 - 17:00	9	6.16	15.90	22.06
	09:00 - 18:00	9	6.89	15.22	22.11
	10:00 - 19:00	9	7.64	13.58	21.22
	ตลอดทั้งวัน	24	19.71	16.79	36.50
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	4.55	10.27	14.83
	08:00 - 17:00	9	5.16	10.29	15.45
	09:00 - 18:00	9	5.96	9.86	15.82
	10:00 - 19:00	9	6.79	8.80	15.60
	ตลอดทั้งวัน	24	18.45	10.91	29.36

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทางที่ 6.60 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.88	29.87	32.75
	08:00 - 17:00	9	3.59	29.88	33.47
	09:00 - 18:00	9	4.53	28.61	33.15
	10:00 - 19:00	9	5.52	25.50	31.02
	ตลอดทั้งวัน	24	16.57	31.35	47.92
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.88	16.18	20.06
	08:00 - 17:00	9	4.54	16.20	20.74
	09:00 - 18:00	9	5.44	15.51	20.95
	10:00 - 19:00	9	6.37	13.84	20.21
	ตลอดทั้งวัน	24	17.73	17.10	34.83
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.51	15.88	22.39
	08:00 - 17:00	9	6.86	15.90	22.76
	09:00 - 18:00	9	7.51	15.22	22.73
	10:00 - 19:00	9	8.18	13.58	21.76
	ตลอดทั้งวัน	24	20.59	16.79	37.39
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.14	10.27	15.41
	08:00 - 17:00	9	5.69	10.29	15.98
	09:00 - 18:00	9	6.49	9.86	16.35
	10:00 - 19:00	9	7.32	8.80	16.12
	ตลอดทั้งวัน	24	19.12	10.91	30.03

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.61 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนขั้วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.97	29.87	32.84
	08:00 - 17:00	9	3.67	29.88	33.54
	09:00 - 18:00	9	4.61	28.61	33.22
	10:00 - 19:00	9	5.58	25.50	31.08
	ตลอดทั้งวัน	24	16.66	31.35	48.00
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.95	16.18	20.13
	08:00 - 17:00	9	4.59	16.20	20.79
	09:00 - 18:00	9	5.48	15.51	20.99
	10:00 - 19:00	9	6.40	13.84	20.24
	ตลอดทั้งวัน	24	17.79	17.10	34.89
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.54	15.88	22.42
	08:00 - 17:00	9	6.89	15.90	22.79
	09:00 - 18:00	9	7.53	15.22	22.75
	10:00 - 19:00	9	8.18	13.58	21.76
	ตลอดทั้งวัน	24	20.62	16.79	37.41
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.21	10.27	15.49
	08:00 - 17:00	9	5.74	10.29	16.03
	09:00 - 18:00	9	6.53	9.86	16.39
	10:00 - 19:00	9	7.33	8.80	16.13
	ตลอดทั้งวัน	24	19.19	10.91	30.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.62 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.19	29.87	33.06
	08:00 - 17:00	9	3.84	29.88	33.72
	09:00 - 18:00	9	4.76	28.61	33.37
	10:00 - 19:00	9	5.73	25.50	31.23
	ตลอดทั้งวัน	24	16.91	31.35	48.26
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	4.18	16.18	20.36
	08:00 - 17:00	9	4.81	16.20	21.00
	09:00 - 18:00	9	5.68	15.51	21.19
	10:00 - 19:00	9	6.58	13.84	20.42
	ตลอดทั้งวัน	24	18.04	17.10	35.14
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.63	15.88	22.51
	08:00 - 17:00	9	6.97	15.90	22.87
	09:00 - 18:00	9	7.56	15.22	22.79
	10:00 - 19:00	9	8.18	13.58	21.76
	ตลอดทั้งวัน	24	20.72	16.79	37.51
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.41	10.27	15.69
	08:00 - 17:00	9	5.91	10.29	16.20
	09:00 - 18:00	9	6.67	9.86	16.53
	10:00 - 19:00	9	7.46	8.80	16.26
	ตลอดทั้งวัน	24	19.41	10.91	30.32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.63 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type I) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.86	29.87	33.73
	08:00 - 17:00	9	4.51	29.88	34.39
	09:00 - 18:00	9	5.41	28.61	34.02
	10:00 - 19:00	9	6.34	25.50	31.84
	ตลอดทั้งวัน	24	17.69	31.35	49.03
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	4.84	16.18	21.02
	08:00 - 17:00	9	5.39	16.20	21.58
	09:00 - 18:00	9	6.20	15.51	21.71
	10:00 - 19:00	9	7.04	13.84	20.87
	ตลอดทั้งวัน	24	18.79	17.10	35.89
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	7.19	15.88	23.07
	08:00 - 17:00	9	7.47	15.90	23.36
	09:00 - 18:00	9	8.02	15.22	23.24
	10:00 - 19:00	9	8.58	13.58	22.16
	ตลอดทั้งวัน	24	21.32	16.79	38.11
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	6.08	10.27	16.35
	08:00 - 17:00	9	6.55	10.29	16.84
	09:00 - 18:00	9	7.21	9.86	17.07
	10:00 - 19:00	9	7.89	8.80	16.70
	ตลอดทั้งวัน	24	20.13	10.91	31.04

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.64 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.97	39.83	40.80
	08:00 - 17:00	9	1.58	39.84	41.42
	09:00 - 18:00	9	2.51	38.15	40.66
	10:00 - 19:00	9	3.51	34.00	37.51
	ตลอดทั้งวัน	24	13.98	41.80	55.78
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.66	21.57	23.23
	08:00 - 17:00	9	2.34	21.60	23.94
	09:00 - 18:00	9	3.30	20.68	23.98
	10:00 - 19:00	9	4.31	18.45	22.75
	ตลอดทั้งวัน	24	15.07	22.80	37.86
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.01	21.18	25.18
	08:00 - 17:00	9	4.67	21.20	25.87
	09:00 - 18:00	9	5.56	20.30	25.86
	10:00 - 19:00	9	6.49	18.11	24.59
	ตลอดทั้งวัน	24	17.88	22.39	40.27
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.77	13.70	16.47
	08:00 - 17:00	9	3.48	13.72	17.20
	09:00 - 18:00	9	4.43	13.15	17.58
	10:00 - 19:00	9	5.42	11.74	17.16
	ตลอดทั้งวัน	24	16.45	14.55	31.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.65 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.03	39.83	40.86
	08:00 - 17:00	9	1.62	39.84	41.46
	09:00 - 18:00	9	2.55	38.15	40.70
	10:00 - 19:00	9	3.55	34.00	37.55
	ตลอดทั้งวัน	24	14.04	41.80	55.83
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.63	21.57	23.20
	08:00 - 17:00	9	2.30	21.60	23.89
	09:00 - 18:00	9	3.24	20.68	23.93
	10:00 - 19:00	9	4.25	18.45	22.70
	ตลอดทั้งวัน	24	14.93	22.80	37.73
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.03	21.18	25.21
	08:00 - 17:00	9	4.67	21.20	25.87
	09:00 - 18:00	9	5.55	20.30	25.85
	10:00 - 19:00	9	6.47	18.11	24.57
	ตลอดทั้งวัน	24	17.88	22.39	40.28
กระจกอนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.79	13.70	16.49
	08:00 - 17:00	9	3.48	13.72	17.20
	09:00 - 18:00	9	4.42	13.15	17.57
	10:00 - 19:00	9	5.40	11.74	17.14
	ตลอดทั้งวัน	24	16.45	14.55	30.99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.66 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความสองสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความสองสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.25	39.85	41.10
	08:00 - 17:00	9	1.73	39.86	41.59
	09:00 - 18:00	9	2.65	38.17	40.83
	10:00 - 19:00	9	3.66	34.00	37.66
	ตลอดทั้งวัน	24	14.25	41.84	56.09
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.81	21.61	23.42
	08:00 - 17:00	9	2.45	21.63	24.08
	09:00 - 18:00	9	3.39	20.72	24.11
	10:00 - 19:00	9	4.39	18.47	22.86
	ตลอดทั้งวัน	24	15.14	22.85	37.99
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.11	21.23	25.34
	08:00 - 17:00	9	4.73	21.25	25.98
	09:00 - 18:00	9	5.59	20.35	25.94
	10:00 - 19:00	9	6.49	18.13	24.62
	ตลอดทั้งวัน	24	17.96	22.47	40.43
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.77	13.72	16.49
	08:00 - 17:00	9	3.44	13.74	17.19
	09:00 - 18:00	9	4.37	13.18	17.55
	10:00 - 19:00	9	5.34	11.76	17.10
	ตลอดทั้งวัน	24	16.42	14.59	31.01

ตารางที่ 6.67 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.54	39.85	41.39
	08:00 - 17:00	9	2.04	39.86	41.90
	09:00 - 18:00	9	2.97	38.17	41.15
	10:00 - 19:00	9	3.98	34.00	37.97
	ตลอดทั้งวัน	24	14.65	41.84	56.49
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.26	21.61	23.87
	08:00 - 17:00	9	2.90	21.63	24.54
	09:00 - 18:00	9	3.84	20.72	24.56
	10:00 - 19:00	9	4.82	18.47	23.29
	ตลอดทั้งวัน	24	15.67	22.85	38.53
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.65	21.23	25.88
	08:00 - 17:00	9	5.25	21.25	26.50
	09:00 - 18:00	9	6.04	20.35	26.39
	10:00 - 19:00	9	6.86	18.13	24.99
	ตลอดทั้งวัน	24	18.55	22.47	41.02
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.23	13.72	16.95
	08:00 - 17:00	9	3.84	13.74	17.59
	09:00 - 18:00	9	4.73	13.18	17.91
	10:00 - 19:00	9	5.66	11.76	17.41
	ตลอดทั้งวัน	24	16.95	14.59	31.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.68 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนขั้วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.66	39.85	41.51
	08:00 - 17:00	9	2.32	39.86	42.18
	09:00 - 18:00	9	3.27	38.17	41.44
	10:00 - 19:00	9	4.27	34.00	38.27
	ตลอดทั้งวัน	24	14.96	41.84	56.80
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.46	21.61	24.07
	08:00 - 17:00	9	3.14	21.63	24.78
	09:00 - 18:00	9	4.08	20.72	24.80
	10:00 - 19:00	9	5.07	18.47	23.53
	ตลอดทั้งวัน	24	16.06	22.85	38.92
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.94	21.23	26.17
	08:00 - 17:00	9	5.48	21.25	26.73
	09:00 - 18:00	9	6.27	20.35	26.62
	10:00 - 19:00	9	7.08	18.13	25.22
	ตลอดทั้งวัน	24	18.90	22.47	41.37
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.81	13.72	17.53
	08:00 - 17:00	9	4.45	13.74	18.20
	09:00 - 18:00	9	5.34	13.18	18.52
	10:00 - 19:00	9	6.26	11.76	18.02
	ตลอดทั้งวัน	24	17.62	14.59	32.22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.69 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.88	39.85	41.73
	08:00 - 17:00	9	2.51	39.86	42.38
	09:00 - 18:00	9	3.46	38.17	41.63
	10:00 - 19:00	9	4.46	34.00	38.46
	ตลอดทั้งวัน	24	15.21	41.84	57.05
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.67	21.61	24.28
	08:00 - 17:00	9	3.34	21.63	24.97
	09:00 - 18:00	9	4.27	20.72	24.99
	10:00 - 19:00	9	5.25	18.47	23.71
	ตลอดทั้งวัน	24	16.29	22.85	39.14
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.21	21.23	26.43
	08:00 - 17:00	9	5.71	21.25	26.96
	09:00 - 18:00	9	6.47	20.35	26.82
	10:00 - 19:00	9	7.26	18.13	25.39
	ตลอดทั้งวัน	24	19.17	22.47	41.64
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.90	13.72	17.62
	08:00 - 17:00	9	4.52	13.74	18.26
	09:00 - 18:00	9	5.39	13.18	18.57
	10:00 - 19:00	9	6.29	11.76	18.05
	ตลอดทั้งวัน	24	17.72	14.59	32.32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.70 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชัวโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.35	39.85	42.21
	08:00 - 17:00	9	3.01	39.86	42.87
	09:00 - 18:00	9	3.95	38.17	42.12
	10:00 - 19:00	9	4.94	34.00	38.93
	ตลอดทั้งวัน	24	15.80	41.84	57.64
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.16	21.61	24.77
	08:00 - 17:00	9	3.79	21.63	25.42
	09:00 - 18:00	9	4.68	20.72	25.40
	10:00 - 19:00	9	5.62	18.47	24.08
	ตลอดทั้งวัน	24	16.88	22.85	39.73
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.69	21.23	26.92
	08:00 - 17:00	9	6.16	21.25	27.41
	09:00 - 18:00	9	6.89	20.35	27.24
	10:00 - 19:00	9	7.64	18.13	25.77
	ตลอดทั้งวัน	24	19.71	22.47	42.18
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	4.55	13.72	18.28
	08:00 - 17:00	9	5.16	13.74	18.90
	09:00 - 18:00	9	5.96	13.18	19.14
	10:00 - 19:00	9	6.79	11.76	18.55
	ตลอดทั้งวัน	24	18.45	14.59	33.04

ตารางที่ 6.71 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.69	49.82	50.50
	08:00 - 17:00	9	1.11	49.83	50.94
	09:00 - 18:00	9	2.02	47.72	49.73
	10:00 - 19:00	9	3.02	42.50	45.51
	ตลอดทั้งวัน	24	13.44	52.30	65.74
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.14	27.01	28.16
	08:00 - 17:00	9	1.76	27.04	28.80
	09:00 - 18:00	9	2.70	25.90	28.60
	10:00 - 19:00	9	3.70	23.08	26.79
	ตลอดทั้งวัน	24	14.29	28.57	42.85
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.18	26.53	29.71
	08:00 - 17:00	9	3.89	26.56	30.45
	09:00 - 18:00	9	4.83	25.44	30.26
	10:00 - 19:00	9	5.80	22.67	28.46
	ตลอดทั้งวัน	24	16.93	28.08	45.01
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.97	17.16	19.13
	08:00 - 17:00	9	2.65	17.18	19.83
	09:00 - 18:00	9	3.61	16.47	20.08
	10:00 - 19:00	9	4.61	14.69	19.31
	ตลอดทั้งวัน	24	15.48	18.24	33.72

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.72 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.55	59.78	60.33
	08:00 - 17:00	9	0.93	59.79	60.73
	09:00 - 18:00	9	1.82	57.26	59.08
	10:00 - 19:00	9	2.81	51.00	53.81
	ตลอดทั้งวัน	24	13.21	62.76	75.97
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.88	32.41	33.30
	08:00 - 17:00	9	1.35	32.45	33.80
	09:00 - 18:00	9	2.27	31.08	33.35
	10:00 - 19:00	9	3.27	27.70	30.97
	ตลอดทั้งวัน	24	13.74	34.28	48.02
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.73	31.84	34.56
	08:00 - 17:00	9	3.41	31.87	35.28
	09:00 - 18:00	9	4.35	30.53	34.88
	10:00 - 19:00	9	5.33	27.20	32.53
	ตลอดทั้งวัน	24	16.37	33.70	50.07
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.64	20.59	22.23
	08:00 - 17:00	9	2.30	20.62	22.92
	09:00 - 18:00	9	3.25	19.77	23.01
	10:00 - 19:00	9	4.25	17.63	21.88
	ตลอดทั้งวัน	24	14.94	21.89	36.82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.73 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 70% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.48	69.29	69.77
	08:00 - 17:00	9	0.84	69.31	70.15
	09:00 - 18:00	9	1.71	66.36	68.07
	10:00 - 19:00	9	2.70	59.08	61.79
	ตลอดทั้งวัน	24	13.08	72.28	85.36
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.82	37.33	38.15
	08:00 - 17:00	9	1.27	37.37	38.64
	09:00 - 18:00	9	2.18	35.80	37.98
	10:00 - 19:00	9	3.18	31.90	35.07
	ตลอดทั้งวัน	24	13.63	39.03	52.66
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.48	36.53	39.01
	08:00 - 17:00	9	3.15	36.57	39.72
	09:00 - 18:00	9	4.09	35.04	39.13
	10:00 - 19:00	9	5.07	31.22	36.29
	ตลอดทั้งวัน	24	16.05	38.20	54.25
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.46	23.69	25.15
	08:00 - 17:00	9	2.10	23.72	25.82
	09:00 - 18:00	9	3.04	22.74	25.78
	10:00 - 19:00	9	4.04	20.29	24.33
	ตลอดทั้งวัน	24	14.70	24.84	39.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.74 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 80% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.46	79.19	79.65
	08:00 - 17:00	9	0.81	79.21	80.02
	09:00 - 18:00	9	1.68	75.84	77.52
	10:00 - 19:00	9	2.67	67.53	70.19
	ตลอดทั้งวัน	24	13.04	82.60	95.64
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.79	42.66	43.45
	08:00 - 17:00	9	1.23	42.70	43.94
	09:00 - 18:00	9	2.14	40.92	43.06
	10:00 - 19:00	9	3.14	36.45	39.59
	ตลอดทั้งวัน	24	13.59	44.60	58.19
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.43	41.75	44.18
	08:00 - 17:00	9	3.10	41.79	44.89
	09:00 - 18:00	9	4.04	40.05	44.09
	10:00 - 19:00	9	5.03	35.68	40.71
	ตลอดทั้งวัน	24	15.99	43.66	59.64
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.42	27.07	28.49
	08:00 - 17:00	9	2.05	27.11	29.16
	09:00 - 18:00	9	2.99	25.99	28.98
	10:00 - 19:00	9	4.00	23.18	27.18
	ตลอดทั้งวัน	24	14.64	28.39	43.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.75 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 90% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.44	89.09	89.53
	08:00 - 17:00	9	0.71	89.11	89.83
	09:00 - 18:00	9	1.58	85.32	86.90
	10:00 - 19:00	9	2.57	75.97	78.53
	ตลอดทั้งวัน	24	12.89	92.93	105.82
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.76	48.00	48.76
	08:00 - 17:00	9	1.20	48.04	49.24
	09:00 - 18:00	9	2.10	46.03	48.14
	10:00 - 19:00	9	3.10	41.01	44.12
	ตลอดทั้งวัน	24	13.55	50.18	63.72
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.38	46.97	49.35
	08:00 - 17:00	9	3.05	47.01	50.07
	09:00 - 18:00	9	4.00	45.05	49.05
	10:00 - 19:00	9	4.99	40.14	45.13
	ตลอดทั้งวัน	24	15.93	49.11	65.04
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	0.94	30.45	31.39
	08:00 - 17:00	9	0.94	30.50	31.44
	09:00 - 18:00	9	1.71	29.24	30.95
	10:00 - 19:00	9	2.64	26.08	28.72
	ตลอดทั้งวัน	24	14.38	31.93	46.31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.76 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันออก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 100% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.40	98.99	99.39
	08:00 - 17:00	9	0.67	99.01	99.68
	09:00 - 18:00	9	1.53	94.80	96.33
	10:00 - 19:00	9	2.52	84.41	86.92
	ตลอดทั้งวัน	24	12.83	103.25	116.09
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.71	53.33	54.04
	08:00 - 17:00	9	1.14	53.38	54.52
	09:00 - 18:00	9	2.04	51.15	53.19
	10:00 - 19:00	9	3.04	45.57	48.61
	ตลอดทั้งวัน	24	13.47	55.75	69.22
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.29	52.19	54.48
	08:00 - 17:00	9	2.96	52.24	55.20
	09:00 - 18:00	9	3.91	50.06	53.97
	10:00 - 19:00	9	4.91	44.60	49.51
	ตลอดทั้งวัน	24	15.81	54.57	70.38
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.25	33.84	35.09
	08:00 - 17:00	9	1.87	33.89	35.76
	09:00 - 18:00	9	2.81	32.49	35.30
	10:00 - 19:00	9	3.82	28.98	32.80
	ตลอดทั้งวัน	24	14.43	35.48	49.91

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.77 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 10% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	5.40	9.90	15.30
	08:00 - 17:00	9	4.93	9.90	14.83
	09:00 - 18:00	9	4.94	9.48	14.42
	10:00 - 19:00	9	5.14	8.44	13.59
	ตลอดทั้งวัน	24	18.98	10.33	29.31
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	6.63	5.33	11.96
	08:00 - 17:00	9	6.29	5.34	11.62
	09:00 - 18:00	9	6.29	5.11	11.41
	10:00 - 19:00	9	6.45	4.56	11.00
	ตลอดทั้งวัน	24	20.40	5.58	25.98
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	8.53	5.22	13.75
	08:00 - 17:00	9	8.37	5.22	13.59
	09:00 - 18:00	9	8.37	5.01	13.37
	10:00 - 19:00	9	8.44	4.46	12.90
	ตลอดทั้งวัน	24	22.57	5.46	28.03
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	7.76	3.38	11.15
	08:00 - 17:00	9	7.52	3.39	10.91
	09:00 - 18:00	9	7.53	3.25	10.78
	10:00 - 19:00	9	7.63	2.90	10.53
	ตลอดทั้งวัน	24	21.69	3.55	25.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.78 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.02	19.80	22.82
	08:00 - 17:00	9	2.25	19.80	22.05
	09:00 - 18:00	9	2.26	18.96	21.22
	10:00 - 19:00	9	2.70	16.88	19.58
	ตลอดทั้งวัน	24	16.04	20.65	36.69
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.89	10.67	14.56
	08:00 - 17:00	9	3.17	10.68	13.85
	09:00 - 18:00	9	3.18	10.23	13.41
	10:00 - 19:00	9	3.50	9.11	12.62
	ตลอดทั้งวัน	24	17.09	11.15	28.24
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.61	10.44	17.04
	08:00 - 17:00	9	6.26	10.45	16.71
	09:00 - 18:00	9	6.27	10.01	16.28
	10:00 - 19:00	9	6.42	8.92	15.34
	ตลอดทั้งวัน	24	20.38	10.91	31.29
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.12	6.77	11.89
	08:00 - 17:00	9	4.62	6.78	11.40
	09:00 - 18:00	9	4.63	6.50	11.13
	10:00 - 19:00	9	4.85	5.80	10.65
	ตลอดทั้งวัน	24	18.66	7.10	25.75

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.79 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	4.18	19.80	23.97
	08:00 - 17:00	9	3.47	19.80	23.28
	09:00 - 18:00	9	3.48	18.96	22.44
	10:00 - 19:00	9	3.78	16.88	20.66
	ตลอดทั้งวัน	24	17.43	20.65	38.08
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	5.21	10.67	15.87
	08:00 - 17:00	9	4.72	10.68	15.40
	09:00 - 18:00	9	4.73	10.23	14.96
	10:00 - 19:00	9	4.95	9.11	14.06
	ตลอดทั้งวัน	24	18.77	11.15	29.92
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	7.85	10.44	18.28
	08:00 - 17:00	9	7.62	10.45	18.06
	09:00 - 18:00	9	7.62	10.01	17.63
	10:00 - 19:00	9	7.72	8.92	16.64
	ตลอดทั้งวัน	24	21.79	10.91	32.70
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	6.67	6.77	13.43
	08:00 - 17:00	9	6.33	6.78	13.11
	09:00 - 18:00	9	6.34	6.50	12.83
	10:00 - 19:00	9	6.49	5.80	12.28
	ตลอดทั้งวัน	24	20.45	7.10	27.55

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.80 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.95	19.80	22.74
	08:00 - 17:00	9	2.20	19.80	22.00
	09:00 - 18:00	9	2.21	18.96	21.18
	10:00 - 19:00	9	2.68	16.88	19.57
	ตลอดทั้งวัน	24	15.95	20.65	36.61
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.82	10.67	14.48
	08:00 - 17:00	9	3.12	10.68	13.80
	09:00 - 18:00	9	3.13	10.23	13.36
	10:00 - 19:00	9	3.48	9.11	12.60
	ตลอดทั้งวัน	24	17.02	11.15	28.17
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.25	10.44	16.69
	08:00 - 17:00	9	5.88	10.45	16.33
	09:00 - 18:00	9	5.88	10.01	15.90
	10:00 - 19:00	9	6.05	8.92	14.97
	ตลอดทั้งวัน	24	19.98	10.91	30.89
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.00	6.77	11.76
	08:00 - 17:00	9	4.42	6.78	11.20
	09:00 - 18:00	9	4.43	6.50	10.92
	10:00 - 19:00	9	4.67	5.80	10.46
	ตลอดทั้งวัน	24	18.44	7.10	25.53

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.81 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.93	19.80	22.73
	08:00 - 17:00	9	2.19	19.80	22.00
	09:00 - 18:00	9	2.21	18.96	21.17
	10:00 - 19:00	9	2.77	16.88	19.65
	ตลอดทั้งวัน	24	15.94	20.65	36.59
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	3.81	10.67	14.47
	08:00 - 17:00	9	3.13	10.68	13.81
	09:00 - 18:00	9	3.14	10.23	13.37
	10:00 - 19:00	9	3.50	9.11	12.61
	ตลอดทั้งวัน	24	17.02	11.15	28.17
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.30	10.44	16.74
	08:00 - 17:00	9	5.92	10.45	16.37
	09:00 - 18:00	9	5.93	10.01	15.94
	10:00 - 19:00	9	6.09	8.92	15.01
	ตลอดทั้งวัน	24	20.02	10.91	30.93
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.05	6.77	11.82
	08:00 - 17:00	9	4.49	6.78	11.27
	09:00 - 18:00	9	4.50	6.50	11.00
	10:00 - 19:00	9	4.75	5.80	10.54
	ตลอดทั้งวัน	24	18.51	7.10	25.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.82 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.17	19.80	22.97
	08:00 - 17:00	9	2.44	19.80	22.24
	09:00 - 18:00	9	2.46	18.96	21.42
	10:00 - 19:00	9	2.99	16.88	19.87
	ตลอดทั้งวัน	24	16.21	20.65	36.87
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	4.04	10.67	14.70
	08:00 - 17:00	9	3.38	10.68	14.06
	09:00 - 18:00	9	3.39	10.23	13.62
	10:00 - 19:00	9	3.73	9.11	12.84
	ตลอดทั้งวัน	24	17.29	11.15	28.44
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	6.55	10.44	16.99
	08:00 - 17:00	9	6.09	10.45	16.54
	09:00 - 18:00	9	6.10	10.01	16.11
	10:00 - 19:00	9	6.26	8.92	15.18
	ตลอดทั้งวัน	24	20.20	10.91	31.11
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	5.25	6.77	12.02
	08:00 - 17:00	9	4.72	6.78	11.50
	09:00 - 18:00	9	4.73	6.50	11.23
	10:00 - 19:00	9	4.96	5.80	10.76
	ตลอดทั้งวัน	24	18.75	7.10	25.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.83 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 20% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	3.71	19.80	23.51
	08:00 - 17:00	9	3.03	19.80	22.83
	09:00 - 18:00	9	3.04	18.96	22.00
	10:00 - 19:00	9	3.40	16.88	20.29
	ตลอดทั้งวัน	24	16.90	20.65	37.55
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	4.70	10.67	15.37
	08:00 - 17:00	9	4.13	10.68	14.81
	09:00 - 18:00	9	4.14	10.23	14.37
	10:00 - 19:00	9	4.41	9.11	13.52
	ตลอดทั้งวัน	24	18.11	11.15	29.26
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	7.09	10.44	17.53
	08:00 - 17:00	9	6.80	10.45	17.25
	09:00 - 18:00	9	6.81	10.01	16.82
	10:00 - 19:00	9	6.94	8.92	15.86
	ตลอดทั้งวัน	24	20.94	10.91	31.86
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	6.03	6.77	12.80
	08:00 - 17:00	9	5.54	6.78	12.31
	09:00 - 18:00	9	5.54	6.50	12.04
	10:00 - 19:00	9	5.73	5.80	11.53
	ตลอดทั้งวัน	24	19.61	7.10	26.71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.84 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.91	29.70	31.60
	08:00 - 17:00	9	1.16	29.70	30.86
	09:00 - 18:00	9	1.18	28.44	29.62
	10:00 - 19:00	9	1.95	25.32	27.27
	ตลอดทั้งวัน	24	14.67	30.98	45.65
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.60	16.00	18.59
	08:00 - 17:00	9	1.83	16.01	17.85
	09:00 - 18:00	9	1.85	15.34	17.19
	10:00 - 19:00	9	2.36	13.67	16.03
	ตลอดทั้งวัน	24	15.55	16.73	32.28
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.96	15.66	20.61
	08:00 - 17:00	9	4.36	15.67	20.03
	09:00 - 18:00	9	4.37	15.02	19.38
	10:00 - 19:00	9	4.61	13.38	17.99
	ตลอดทั้งวัน	24	18.37	16.37	34.75
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.68	10.15	13.83
	08:00 - 17:00	9	2.96	10.17	13.13
	09:00 - 18:00	9	2.97	9.75	12.72
	10:00 - 19:00	9	3.32	8.69	12.02
	ตลอดทั้งวัน	24	16.86	10.64	27.50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.85 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.91	29.70	31.61
	08:00 - 17:00	9	1.16	29.70	30.87
	09:00 - 18:00	9	1.19	28.44	29.63
	10:00 - 19:00	9	1.95	25.32	27.27
	ตลอดทั้งวัน	24	14.68	30.98	45.65
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.60	16.00	18.60
	08:00 - 17:00	9	1.84	16.01	17.85
	09:00 - 18:00	9	1.86	15.34	17.20
	10:00 - 19:00	9	2.36	13.67	16.03
	ตลอดทั้งวัน	24	15.56	16.73	32.28
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.97	15.66	20.62
	08:00 - 17:00	9	4.37	15.67	20.04
	09:00 - 18:00	9	4.37	15.02	19.39
	10:00 - 19:00	9	4.61	13.38	18.00
	ตลอดทั้งวัน	24	18.38	16.37	34.75
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.69	10.15	13.84
	08:00 - 17:00	9	2.97	10.17	13.14
	09:00 - 18:00	9	2.98	9.75	12.73
	10:00 - 19:00	9	3.33	8.69	12.02
	ตลอดทั้งวัน	24	16.86	10.64	27.51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.86 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.92	29.70	31.61
	08:00 - 17:00	9	1.19	29.70	30.89
	09:00 - 18:00	9	1.21	28.44	29.65
	10:00 - 19:00	9	1.97	25.32	27.29
	ตลอดทั้งวัน	24	14.66	30.98	45.64
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.53	16.00	18.53
	08:00 - 17:00	9	1.79	16.01	17.80
	09:00 - 18:00	9	1.81	15.34	17.15
	10:00 - 19:00	9	2.41	13.67	16.08
	ตลอดทั้งวัน	24	15.48	16.73	32.20
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.86	15.66	20.52
	08:00 - 17:00	9	4.27	15.67	19.95
	09:00 - 18:00	9	4.28	15.02	19.30
	10:00 - 19:00	9	4.53	13.38	17.91
	ตลอดทั้งวัน	24	18.28	16.37	34.65
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.70	10.15	13.85
	08:00 - 17:00	9	3.01	10.17	13.17
	09:00 - 18:00	9	3.02	9.75	12.76
	10:00 - 19:00	9	3.38	8.69	12.08
	ตลอดทั้งวัน	24	16.88	10.64	27.52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.87 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type D) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.89	29.70	31.58
	08:00 - 17:00	9	1.17	29.70	30.88
	09:00 - 18:00	9	1.19	28.44	29.63
	10:00 - 19:00	9	1.93	25.32	27.25
	ตลอดทั้งวัน	24	14.54	30.98	45.52
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.60	16.00	18.60
	08:00 - 17:00	9	1.88	16.01	17.89
	09:00 - 18:00	9	1.90	15.34	17.24
	10:00 - 19:00	9	2.49	13.67	16.16
	ตลอดทั้งวัน	24	15.55	16.73	32.27
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.86	15.66	20.52
	08:00 - 17:00	9	4.29	15.67	19.97
	09:00 - 18:00	9	4.30	15.02	19.32
	10:00 - 19:00	9	4.56	13.38	17.94
	ตลอดทั้งวัน	24	18.29	16.37	34.66
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.68	10.15	13.83
	08:00 - 17:00	9	3.01	10.17	13.17
	09:00 - 18:00	9	3.02	9.75	12.77
	10:00 - 19:00	9	3.40	8.69	12.09
	ตลอดทั้งวัน	24	16.87	10.64	27.51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.88 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type E) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.12	29.70	31.82
	08:00 - 17:00	9	1.44	29.70	31.14
	09:00 - 18:00	9	1.45	28.44	29.89
	10:00 - 19:00	9	2.09	25.32	27.42
	ตลอดทั้งวัน	24	14.84	30.98	45.81
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.86	16.00	18.86
	08:00 - 17:00	9	2.15	16.01	18.16
	09:00 - 18:00	9	2.17	15.34	17.51
	10:00 - 19:00	9	2.73	13.67	16.40
	ตลอดทั้งวัน	24	15.83	16.73	32.56
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.09	15.66	20.74
	08:00 - 17:00	9	4.55	15.67	20.23
	09:00 - 18:00	9	4.56	15.02	19.58
	10:00 - 19:00	9	4.82	13.38	18.20
	ตลอดทั้งวัน	24	18.55	16.37	34.92
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.93	10.15	14.08
	08:00 - 17:00	9	3.28	10.17	13.45
	09:00 - 18:00	9	3.30	9.75	13.04
	10:00 - 19:00	9	3.67	8.69	12.36
	ตลอดทั้งวัน	24	17.15	10.64	27.80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.89 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type F) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.92	29.70	31.62
	08:00 - 17:00	9	1.18	29.70	30.88
	09:00 - 18:00	9	1.20	28.44	29.64
	10:00 - 19:00	9	1.96	25.32	27.28
	ตลอดทั้งวัน	24	14.68	30.98	45.65
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.61	16.00	18.60
	08:00 - 17:00	9	1.85	16.01	17.87
	09:00 - 18:00	9	1.87	15.34	17.22
	10:00 - 19:00	9	2.39	13.67	16.06
	ตลอดทั้งวัน	24	15.56	16.73	32.28
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.88	15.66	20.54
	08:00 - 17:00	9	4.29	15.67	19.96
	09:00 - 18:00	9	4.30	15.02	19.31
	10:00 - 19:00	9	4.54	13.38	17.92
	ตลอดทั้งวัน	24	18.30	16.37	34.67
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.71	10.15	13.86
	08:00 - 17:00	9	3.01	10.17	13.17
	09:00 - 18:00	9	3.02	9.75	12.77
	10:00 - 19:00	9	3.38	8.69	12.07
	ตลอดทั้งวัน	24	16.89	10.64	27.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.90 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type G) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.94	29.70	31.64
	08:00 - 17:00	9	1.21	29.70	30.91
	09:00 - 18:00	9	1.23	28.44	29.68
	10:00 - 19:00	9	1.98	25.32	27.31
	ตลอดทั้งวัน	24	14.70	30.98	45.68
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.57	16.00	18.57
	08:00 - 17:00	9	1.83	16.01	17.84
	09:00 - 18:00	9	1.84	15.34	17.19
	10:00 - 19:00	9	2.44	13.67	16.11
	ตลอดทั้งวัน	24	15.52	16.73	32.25
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	4.96	15.66	20.61
	08:00 - 17:00	9	4.38	15.67	20.05
	09:00 - 18:00	9	4.39	15.02	19.41
	10:00 - 19:00	9	4.64	13.38	18.02
	ตลอดทั้งวัน	24	18.39	16.37	34.76
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.75	10.15	13.90
	08:00 - 17:00	9	3.06	10.17	13.22
	09:00 - 18:00	9	3.07	9.75	12.82
	10:00 - 19:00	9	3.43	8.69	12.12
	ตลอดทั้งวัน	24	16.94	10.64	27.58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.91 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 30% (Type H) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	2.09	29.70	31.79
	08:00 - 17:00	9	1.35	29.70	31.06
	09:00 - 18:00	9	1.38	28.44	29.82
	10:00 - 19:00	9	2.04	25.32	27.37
	ตลอดทั้งวัน	24	14.87	30.98	45.85
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	2.73	16.00	18.73
	08:00 - 17:00	9	1.99	16.01	18.01
	09:00 - 18:00	9	2.01	15.34	17.36
	10:00 - 19:00	9	2.58	13.67	16.26
	ตลอดทั้งวัน	24	15.71	16.73	32.44
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	5.08	15.66	20.73
	08:00 - 17:00	9	4.52	15.67	20.19
	09:00 - 18:00	9	4.53	15.02	19.55
	10:00 - 19:00	9	4.77	13.38	18.15
	ตลอดทั้งวัน	24	18.54	16.37	34.91
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	3.77	10.15	13.92
	08:00 - 17:00	9	3.09	10.17	13.26
	09:00 - 18:00	9	3.10	9.75	12.85
	10:00 - 19:00	9	3.45	8.69	12.14
	ตลอดทั้งวัน	24	16.98	10.64	27.63

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.92 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.37	39.60	40.97
	08:00 - 17:00	9	0.70	39.61	40.31
	09:00 - 18:00	9	0.72	37.92	38.64
	10:00 - 19:00	9	1.54	33.76	35.30
	ตลอดทั้งวัน	24	13.86	41.30	55.16
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.89	21.33	23.23
	08:00 - 17:00	9	1.16	21.35	22.51
	09:00 - 18:00	9	1.18	20.46	21.64
	10:00 - 19:00	9	1.94	18.23	20.16
	ตลอดทั้งวัน	24	14.66	22.30	36.96
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.92	20.87	24.80
	08:00 - 17:00	9	3.23	20.90	24.13
	09:00 - 18:00	9	3.24	20.02	23.26
	10:00 - 19:00	9	3.57	17.84	21.41
	ตลอดทั้งวัน	24	17.14	21.83	38.97
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.82	13.54	16.36
	08:00 - 17:00	9	2.07	13.55	15.63
	09:00 - 18:00	9	2.09	13.00	15.08
	10:00 - 19:00	9	2.57	11.59	14.16
	ตลอดทั้งวัน	24	15.81	14.19	30.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.93 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type B) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.02	39.60	40.61
	08:00 - 17:00	9	0.44	39.61	40.05
	09:00 - 18:00	9	0.45	37.92	38.37
	10:00 - 19:00	9	1.34	33.76	35.10
	ตลอดทั้งวัน	24	13.36	41.30	54.66
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.47	21.33	22.80
	08:00 - 17:00	9	0.78	21.35	22.13
	09:00 - 18:00	9	0.80	20.46	21.26
	10:00 - 19:00	9	1.59	18.23	19.82
	ตลอดทั้งวัน	24	14.01	22.30	36.31
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.28	20.87	24.16
	08:00 - 17:00	9	2.54	20.90	23.44
	09:00 - 18:00	9	2.56	20.02	22.58
	10:00 - 19:00	9	2.98	17.84	20.83
	ตลอดทั้งวัน	24	16.35	21.83	38.18
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.26	13.54	15.79
	08:00 - 17:00	9	1.51	13.55	15.06
	09:00 - 18:00	9	1.53	13.00	14.52
	10:00 - 19:00	9	2.17	11.59	13.76
	ตลอดทั้งวัน	24	15.09	14.19	29.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.94 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 40% (Type C) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.02	39.76	40.77
	08:00 - 17:00	9	0.53	39.80	40.34
	09:00 - 18:00	9	0.54	38.16	38.70
	10:00 - 19:00	9	1.42	34.03	35.45
	ตลอดทั้งวัน	24	13.37	41.83	55.20
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.57	21.51	23.08
	08:00 - 17:00	9	0.90	21.58	22.48
	09:00 - 18:00	9	0.92	20.74	21.66
	10:00 - 19:00	9	1.69	18.56	20.25
	ตลอดทั้งวัน	24	14.15	22.89	37.04
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.31	21.11	24.42
	08:00 - 17:00	9	2.64	21.19	23.82
	09:00 - 18:00	9	2.65	20.37	23.02
	10:00 - 19:00	9	3.17	18.25	21.42
	ตลอดทั้งวัน	24	16.44	22.50	38.94
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.40	13.61	16.01
	08:00 - 17:00	9	1.69	13.66	15.35
	09:00 - 18:00	9	1.71	13.14	14.85
	10:00 - 19:00	9	2.33	11.76	14.09
	ตลอดทั้งวัน	24	15.28	14.57	29.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.95 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 50% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	1.02	49.70	50.71
	08:00 - 17:00	9	0.44	49.76	50.20
	09:00 - 18:00	9	0.45	47.70	48.15
	10:00 - 19:00	9	1.34	42.54	43.88
	ตลอดทั้งวัน	24	13.36	52.29	65.65
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.47	26.89	28.36
	08:00 - 17:00	9	0.78	26.98	27.76
	09:00 - 18:00	9	0.80	25.93	26.73
	10:00 - 19:00	9	1.59	23.21	24.80
	ตลอดทั้งวัน	24	14.01	28.61	42.62
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	3.28	26.39	29.67
	08:00 - 17:00	9	2.54	26.48	29.03
	09:00 - 18:00	9	2.56	25.47	28.03
	10:00 - 19:00	9	2.98	22.81	25.79
	ตลอดทั้งวัน	24	16.35	28.13	44.48
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	2.26	17.02	19.27
	08:00 - 17:00	9	1.51	17.07	18.58
	09:00 - 18:00	9	1.53	16.42	17.95
	10:00 - 19:00	9	2.17	14.70	16.87
	ตลอดทั้งวัน	24	15.09	18.22	33.31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.96 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 60% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.81	59.64	60.45
	08:00 - 17:00	9	0.38	59.71	60.09
	09:00 - 18:00	9	0.39	57.24	57.63
	10:00 - 19:00	9	1.29	51.05	52.34
	ตลอดทั้งวัน	24	13.10	62.75	75.84
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.22	32.27	33.49
	08:00 - 17:00	9	0.60	32.37	32.97
	09:00 - 18:00	9	0.68	31.12	31.80
	10:00 - 19:00	9	1.50	27.85	29.35
	ตลอดทั้งวัน	24	13.69	34.34	48.03
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.77	31.66	34.43
	08:00 - 17:00	9	2.05	31.78	33.83
	09:00 - 18:00	9	2.06	30.56	32.63
	10:00 - 19:00	9	2.63	27.37	30.00
	ตลอดทั้งวัน	24	15.75	33.75	49.51
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.85	20.42	22.27
	08:00 - 17:00	9	1.14	20.49	21.63
	09:00 - 18:00	9	1.15	19.70	20.85
	10:00 - 19:00	9	1.89	17.64	19.53
	ตลอดทั้งวัน	24	14.50	21.86	36.36

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.97 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 70% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.76	69.29	70.05
	08:00 - 17:00	9	0.35	69.31	69.66
	09:00 - 18:00	9	0.36	66.36	66.72
	10:00 - 19:00	9	1.27	59.08	60.35
	ตลอดทั้งวัน	24	13.01	72.28	85.28
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	1.00	37.33	38.33
	08:00 - 17:00	9	0.51	37.37	37.88
	09:00 - 18:00	9	0.52	35.80	36.32
	10:00 - 19:00	9	1.39	31.90	33.29
	ตลอดทั้งวัน	24	13.37	39.03	52.39
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.60	36.53	39.13
	08:00 - 17:00	9	1.89	36.57	38.45
	09:00 - 18:00	9	1.91	35.04	36.95
	10:00 - 19:00	9	2.49	31.22	33.71
	ตลอดทั้งวัน	24	15.53	38.20	53.73
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.74	23.69	25.42
	08:00 - 17:00	9	1.05	23.72	24.77
	09:00 - 18:00	9	1.06	22.74	23.81
	10:00 - 19:00	9	1.81	20.29	22.10
	ตลอดทั้งวัน	24	14.36	24.84	39.19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.98 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 80% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.74	79.19	79.93
	08:00 - 17:00	9	0.33	79.21	79.54
	09:00 - 18:00	9	0.34	75.84	76.18
	10:00 - 19:00	9	1.26	67.53	68.78
	ตลอดทั้งวัน	24	12.97	82.60	95.57
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.97	42.66	43.64
	08:00 - 17:00	9	0.49	42.70	43.19
	09:00 - 18:00	9	0.50	40.92	41.42
	10:00 - 19:00	9	1.37	36.45	37.83
	ตลอดทั้งวัน	24	13.33	44.60	57.93
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.55	41.75	44.30
	08:00 - 17:00	9	1.84	41.79	43.63
	09:00 - 18:00	9	1.86	40.05	41.90
	10:00 - 19:00	9	2.45	35.68	38.13
	ตลอดทั้งวัน	24	15.47	43.66	59.12
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.70	27.07	28.77
	08:00 - 17:00	9	1.01	27.11	28.12
	09:00 - 18:00	9	1.03	25.99	27.02
	10:00 - 19:00	9	1.78	23.18	24.97
	ตลอดทั้งวัน	24	14.30	28.39	42.69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.99 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 90% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.71	89.09	89.81
	08:00 - 17:00	9	0.31	89.11	89.43
	09:00 - 18:00	9	0.33	85.32	85.65
	10:00 - 19:00	9	1.25	75.97	77.21
	ตลอดทั้งวัน	24	12.94	92.93	105.87
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.95	48.00	48.95
	08:00 - 17:00	9	0.47	48.04	48.51
	09:00 - 18:00	9	0.48	46.03	46.51
	10:00 - 19:00	9	1.36	41.01	42.37
	ตลอดทั้งวัน	24	13.30	50.18	63.48
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.51	46.97	49.48
	08:00 - 17:00	9	1.80	47.01	48.81
	09:00 - 18:00	9	1.82	45.05	46.87
	10:00 - 19:00	9	2.42	40.14	42.56
	ตลอดทั้งวัน	24	15.42	49.11	64.53
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.67	30.45	32.12
	08:00 - 17:00	9	0.98	30.50	31.48
	09:00 - 18:00	9	1.00	29.24	30.24
	10:00 - 19:00	9	1.76	26.08	27.84
	ตลอดทั้งวัน	24	14.26	31.93	46.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.100 แสดงการใช้พลังงานในการให้ความส่องสว่างและการปรับอากาศ ในช่วงเวลาต่างๆ จากช่องแสงกระจกด้านทิศตะวันตก ภายในห้องขนาด 6 x 6 x 3 เมตร เมื่อพื้นที่กระจก เท่ากับ 100% (Type A) ของพื้นที่ผนังด้านที่ทดสอบ

ชนิดกระจก	ช่วงเวลาใช้งาน	จำนวนชั่วโมง	การใช้พลังงาน (kW)		รวม (kW)
			ความส่องสว่าง	การปรับอากาศ	
กระจกใส (Clear)	07:00 - 16:00	9	0.66	98.99	99.65
	08:00 - 17:00	9	0.27	99.01	99.28
	09:00 - 18:00	9	0.28	94.80	95.08
	10:00 - 19:00	9	1.23	84.41	85.63
	ตลอดทั้งวัน	24	12.86	103.25	116.11
กระจกสี (Tinted)	07:00 - 16:00	9	0.91	53.33	54.23
	08:00 - 17:00	9	0.43	53.38	53.81
	09:00 - 18:00	9	0.44	51.15	51.59
	10:00 - 19:00	9	1.33	45.57	46.90
	ตลอดทั้งวัน	24	13.24	55.75	68.99
กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflective)	07:00 - 16:00	9	2.43	52.19	54.62
	08:00 - 17:00	9	1.71	52.24	53.95
	09:00 - 18:00	9	1.73	50.06	51.79
	10:00 - 19:00	9	2.34	44.60	46.95
	ตลอดทั้งวัน	24	15.31	54.57	69.88
กระจกฉนวนกันความร้อน 2 ชั้น (Heat Stop)	07:00 - 16:00	9	1.57	33.84	35.41
	08:00 - 17:00	9	0.89	33.89	34.77
	09:00 - 18:00	9	0.90	32.49	33.39
	10:00 - 19:00	9	1.67	28.98	30.65
	ตลอดทั้งวัน	24	14.14	35.48	49.62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเศรษฐวัฒก์ ศรีวิโรจน์ เกิดในวันพฤหัสบดีที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2521 สอบเทียบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากการศึกษานอกโรงเรียน จังหวัดสงขลา (กศน. สงขลา) ได้ในระหว่างทำการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/8 โรงเรียนมหาวชิราวุธ จังหวัดสงขลา ก่อนจะเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในปีการศึกษา 2538 ณ ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) กรุงเทพมหานคร ในระหว่างทำการศึกษาได้เป็นนักกีฬาครอสเวิร์ดเกมส์ และทำหน้าที่เป็นรองประธานชมรมหมากกระดาน ในปี พ.ศ. 2539 – 2540 ได้สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (สถ.บ.) ในปีการศึกษา 2543 ด้วยเกรดเฉลี่ยเท่ากับ 2.92 หลังจากสำเร็จการศึกษาแล้ว ได้มีโอกาสเข้าทำงานในตำแหน่งสถาปนิกผู้ช่วยนักวิจัย ในโครงการออกแบบวางผังและปรับปรุงผังแม่บทสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ณ กองแผนงาน สำนักอธิการบดี สจล. เป็นเวลา 1 ปี หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต กลุ่มสาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 โดยในระหว่างทำการศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย และทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา จากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สถ.ม.) ในปีการศึกษา 2545 ด้วยเกรดเฉลี่ยเท่ากับ 3.85 ปัจจุบันอาศัยอยู่ ณ บ้านเลขที่ 11/1 ถนนกำแพงเพชร ตำบลบ่อยาง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000 หมายเลขโทรศัพท์ 0-7431-4403, 0-6002-9630 e-mail : sethdevil@yahoo.com

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย