

บทที่ 5

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม

สำหรับขั้นตอนและหลักเกณฑ์สำหรับศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแสงสว่างธรรมชาติและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาเป็น 2 วิธี คือ จากวิธี Computer Calculation และ Daylight Model ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธี Computer Calculation และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

วิธีนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาหาขนาดของเปิดที่เหมาะสมที่รับแสงธรรมชาติได้อย่างมีคุณภาพ และรูปแบบหลังคาที่สามารถกระจายแสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถสรุปขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. แปลงข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จากกรมอุตุนิยม ๗ เป็นพลังงานแสงสว่างภายนอกทางทิศเหนือ (จาก MJ/sq.m เป็น BTU/sq.m เป็น Footcandles ตามลำดับ) เพราะต้องการแสงธรรมชาติแบบกระจาย (Diffuse Sun) มากกว่าแสงธรรมชาติแบบตรง (Direct Sun) โดยแยกความส่องสว่างตามปริมาณเมฆบนท้องฟ้าออกเป็นท้องฟ้า 3 แบบ คือ แบบท้องฟ้าโปร่ง ท้องฟ้ามีเมฆและท้องฟ้ามีดี

2. นำปริมาณความส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าทั้ง 3 แบบมาเฉลี่ยรวมกันตามวันที่มีสภาพท้องฟ้า นั้น ๆ ในแต่ละเดือน ตลอดปี นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 1 sq.ft ต่อ พื้นที่ทำงาน 100 sq.ft (เพื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์) โดยคิดรวมค่า CU ที่วัดได้จาก Daylight Model

ค่า CU ที่ได้จากการทดสอบจาก Daylight Model ภายใต้สภาวะท้องฟ้าจริงซึ่งเป็นค่าที่มีความแปรปรวนตลอดเวลา (Dynamic CU) มาคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงสภาวะท้องฟ้าจริงมากที่สุด สำหรับค่า CU ที่ได้จากการทดสอบผ่าน Daylight Model ต้องทำการแปลงค่า DF ที่วัดค่าได้จริงเป็นค่า CU ที่เกิดขึ้น ดังสูตร

$$DF = \frac{\text{Inside Illuminance}}{\text{Outside Illumination}}$$

$$= \frac{FC * Ag * CU * \tau_g}{FC} \dots\dots\dots (5.1)$$

FC

(R.G.Hopkinson,P.Petherbridge & J.Longmore, 1966)

$$CU = \frac{DF * Flr. Area}{Ag * \tau_g} \dots\dots\dots (5.2)$$

Ag * τ_g

(R.G.Hopkinson,P.Petherbridge & J.Longmore, 1966)

เมื่อได้ค่า CU ที่ถูกต้องแล้วนำไปคำนวณโดย Computer Simulation ต่อไป หลังจากนั้นนำค่าปริมาณความส่องสว่างภายในที่ได้จากพื้นที่ช่องเปิด 1.0 เพอร์เซ็นต์ มาคำนวณผ่านพื้นที่ช่องเปิด 4 ขนาด คือ แบบช่องเปิด 20.0 , 15.0 , 10.0 และ 5.0 เพอร์เซ็นต์ของพท.โดยนำค่า CU ที่ได้ไปแทนค่าใน Comper Calculation ต่อไปตามสูตร

$$FC' = \frac{FC * Ag * \tau_g * CU}{Flr. Area} \dots\dots\dots (5.3)$$

Flr. Area

(R.G.Hopkinson,P.Petherbridge & J.Longmore, 1966)

โดยที่ FC' = Inside Illumination

FC = Outside Illumination (ใช้ค่าจากตารางแปลงค่าความส่องสว่างเฉลี่ยจากท้องฟ้าทั้ง 3 แบบรายเดือนตลอดปี)

Ag = Area of Opening (sq.ft.)

τ_g = Transmittance (ใช้ค่าความโปร่งแสงของกระจกเท่ากับ 0.87)

CU = Coefficient of Utilization (ใช้ค่าจากการทดสอบผ่าน Daylight Model)

Flr. Area = Floor Area (sq.ft.) สำหรับการคำนวณโดยวิธี Computer Calculation เบื้องต้นนั้นได้แทนค่าขนาดของพื้นที่ช่องเปิดเท่ากับ 1 sq. ft. เพื่อการเทียบค่าขนาดของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทำงานเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ง่าย สามารถแสดงตามสมการได้ดังนี้

$$FC' = \frac{FC * 1.00 * 0.87 * CU}{Flr. Area} \dots\dots\dots (5.4)$$

เมื่อแทนค่าความส่องสว่างภายนอก (FC Outside) เฉลี่ยรายเดือนแล้ว จะได้ค่าความส่องสว่างภายใน (FC Inside) ของพื้นที่ช่องเปิด 1.00% ต่อพื้นที่ทำงานเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี จากการคำนวณพบว่า เมื่อแทนค่าขนาดของพื้นที่ช่องเปิดจนถึง 20.00% ของพื้นที่ทำงานจะทำให้ปริมาณความส่องสว่างภายในเกินระดับความส่องสว่างที่พอเหมาะสำหรับการทำงาน (50 FC) ในเกือบจะตลอดชั่วโมงการทำงานตั้งแต่ 8.00-17.00 น. แม้ว่าจะได้รับปริมาณแสงสว่างธรรมชาติตลอดทั้งวันโดยที่ไม่ต้องเสริมความสว่างจากหลอดไฟฟ้าเลยแต่ก็เป็นปริมาณแสงที่มากเกินไปจนความจำเป็นรวมทั้งยังนำเอาความร้อนเข้าสู่อาคารพร้อมแสงมากไปด้วย ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกตัวแทน (Examples) ของขนาดช่องเปิดที่จะทำการแทนค่าในสมการข้างต้นดังนี้ คือ 5.0 ,10.0,15.0 และ 20.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงาน จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$FC' = \frac{FC * 5.00 * 0.87 * CU}{100.00} \dots\dots\dots (5.5)$$

$$FC' = \frac{FC * 10.00 * 0.87 * CU}{100.00} \dots\dots\dots (5.6)$$

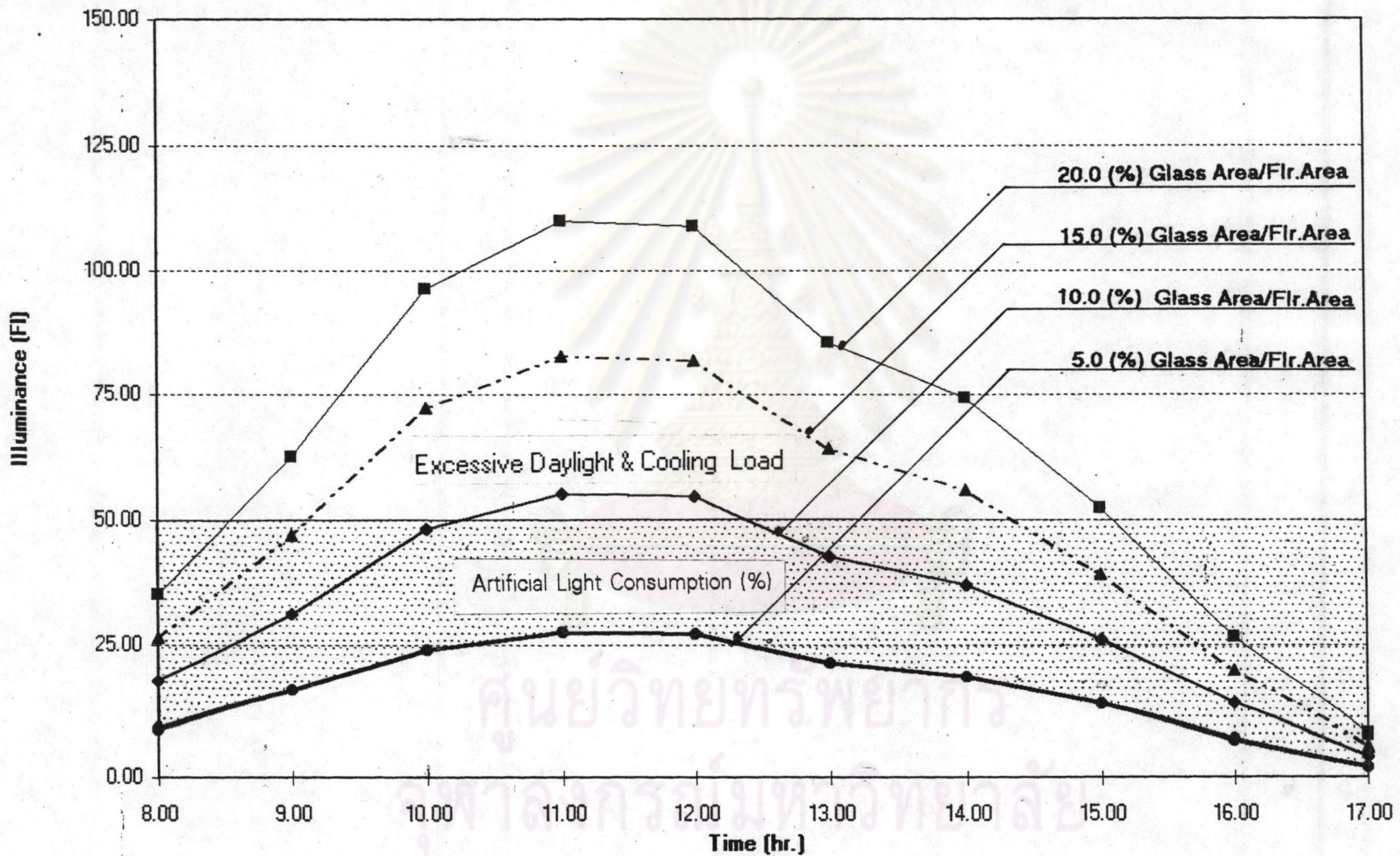
$$FC' = \frac{FC * 15.00 * 0.87 * CU}{100.00} \dots\dots\dots (5.7)$$

$$FC' = \frac{FC * 20.00 * 0.87 * CU}{100.00} \dots\dots\dots (5.8)$$

หลังจากนั้นนำค่าที่คำนวณได้ไปสร้างแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบของช่องเปิดตลอดช่วงเวลาการทำงาน และทำให้ทราบปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นทั้งส่วนที่สูงและต่ำกว่ามาตรฐานการปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรม (50 FC) เฉลี่ยรายเดือนตลอดปี สำหรับปริมาณความส่องสว่างที่สูงกว่ามาตรฐานจะนำความจ้าและปริมาณความร้อนที่ปนมาพร้อมแสงธรรมชาติเพิ่มขึ้นอีก ส่วนปริมาณความส่องสว่างที่ต่ำกว่ามาตรฐานจะมีความมืดและสลัวของแสงมากทำให้ต้องเสริมความส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์ซึ่งทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำคามเย็น โดยตรวจสอบจำนวนชั่วโมงที่ต้องทำการเสริมความส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์จากพื้นที่ได้แผนภูมิเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยรายเดือนตลอดปี ดังแสดงได้จากแผนภูมิที่ 13 -24

จากแผนภูมิจะแสดงปริมาณความส่องสว่างภายในที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิดแต่ละขนาดทำให้สามารถทราบจำนวนชั่วโมงที่ต้องเสริมความส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์เพื่อนำไปคิดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำคามเย็นในแต่ละขนาดช่องเปิดโดยเฉลี่ยรายเดือน ตลอดปี

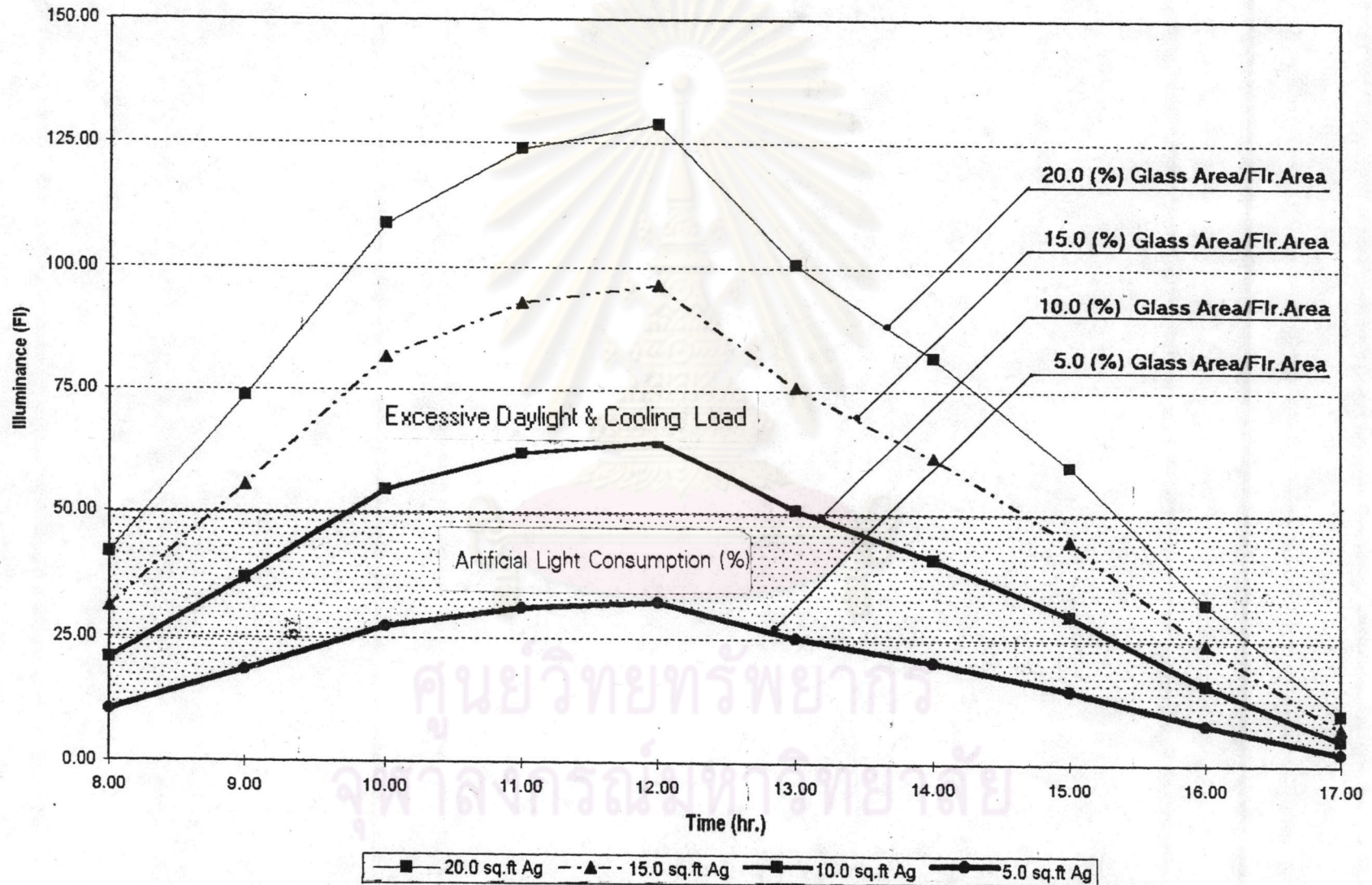
Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on January



20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 13) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด
 ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ม.ค.. 2536

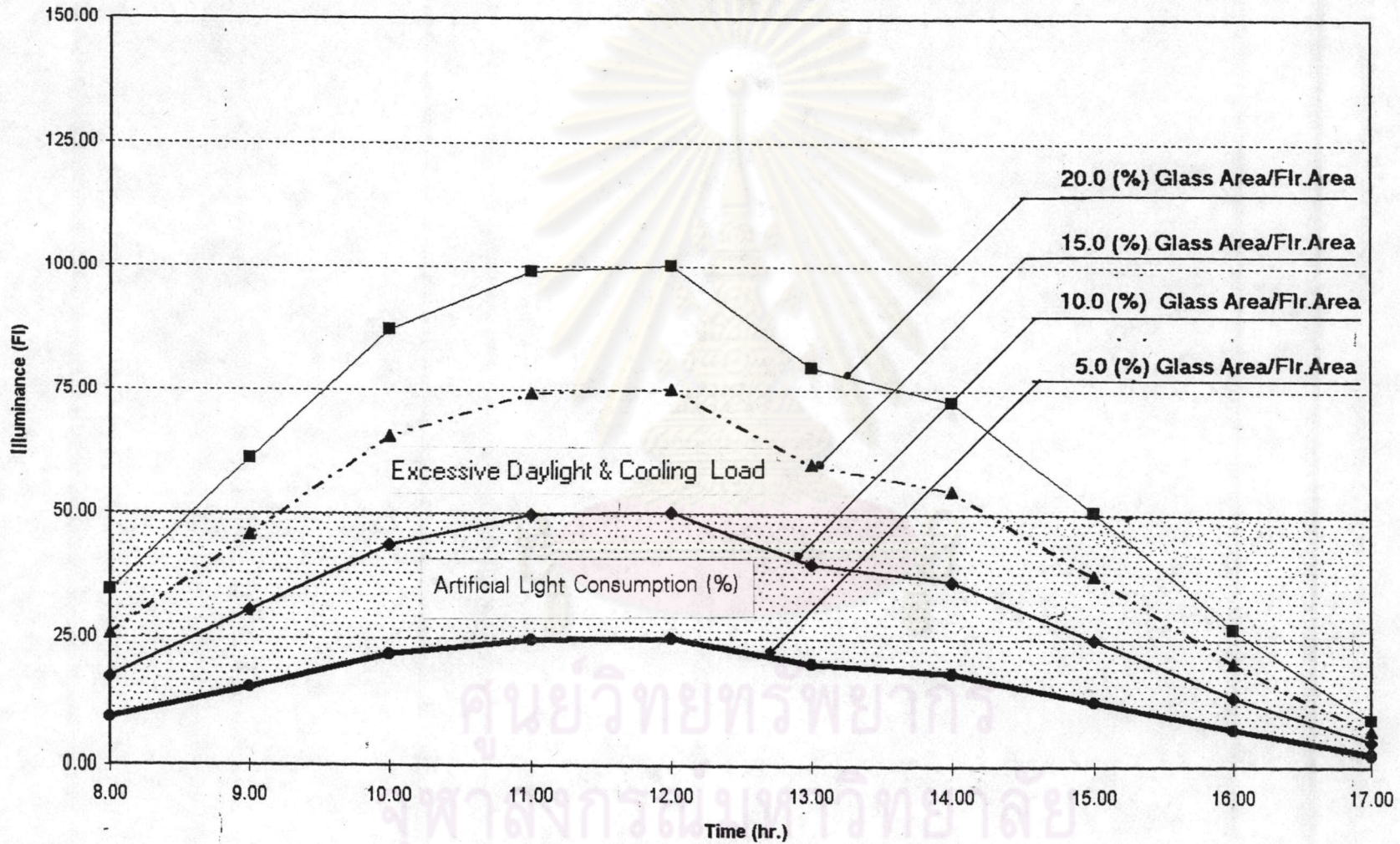
Relationship between Glass Area(%) & Inside Illuminance on February



แผนภูมิที่ 14) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.พ. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on March

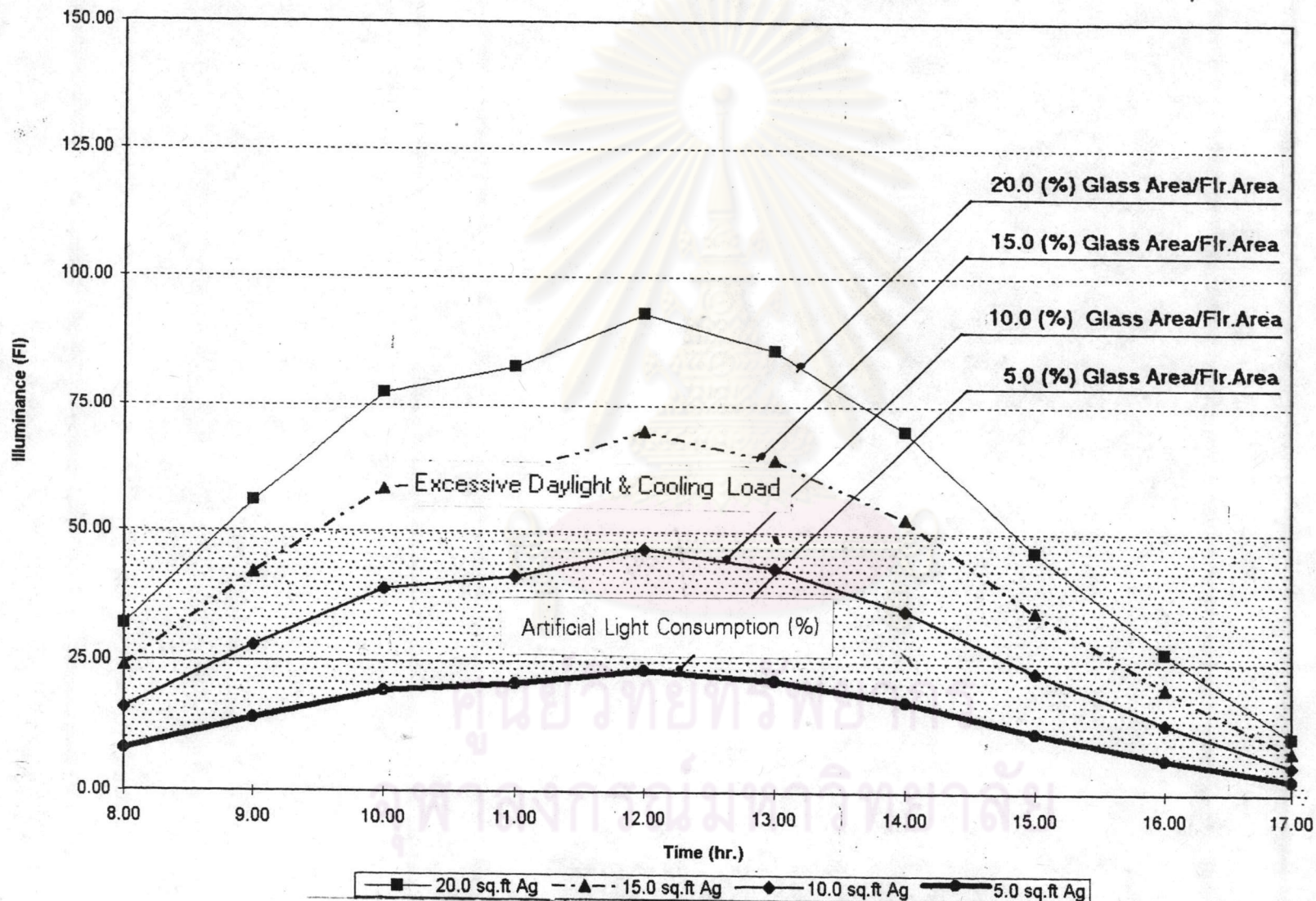


20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 15) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

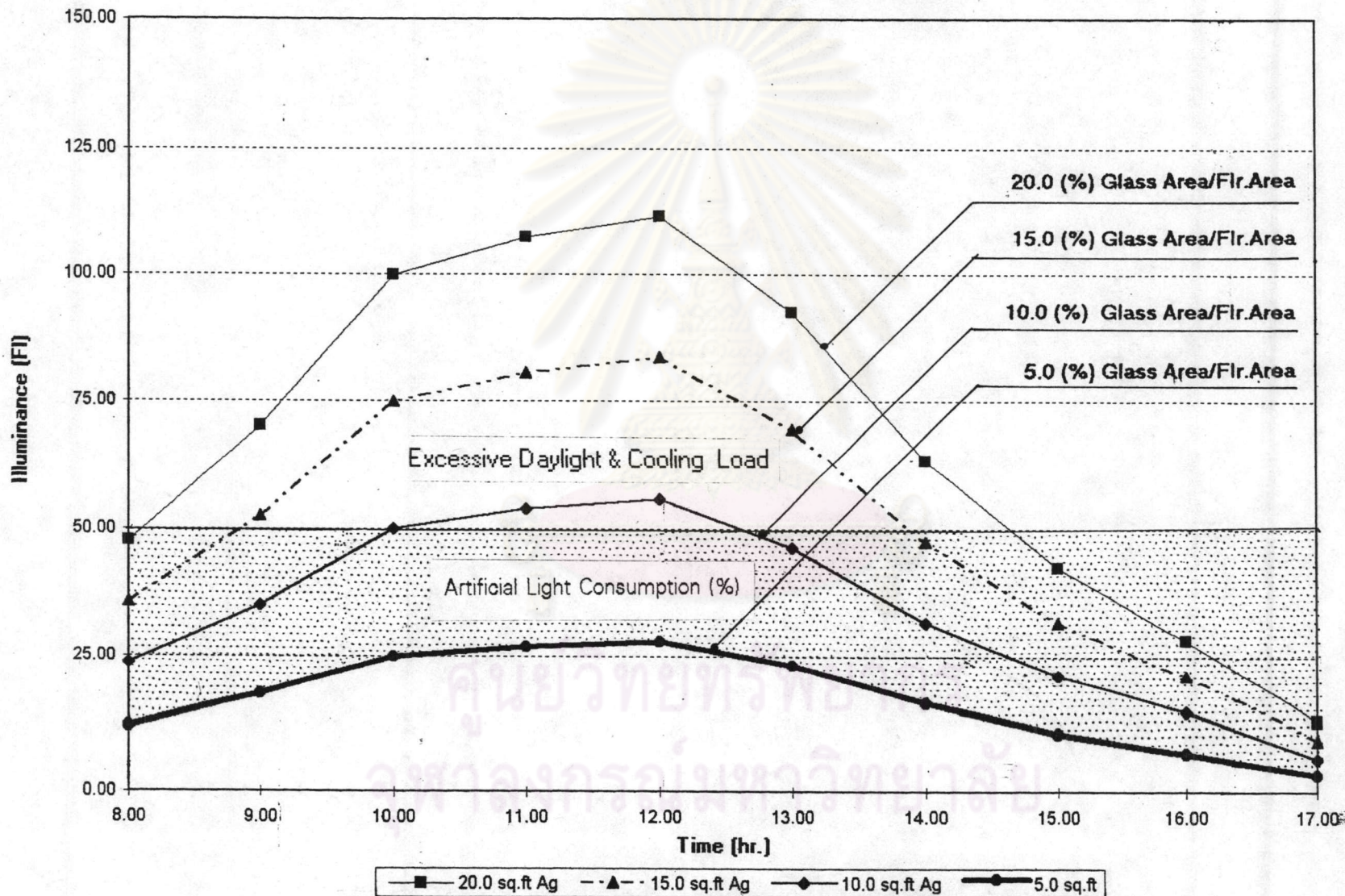
ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on April



แผนภูมิที่ 16) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด
ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน เม.ย. 2536

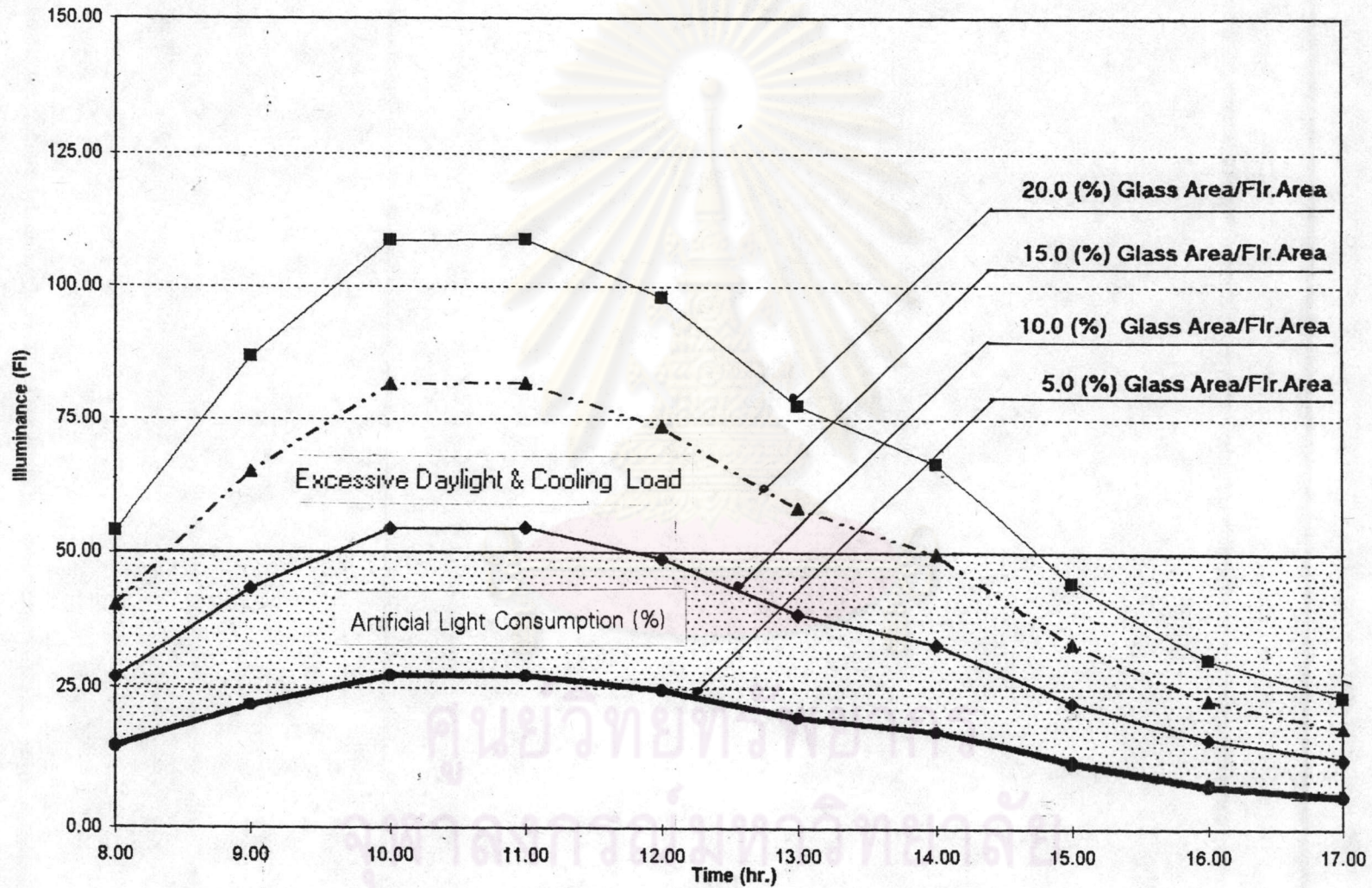
Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on May



แผนภูมิที่ 17) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน พ.ค. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on June

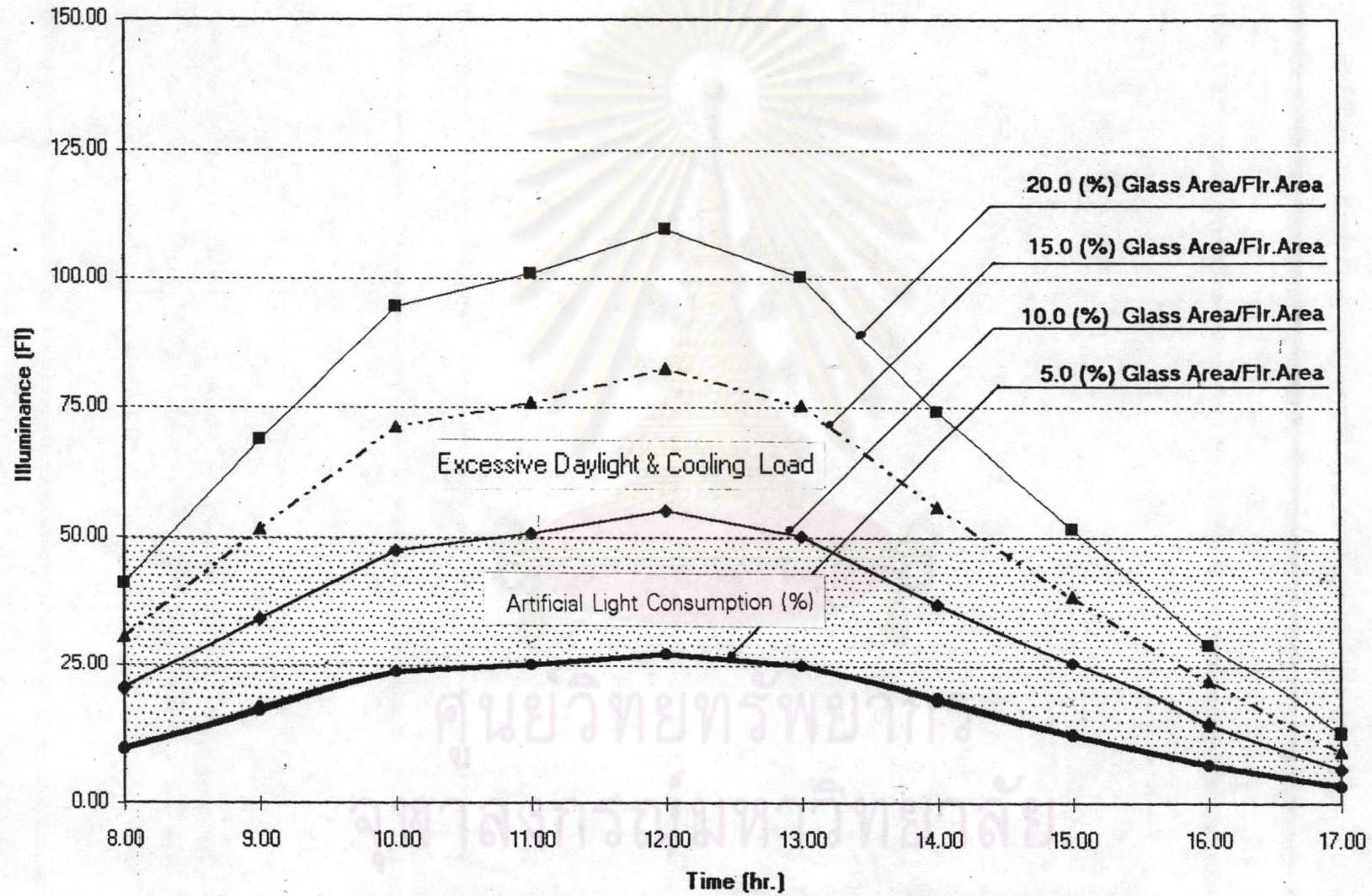


■ 20.0 sq.ft Ag
 -▲- 15.0sq.ft Ag
 ◆ 10.0 sq.ft Ag
 ● 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 18) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน มิ.ย. 2536

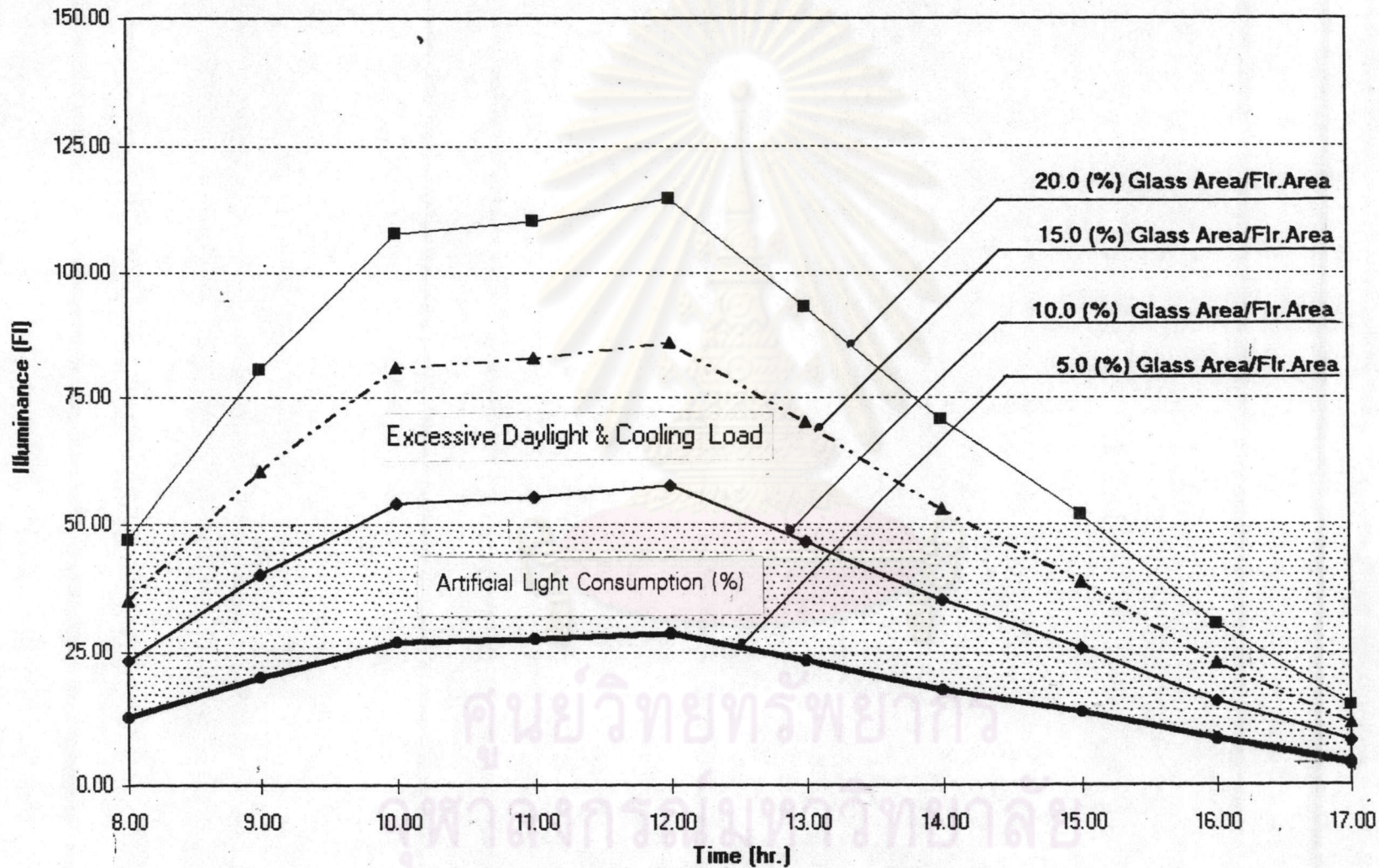
Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on July



■ 20.0 sq ft Ag
 --▲-- 15.0 sq ft Ag
 ● 10.0 sq ft Ag
 ● 5.0 sq ft Ag

แผนภูมิที่ 19) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด
 ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.ค. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on August



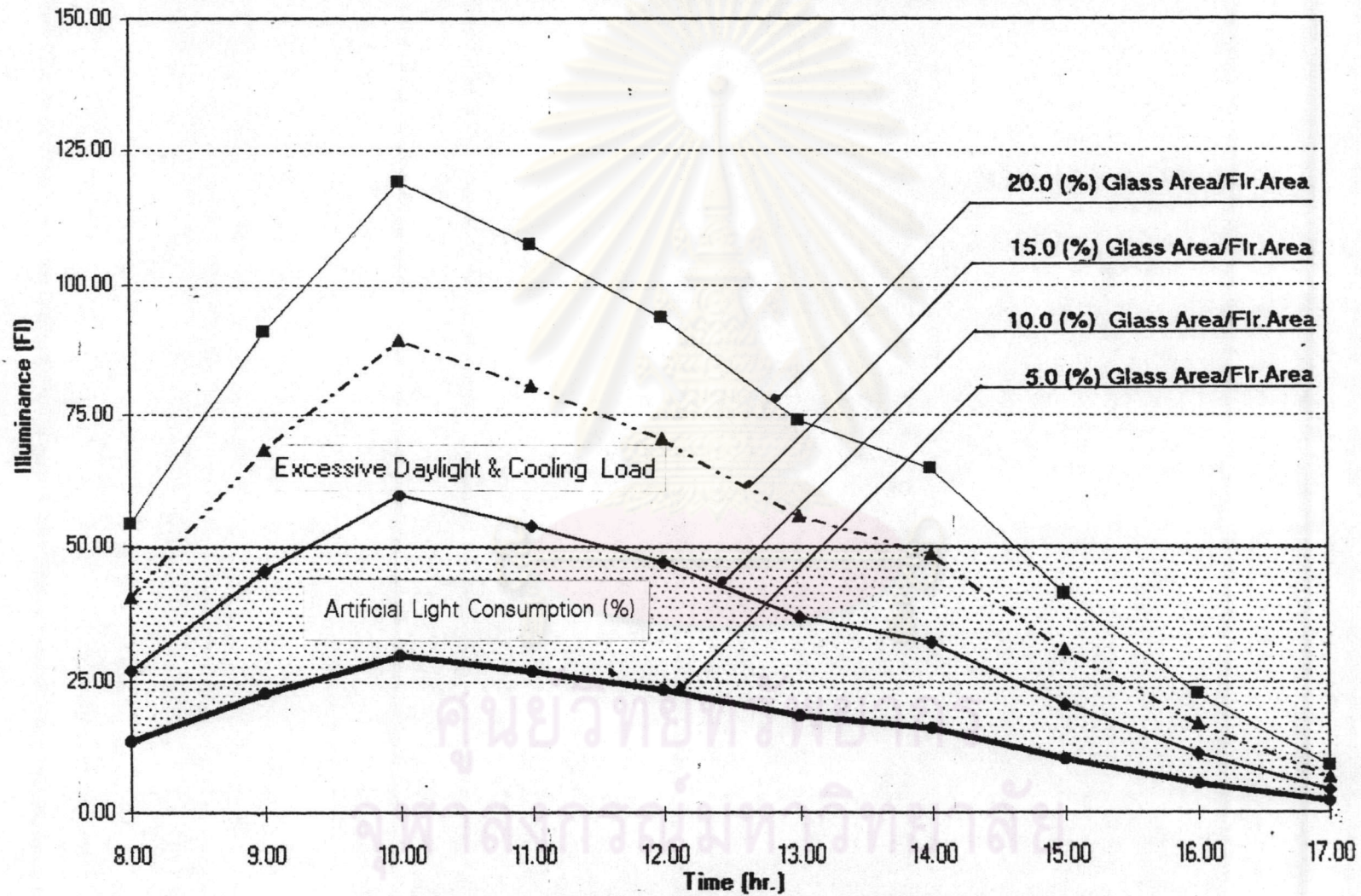
20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 20) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ส.ค. 2536



Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on September

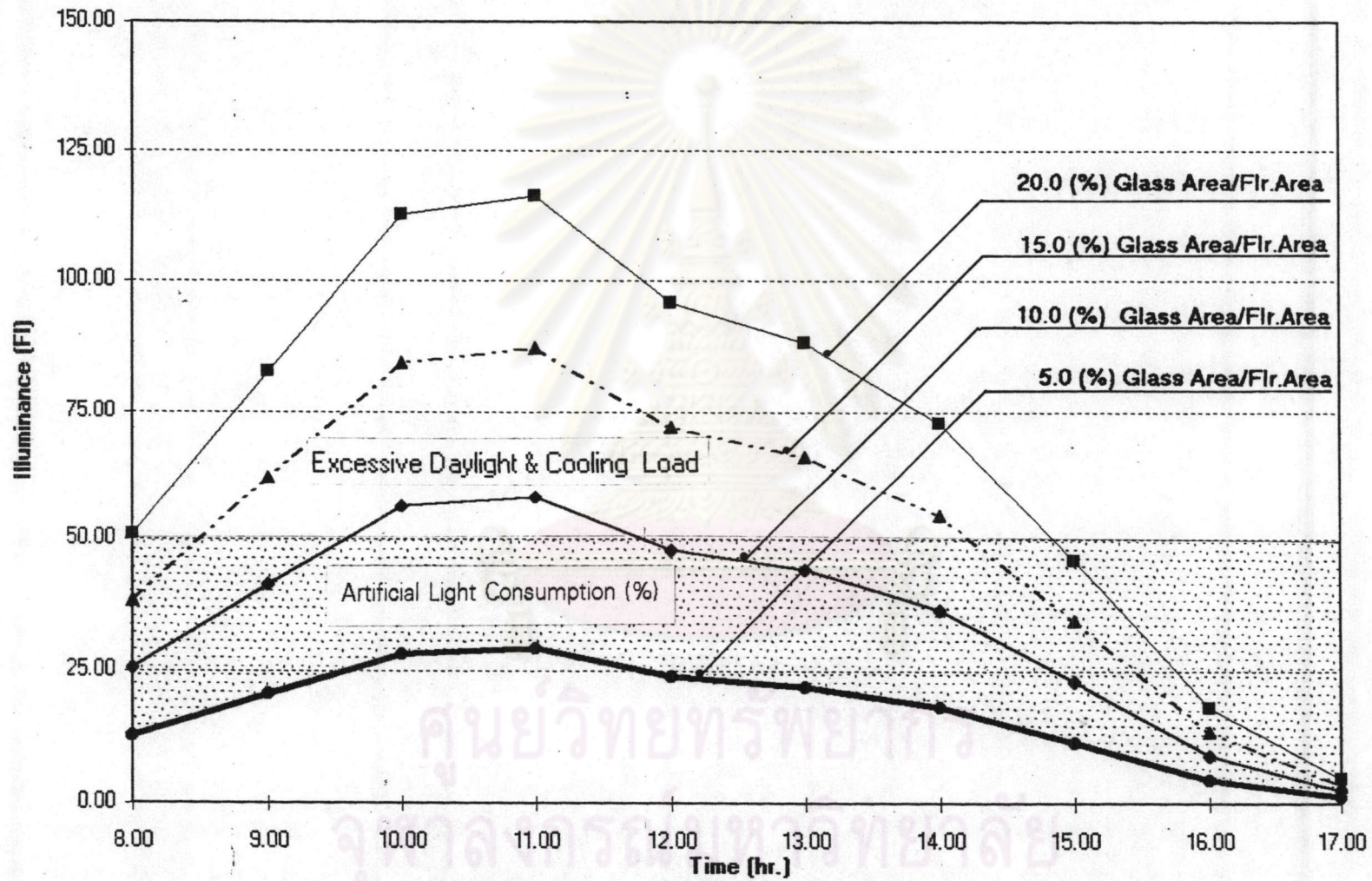


20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 21) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.ย. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on October

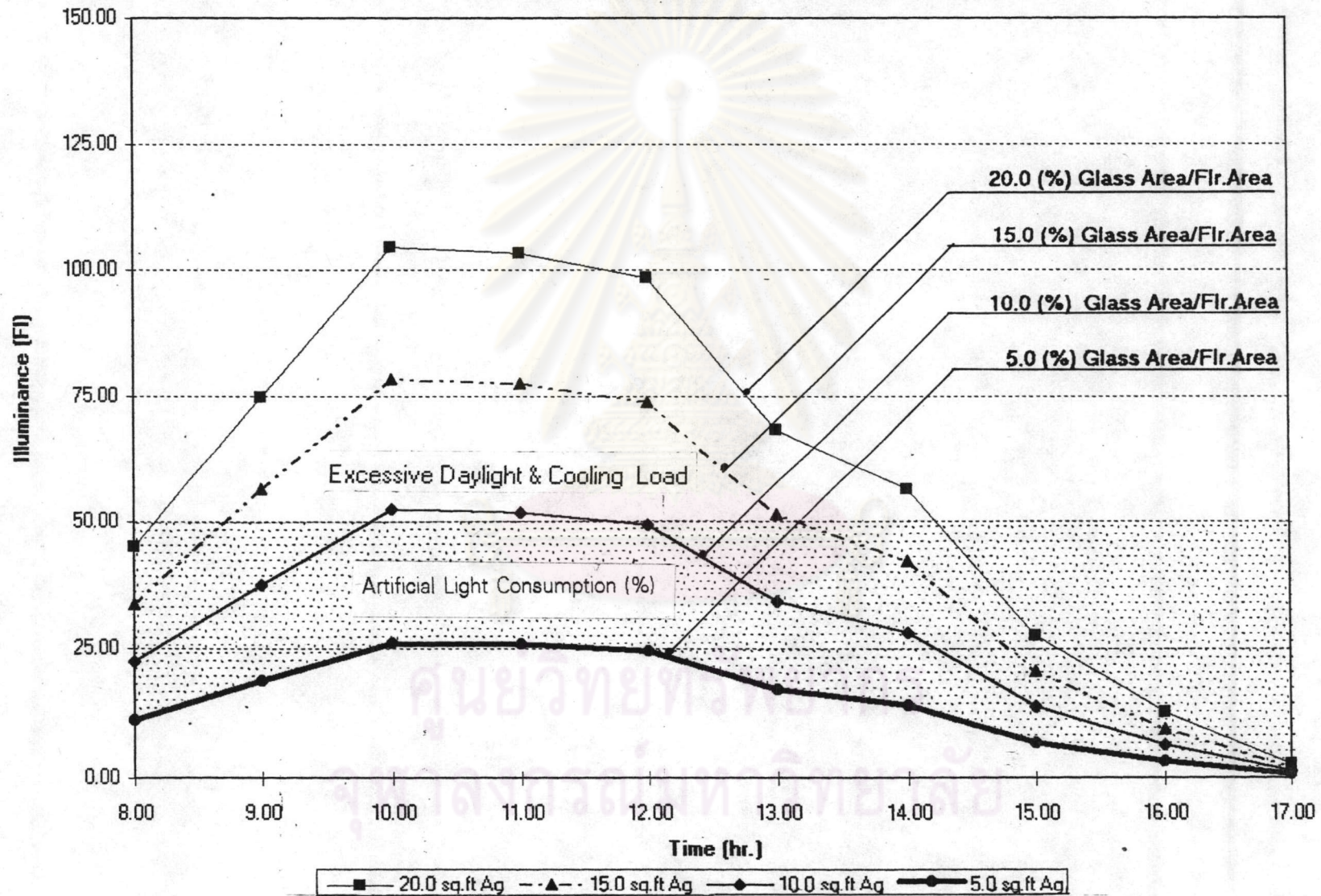


20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 22) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ต.ค. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Inside Illuminance on November

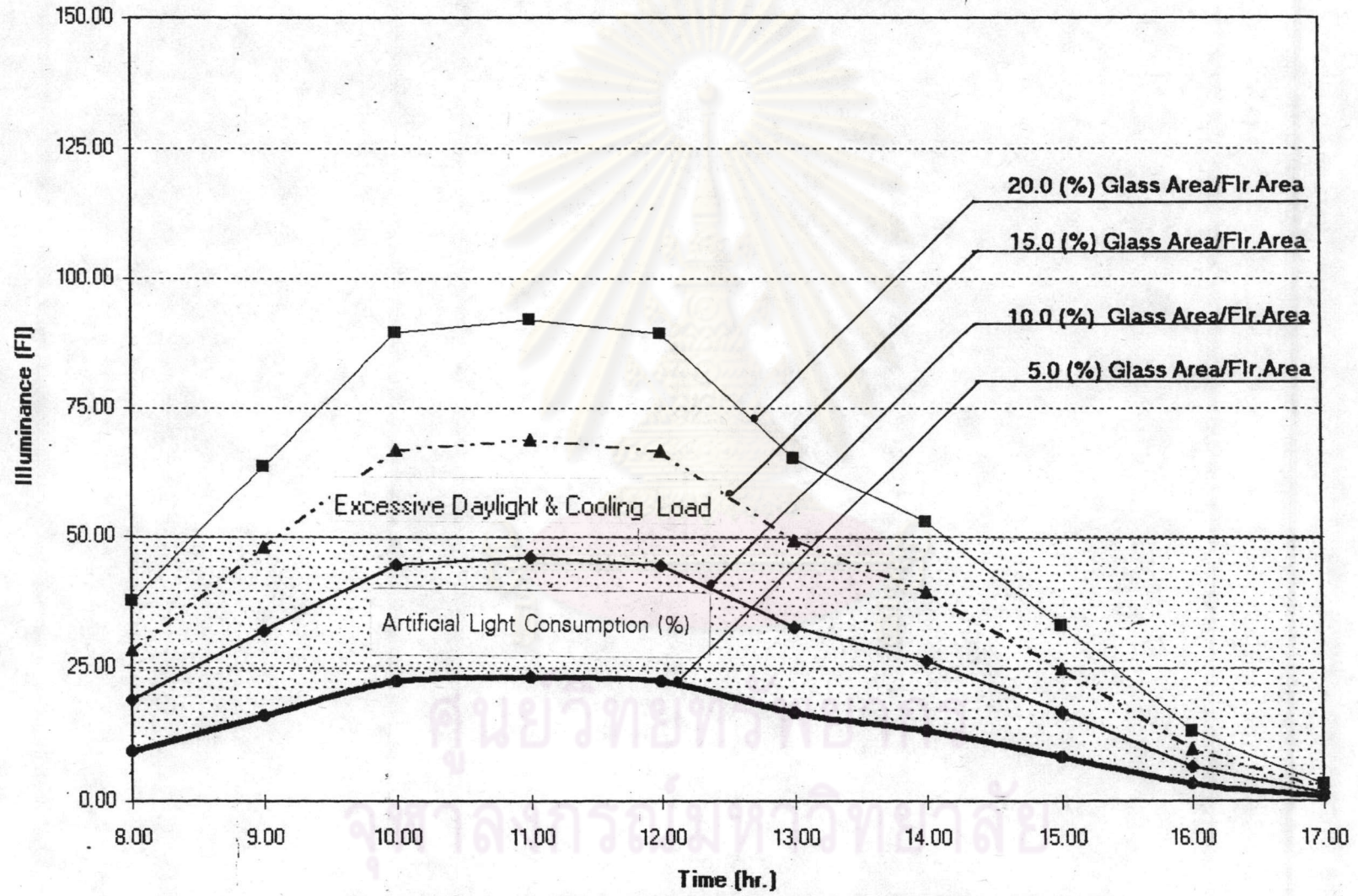


20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 23) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน พ.ย. 2536

Relationship between Glass Area [%] & Inside Illuminance on December



■ 20.0 sq.ft Ag
-▲- 15.0 sq.ft Ag
◆ 10.0 sq.ft Ag
● 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 24) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความส่องสว่างภายในกับขนาด
 ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ธ.ค. 2536

3. นำค่าที่ได้มาคิดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นจริง (COP) ผ่านช่องเปิดขนาดต่าง ๆ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างแผนภูมิ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติต่อไป

4. นำข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยประจำวันตลอดปีจากกรมอุตุนิยมวิทยา มาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิดขนาด 1 sq.ft ต่อพื้นที่ทำงาน 100 sq.ft (เพื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยรายเดือน ตลอดปี โดยแยกตามปริมาณเมฆบนท้องฟ้าเป็น 3 แบบ เช่นกัน (เพื่อแยกค่า Solar Heat Gain Factor) ส่วนข้อมูลอื่น ๆ เช่น ค่า Cooling Load Factor , Shading Coefficient เป็นต้น โดยอ้างอิงจากตาราง ASHRAE ,1993 ดังแสดงได้ดังนี้

$$Q = (U * A_g * \Delta t) + (A_g * SC * SHGF * CLF) \dots\dots\dots (3.12)$$

(ASHRAE,1993)

โดยที่

Q = ค่าปริมาณความร้อนรวมที่เกิดขึ้นผ่านกระจกในหนา 6.00 มม (BTU/h.sq.ft)

U = ค่าส่งถ่ายความร้อนของกระจกใส ดังอธิบายในบทที่ 3 ตามสมการที่ 3.11

A_g = พื้นที่รวมของช่องเปิด (sq.ft.) สำหรับการวิจัยนี้ในเบื้องต้นทำการแทนค่า A_g เท่ากับ 1 sq.ft. เพื่อหาค่าปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในโรงงานผ่านพื้นที่ช่องเปิด 1 sq.ft. (1% ของพื้นที่ทำงาน) หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณค่าปริมาณความร้อนผ่านพื้นที่ช่องเปิดขนาด 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 เปอร์เซนต์ของพื้นที่ทำงาน

ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิตลอดเดือนเฉลี่ยทั้งปีระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในโรงงานเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอกประจำวัน

$$= T_{ia} - T_{oa}$$

โดยที่ T_{ia} = อุณหภูมิอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรมโดยติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ณ ระดับ 75°F (24 C°)

T_{oa} = อุณหภูมิอากาศภายนอกประจำวันรายเดือนตลอดปีใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา เขตสถานีกรุงเทพฯ

SC = Shading Coefficient เท่ากับ 1 (Shading Coefficient) จากตาราง ASHRAE ,1993

SHGF = Solar Heat Gain Factor จากตาราง ASHRAE , 1993 โดยต้องนำมาแปลงค่าตามสภาวะท้องฟ้าทั้ง 3 แบบ

CLF = Cooling Load Factor ใช้ข้อมูลจาก ASHRAE, 1993

ดังนั้น เมื่อแทนค่าในสมการจะมีรายละเอียดดังนี้

$$Q = [1.05*1.00*(75-Toa)] + (1.00*1.00*SHGF*C*CLF) \dots\dots\dots (5.9)$$

5. นำค่าที่ได้ไปเป็นเกณฑ์สำหรับใช้คำนวณปริมาณความร้อนภายในสำหรับช่องเปิดขนาดอื่น ๆ ตามที่กำหนด 4 ขนาด คือ ขนาดช่องเปิด 20.0 , 15.0 , 10.0 และ 5.0 เพอร์เซ็นต์ของพท. พื้นที่ค่าที่ได้จะแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิดขนาดต่าง ๆ (BTU/h.sq.ft)

สำหรับพื้นที่ช่องเปิดขนาด 1.00 sq.ft. จะได้สมการที่ 5.8 และสำหรับพื้นที่ช่องเปิด 4 ขนาดที่ทำการวิจัยจะได้สมการ ดังนี้

$$Q = [1.05*0.05*(75-Toa)] + (1.00*1.00*SHGF*C*CLF) \dots\dots\dots (5.10)$$

$$Q = [1.05*0.10*(75-Toa)] + (1.00*1.00*SHGF*C*CLF) \dots\dots\dots (5.11)$$

$$Q = [1.05*0.15*(75-Toa)] + (1.00*1.00*SHGF*C*CLF) \dots\dots\dots (5.12)$$

$$Q = [1.05*0.20*(75-Toa)] + (1.00*1.00*SHGF*C*CLF) \dots\dots\dots (5.13)$$

6. นำค่าที่ได้มาแปลงค่าจาก BTU/h.sq.ft เป็น W/h.sq.m เพื่อนำมาคิดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นจริง (COP) ผ่านช่องเปิดขนาดต่าง ๆ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปสร้างแผนภูมิ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ต่อไป

7. นำแผนภูมิที่ได้จากข้อ 3 และข้อ 6 มาซ้อนทับกันเพื่อหาจุดตัด ซึ่งจะเป็นจุดที่แสดงขนาดของช่องเปิด (เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ทำงาน) ที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ออกแบบโดยใช้แสงธรรมชาติในโรงงานอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานคร ฯ

ผลการทดสอบปริมาณความส่องสว่างภายใน

จากข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จากกรมอุตุนิยมวิทยานำมาแปลงเป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายนอกตามสภาวะท้องฟ้าทั้ง 3 แบบทางทิศเหนือผ่านช่องเปิด 4 ขนาด คือ แบบช่องเปิด 20.0, 15.0, 10.0, และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงาน โดยวิธี Computer Calculation เพื่อหาค่าความส่องสว่างภายในตั้งแต่ช่วง 8.00-17.00 เฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี พบว่า

1) ปริมาณแสงสว่างเฉลี่ยภายในมีค่าแปรผันตามขนาดของช่องเปิดโดยตรง กล่าวคือ หากช่องเปิดมีขนาดใหญ่ปริมาณแสงสว่างภายในก็มีค่าสูงและถ้าขนาดช่องเปิดมีขนาดเล็ก ปริมาณแสงสว่างภายในก็มีค่าต่ำ จากกราฟพบว่าช่องเปิดขนาด 20.0 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทำงานได้รับปริมาณแสงสว่างภายในมากที่สุดตลอดทั้งปี รองลงไป คือ ช่องเปิดขนาด 15.0, 10.0 และ 5.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงานตามลำดับ ดังตารางที่ 5 - 8 และแผนภูมิที่ 13 - 24

2) ปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยรวมผ่านช่องเปิด 4 ขนาดเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี พบว่าในช่วง 10.00-14.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในช่วง 8.00-10.00 น. และ 14.00-17.00 น. เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ (กรมอุตุนิยมวิทยา) ในช่วงเวลาดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในช่วงอื่น ๆ เป็นผลให้ปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยรวมมีค่าสูงตามไปด้วย

Summary of Daylight Gain from 5.00 %

Glass Area on Jan - Dec 93

Month	Inside Illuminance (FC)
Jan.93	159.50
Feb	183.68
Mar	149.47
Apr	139.83
May	161.35
Jun	164.95
Jul	164.24
Aug	172.59
Sep	161.40
Oct	165.14
Nov	142.53
Dec	129.84
Total Daylight Gain perYear (365 Days)	1894.52
Total Daylight Gain per Working Day (312 Days)	1345.11

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยภายใน ผ่านช่องเปิดขนาด 5.0 เปอร์เซ็นต์

ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่เดือนม.ค. - ธ.ค. 2536

**Summary of Daylight Gain from 10.00 %
Glass Area on Jan - Dec 93**

Month	Inside Illuminance (FC)
Jan.93	319.01
Feb	367.35
Mar	299.48
Apr	279.66
May	322.7
Jun	329.89
Jul	328.90
Aug	354.18
Sep	322.81
Oct	330.28
Nov	285.05
Dec	259.67
Total Daylight Gain perYear (365 Days)	3798.57
Total Daylight Gain per Working Day (312 Days)	2696.98

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.0 เปอร์เซ็นต์
ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่เดือนม.ค. - ธ.ค. 2536

**Summary of Daylight Gain from 15.00 %
Glass Area on Jan - Dec 93**

Month	Inside Illuminance (FC)
Jan.93	478.51
Feb	551.03
Mar	449.22
Apr	419.48
May	484.10
Jun	494.84
Jul	492.73
Aug	517.77
Sep	484.21
Oct	495.42
Nov	427.58
Dec	389.51
Total Daylight Gain per Year (365 Days)	5684.40
Total Daylight Gain per Working Day (312 Days)	4035.92

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.0 เปอร์เซ็นต์
ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่เดือนม.ค. - ธ.ค. 2536

**Summary of Daylight Gain from 20.00 %
Glass Area on Jan - Dec 93**

Month	Inside Illuminance (FC)
Jan.93	638.02
Feb	734.71
Mar	598.96
Apr	540.38
May	624.97
Jun	659.78
Jul	656.97
Aug	690.36
Sep	645.62
Oct	495.42
Nov	570.10
Dec	519.35
Total Daylight Gain per Year (365 Days)	7374.64
Total Daylight Gain per Working Day (312 Days)	5235.99

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด 20.0 เปอร์เซ็นต์
ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่เดือนม.ค. - เดือนธ.ค. 2536

ผลการทดสอบปริมาณความร้อน

จากการคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดขนาด 1 sq.ft. โดยอ้างอิงข้อมูล
คุณภูมิอากาศภายนอกจากกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูล CLF และค่า SHGF จาก ASHRAE, 1993
โดยค่า SHGF นำมาแปลงค่าตามสภาวะท้องฟ้า 3 แบบ แล้วเฉลี่ยเป็นรายเดือน ค่า U และ SC
ของกระจกใสสามารถหาได้จากการคำนวณและตารางจาก ASHRAE, 1993 หลังจากนั้นนำมา
แทนค่าตามการคำนวณเพื่อหาปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดขนาด 5.0, 10.0, 15.0 และ 20.0
เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงานตามลำดับ โดยวิธี Computer Culation ตั้งแต่ช่วง 8.00-00 น. เฉลี่ยราย
เดือนตลอดทั้งปี พบว่า

1) ปริมาณความร้อนเฉลี่ยภายในมีค่าแปรผันตามขนาดของช่องเปิดโดยตรงเหมือนกับ
ปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยภายใน โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่องเปิดขนาด 20.0 15.0 10.0 และ 5.0
เปอร์เซ็นต์ลดหลั่นกันตามลำดับ ดังตารางที่ 9 - 12 และแผนภูมิที่ 25 - 36

2) ปริมาณความร้อนเฉลี่ยรวมผ่านช่องเปิด 4 ขนาดเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี พบว่า ตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนเมษายน ค่าเฉลี่ยมีค่าสูงสุดในช่วง 11.00-15.00 น ส่วนเดือน พฤษภาคมจนถึงเดือนกรกฎาคม ค่าเฉลี่ยมีค่าสูงสุดในช่วง 14.00-17.00 และในช่วงเดือนสิงหาคม จนถึงเดือนธันวาคม ค่าเฉลี่ยมีค่าสูงสุดในช่วง 11.00-15.00 น. อีกครั้ง เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ (กรมอุตุนิยมวิทยา) ในช่วงเวลาดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในช่วงอื่น ๆ เป็นผลให้ปริมาณ ความร้อนเฉลี่ยรวมมีค่าสูงตามไปด้วย

**Summary of Heat Gain from 5.00 %
Glass Area on Jan - Dec 93**

Month	Q (Btu/h.sq.ft)
Jan.93	8.83
Feb	9.76
Mar	11.94
Apr	16.46
May	18.17
Jun	19.03
Jul	17.04
Aug	13.05
Sep	11.19
Oct	9.93
Nov	11.13
Dec	7.66
Total	154.19
Used Coefficient of Performance (COP) = 2.51	
Total Heat Gain per Year (365 Days)	61.43
Total Heat Gain per Working Day (312 Days)	43.62

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 5.0 เปอร์เซ็นต์
ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่เดือนม.ค. - ธ.ค. 2536

**Summary of Heat Gain from 10.00 %
Glass Area on Jan - Dec 93**

Month	Q (Btu/h.sq.ft)
Jan.93	17.67
Feb	19.52
Mar	23.87
Apr	32.92
May	37.94
Jun	38.90
Jul	34.08
Aug	32.22
Sep	22.39
Oct	19.86
Nov	22.57
Dec	15.33
Total	317.27
Used Coefficient of Performance (COP) = 2.51	
Total Heat Gain per Year (365 Days)	126.40
Total Heat Gain per Working Day (312 Days)	89.75

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 10.00เปอร์เซ็นต์
ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536

**Summary of Heat Gain from 15.00 %
Glass Area on Jan - Dec 93**

Month	Q (Btu/h.sq.ft)
Jan.93	26.50
Feb	29.28
Mar	35.81
Apr	49.37
May	56.90
Jun	57.10
Jul	51.13
Aug	39.16
Sep	33.58
Oct	29.78
Nov	33.39
Dec	22.39
Total	464.39
Used Coefficient of Performance (COP) = 2.51	
Total Heat Gain per Year (365 Days)	185.25
Total Heat Gain per Working Day (312 Days)	131.53

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 15.00เปอร์เซ็นต์
ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536

**Summary of Heat Gain from 20.00 %
Glass Area on Jan - Dec 93**

Month	Q (Btu/h.sq.ft)
Jan.93	35.33
Feb	39.04
Mar	47.74
Apr	65.83
May	75.88
Jun	76.13
Jul	68.17
Aug	52.22
Sep	44.77
Oct	39.71
Nov	44.52
Dec	30.66
Total	620.00
Used Coefficient of Performance (COP) = 2.51	
Total Heat Gain per Year (365 Days)	247.01
Total Heat Gain per Working Day (312 Days)	175.38

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยผ่านช่องเปิดขนาด 20.0 เปอร์เซ็นต์
ของพื้นที่ทำงานด้านทิศเหนือตั้งแต่เดือนม.ค. - ธ.ค. 2536

วิเคราะห์ผลการทดสอบโดยวิธี Computer Calculation

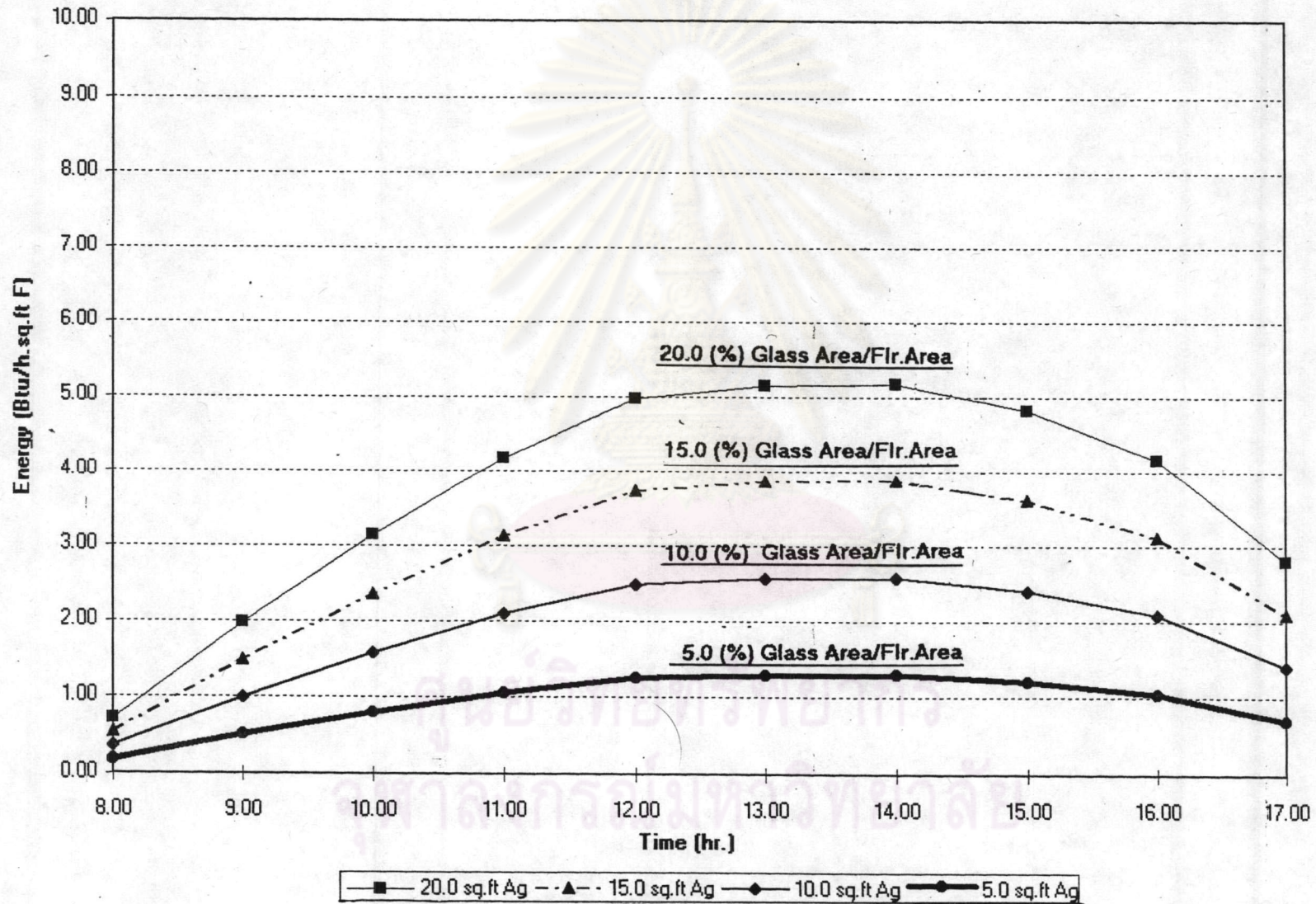
วิธีนี้เป็นการศึกษาหาข้อสรุปของขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมที่สามารถรับแสงธรรมชาติ
ได้อย่างมีคุณภาพ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาค่าไฟฟ้าเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ผ่านช่อง
เปิด 4 ขนาด ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ มค.- ธค. 2536 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 พิจารณาปริมาณแสงธรรมชาติรวมที่ได้รับทั้งหมดตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น. เฉลี่ยราย
เดือน ตลอดปีผ่านช่องเปิด 4 ขนาดซึ่งแสดงได้จากตารางที่ 13 จากนั้นนำไปสร้างแผนภูมิซึ่งแสดง
ได้จากแผนภูมิที่ 37

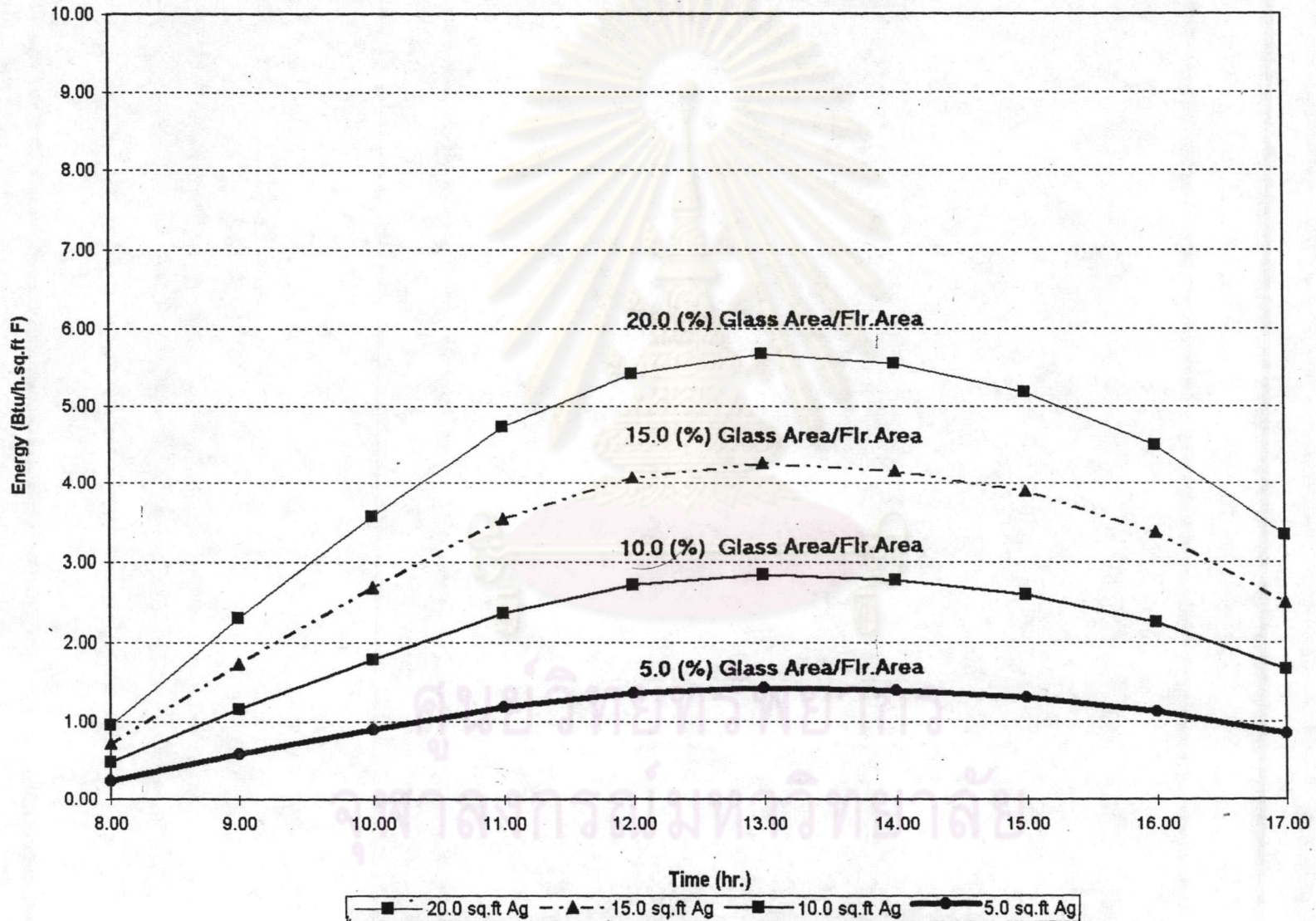
1.2 พิจารณาปริมาณแสงประดิษฐ์ที่ได้เสริมความส่องสว่างทั้งหมดตั้งแต่ 8.00-17.00
น. เฉลี่ยรายเดือนตลอดปีผ่านช่องเปิด 4 ขนาดในรูปของเปอร์เซ็นต์ซึ่งแสดงได้จากตารางที่ 14
จากนั้นนำไปสร้างแผนภูมิซึ่งแสดงได้จากแผนภูมิที่ 38

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on January



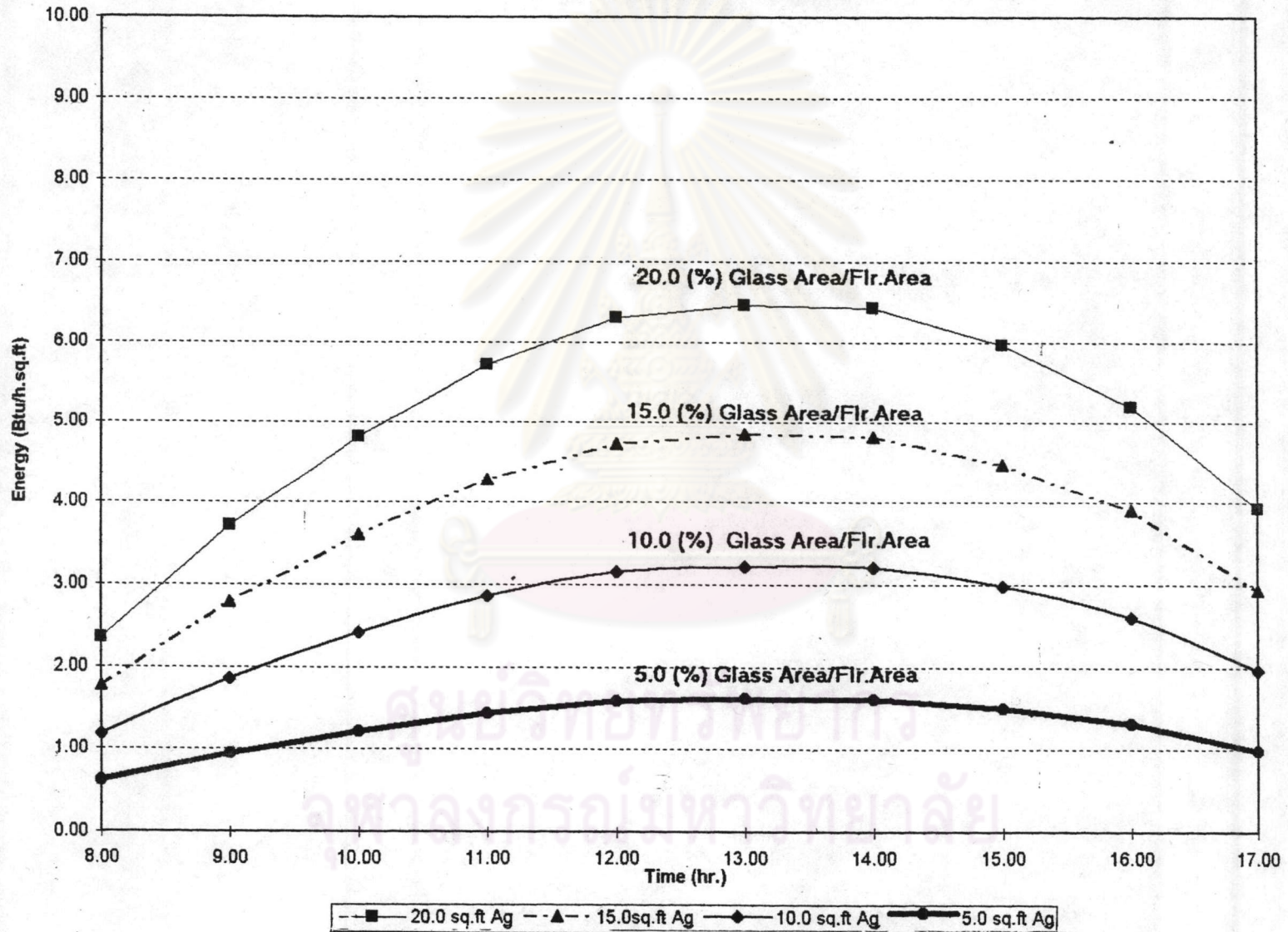
แผนภูมิที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ
ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ม.ค. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on February



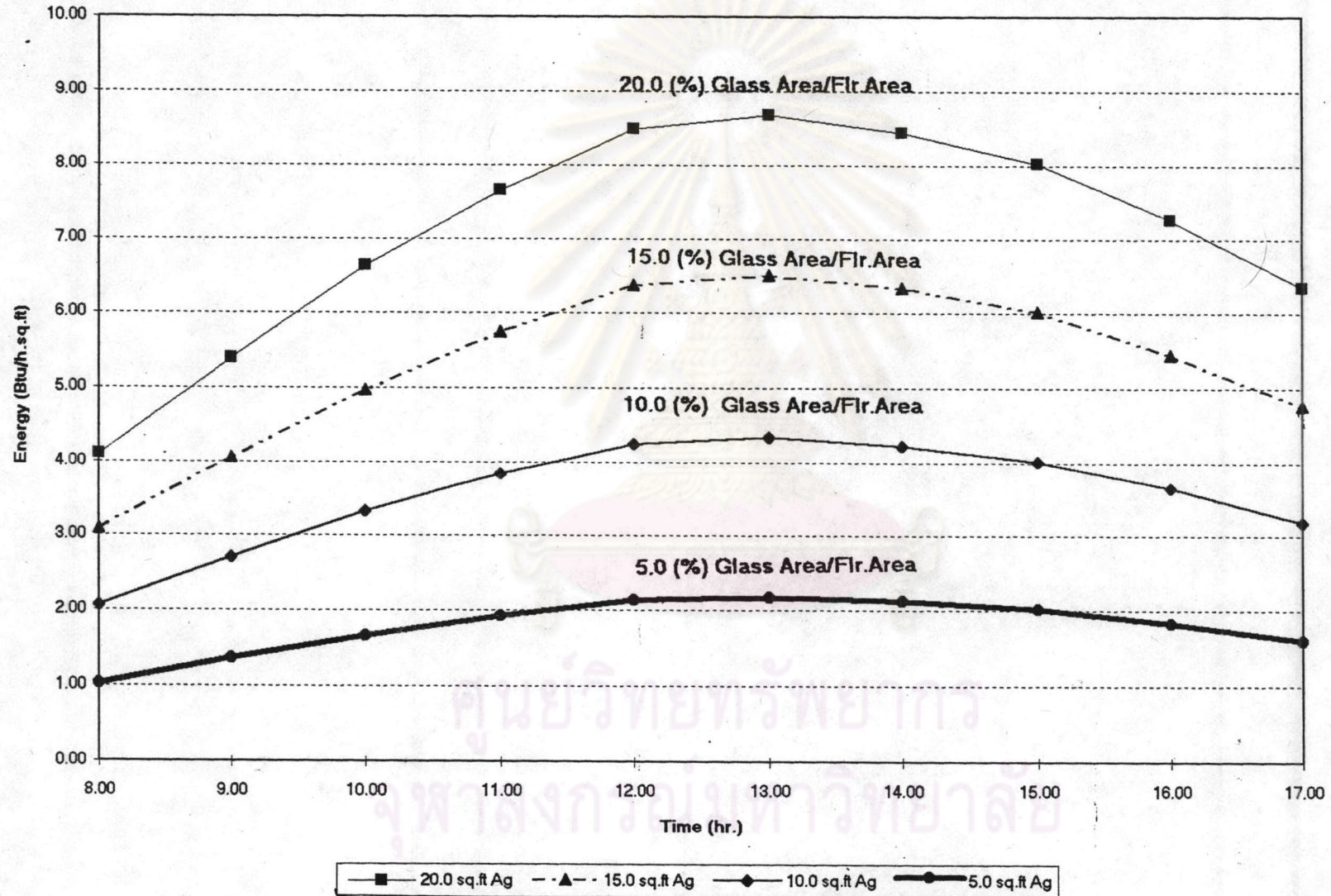
แผนภูมิที่ 26) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ
ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.พ. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on March



แผนภูมิที่ 27) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ
ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2536

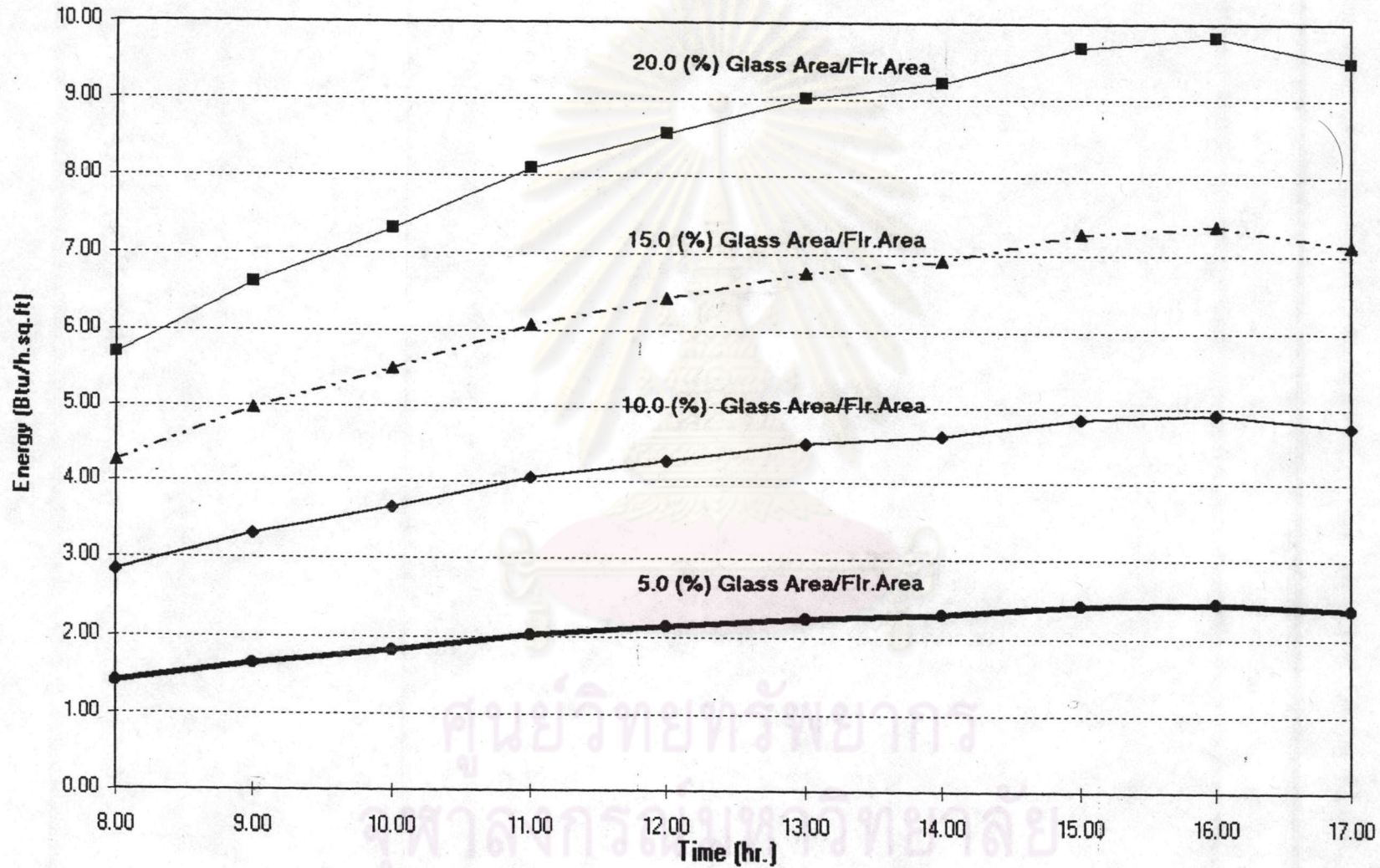
Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on April



แผนภูมิที่ 28) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน เม.ย. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on May



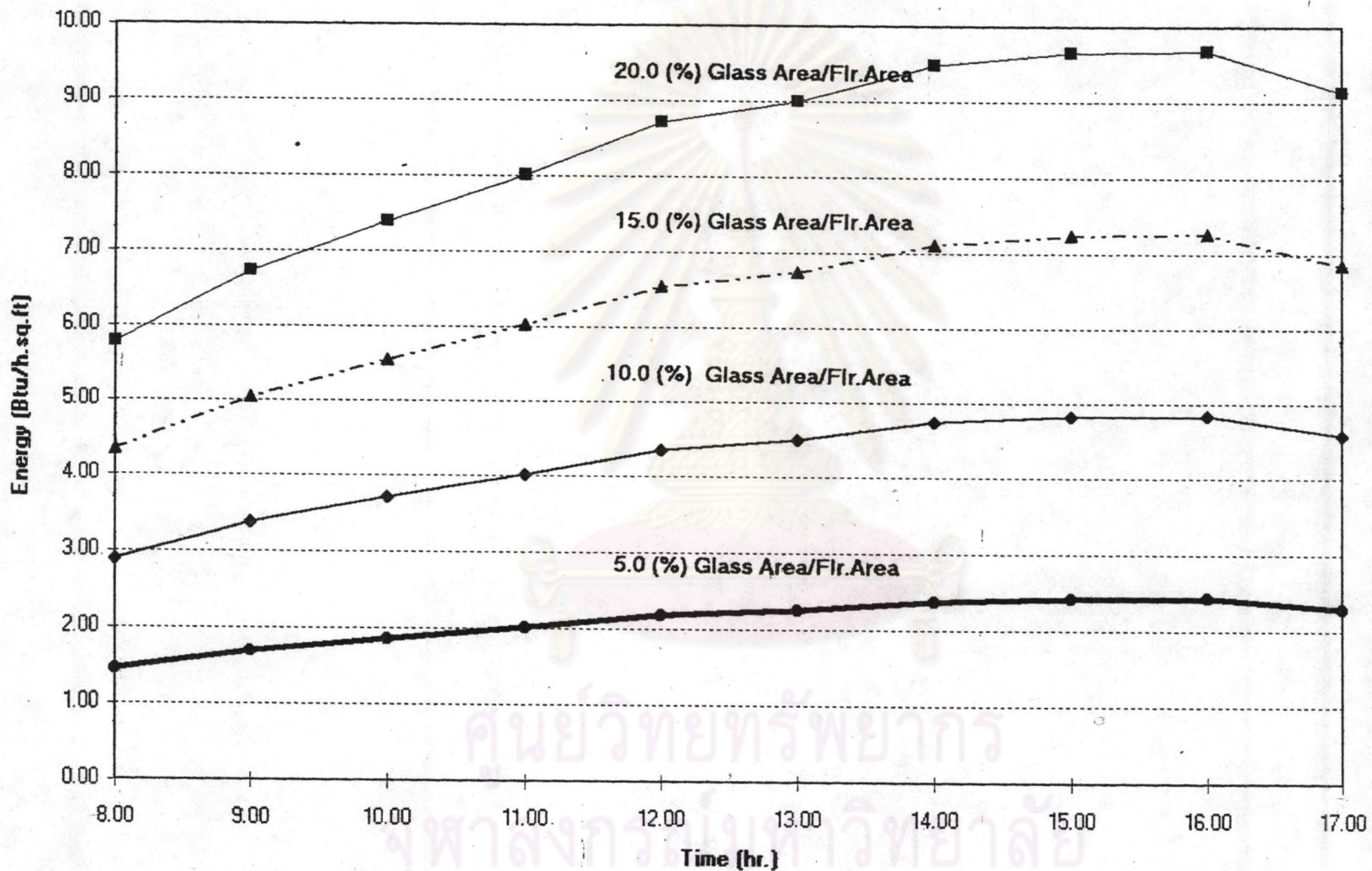
20.0 sq.ft Ag

 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 29) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน พ.ค. 2536

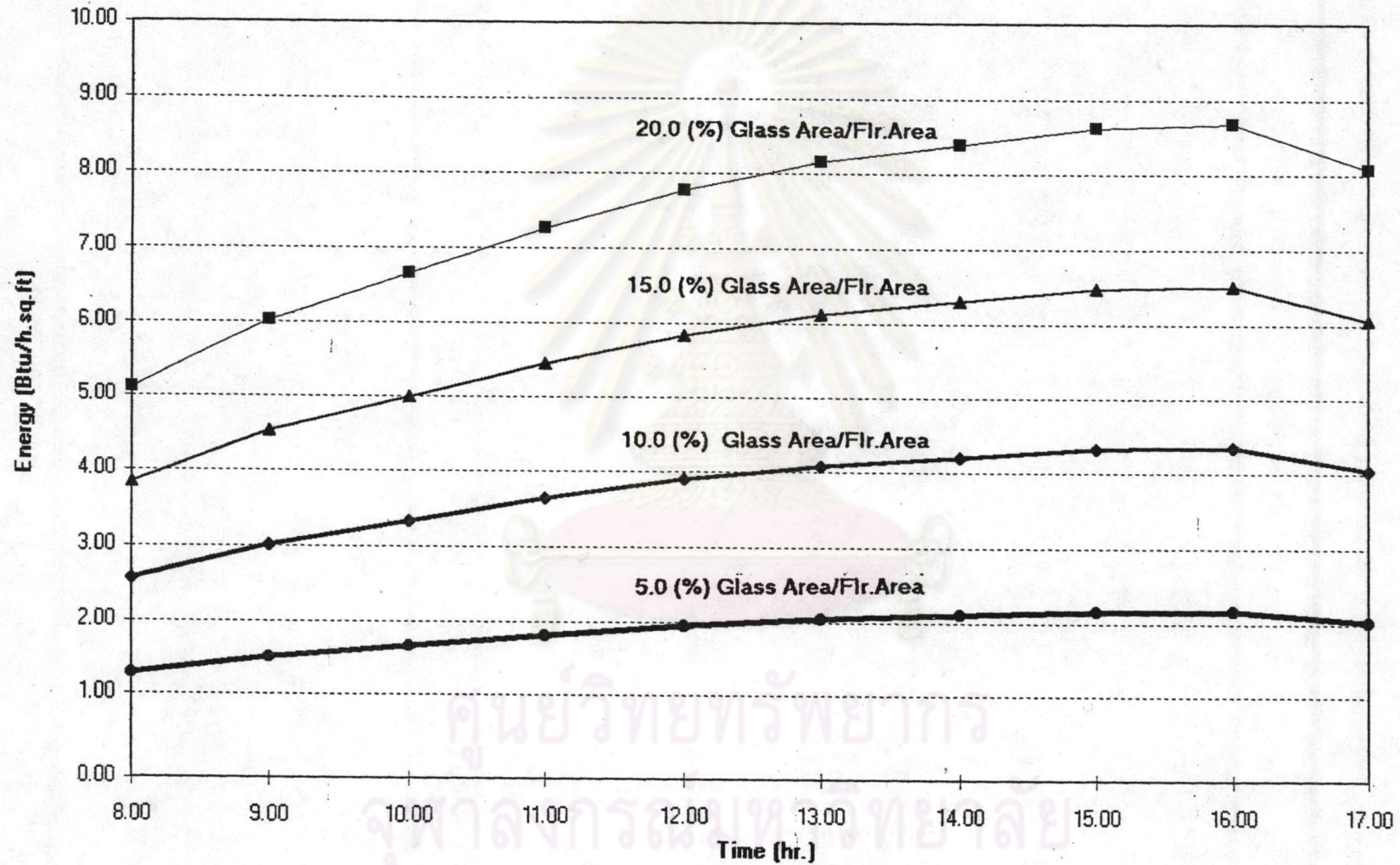
Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on June



20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 30) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ
 ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน มิ.ย. 2536

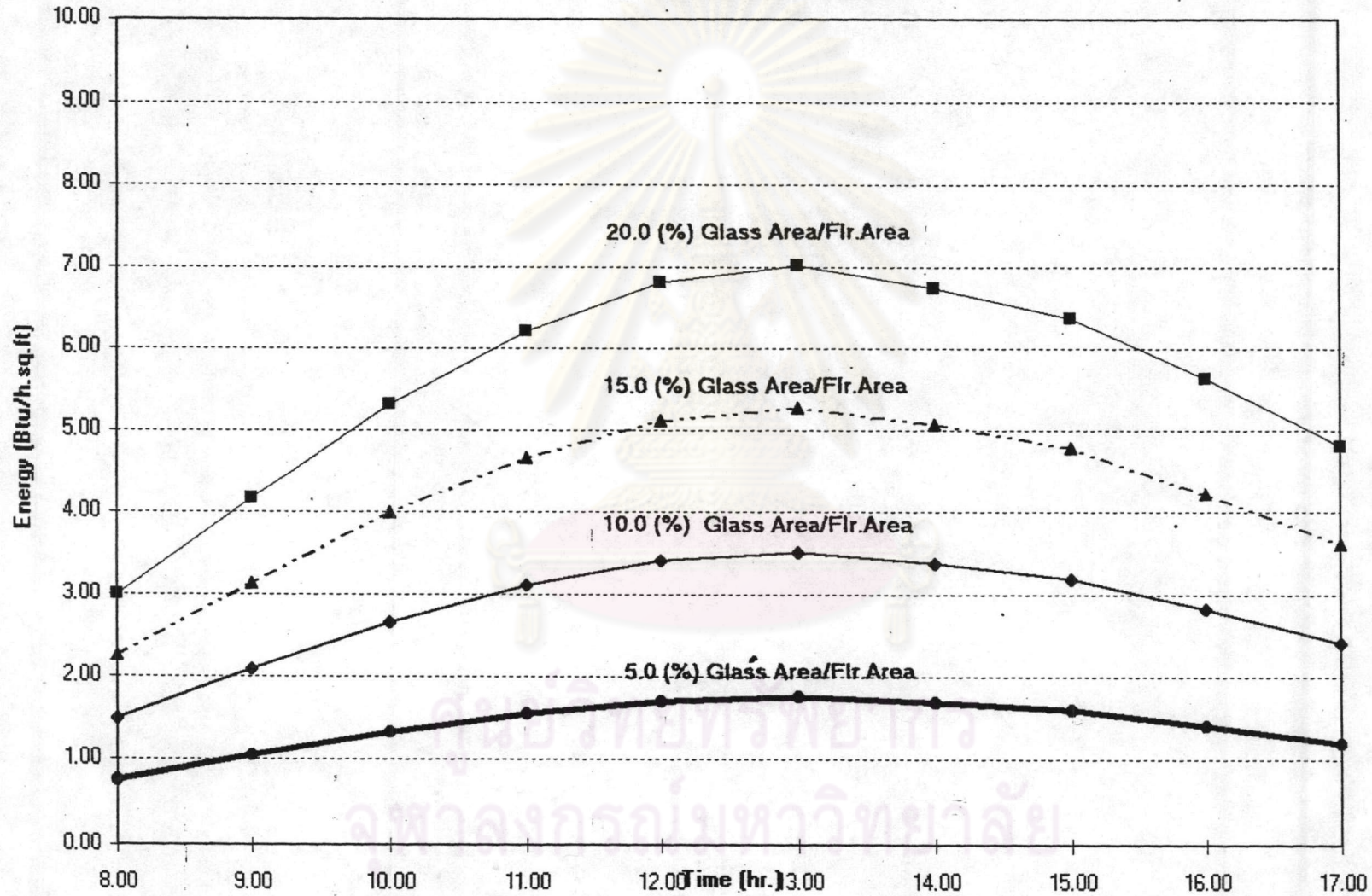
Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on July



20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 31) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ
 ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.ค. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on August

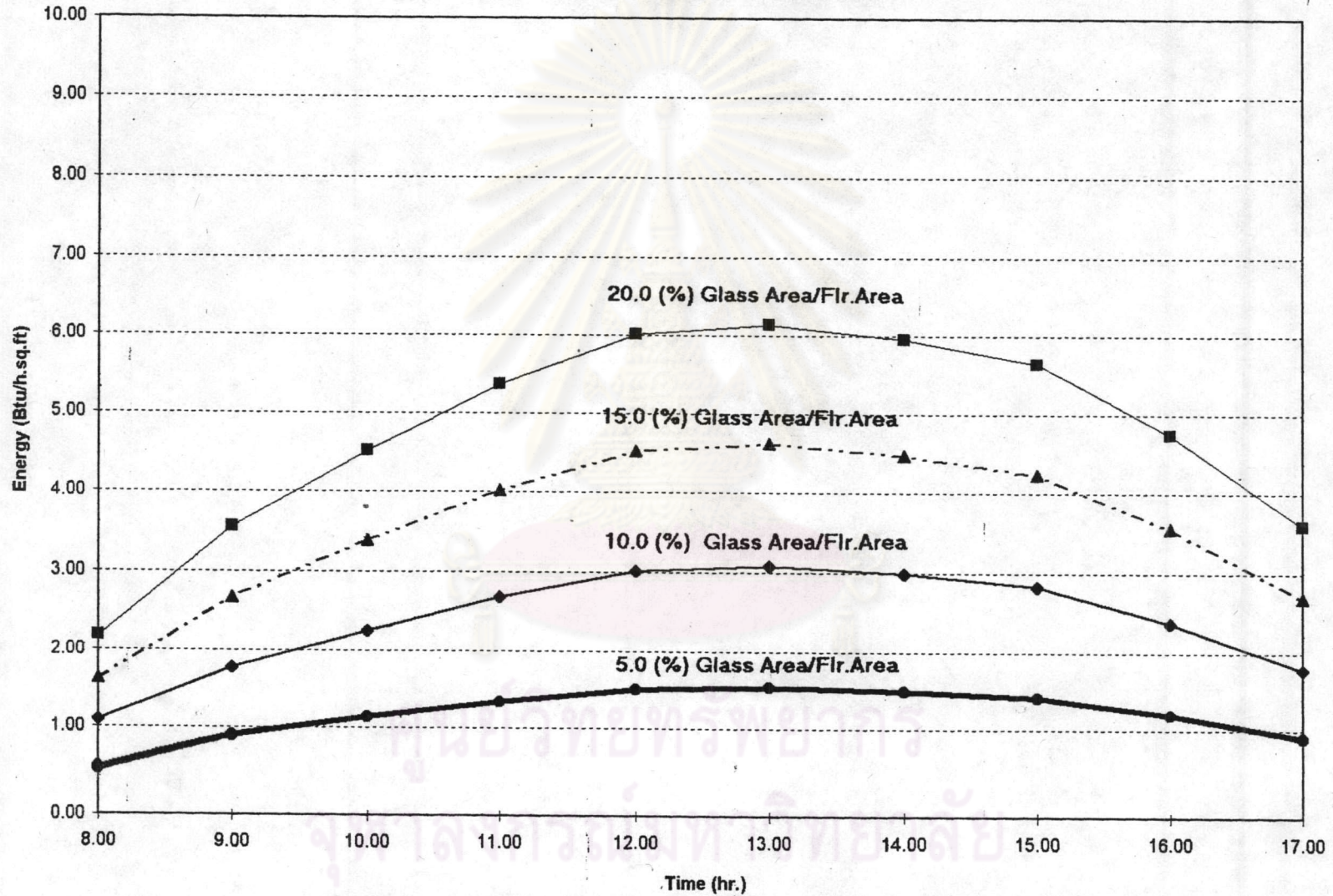


■ 20.0 sq.ft Ag
 -▲- 15.0 sq.ft Ag
 ◆ 10.0 sq.ft Ag
 ● 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 32) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ส.ค. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on September

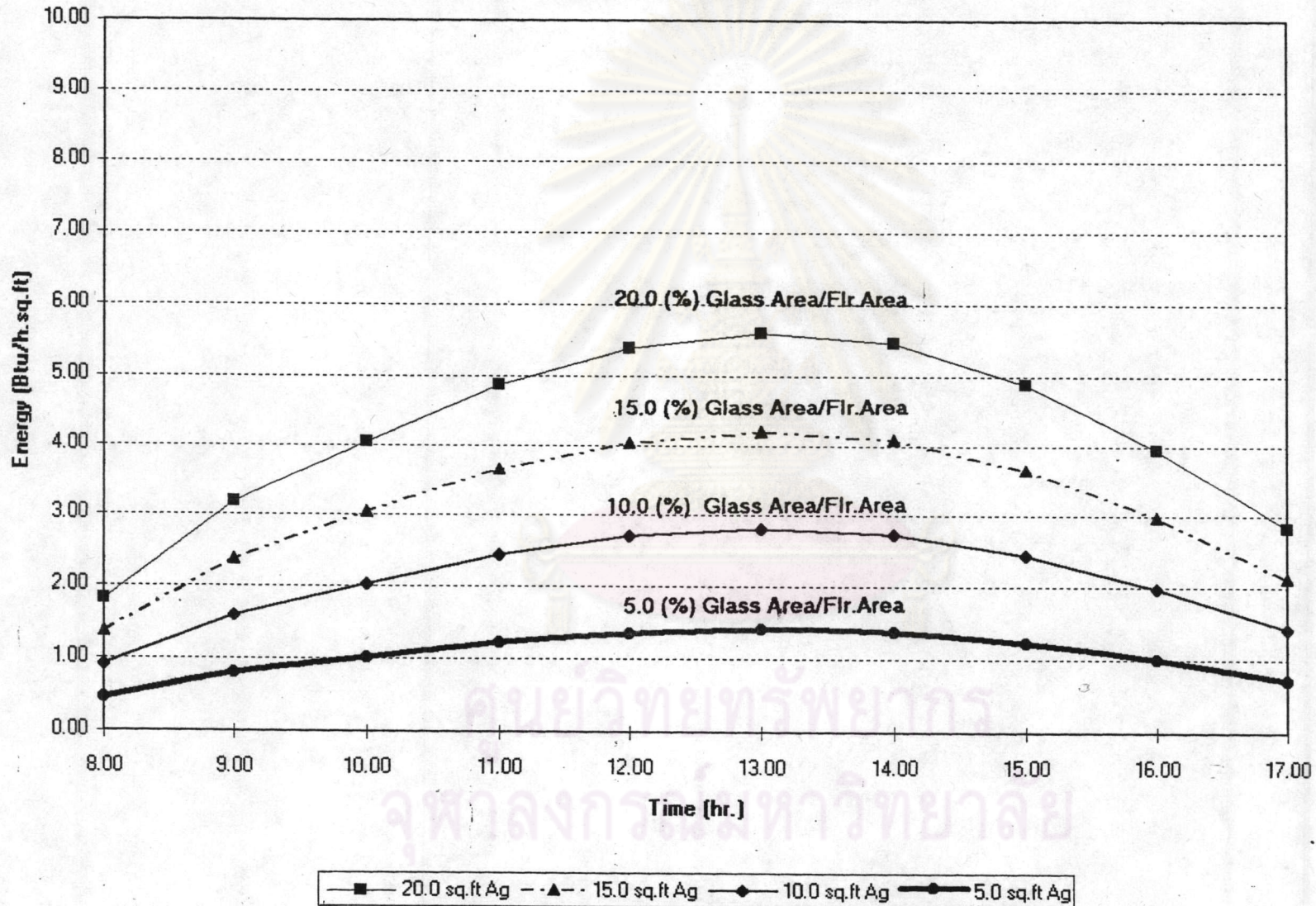


20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 33) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ก.ย. 2536

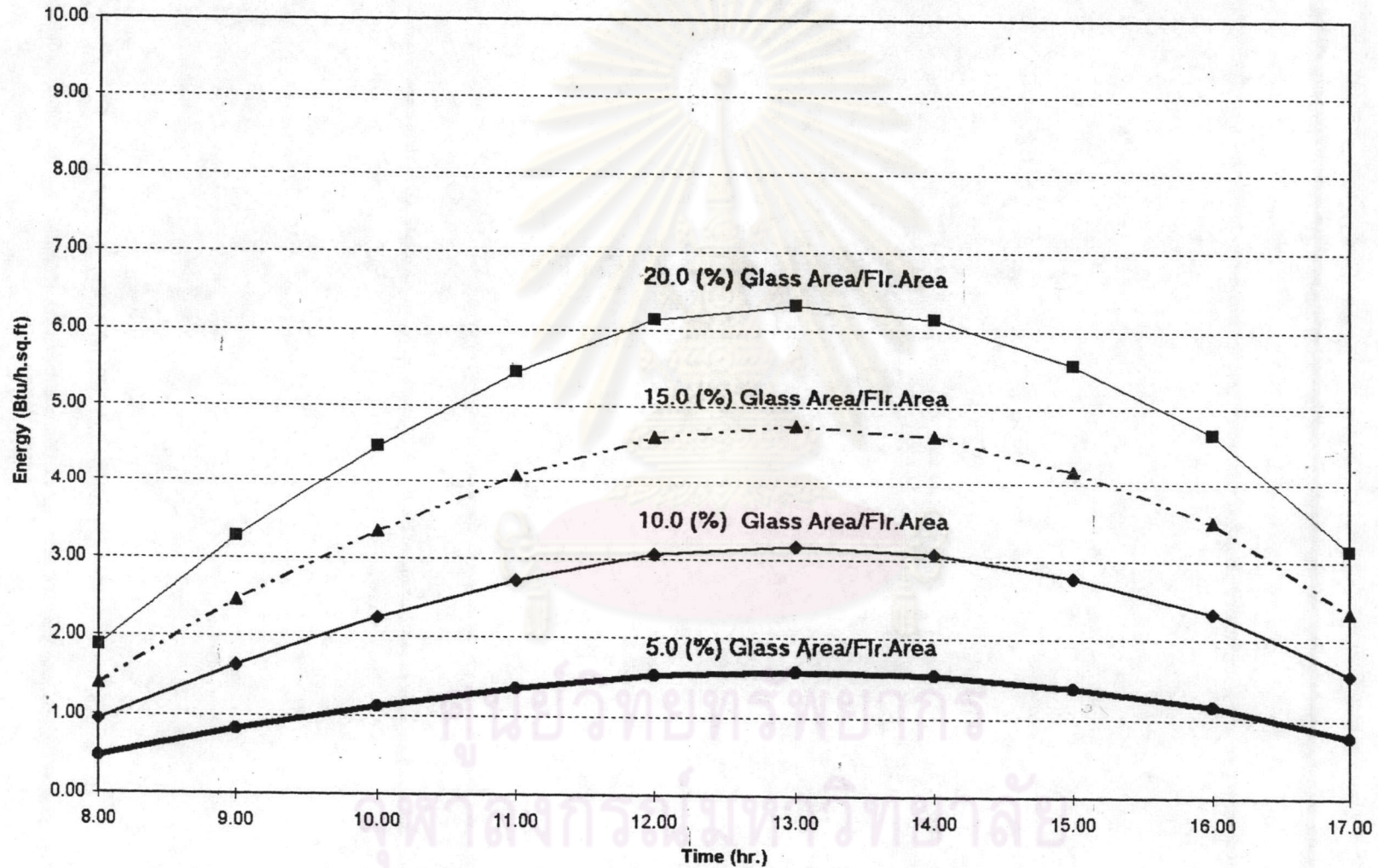
Relationship between Glass area (%) & Heat Gain on October



แผนภูมิที่ 34) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ

ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ต.ค. 2536

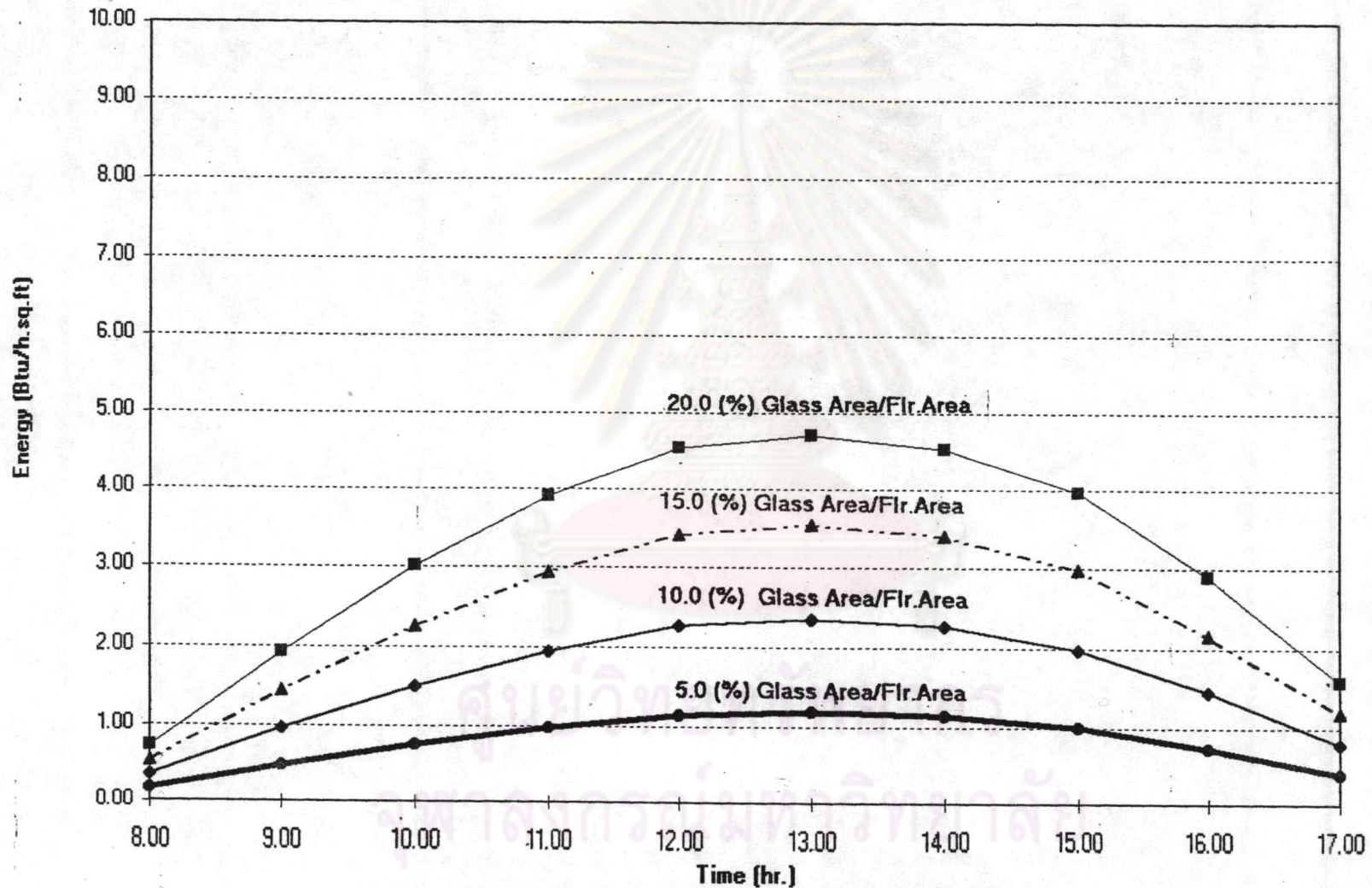
Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on November



20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag.

แผนภูมิที่ 35) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ
 ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน พ.ย. 2536

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on December



20.0 sq.ft Ag
 15.0 sq.ft Ag
 10.0 sq.ft Ag
 5.0 sq.ft Ag

แผนภูมิที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับขนาดของ
 ช่องเปิด (%) ด้านทิศเหนือเดือน ธ.ค. 2536

1.3. พิจารณาค่าไฟฟ้าเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นจริง (COP) (วิธีคำนวณแสดงในภาคผนวก) ทั้งหมดผ่านช่องเปิด 4 ขนาด โดยคิดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในอัตราของปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม 1000 W/h. ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.07 บาท (1.07 B/KWh คือ ค่าไฟฟ้าที่ยังไม่รวม Demand Charge ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง ปี 2538) ซึ่งแสดงได้จากตารางที่ 15 จากนั้นนำไปสร้างแผนภูมิซึ่งสามารถแสดงได้จากแผนภูมิที่ 39

1.4 พิจารณาค่าไฟฟ้าเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นจริงจาก COP ต่าง ๆ ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามค่าไฟฟ้าที่มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานสูงขึ้นนั่นเอง ดังแสดงได้จากแผนภูมิที่ 40

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาค่าไฟฟ้าเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิด 4 ขนาด ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ มค.- ธค. 2536 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1. พิจารณาปริมาณแสงธรรมชาติรวมที่ได้รับทั้งหมดตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น. เฉลี่ยรายเดือน ตลอดปีผ่านช่องเปิด 4 ขนาดซึ่งแสดงได้จากตารางที่ 13 จากนั้นนำไปสร้างแผนภูมิซึ่งแสดงได้จากแผนภูมิที่ 37 เช่นกัน

2.2 พิจารณาปริมาณความร้อนรวมจากแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั้งหมดตั้งแต่ 8.00-17.00 น. เฉลี่ยรายเดือนตลอดปีผ่านช่องเปิด 4 ขนาดโดยคิดเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นจริงจากภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติ (คิด COP ซึ่งมีวิธีคิดเหมือนกับพลังงานที่เกิดขึ้นจากภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ดังแสดงในภาคผนวก) ซึ่งแสดงได้จากตารางที่ 16 จากนั้นนำไปสร้างแผนภูมิซึ่งสามารถแสดงได้จากแผนภูมิที่ 41

2.3. เปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างและปริมาณความร้อนจากแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิด 4 ขนาดเฉลี่ยรายเดือนตลอดปี ด้านทิศเหนือดังแสดงได้จากแผนภูมิที่ 42 ซึ่งพบว่าแผนภูมิที่เกิดขึ้นมีทิศทางไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ หากปริมาณความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติเพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนก็มีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากปริมาณความส่องสว่างลดลง ปริมาณความร้อนก็ลดลง ทำให้ไม่สามารถหาจุดตัดของแผนภูมิเพื่อเป็นเกณฑ์สำหรับเลือกขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม

2.4. จากตารางในข้อ 2 จะทราบพลังงานความร้อนที่ใช้จริงผ่านช่องเปิด 4 ขนาดในหน่วย BTU/h.sq.ft ต้องทำการแปลงค่าเป็น W/h.sq.m (เพื่อคิดคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นสำหรับประเทศไทย) ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

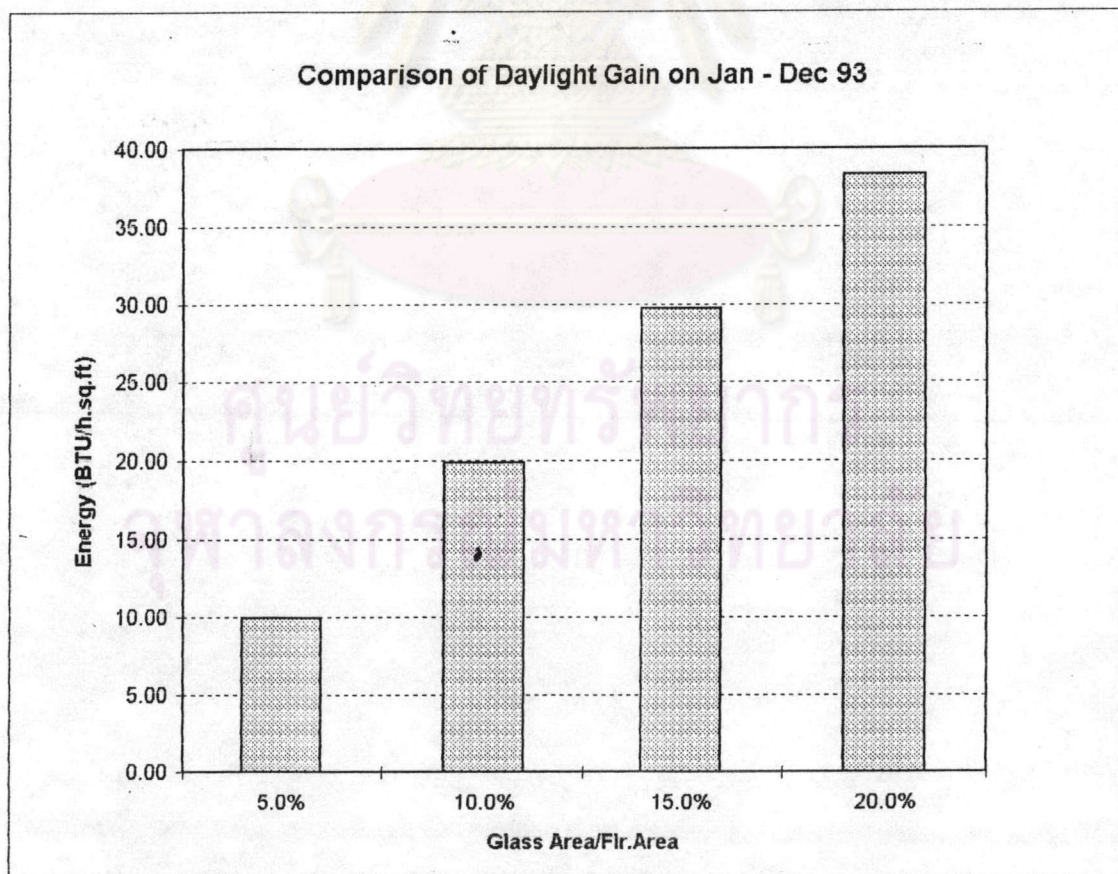
พลังงานที่ใช้จริง (COP) สำหรับช่องเปิดขนาด 5.00% = 12.78 W/h.sq.m

พลังงานที่ใช้จริง (COP) สำหรับช่องเปิดขนาด 10.00% = 23.96 W/h.sq.m

Comparison of Daylight Gain Energy (Btu/hr.sq.ft)

Glass Area/Flr.Area	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
Month				
Jan.93	159.50	319.01	478.51	638.02
Feb	183.68	367.35	551.03	734.71
Mar	149.47	299.48	449.22	598.96
Apr	139.83	279.66	419.48	559.31
May	161.35	322.70	484.10	559.31
Jun	164.95	329.89	494.84	659.78
Jul	164.24	328.49	492.73	656.97
Aug	172.59	354.18	517.77	690.36
Sep	161.40	322.81	484.21	645.62
Oct	165.14	330.28	495.42	495.42
Nov	142.53	285.05	427.58	570.10
Dec	129.84	259.67	389.51	519.35
Total	1894.52	3798.57	5684.40	7327.91
Converted Energy (FC to BTU) by 135.807				
Total Daylight perYear (365 Days)	13.95	27.97	41.86	53.96
Total Daylight per Working Day (312 Days)	9.90	19.86	29.72	38.31

ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติที่ได้รับผ่าน
ช่องเปิดด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536

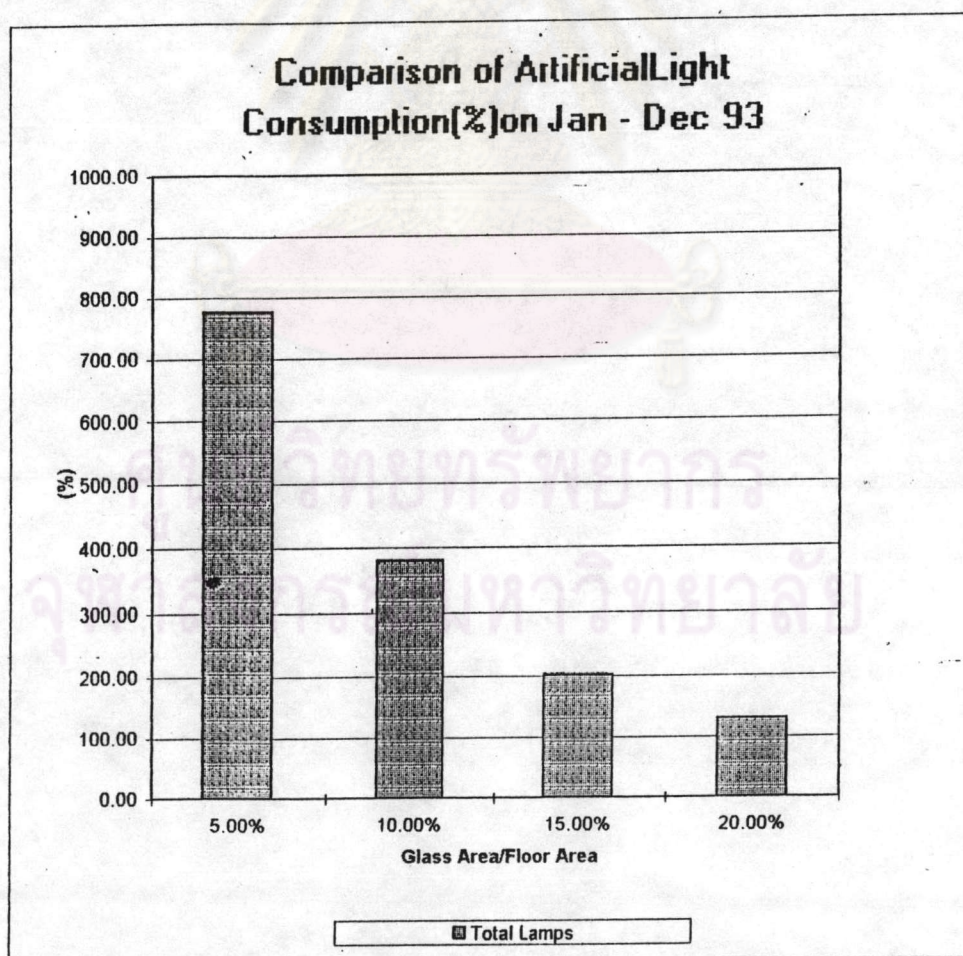


แผนภูมิที่ 37 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิด 4 ขนาด
ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค. - ธ.ค. 2536

Comparison of Artificial Light Consumption (%) on Jan - Dec 93

Glass Area/Flr. Area (sq.ft)	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
Month	Lamp (%)	Lamp (%)	Lamp (%)	Lamp (%)
Jan-93	63.91	30.23	16.17	9.80
Feb	58.59	24.48	12.45	7.27
Mar	71.31	32.01	16.61	10.01
Apr	68.24	42.37	18.03	11.15
May	63.50	32.02	16.39	9.74
Jun	62.71	27.77	13.21	7.83
Jul	62.87	27.91	14.39	8.41
Aug	61.03	25.89	12.88	7.96
Sep	63.49	30.06	16.35	11.46
Oct	62.67	28.59	16.00	12.41
Nov	67.64	36.38	23.30	17.64
Dec	70.44	41.87	26.15	16.67
Total	776.40	379.58	201.93	130.35

ตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการเสริมความสว่างจากแสงประดิษฐ์
(%) ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค.2536

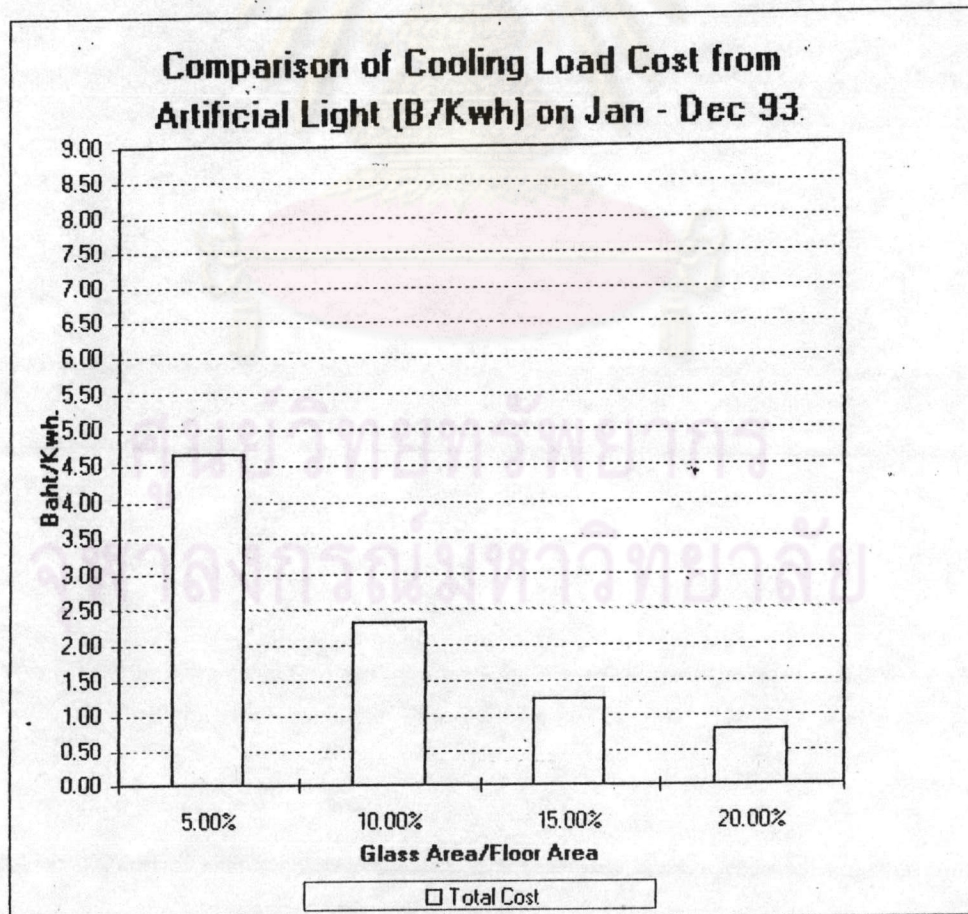


แผนภูมิที่ 38) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการเสริมความส่องสว่าง
จากแสงประดิษฐ์ของช่องเปิด 4 ขนาดตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค.2536

Comparison of Cooling Load Cost from Artificial Light (B/Kwh) on Jan - Dec 93

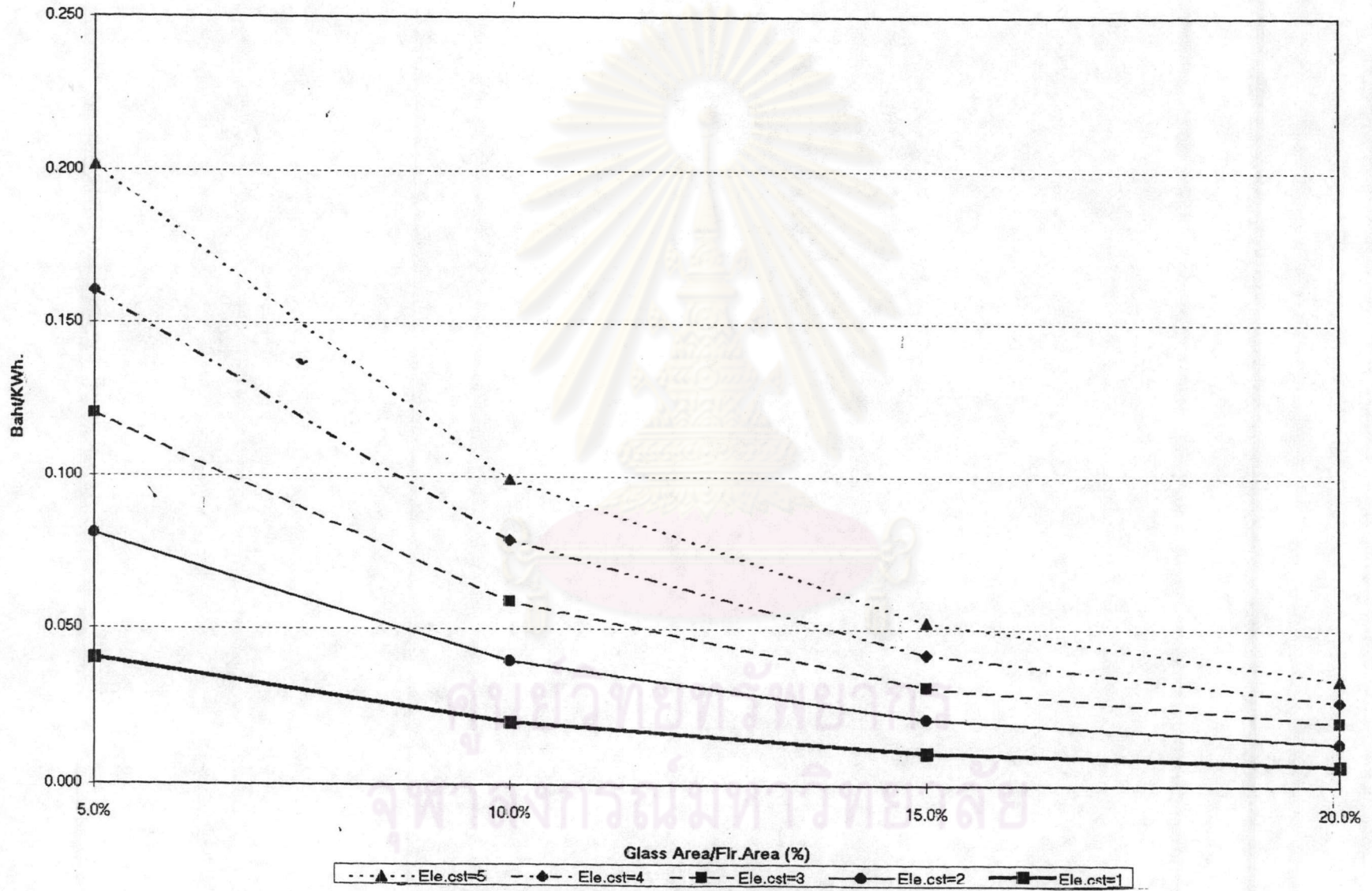
Glass Area/Flr. Area (sq.ft)	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
Month	cost	cost	cost	cost
Jan-93	0.3899	0.1844	0.0986	0.0598
Feb	0.3574	0.1493	0.0759	0.0443
Mar	0.3500	0.1953	0.1013	0.0611
Apr	0.4163	0.2585	0.1100	0.0680
May	0.3874	0.1953	0.1000	0.0594
Jun	0.3825	0.1694	0.0806	0.0478
Jul	0.3835	0.1703	0.0878	0.0513
Aug	0.3723	0.1579	0.0786	0.0486
Sep	0.3873	0.1834	0.0997	0.0699
Oct	0.3823	0.1744	0.0976	0.0757
Nov	0.4126	0.2219	0.1421	0.1076
Dec	0.4297	0.2554	0.1595	0.1017
Total	4.6512	2.3155	1.2317	0.7952

ตารางที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ผ่านช่องเปิด 4 ขนาด ตั้งแต่ ม.ค. - ธ.ค. 2536



แผนภูมิที่ 39) แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์ผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%) ด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค. -ธ.ค.2536

Comparison of Cooling Cost from Artificial Light on Jan - Dec 93



แผนภูมิที่ 40 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็น

จากแสงประดิษฐ์ ตั้งแต่ มค. - ธค. 2536

พลังงานที่ใช้จริง (COP) สำหรับช่องเปิดขนาด 15.00% = 38.55 W/h.sq.m

พลังงานที่ใช้จริง (COP) สำหรับช่องเปิดขนาด 20.00% = 51.40 W/h.sq.m

นำมาคิดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติในอัตราของปริมาณการใช้ไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม 1000 W/h. ต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.07 บาท (1.07 B/KWh คือ ค่าไฟฟ้าที่ยังไม่รวม Demand Charge ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง ปี 2538) ซึ่งแสดงได้จากตารางที่ 17 จากนั้นนำไปสร้างแผนภูมิ ซึ่งสามารถแสดงได้จากแผนภูมิที่ 43

2.5 พิจารณาค่าไฟฟ้าเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นจริงจาก COP ต่าง ๆ ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามค่าไฟฟ้าที่มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานสูงขึ้นนั่นเอง ดังแสดงได้จากแผนภูมิที่ 44

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาเลือกขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับการได้รับปริมาณแสงธรรมชาติที่มีคุณภาพโดยเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์น้อยที่สุด โดยนำแผนภูมิแสดงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงประดิษฐ์และแผนภูมิแสดงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติซึ่งมีทิศทางของแผนภูมิผกผันกันมาซ้อนทับกันเพื่อหาจุดตัดซึ่งเป็นจุดที่แสดงขนาดช่องเปิดที่มีความเหมาะสม ดังแสดงได้จากแผนภูมิที่ 45

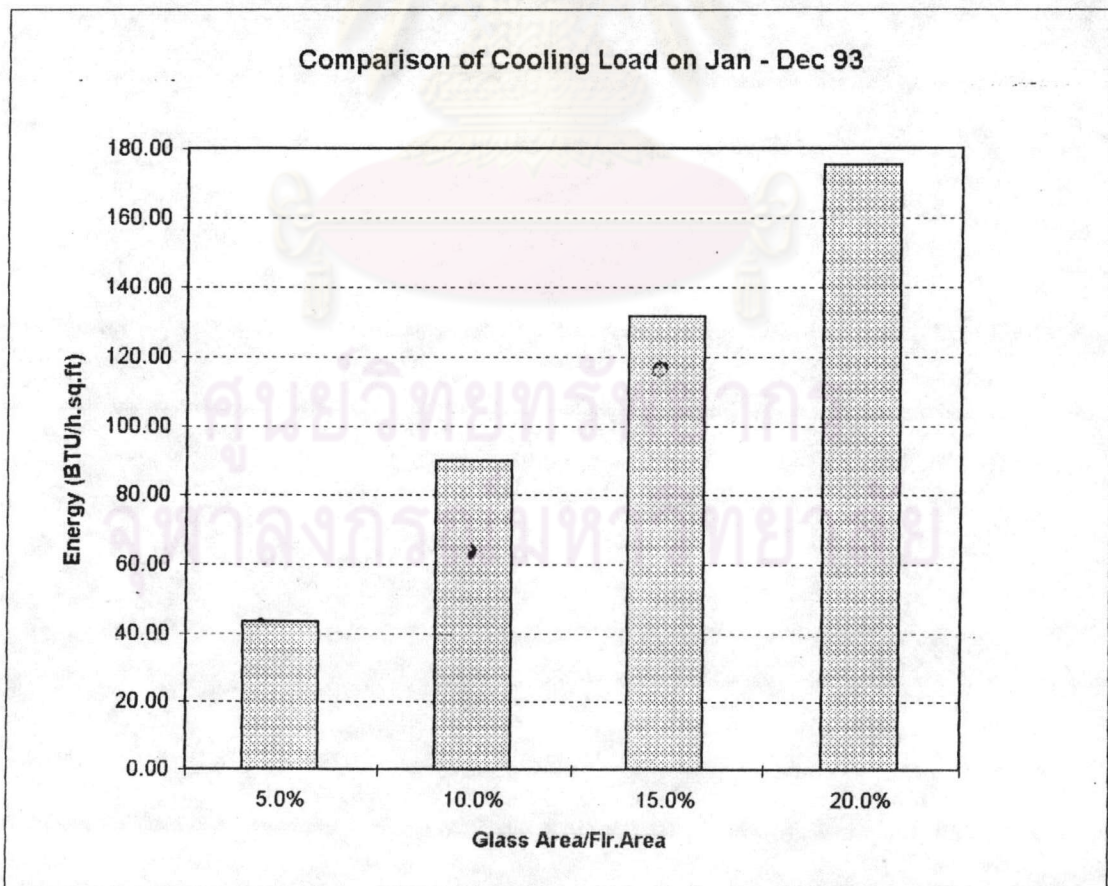
จากแผนภูมิที่ 45 พบว่าจุดตัดบริเวณช่องเปิดขนาด 7.50 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงานเป็นช่องเปิดที่สามารถได้รับปริมาณความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่มีคุณภาพและเสียค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ที่น้อย ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้พบว่าขนาดของช่องเปิดดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์สำหรับออกแบบโดยใช้แสงธรรมชาติในโรงงานอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานคร ฯ ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparison of Cooling Load Gain Energy (Btu/hr.sq.ft)

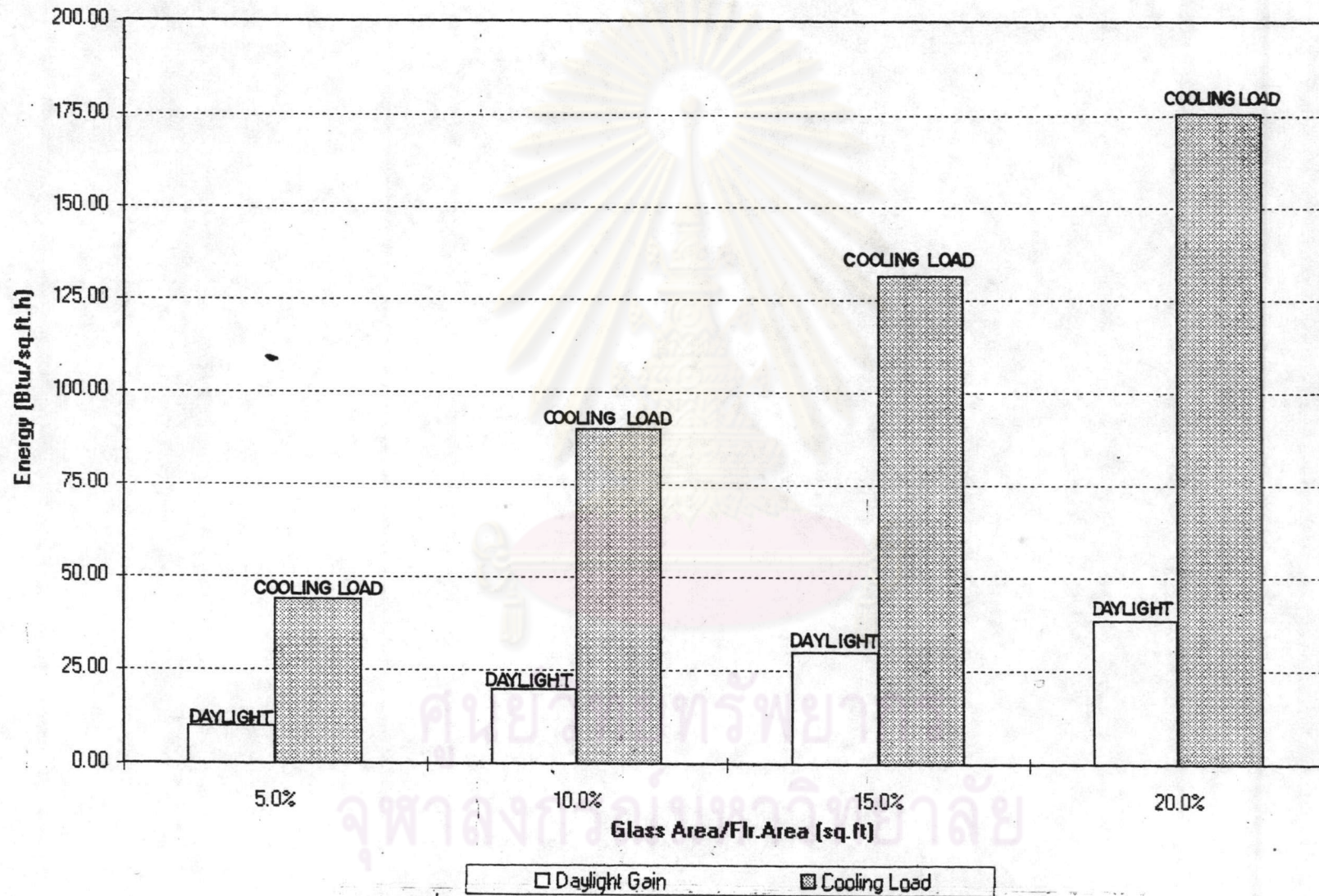
Glass Area/Flr.Area	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
Month				
Jan.93	8.83	17.67	26.50	35.33
Feb	9.76	19.52	29.28	39.04
Mar	11.94	23.87	35.81	47.74
Apr	16.46	32.92	49.37	65.83
May	18.17	37.94	56.90	75.88
Jun	19.03	38.90	57.10	76.13
Jul	17.04	34.08	51.13	68.17
Aug	13.05	32.22	39.16	52.22
Sep	11.19	22.39	33.58	44.77
Oct	9.93	19.86	29.78	39.71
Nov	11.13	22.57	33.39	44.52
Dec	7.66	15.33	22.99	30.66
Total	154.19	317.27	464.99	620.00
Coefficient of Utilization (C.O.P) = 2.51				
Total Heat Gain per Year (365 Days)	61.43	126.40	185.25	247.01
Total Heat Gain per Working Day (312 Days)	43.62	89.75	131.53	175.38

ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติผ่าน
ช่องเปิดด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536



แผนภูมิที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติผ่าน
ช่องเปิด 4 ขนาดด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค. - ธ.ค. 2536

Comparison of Total Energy Gain on Jan - Dec 93

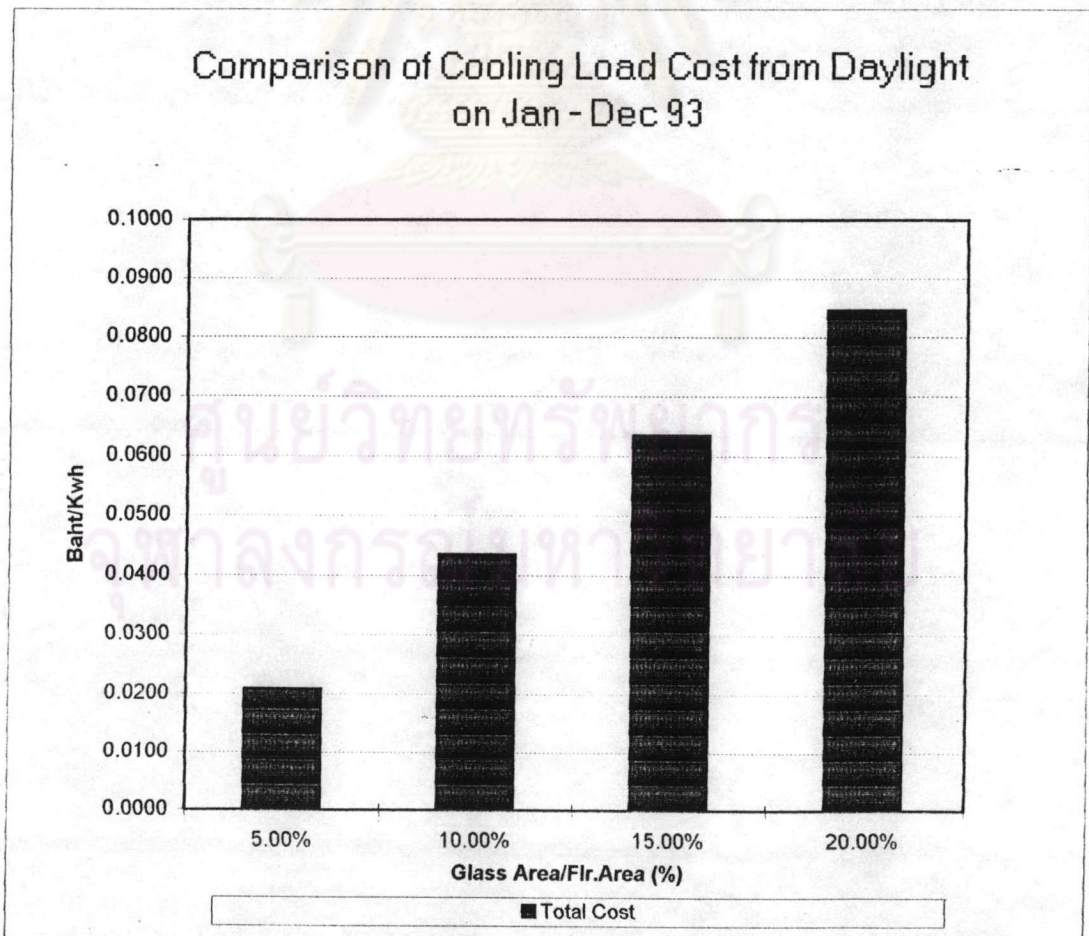


แผนภูมิที่ 42) แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้รับผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%)
ระหว่างพลังงานแสงธรรมชาติ และพลังงานความร้อนด้านทิศเหนือ
ตั้งแต่เดือน ม.ค.-ธ.ค.2536

**Comparison of Cooling Load Cost from Daylight
on Jan - Dec 93**

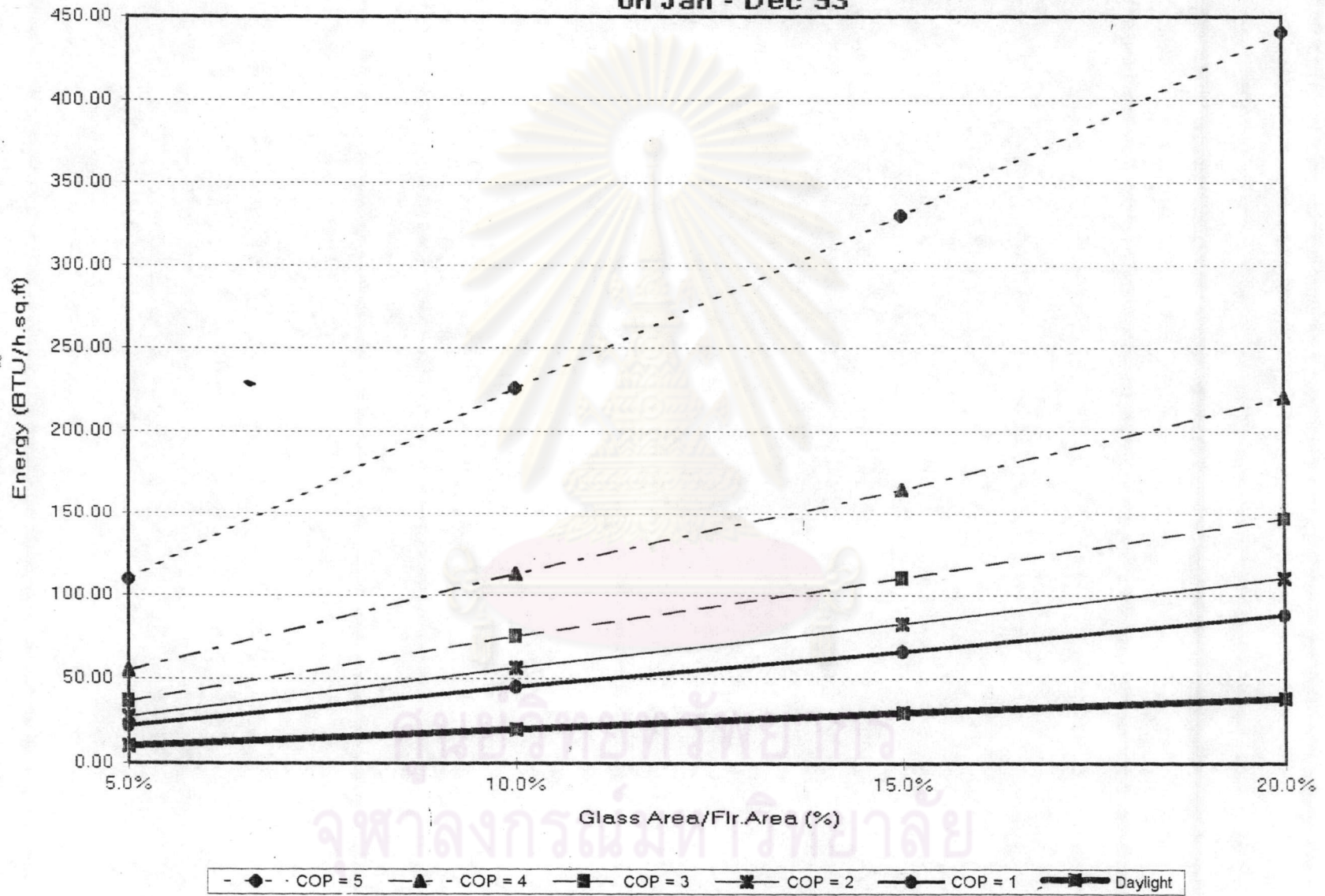
Glass Area/Flr. Area (sq. ft)	5.00%	10.00%	15.00%	20.00%
Month	Cost	Cost	Cost	Cost
Jan-93	0.0012	0.0024	0.0036	0.0048
Feb	0.0013	0.0027	0.0040	0.0053
Mar	0.0016	0.0033	0.0049	0.0065
Apr	0.0022	0.0045	0.0067	0.0090
May	0.0025	0.0052	0.0078	0.0104
Jun	0.0026	0.0053	0.0078	0.0104
Jul	0.0023	0.0047	0.0070	0.0093
Aug	0.0018	0.0044	0.0053	0.0071
Sep	0.0015	0.0031	0.0046	0.0061
Oct	0.0014	0.0027	0.0041	0.0054
Nov	0.0015	0.0031	0.0046	0.0061
Dec	0.0010	0.0021	0.0031	0.0042
Total	0.0209	0.0435	0.0635	0.0846

ตารางที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจาก
แสงธรรมชาติด้านทิศเหนือ ตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536



แผนภูมิที่ 43) แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจาก
แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%) ด้านทิศเหนือตั้งแต่ ม.ค.-ธ.ค. 2536

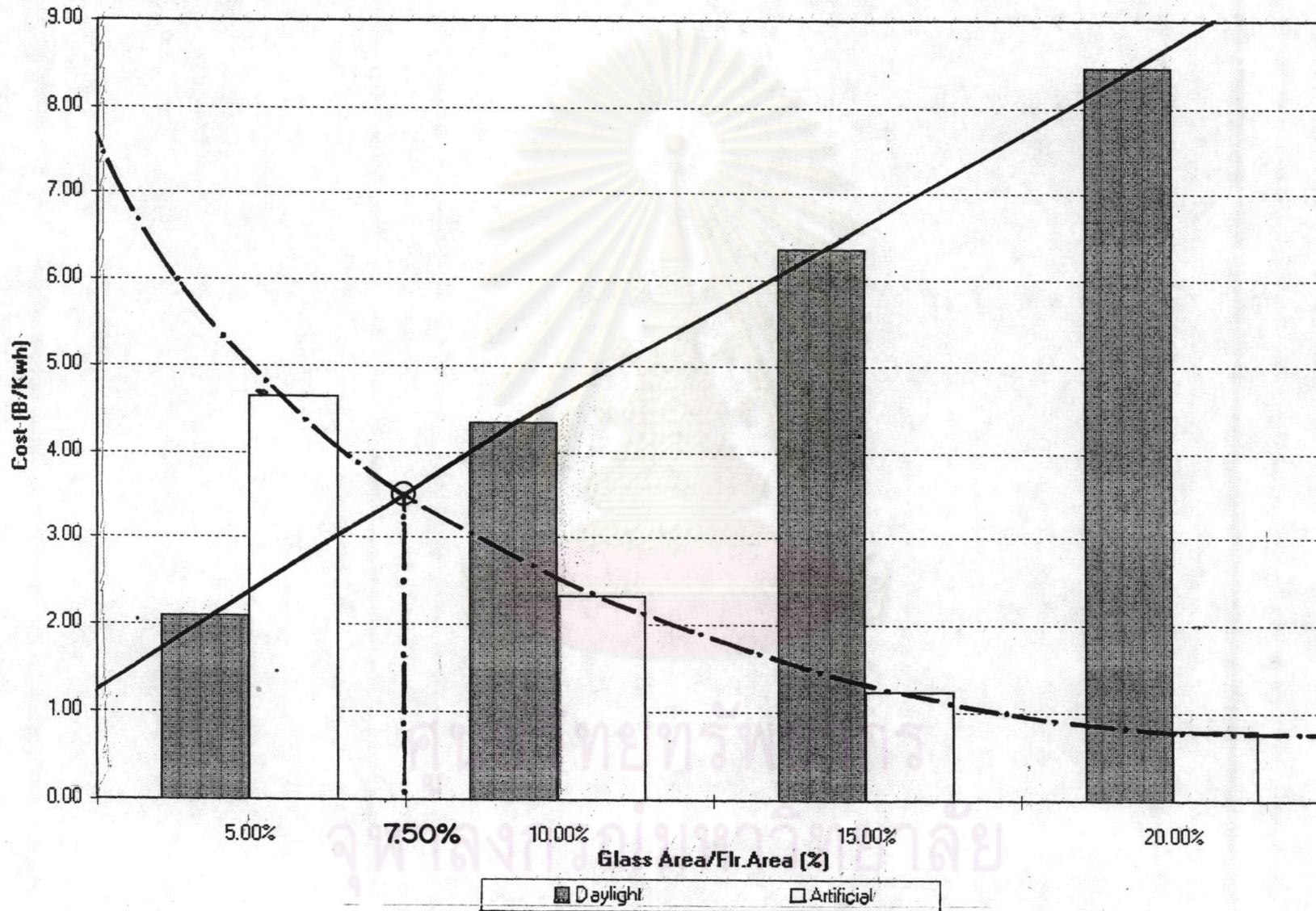
Relationship between Daylight Gain and Cooling Load Gain on Jan - Dec 93



แผนภูมิที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดช่องเปิด (%) กับพลังงานแสง

ธรรมชาติกับภาวะการทำความเย็น (COP) ตั้งแต่เม.ค. - ธ.ค. 2536

Comparison of Cooling Load Cost from Daylight to Artificial Light on Jan - Dec 93



แผนภูมิที่ 45 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจาก

แสงธรรมชาติกับแสงประดิษฐ์ ตั้งแต่ มค. - ธค. 2536

วิธีศึกษาจาก Daylight Model และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

เป็นวิธีศึกษาหารูปแบบหลังคาที่สามารถกระจายแสงธรรมชาติได้อย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพในช่วงเวลาเช้า (8.00 - 10.00 น.) และช่วงเวลาเย็น (15.00 - 17.00 น.) โดยสามารถแยกรายละเอียดได้ ดังนี้

1. ศึกษาหารูปแบบหลังคาต่าง ๆ สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปที่มีอยู่ในปัจจุบันคือแบบ Skylight ,แบบ Sawtooth และแบบ Monitor พบว่ารูปแบบหลังคา Sawtooth มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในเขตกรุงเทพมหานคร ฯ เนื่องจากสามารถหลีกเลี่ยงแสงแดดโดยตรง และทำ ความสะอาดช่องเปิดได้ง่ายรวมทั้งสามารถขยายต่อเติมโรงงานออกไปโดยที่ยังได้รับแสงธรรมชาติอย่างมีคุณภาพ

2. ศึกษาหามุมเอียงของช่องเปิดที่ไม่รับแสงแดดโดยตรงตั้งแต่เวลา 8.00 - 17.00 น. (ตรงกับเวลาการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม) ทุกวันตลอดปี (สำหรับเขตกรุงเทพมหานคร ฯ ต้องหันหน้าไปทางทิศเหนือ) เพื่อจะได้รับแสงธรรมชาติที่มีคุณภาพตลอดปี

สำหรับสูตรที่ต้องการทราบค่ามุมเอียงของกระจกสำหรับกรุงเทพ ฯ ที่จะรับแสงธรรมชาติโดยหลีกเลี่ยงแดดโดยตรงตลอดวัน สามารถหาจากสมการดังต่อไปนี้

$$\theta = 90 - (\text{LAT} \pm 23.5) \dots\dots\dots (5.13)$$

(Lechner Norberg ,1983)

โดยที่ $\theta = 90 - \text{LAT} - 23.5$ (สำหรับมุมเอียงกระจกช่วงฤดูหนาว (Winter Solstice)

$$\theta = 90 - \text{LAT} \quad (\text{สำหรับมุมเอียงกระจกช่วง (Equinox)})$$

$$\theta = 90 - \text{LAT} + 23.5 \quad (\text{สำหรับมุมเอียงกระจกช่วงฤดูร้อน (Summer Solstice)})$$

สำหรับการวิจัยขั้นนี้ได้กำหนดที่ตั้งของช่องเปิดหันไปทางทิศเหนือกรุงเทพมหานคร ฯ จึงจะสามารถหลีกเลี่ยงการรับแสงแดดโดยตรงโดยไม่ต้องใช้แผงกันแดดรวมทั้งยังเป็นทิศที่ได้รับแสงธรรมชาติที่นุ่มนวลและมีความร้อนปนมาพร้อมแสงน้อยที่สุด เพราะเป็นแสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffused Sun) ส่วนทิศตะวันออกและตะวันตกจะได้รับแสงเพียงครึ่งวันและต้องพิจารณาใช้แผงกันแดดด้วยทำให้ประสิทธิภาพในการรับแสงธรรมชาติต่ำลงไป ดังนั้นจึงทำการคำนวณตามสมการข้างต้นเฉพาะมุมเอียงสำหรับกระจกช่วงฤดูร้อนด้วยสาเหตุที่กล่าวมาแล้ว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

$$\theta = 90 - (\text{LAT} \pm 23.5)$$

โดยที่ θ = มุมเอียงของกระจก

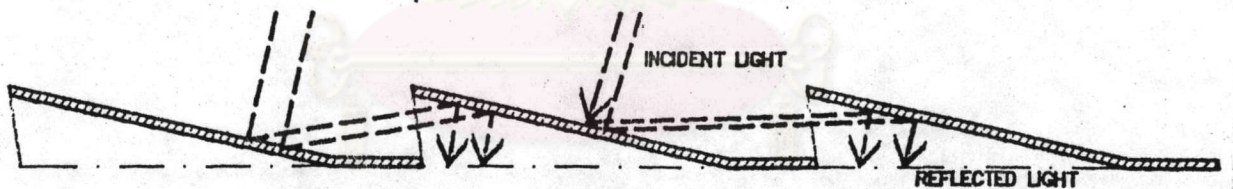
LAT = Latitude สำหรับเขตกรุงเทพ ฯ เท่ากับ 13.5 องศาเหนือ

$$\text{แทนค่าในสมการ } \theta = 90 - 13.5 + 23.5 = 100 \dots\dots\dots (5.14)$$

ดังนั้นมุมเอียงของกระจกมีค่าเท่ากับ 100 องศา จึงจะสามารถหลีกเลี่ยงการรับแดดโดยตรงตลอดวัน

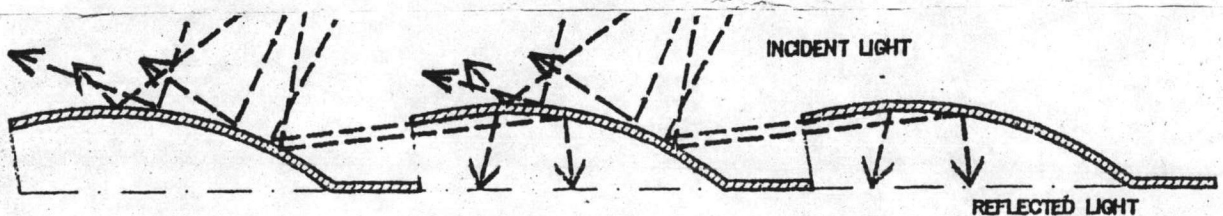
3.ศึกษารูปแบบต่าง ๆ ของ Sawtooth ที่มีความเหมาะสมต่อการกระจายแสงธรรมชาติในงานวิจัยนี้พบว่ามี 4 รูปแบบ คือ รูปแบบเหลี่ยมตรง (Linear) รูปแบบโค้งขึ้น (Convex) รูปแบบโค้งลง (Concave) และรูปแบบเหลี่ยมหักมุม (Inclination) โดยพิจารณาจากลักษณะการกระจายแสงของระนาบต่าง ๆ

3.1.รูปแบบหลังคาเหลี่ยมตรง (Linear) จากการศึกษาพบว่าระนาบเหลี่ยมตรงผิวมันแสงจะตั้งฉากกับระนาบ ทำให้เกิดการกระจายแสงตรง นอกจากนี้ยังเป็นรูปแบบที่พบเห็นทั่วไปตามหลังคาโรงงานอุตสาหกรรมและยังสามารถนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายแสงกับหลังคารูปแบบอื่น ๆ



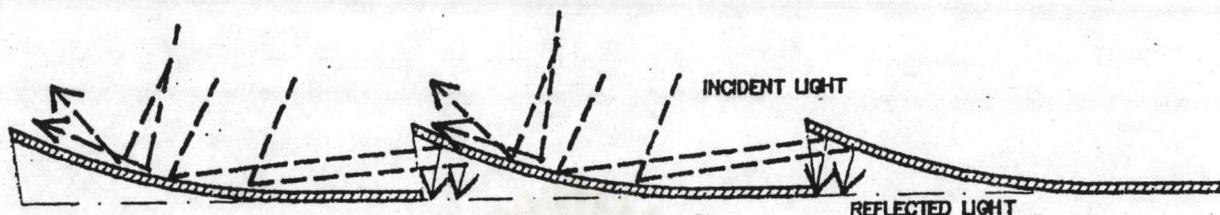
ก) แสดงการกระจายแสงจากหลังคารูปแบบเหลี่ยมตรง (Linear)

3.2 รูปแบบหลังคาโค้งขึ้น (Convex) จากการศึกษาพบว่าระนาบโค้งผิวมันแสงจะตั้งฉากกับระนาบทุกทิศทุกทาง ทำให้เกิดการกระจายแสงไปทุกทิศทุกทางเช่นกัน



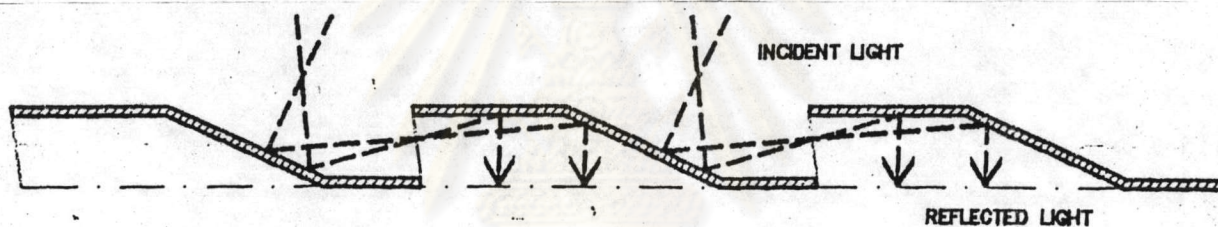
ข) แสดงการกระจายแสงจากหลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex)

3.3. รูปแบบหลังคาโค้งลง (Concave) การกระจายแสงมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปแบบโค้งขึ้น แต่เนื่องจากเป็นระนาบโค้งลงจึงนำมาทดสอบพฤติกรรมการกระจายแสง



ค) แสดงการกระจายแสงจากหลังคารูปแบบโค้งลง (Concave)

3.4. รูปแบบหลังคาเหลี่ยมหักมุม (Inclination) เนื่องจากเป็นระนาบเหลี่ยมหักมุมผิวมันแสงจะตั้งฉากกับระนาบหนึ่งไปยังอีกระนาบหนึ่ง ทำให้สามารถกระจายแสงได้มากขึ้น



ง) แสดงการกระจายแสงจากหลังคารูปแบบเหลี่ยมหักมุม (Inclination)

รูปที่ 50 แสดงการกระจายแสงจากรูปแบบหลังคา Sawtooth ต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบ
ที่มา : ภาพประกอบโดยนายพงศวีร์ ฐิตะพลาพงศ์

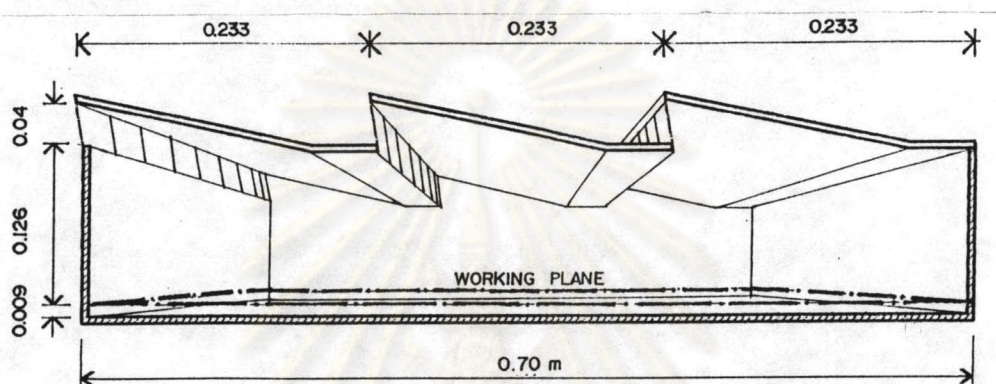
4. สร้าง Daylight Model ทั้งหมด 4 กล้อง ขนาด $0.70 \times 0.70 \times 0.175$ ม. ทดสอบคุณสมบัติของการสะท้อนแสงภายในของวัสดุบุผิวตามการคำนวณในส่วนผนัง, ฝ้าเพดานและพื้น คือ 70 50 และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ตามวิธีการของ Benjamin H. Evans, (1983) โดยให้มีคุณสมบัติเท่าเทียมกันทุกกล้อง แตกต่างเฉพาะรูปแบบหลังคาและขนาดช่องเปิดเพื่อทดสอบปริมาณความส่องสว่างภายในโดยมีเงื่อนไข ดังนี้ คือ

4.1 ขนาด - สัดส่วนของ Daylight Model และช่องเปิด (เปอร์เซ็นต์) ที่สามารถรับแสงธรรมชาติได้สม่ำเสมอและมีคุณภาพที่สุดอ้างอิงจาก R.G.Hopkinson P.Petherbridge & J. Longmore, 1966 สำหรับขนาดของช่องเปิดได้นำมาประยุกต์ให้สอดคล้องกับขนาดช่องเปิด

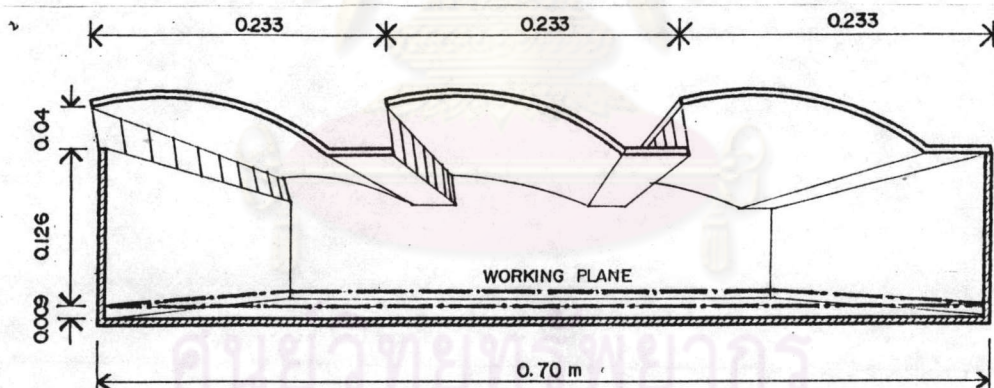
(เปอร์เซ็นต์) ที่คำนวณได้จึงแบ่งออกเป็น 4 ขนาดเช่นกันคือ 5.0, 10.0, 15.0 และ 20.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงาน

4.2 ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่นำมาใช้เพื่อช่วยการกระจายแสงที่ดี อ้างอิงจาก R.G.Hopkinson, 1972 ส่วนวิธีการทดสอบวัสดุอ้างอิงจาก Benjamin H. Evans, 1981

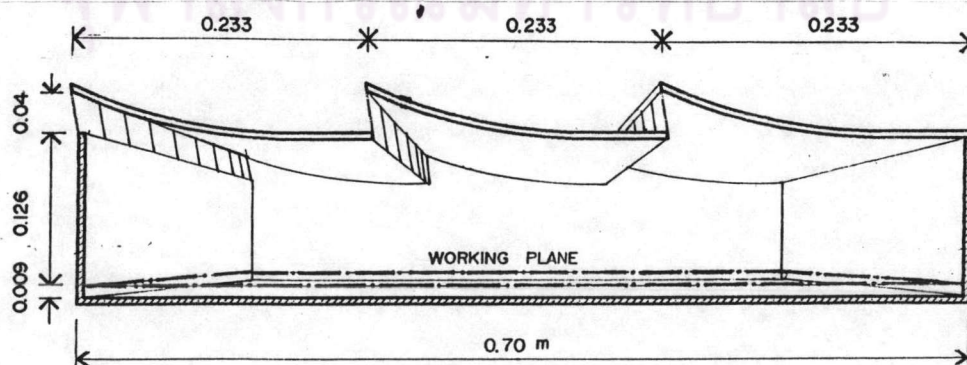
4.3 วิธีการวัดค่าความส่องสว่างภายในอ้างอิงจาก R.G.Hopkinson P.Petherbridge & J.Longmore, 1966



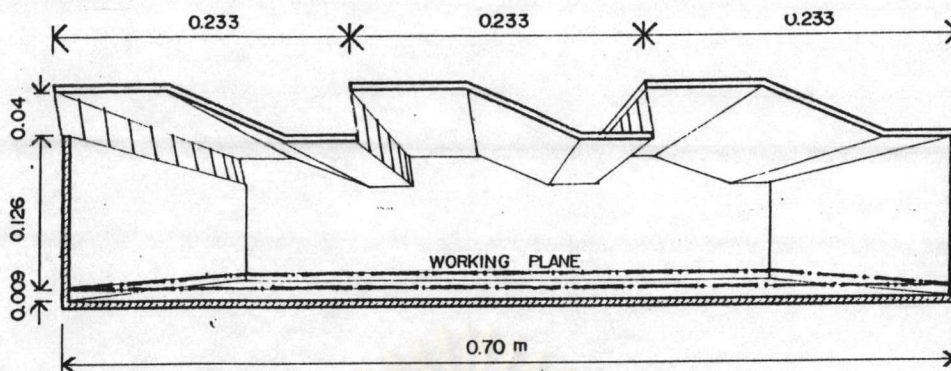
ก) หลังคาแบบเหลี่ยมตรง (Linear)



ข) หลังคาแบบโค้งขึ้น (Convex)



ค) หลังคาแบบโค้งลง (Concave)

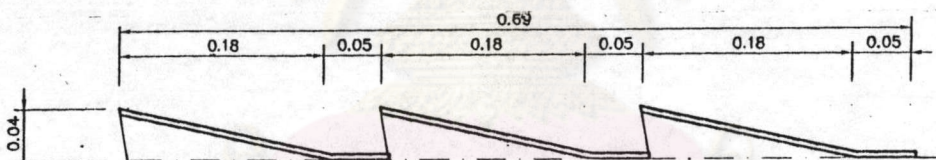


ง)หลังคาแบบเหลี่ยมหักมุม (Inclination)

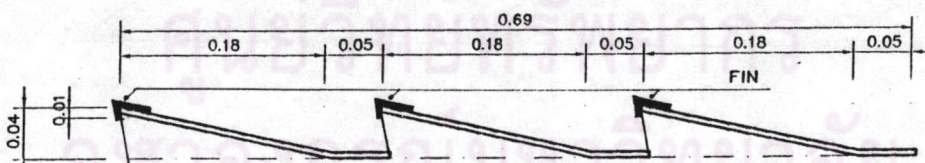
รูปที่ 51 แสดงหลังคา Sawtooth รูปแบบต่าง ๆ

ที่มา: ภาพประกอบโดยนายพงศ์รัฐ พลาพงศ์ ,มานะ นุติินทะ

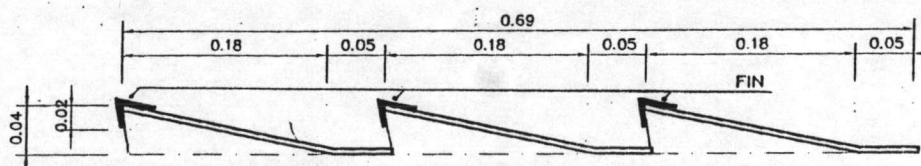
ในส่วนช่องเปิดจะไม่ติดกระจก (Unglazing) เพื่อให้มีความโปร่งใสทำให้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน Daylight Model มากที่สุด รวมทั้งมีค่า SC ประมาณ 1.00



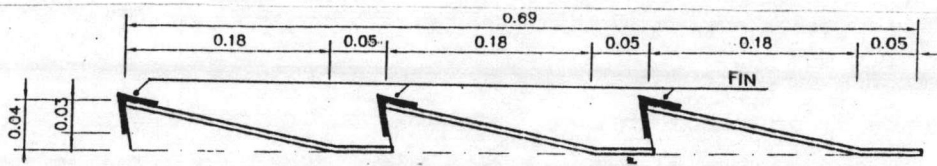
แบบช่องเปิด 20.0 เปรอ์เซ็นต์ของพท. พื้น



แบบช่องเปิด 15.0 เปรอ์เซ็นต์ของพท. พื้น



แบบช่องเปิด 10.0 เปรอ์เซ็นต์ ของพท.พื้น



แบบช่องเปิด 5.0 เปอร์เซ็นต์ ของพท.พื้น

รูปที่ 52 แสดงการใช้ครีบบังแดด (Fin) ปิดบริเวณช่องเปิด
ที่มา: ภาพประกอบโดยนายพงศ์รัฐ พลาพงศ์

5.ทดสอบ Daylight Model ทั้ง 4 กล้องภายใต้สภาวะท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) เพื่อให้ค่าความส่องสว่างภายนอกคงที่ที่สุดตามจุดภายใน 30 จุด / 1 กล้อง / พท.ช่องเปิด 1 แบบ / 15 นาที (หรือ 120 จุด / 4 กล้อง / พท.ช่องเปิด 1 แบบ / ชม.) ตามวิธีการวัดค่าความส่องสว่างภายในของ R.G. Hopkinson , 1963 เริ่มวัดตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น. รวม 9 ชม./ วัน โดยอ้างอิงช่วงเวลาการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรม

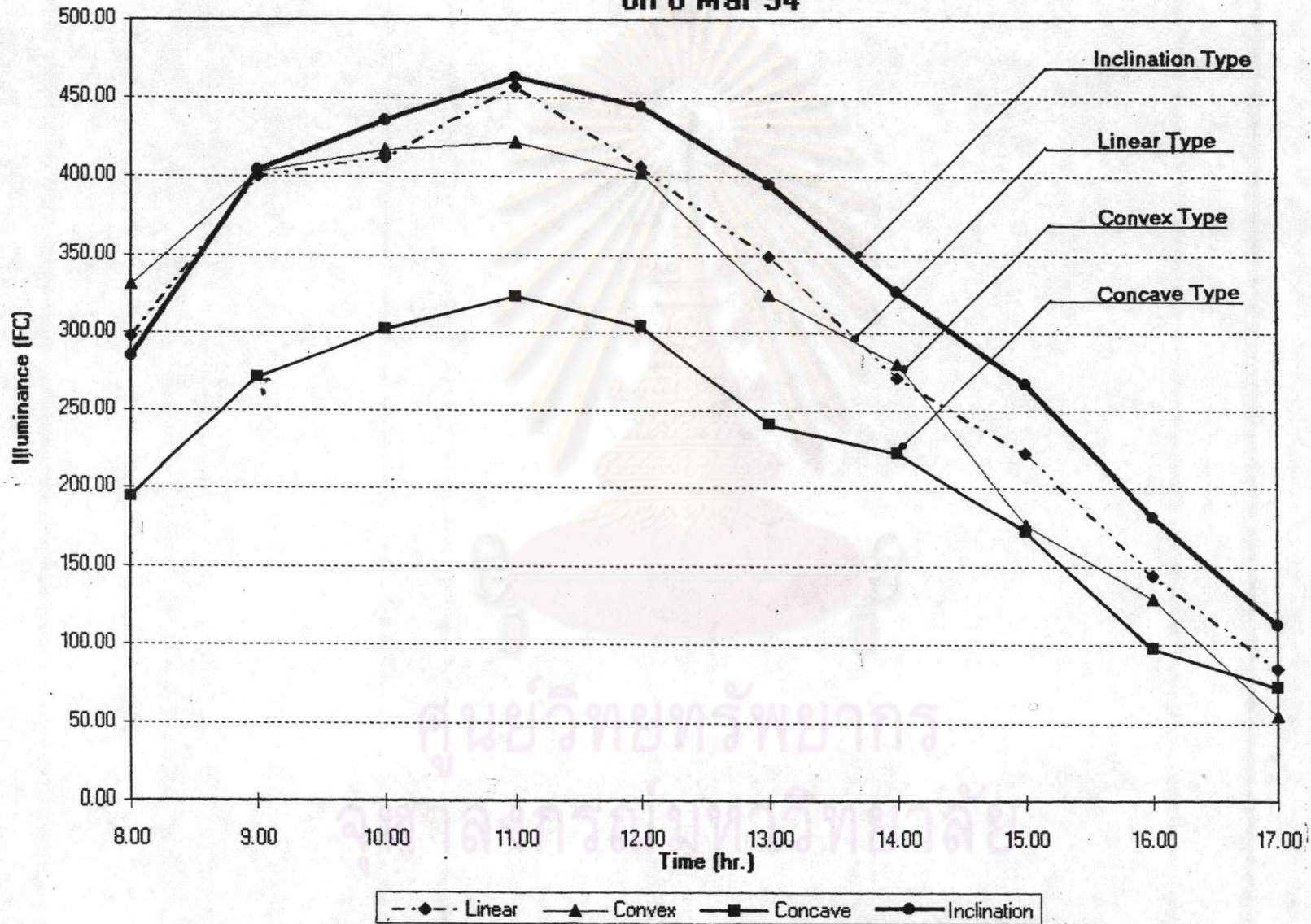
ข้อมูลที่ทำการวัดและบันทึก ได้แก่

1. ปริมาณความส่องสว่างภายนอก Outside Illumination (FC)
2. ปริมาณความส่องสว่างภายใน Inside Illumination (FC')
3. ค่า Daylight Factor

เมื่อเก็บข้อมูลเสร็จ นำมาวิเคราะห์ผลด้วยการสร้างแผนภูมิเพื่อตรวจสอบผลว่าผิดปกติหรือไม่หากมีจะต้องทำการแก้ไขโดยเก็บข้อมูลเพิ่มเติม จากนั้นนำข้อมูลที่แก้ไขแล้วไปคำนวณโดยวิธี Computer Calculation เพื่อหาค่า Daylight contour และ Daylight Factor เฉลี่ยรวมที่ผ่านช่องเปิด 4 ขนาดจากหลังคา 4 รูปแบบ ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพการกระจายแสงธรรมชาติของหลังคารูปแบบต่าง ๆ

6.นำค่าที่ได้มาสร้างแผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของ Daylight Contour จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะการกระจายแสงที่เกิดขึ้นว่ามีลักษณะอย่างไรรวมทั้งเปรียบเทียบผลเฉลี่ยของค่า Daylight Factor ที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิด 4 ขนาดจากหลังคาทั้ง 4 รูปแบบเช่นกัน หากพบว่าลักษณะการกระจายความส่องสว่างที่เกิดขึ้นหากมีค่าสูงสุดจากรูปแบบหลังคาชนิดใดในช่วงเวลาเช้าและเย็น แสดงว่ารูปแบบหลังคานั้นมีการกระจายแสงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการวิจัยครั้งนี้

**Inside Illuminance Comparison of Glass Area (20%)
on 6 Mar 94**



แผนภูมิที่ 46) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด 20(%) ของ Daylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ

ผลการทดสอบปริมาณความส่องสว่างจาก Daylight Model

จากแผนภูมิที่ 46 สามารถพิจารณาปริมาณความส่องสว่างภายในที่เกิดขึ้นจากรูปแบบหลังคาทั้ง 4 ชนิดผ่านช่องเปิด 20.0 เปอร์เซ็นต์ของพ.ท. ทำงาน พบว่า

หลังคารูปแบบเอียงมหักมุม (Inclination)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงสุดเกือบตลอดวันยกเว้นในช่วง 8.00-9.00 น. จะมีค่าต่ำกว่ารูปแบบหลังคา 2 ชนิด คือ รูปแบบตรง (Linear) และรูปแบบโค้งขึ้น (Convex)

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	3,313.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	463.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	113.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	331.30 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.18, 0.20, 0.20
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.13, 0.08, 0.10

หลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในรองลงมาจากรูปแบบแรก โดยในช่วง 8.00-9.00 น. จะมีค่าสูงกว่าแบบเอียงมหักมุม (Inclination) และแบบโค้งลง (Concave) หลังจากนั้นค่าที่ได้จะสูงไปตลอดอันดับที่สอง

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	3,044.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	457.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	85.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	304.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.14, 0.21, 0.19
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.13, 0.08, 0.10

หลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเป็นอันดับที่ 3 รองลงมาจากแบบแรกและแบบที่สอง โดยในช่วง 8.00-9.00 น. จะมีค่าเฉลี่ยสูงสุดกว่าหลังคารูปแบบใด ๆ หลังจากนั้นค่าที่ได้จะคงที่เป็นอันดับที่ 3 ไปเกือบจะตลอดวัน

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2.980.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	421.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	55.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	293.80 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.17, 0.20, 0.19
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.12, 0.12, 0.10

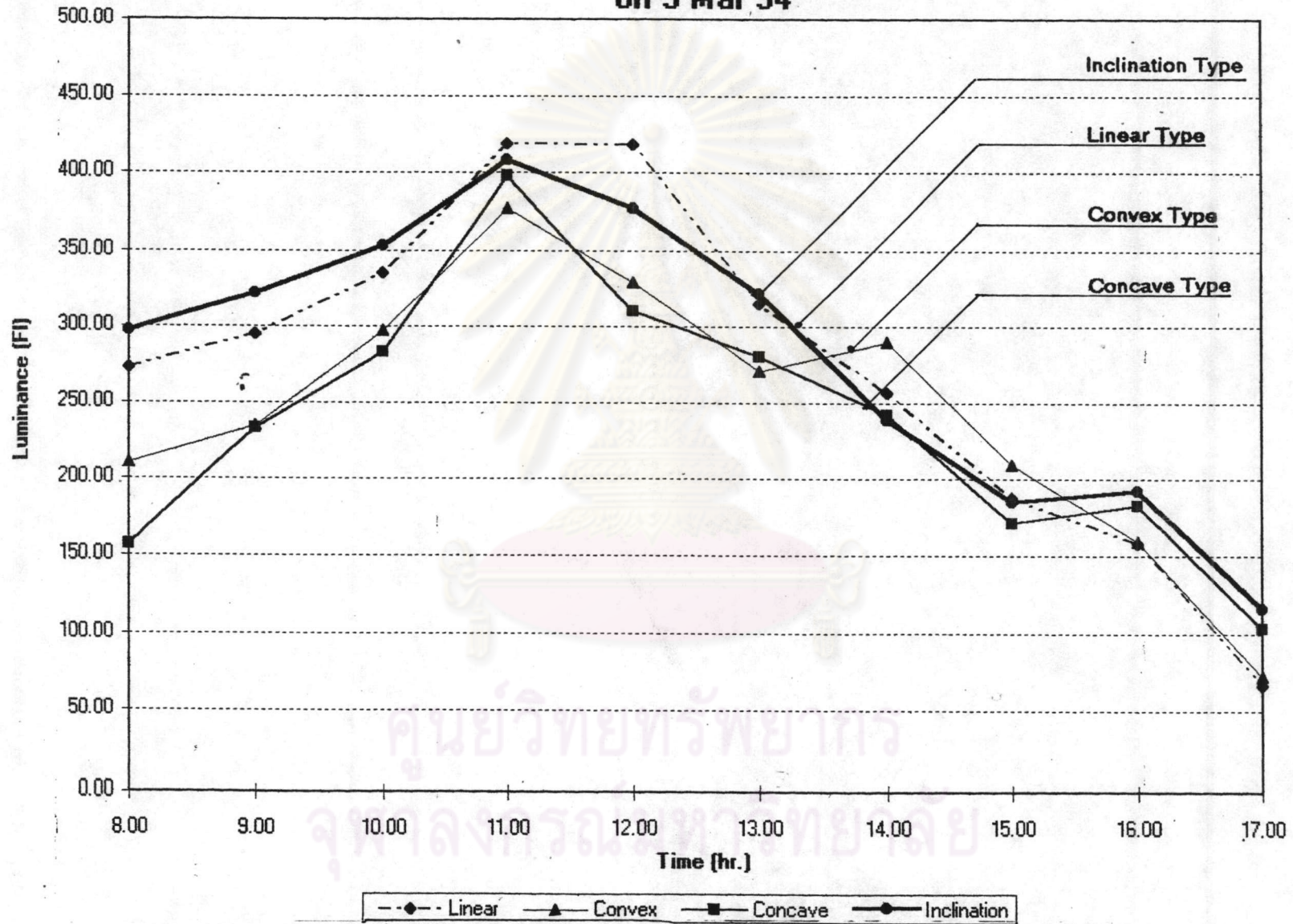
หลังคารูปโค้งลง (Concave)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเป็นอันดับสุดท้าย

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2,200.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	323.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	73.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	220.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.13, 0.14, 0.15
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.11, 0.09, 0.12

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inside Illuminance Comparison of Glass Area (15%) on 9 Mar 94



แผนภูมิที่ 47) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด 15% ของ Daylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ



เปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในของรูปแบบหลังคา 4 ชนิด จากขนาดช่องเปิด 15.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงาน สามารถแสดงได้จากแผนภูมิที่ 47

1) หลังคารูปแบบเอียงมัทกมม (Inclination)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงสุดในช่วง 8.00-10.30 น. หลังจากนั้นช่วงเวลา 10.30-13.00 น. จะมีค่าสูงเป็นอันดับ 2 รองจากหลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear) แต่สูงกว่าหลังคาอีก 2 รูปแบบ และในช่วง 13.00-15.00 น. จะมีค่าสูงเป็นอันดับสาม รองจากหลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex) และแบบเอียงตรง (Inclination) จนกระทั่งเวลา 15.00-17.00 น. จะกลับมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอีกครั้งหนึ่ง

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2,810.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	408.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	116.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	281.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.20, 0.22, 0.24
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.16, 0.16, 0.15

2) หลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงสุดในช่วง 11.00-13.00 น. โดยในช่วงเวลาประมาณ 8.00-11.00 น. จะมีค่าต่ำกว่าหลังคารูปแบบเอียงมัทกมม (Inclination) แต่สูงกว่าหลังคาอีก 2 รูปแบบ และในช่วง 13.30-15.00 น. จะมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าหลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex) แต่สูงกว่าหลังคาอีก 2 รูปแบบ และในช่วงประมาณ 15.30 -17.00 น. จะมีค่าต่ำที่สุดในทุกรูปแบบของหลังคา

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2,720.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	419.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	66.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	272.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.34, 0.20, 0.32
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.19, 0.16, 0.10

3) หลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงสุดในช่วง 13.30-15.30 น. ในช่วงเวลาอื่นจะมีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 3 รองลงมาจากหลังคาแบบเอียงมัทมุม (Inclination) และแบบเอียงตรง (Linear) ยกเว้นในช่วงเวลาประมาณ 11.00, 13.00 น. จะมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด

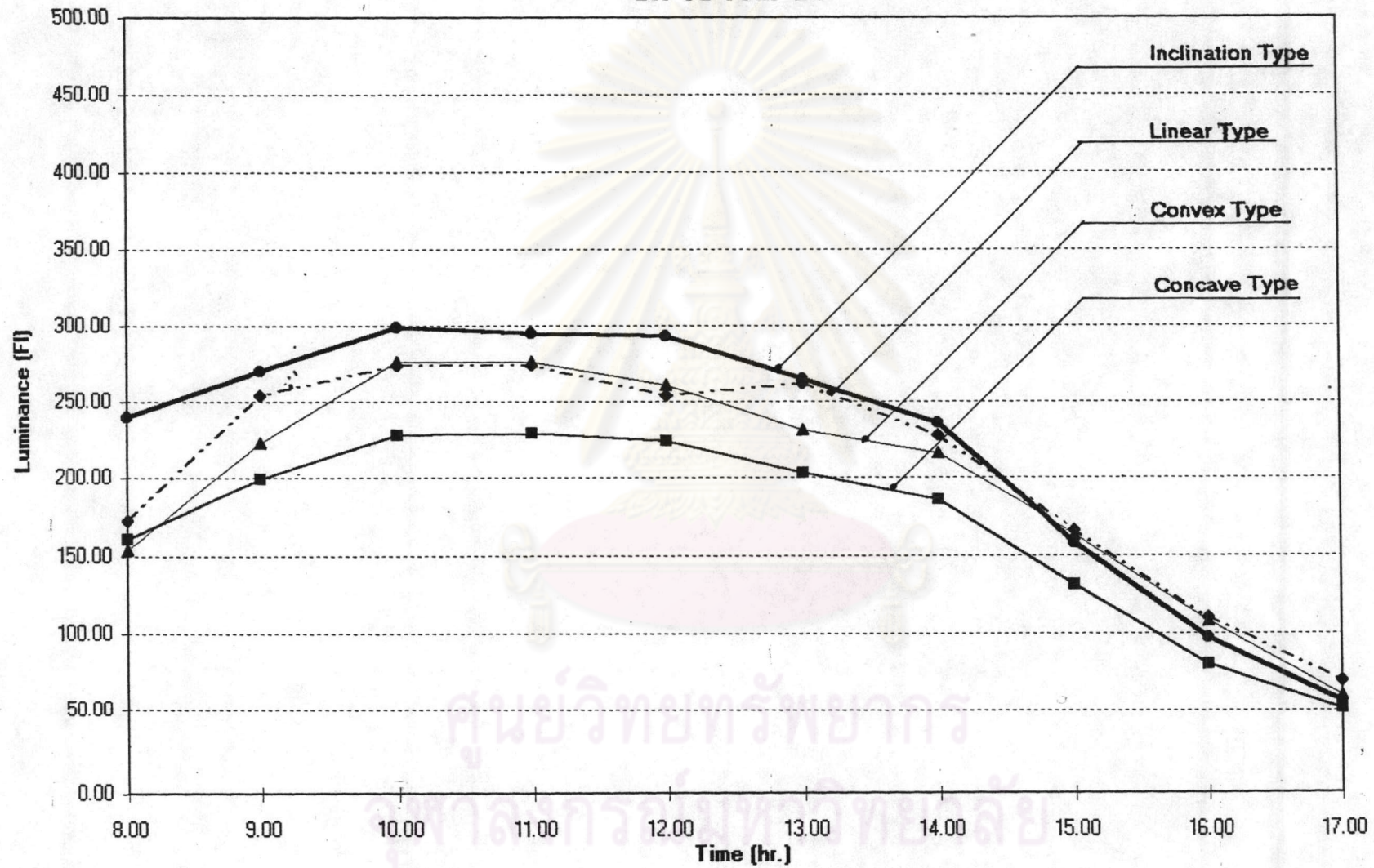
ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2,450.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	377.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	72.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	245.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.14, 0.18, 0.16
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.13, 0.14, 0.10

4) หลังคารูปแบบโค้งลง (Concave)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยเกือบจะต่ำที่สุดตลอดวันยกเว้นในช่วง 11.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่สองรองจากหลังคารูปแบบเอียงมัทมุม (Inclination) และแบบเอียงตรง (Linear) และในช่วง 15.30 -17.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากหลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear)

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2,360.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	398.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	103.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	236.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.10, 0.16, 0.27
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.17, 0.16, 0.10

Inside Illuminance Comparison of Glass Area (10%) on 10 Mar 94



--●-- Linear
--▲-- Convex
--■-- Concave
--●-- Inclination

แผนภูมิที่ 48) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด
 10% ของ Daylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ

3) หลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 3 เกือบจะตลอดวัน รองจากหลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination) และหลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear) ยกเว้นในช่วง 11.00-12.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากหลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination) และในช่วง 15.00-17.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากหลังคารูปแบบเอียงตรง (linear)

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	1,970.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 10.00-11.00 น.	เท่ากับ	276.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	60.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	197.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.10, 0.11, 0.13
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.10, 0.08, 0.08

4) หลังคารูปแบบโค้งลง (Concave)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยต่ำที่สุดตลอดวันในบรรดาหลังคาทั้งหมด

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	1,690.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	229.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	51.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	169.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.10, 0.10, 0.10
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.08, 0.07, 0.08

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในของรูปแบบหลังคา 4 ชนิด จากขนาดช่องเปิด 10.0 เปอร์เซ็นต์ต่อพื้นที่ทำงาน สามารถแสดงได้จากแผนภูมิที่ 48

1) หลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงสุดเกือบจะตลอดวัน ยกเว้นในช่วงเวลา 14.30 -17.00 น. จะมีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 3 รองลงมาจากหลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear) และแบบโค้งขึ้น (Convex) ตามลำดับ

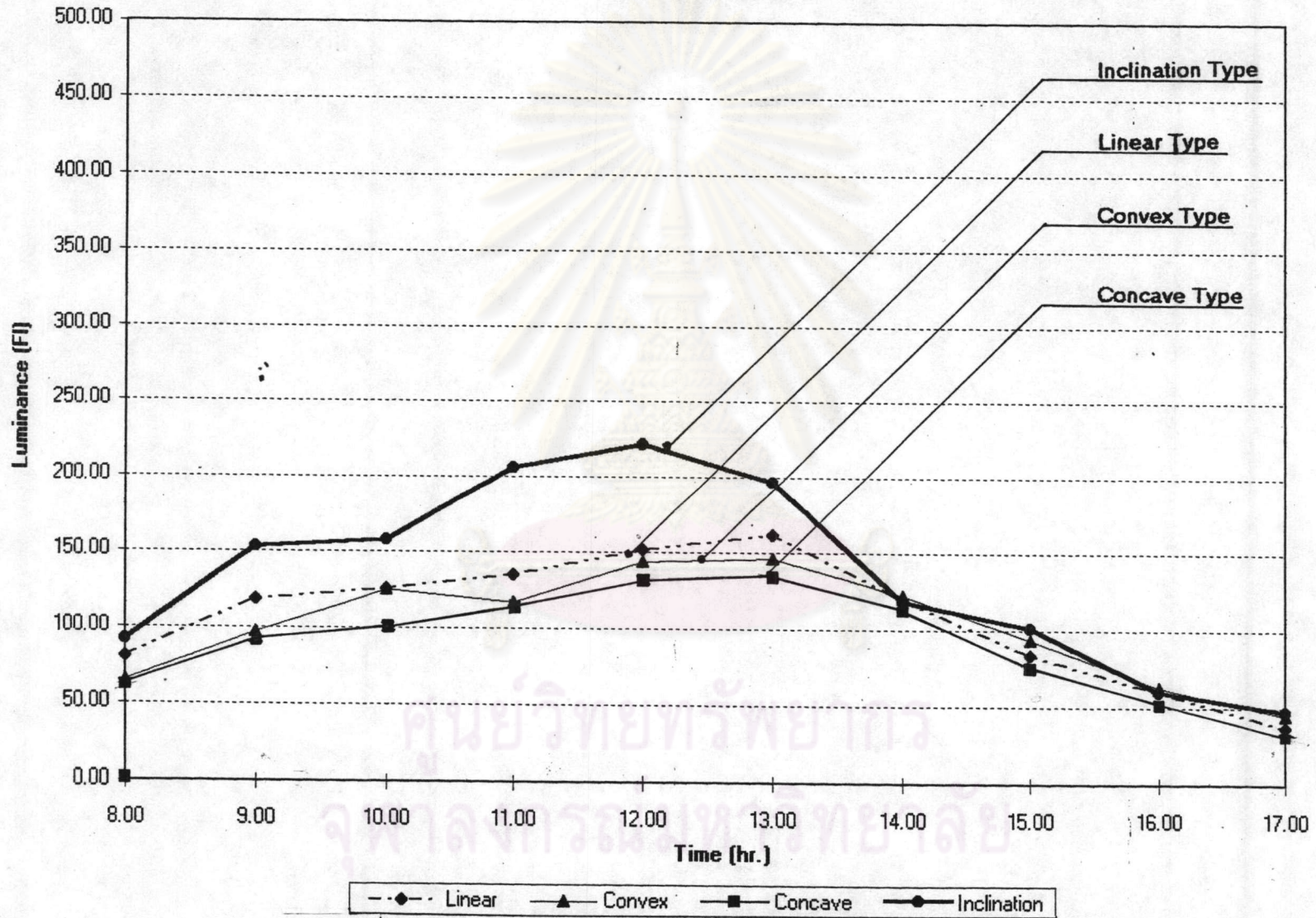
ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2,210.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	299.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	56.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	221.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.14, 0.13, 0.14
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.11, 0.10, 0.10

2) หลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากหลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination) ยกเว้นช่วง 11.00-12.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับ 3 รองจาก หลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination) และแบบโค้งขึ้น (Convex) ตามลำดับ และในช่วงเวลา 14.30-17.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับแรก

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	2,070.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 10.00-11.00 น.	เท่ากับ	274.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	70.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	207.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.11, 0.13, 0.13
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.11, 0.08, 0.08

Inside Illuminance Comparison of Glass Area (5%) on 11 Mar 94



แผนภูมิที่ 49) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในผ่านขนาดช่องเปิด 5% ของ Daylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ

เปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างภายในของรูปแบบหลังคา 4 ชนิดจากขนาดช่องเปิด 5.0 เปอร์เซ็นต์ต่อพื้นที่ทำงาน สามารถแสดงได้จากแผนภูมิที่ 49

1) หลังคารูปแบบเหลี่ยมหักมุม (Inclination)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงที่สุดตลอดทั้งวัน

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	1,350.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	221.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	47.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	135.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.05, 0.08, 0.07
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.06, 0.05, 0.05

2) หลังคารูปแบบเหลี่ยมตรง (Linear)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2 เกือบจะตลอดวัน ยกเว้นในช่วง 12.00-17.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 3 รองลงมาจากหลังคารูปแบบเหลี่ยมหักมุม (Inclination) และทางโค้งขึ้น (Convex) ตามลำดับ

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	1,080.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	162.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	37.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	108.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.05, 0.07, 0.07
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.06, 0.10, 0.10

3) หลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 3 เกือบตลอดวัน ยกเว้นในช่วง 8.00-9.00 น. มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดรองจากหลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination), แบบเอียงตรง (Linear) และแบบโค้งลง (Concave) ตามลำดับ และในช่วง 14.00-17.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2 รองจากหลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination)

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	1,020.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 13.00 น.	เท่ากับ	146.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	45.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	102.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.04, 0.06, 0.07
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.06, 0.05, 0.05

4) หลังคารูปแบบโค้งลง (Concave)

มีปริมาณความส่องสว่างภายในต่ำที่สุดเกือบตลอดวัน ยกเว้นในช่วง 8.00-9.00 น. จะมีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับสาม รองจากหลังคารูปแบบเอียงหักมุม (Inclination) และแบบเอียงตรง (Linear) ตามลำดับ

ผลรวมทั้งหมดในช่วงเวลา 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	880.00 FC
ค่าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.	เท่ากับ	129.00 FC
ค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 17.00 น.	เท่ากับ	30.00 FC
ค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดวัน 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	88.00 FC
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเช้า 8.00, 9.00, 10.00 น.	เท่ากับ	0.05, 0.07, 0.06
ค่าเฉลี่ย DF ช่วงเย็น 15.00, 16.00, 17.00 น.	เท่ากับ	0.04, 0.04, 0.04

สรุปผลการทดสอบปริมาณแสงสว่างธรรมชาติจาก Daylight Model

จากกราฟเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายใน Daylight Model ภายใต้สภาวะห้องฟ้าโปร่ง ณ วันและเวลาเดียวกัน (ทดสอบปริมาณแสงสว่างผ่านขนาดช่องเปิดเดียวกันสำหรับหลังคา 4 รูปแบบ/ 1 วัน โดยเริ่มตั้งแต่ 8.00-17.00 น. หลังจากนั้นจะทดสอบปริมาณแสงสว่างที่ผ่านขนาดช่องเปิดขนาดอื่น ๆ ที่เหลือต่อไปอีก 3 แบบโดยทดสอบแบบละ 1 วัน/ 4 กล้อง จนกระทั่งครบ 4 วัน) พบว่า

1) ปริมาณความส่องสว่างและค่า Daylight Factor เฉลี่ยรวมภายใน 30 จุด ตั้งแต่ 8.00-17.00 น. มีค่าเฉลี่ยดังนี้

1.1 หลังคารูปแบบเหลี่ยมตรง (Linear) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเป็นอันดับสองในทุก ๆ ขนาดของช่องเปิด 4 แบบตลอดทั้ง 4 วันของการทดสอบ เนื่องจากมีลักษณะการกระจายแบบตรง แสงสะท้อนจากหลังคาภายนอกจะตั้งฉากกับระนาบสมำเสมอ และมีทิศทางคงที่สู่ภายในช่องเปิด ส่งผลให้ปริมาณแสงสว่างโดยรวมมีค่าเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 2

1.2 หลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเป็นอันดับสาม ในทุกขนาดของช่องเปิด 4 แบบตลอดทั้ง 4 วันของการทดสอบ เนื่องจากลักษณะการกระจายแสงบนระนาบโค้ง แสงจะตั้งฉากกับระนาบทุกทิศทางทำให้แสงสะท้อนจากหลังคาภายนอกกระจายไปทุกทิศทางเช่นกัน แสงบางส่วนจะกระจายออกไปสู่ภายนอก บางส่วนจะกระจายเข้าสู่ภายในช่องเปิด ทำให้ได้รับแสงสะท้อนจากหลังคาไม่เต็มที่ ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุให้ปริมาณแสงสว่างโดยเฉลี่ยรวมมีค่าน้อยลงเป็นอันดับที่ 3

1.3 หลังคารูปแบบโค้งลง (Concave) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเป็นอันดับสุดท้ายในทุก ๆ ขนาดของช่องเปิด 4 แบบตลอดทั้ง 4 วันของการทดสอบ ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะระนาบโค้ง แสงจะกระจายไปทุกทิศทาง แต่ด้วยลักษณะของระนาบโค้งลงทำให้ระนาบภายในสุดแทบจะไม่มีพื้นผิวสัมผัสกับแสงอันเป็นสาเหตุให้ปริมาณแสงสว่างโดยรวมมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด

1.4 หลังคารูปแบบเหลี่ยมหักมุม (Inclination) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในทุก ๆ ขนาดของช่องเปิดทั้ง 4 แบบตลอดทั้ง 4 วันของการทดสอบ เนื่องจากลักษณะการกระจายแสงของระนาบเหลี่ยมตรง 2 ระนาบมาชนกัน ทำให้แสงกระจายตั้งฉากจากระนาบหนึ่งไปยังอีกระนาบหนึ่งได้ โดยเฉพาะแสงสะท้อนจากหลังคาภายนอกส่งผลให้ปริมาณของแสงสว่างโดยเฉลี่ยรวมมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด

2) ค่าปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยรวมภายใน 30 จุด ตั้งแต่ 8.00-17.00 น. มีค่าส่องสว่างในแต่ละจุดไม่เท่ากัน ทำให้ค่า Daylight Factor เฉลี่ยแต่ละจุดไม่เท่ากันตลอดวัน

สำหรับค่า Daylight Factor ที่ไม่เท่ากันในแต่ละจุดล้วนเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่อง เช่น วัสดุที่นำมาบ่มผนังภายใน Daylight Model มีค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงที่ไม่ได้มาตรฐาน การรั่วของแสงสว่างภายนอกเข้าสู่ภายใน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาวะห้องฟ้าจริงซึ่งเป็นตัวแปรทำให้เกิดการแปรเปลี่ยนตลอดเวลา (Dynamic Effect) ค่า DF ที่ได้จากการทดสอบนี้จะ

นำไปแปลงเป็นค่า CU แล้วนำไปแทนค่าใน Computer Calculation เพื่อหาปริมาณความส่องสว่างภายในที่ใกล้เคียงสภาวะจริงมากที่สุด

3) ค่าปริมาณความส่องสว่างเฉลี่ยรวมภายใน 30 จุด ตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น. พบว่าในช่วงประมาณ 10.00 - 14.00 น. ปริมาณความส่องสว่างที่ได้รับภายในมีค่าสูงมากกว่าในช่วง 8.00-10.00 น. และ 14.00-17.00 น. เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีพลังงานของการแผ่รังสีมาก (ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา) ทำให้ค่าปริมาณความส่องสว่างภายนอกและภายในมีค่าสูงตามไปด้วย

วิเคราะห์ผลการทดสอบปริมาณความส่องสว่าง

การกระจายแสงธรรมชาติที่สม่ำเสมอตลอดวันตั้งแต่เช้า - เย็น เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากต่อการปฏิบัติงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะหากระดับความส่องสว่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (50 FC) ตลอดวันก็จะมีเหมาะสมอย่างมาก แต่เนื่องจากปริมาณความส่องสว่างของแสงธรรมชาติมีการแปรเปลี่ยนตลอดวัน ในช่วงเวลากลางวันตอนสาย ๆ ถึงบ่ายจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในตอนเช้าและเย็น ทำให้ระดับความส่องสว่างมักมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นค่า Daylight Factor จะเป็นสิ่งที่แสดงประสิทธิภาพการกระจายแสงธรรมชาติที่สม่ำเสมอได้ตลอดวันซึ่งค่านี้จะค่อนข้างคงที่ ค่า Daylight Factor เป็นค่าที่เกิดขึ้นจากปริมาณความส่องสว่างภายในหารด้วยปริมาณความส่องสว่างภายนอกซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดในทุก ๆ ช่วงเวลา เพราะไม่ว่าปริมาณความส่องสว่างภายนอกจะแปรเปลี่ยนอย่างไร ปริมาณความส่องสว่างภายในก็จะแปรเปลี่ยนตามเป็นสัดส่วนกันไปตลอดเวลาเช่นกัน

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ การทดสอบค่า Daylight Factor ที่เกิดขึ้นจาก Daylight Model โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อค้นหารูปแบบหลังคาที่สามารถกระจายแสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้สภาวะท้องฟ้าจริง พบว่ามีค่าแปรเปลี่ยนไม่ค่อยจะคงที่ตลอดวันเนื่องจากมีตัวแปรมากมาย อาทิเช่นวัสดุที่นำมาทดสอบค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในอาคารจะมีค่าไม่ได้มาตรฐานเท่ากับที่คำนวณได้ ความโปร่งแสงของกระจกที่นำมาทดสอบตลอดจนการรั่วซึมของแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาใน Daylight Model ระหว่างการทดสอบก็เป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดค่าที่ได้มีความไม่เที่ยงตรง ด้วยสาเหตุดังกล่าวมีส่วนทำให้ค่า Daylight Factor ที่ได้มีค่าแปรเปลี่ยนไปไม่คงที่ ดังนั้นผลการทดสอบที่เกิดขึ้นจึงเป็นการตัดสินใจจากแผนภูมิแสดงค่า Daylight Contour และ ค่า Daylight Factor ซึ่งจะแสดงได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาจาก Daylight Contour ซึ่งแสดงการกระจายแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากรูปแบบหลังคาต่าง ๆ ในทุกช่วงเวลา ดังแสดงได้จากแผนภูมิที่ 50 - 53

จากแผนภูมิพบว่าหลังคารูปแบบเอียงมัทกม (Inclination) จะให้ค่าปริมาณความส่องสว่างภายในรวมและเฉลี่ยผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (เปอร์เซ็นต์) มากที่สุดเกือบตลอดเวลาที่ทำการทดสอบทั้งหมด 4 วัน (6,9,10 และ 11) เดือนมี.ค. 2538 ตั้งแต่ 8.00-17.00น. รองลงไปก็คือ หลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear) หลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex) และหลังคารูปแบบโค้งลง (Concave) ตามลำดับ ซึ่งได้อธิบายจากการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติจาก Daylight Model ไปแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ที่เกิดขึ้น จาก Daylight Model พบว่า ปริมาณแสงธรรมชาติจากช่องเปิดขนาดต่าง ๆ มีค่าเฉลี่ยต่ำในตอนช่วงเช้าและช่วงเย็นของทุกวัน ดังแสดงจากตารางที่ 18 -21 และแผนภูมิที่ 54 - 57

จากแผนภูมิพบว่าค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ในช่วงเวลาเช้าและเย็นมีค่าสูงสุดในหลังคารูปแบบเอียงมัทกม (Inclination) รองลงไปคือ หลังคารูปแบบเอียงตรง (Linear) หลังคารูปแบบโค้งขึ้น (Convex) และหลังคารูปแบบโค้งลง (Concave) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าหลังคาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกระจายปริมาณแสงธรรมชาติของการวิจัยนี้ คือ หลังคารูปแบบเอียงมัทกม (Inclination) นั่นเอง

ผลการทดสอบปริมาณความร้อน

ศึกษาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน Daylight Model ภายใต้สภาวะท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) สามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิที่ 58

เปรียบเทียบความร้อนภายในผ่านช่องเปิดขนาด 20.0 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทำงาน โดยวิธี Computer Simulation พบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นจากหลังคา 4 รูปแบบมีปริมาณเท่ากันตลอด

ค่าปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดตั้งแต่ 8.00-17.00 น. เท่ากับ 170.00 BTU/h.sq.ft.

ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนสูงสุดช่วงเวลา 14.00 น. เท่ากับ 19.00 BTU/h.sq.ft.

ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนต่ำสุดช่วงเวลา 8.00 น. เท่ากับ 6.60 BTU/h.sq.ft.

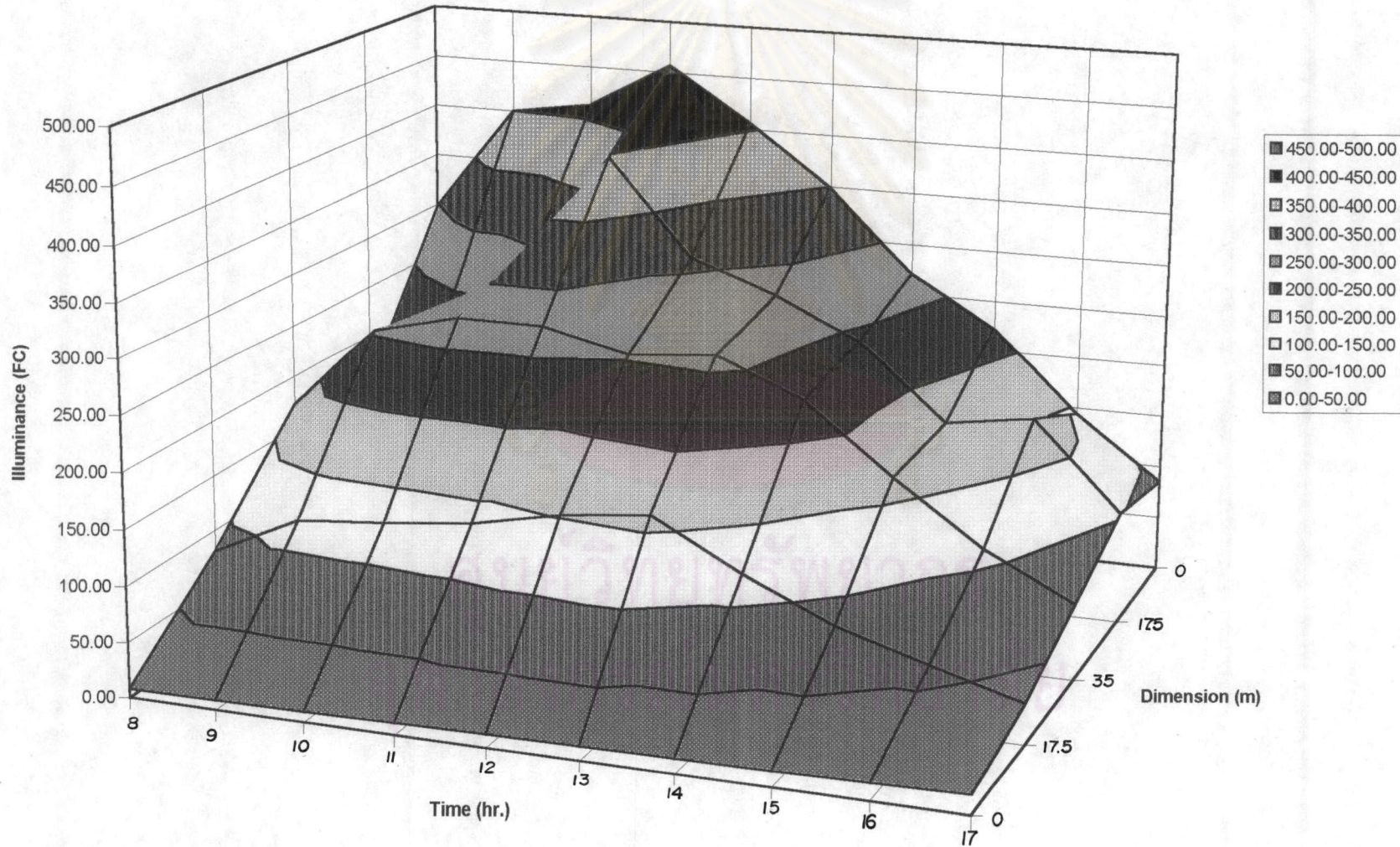
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนรวมช่วงเวลา 8.00-17.00น. เท่ากับ 17.02 BTU/h.sq.ft.

นับว่าเป็นรูปแบบช่องเปิดที่รับเอาปริมาณความร้อนเฉลี่ยสูงที่สุด

แผนภูมิที่ 50 แสดง Daylight Distribution Contour ของหลังคาพื้นเดี่ยวรูปแบบ

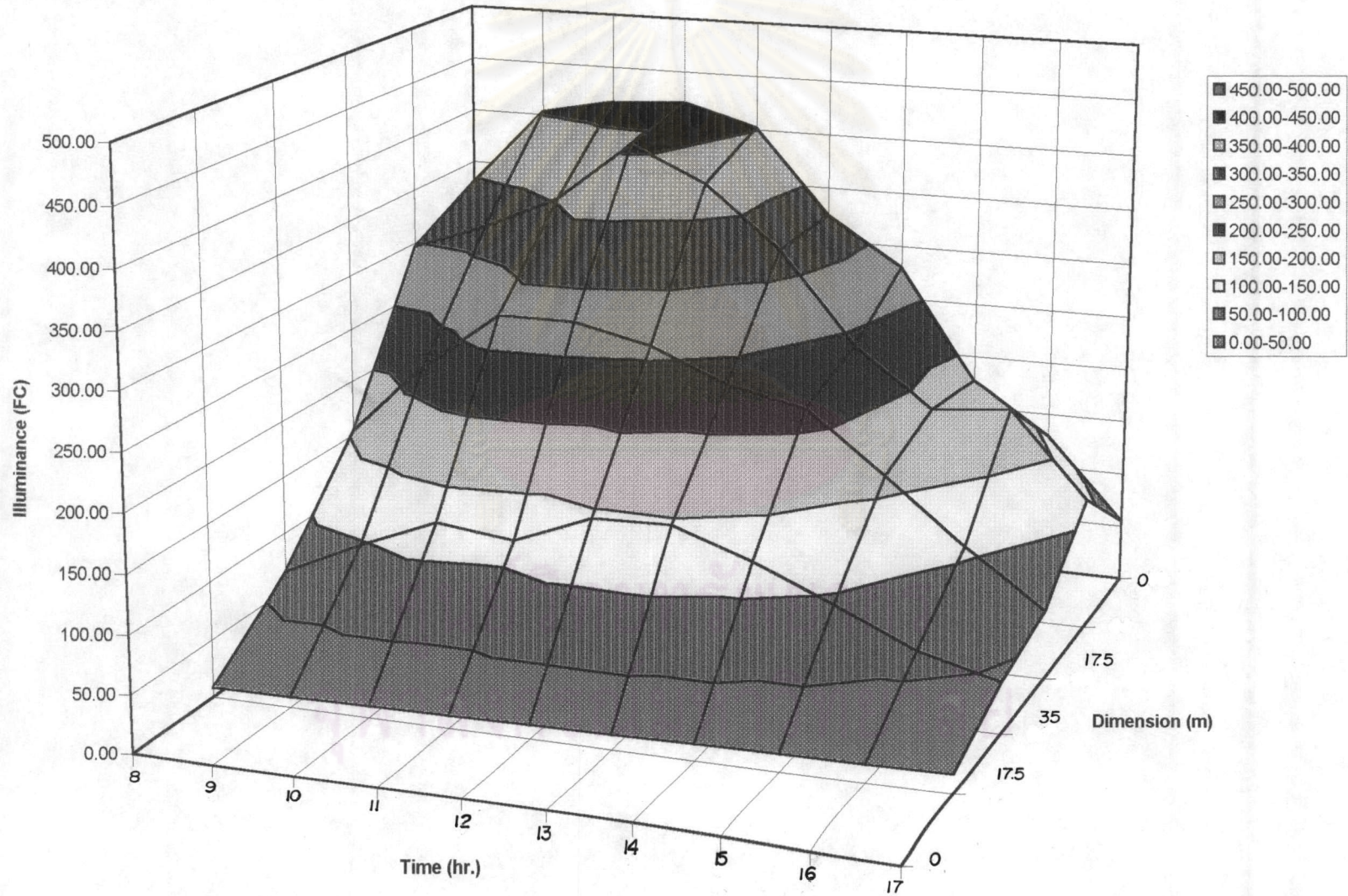
เหลี่ยมตรง เด็กนมีค. 2538

Daylight Contour of Linear Sawtooth Roof on Mar 93



แผนภูมิที่ 51 แสดง Daylight Distribution Contour ของหลังคาฟันเลื่อยรูปแบบ
โค้งขึ้น เดือนมีค. 2538

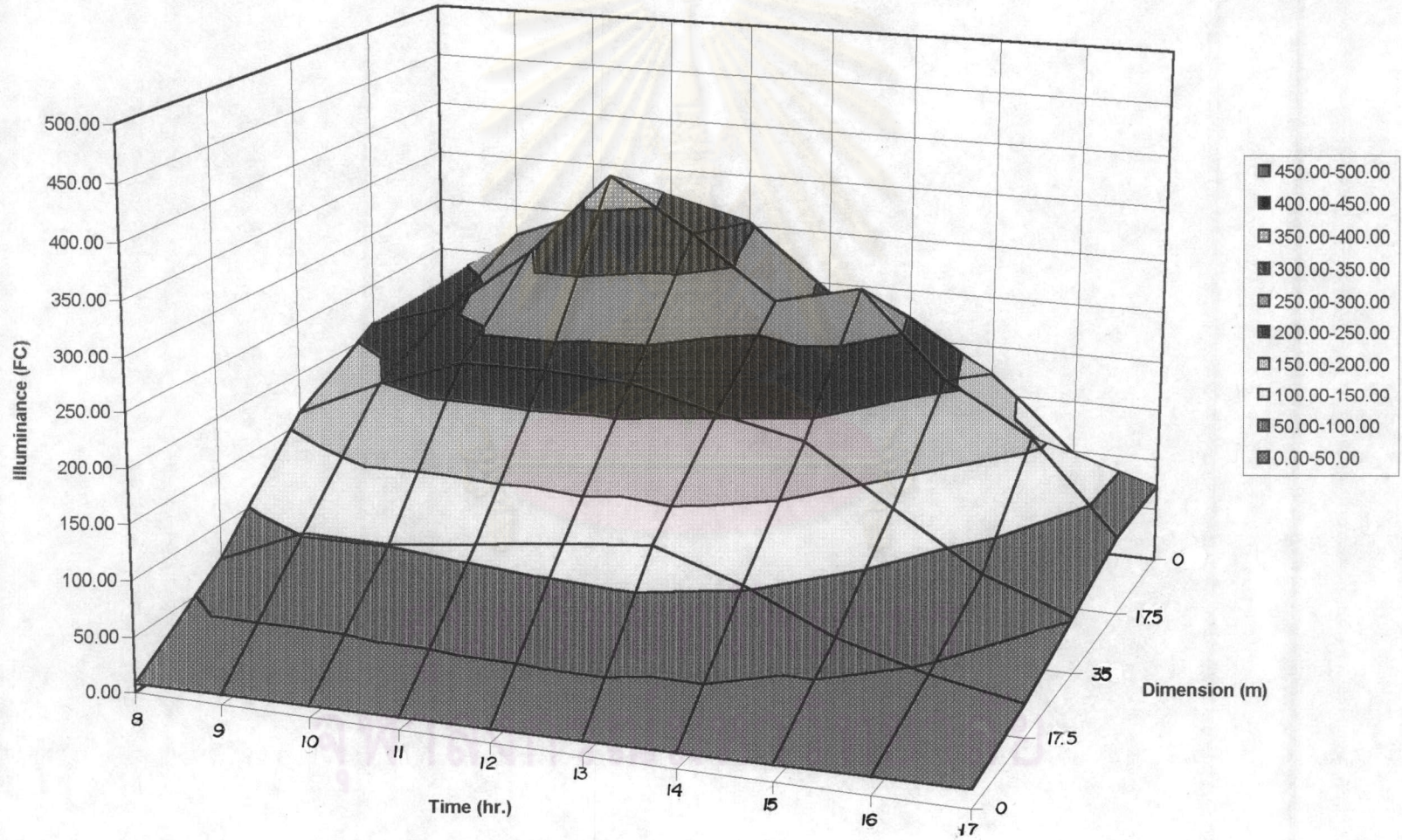
Daylight Contour of Convex Sawtooth Roof on Mar 93



แผนภูมิที่ 52 แสดง Daylight Distribution Contour ของหลังคาพื้นเลี้ยวรูปแบบ

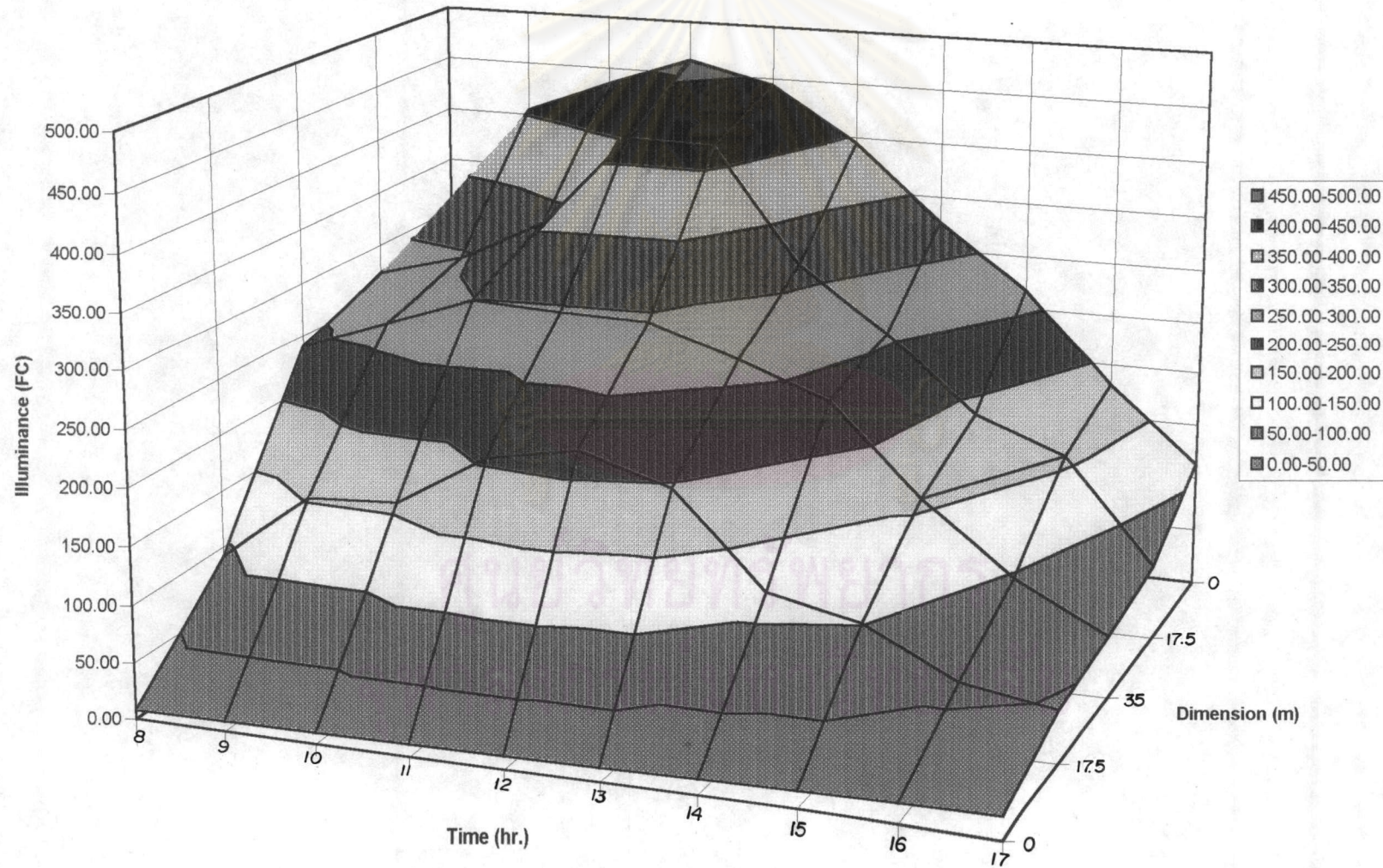
โค้งลง เดือนมีค. 2538

Daylight Contour of Concave Sawtooth Roof



แผนภูมิที่ 53 แสดง Daylight Distribution Contour ของหลังคาพื้นเหลี่ยมรูปแบบ
เหลี่ยมหักมุม เดือนมีค. 2538

Daylight Contour of Inclination Sawtooth Roof on Mar 93



Comparison of Daylight Factor Gain on Mar 93

Type A (Linear)				
Glass Area/Flr.Area	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
Time				
8.0	0.05	0.11	0.15	0.17
9.0	0.07	0.13	0.17	0.21
10.0	0.07	0.13	0.18	0.19
11.0	0.07	0.12	0.20	0.20
12.0	0.08	0.11	0.20	0.20
13.0	0.08	0.11	0.17	0.18
14.0	0.07	0.11	0.20	0.14
15.0	0.06	0.11	0.19	0.13
16.0	0.05	0.08	0.16	0.10
17.0	0.05	0.08	0.10	0.08
Total	0.16	0.27	0.45	0.31
Average	0.027	0.045	0.075	0.052

ตารางที่ 18 แสดงค่า Daylight Factor รวมจากหลังคาแบบเหลี่ยมตรงผ่านช่องเปิด 4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็นด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2538

Comparison of Daylight Factor Gain on Mar 93

Type B (Convex)				
Glass Area/Flr.Area	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
Time				
8.0	0.04	0.10	0.14	0.17
9.0	0.06	0.11	0.18	0.20
10.0	0.07	0.13	0.16	0.19
11.0	0.10	0.12	0.20	0.19
12.0	0.08	0.12	0.20	0.20
13.0	0.07	0.13	0.15	0.16
14.0	0.06	0.11	0.18	0.16
15.0	0.06	0.10	0.13	0.12
16.0	0.05	0.08	0.14	0.12
17.0	0.05	0.08	0.10	0.10
Total	0.16	0.26	0.37	0.34
Average	0.027	0.043	0.062	0.057

ตารางที่ 19 แสดงค่า Daylight Factor รวมจากหลังคาแบบโค้งขึ้นผ่านช่องเปิด 4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็นด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2538

Comparison of Daylight Factor Gain on Mar 93

Type C (Concave)				
Glass Area/Flr.Area	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
Time				
8.0	0.05	0.10	0.12	0.13
9.0	0.07	0.10	0.13	0.14
10.0	0.06	0.10	0.15	0.15
11.0	0.07	0.10	0.16	0.15
12.0	0.06	0.10	0.16	0.14
13.0	0.06	0.10	0.16	0.12
14.0	0.06	0.10	0.15	0.12
15.0	0.04	0.08	0.13	0.11
16.0	0.04	0.07	0.12	0.10
17.0	0.04	0.08	0.10	0.09
Total	0.12	0.23	0.35	0.30
Average	0.02	0.04	0.06	0.05

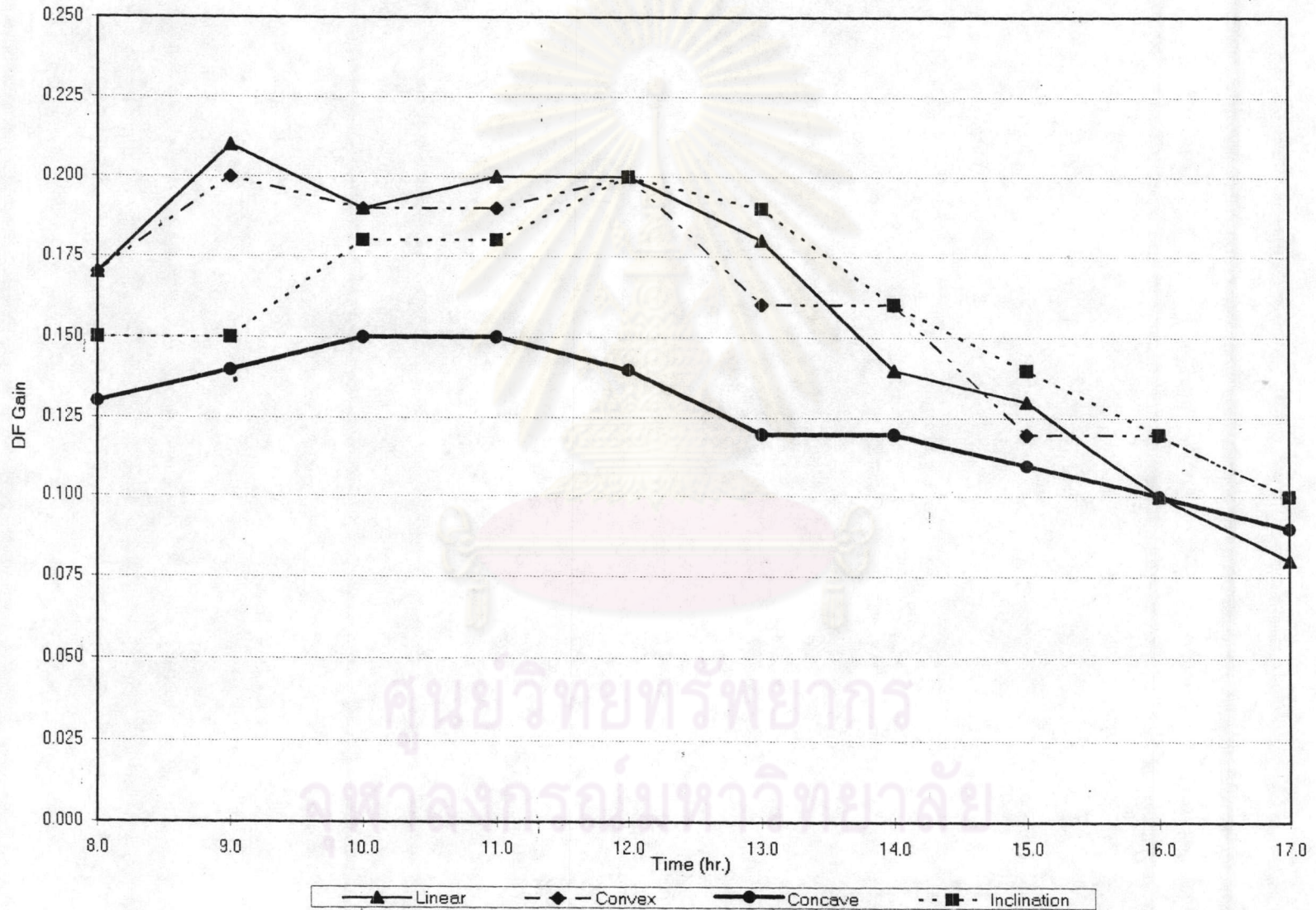
ตารางที่ 20 แสดงค่า Daylight Factor รวมจากหลังคาแบบโค้งลงผ่านช่องเปิด
4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็นด้านทิศเหนือเดือน มี.ค.2536

Comparison of Daylight Factor Gain on Mar 93

Type D (Inclination)				
Glass Area/Flr.Area	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
Time				
8.0	0.05	0.12	0.17	0.15
9.0	0.08	0.13	0.18	0.15
10.0	0.07	0.13	0.18	0.18
11.0	0.08	0.13	0.21	0.18
12.0	0.10	0.13	0.20	0.20
13.0	0.10	0.12	0.20	0.19
14.0	0.06	0.12	0.19	0.16
15.0	0.06	0.11	0.16	0.14
16.0	0.05	0.10	0.16	0.12
17.0	0.05	0.10	0.15	0.10
Total	0.16	0.31	0.47	0.36
Average	0.027	0.052	0.073	0.06

ตารางที่ 21 แสดงค่า Daylight Factor รวมจากหลังคาแบบเหลี่ยมหักมุมผ่าน
ช่องเปิด 4 ขนาดในช่วงเช้าและเย็น ด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2536

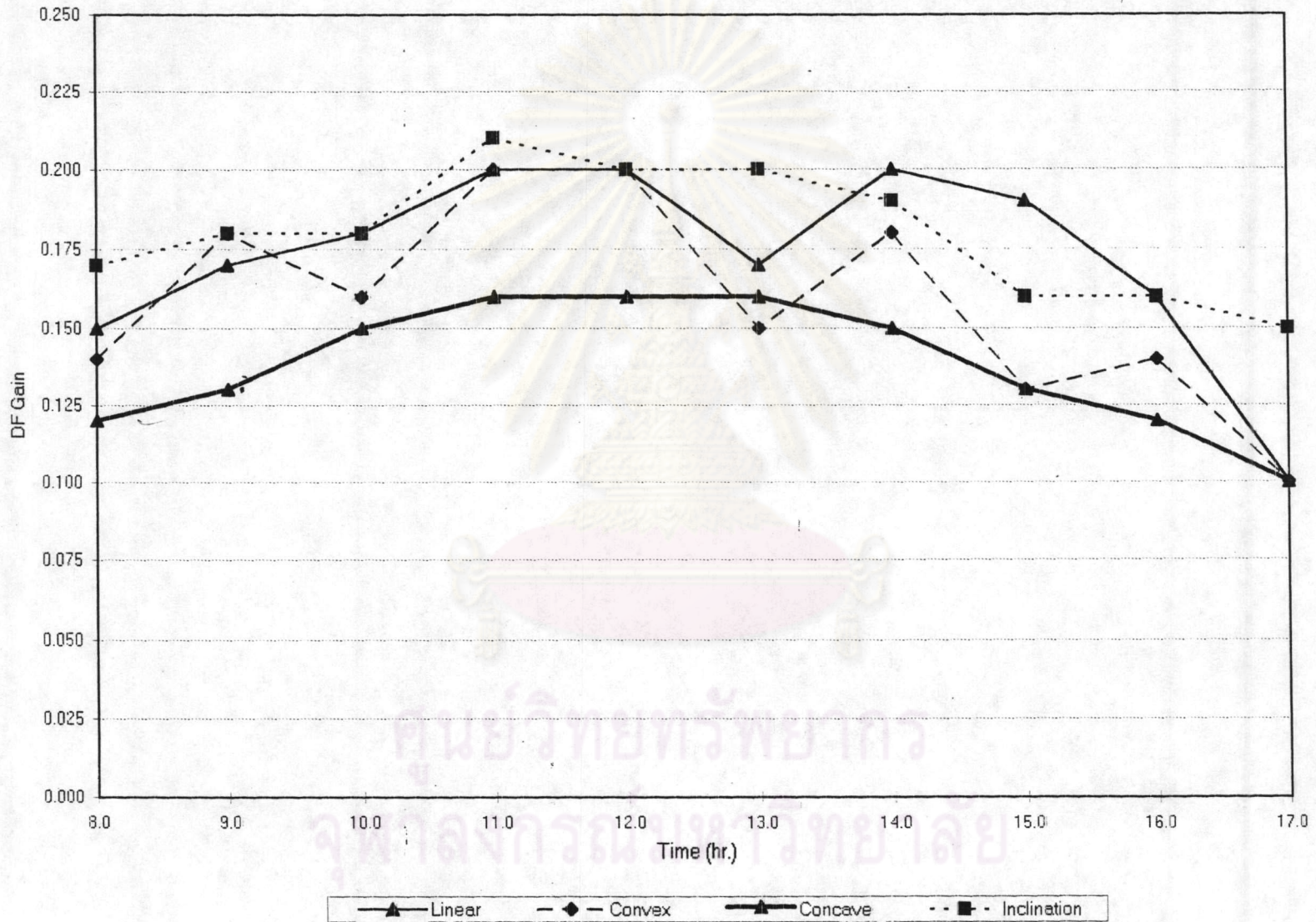
Daylight Factor Curve Comparison through 20.0%
Glass Area of Roof lighting on 11 Mar 95



แผนภูมิที่ 54 แสดงค่าเฉลี่ย Daylight Factor ผ่านช่องเปิด 20.0 % จากหลังคา

พื้นที่ลอยทั้ง 4 แบบ วันที่ 11 มีค. 38

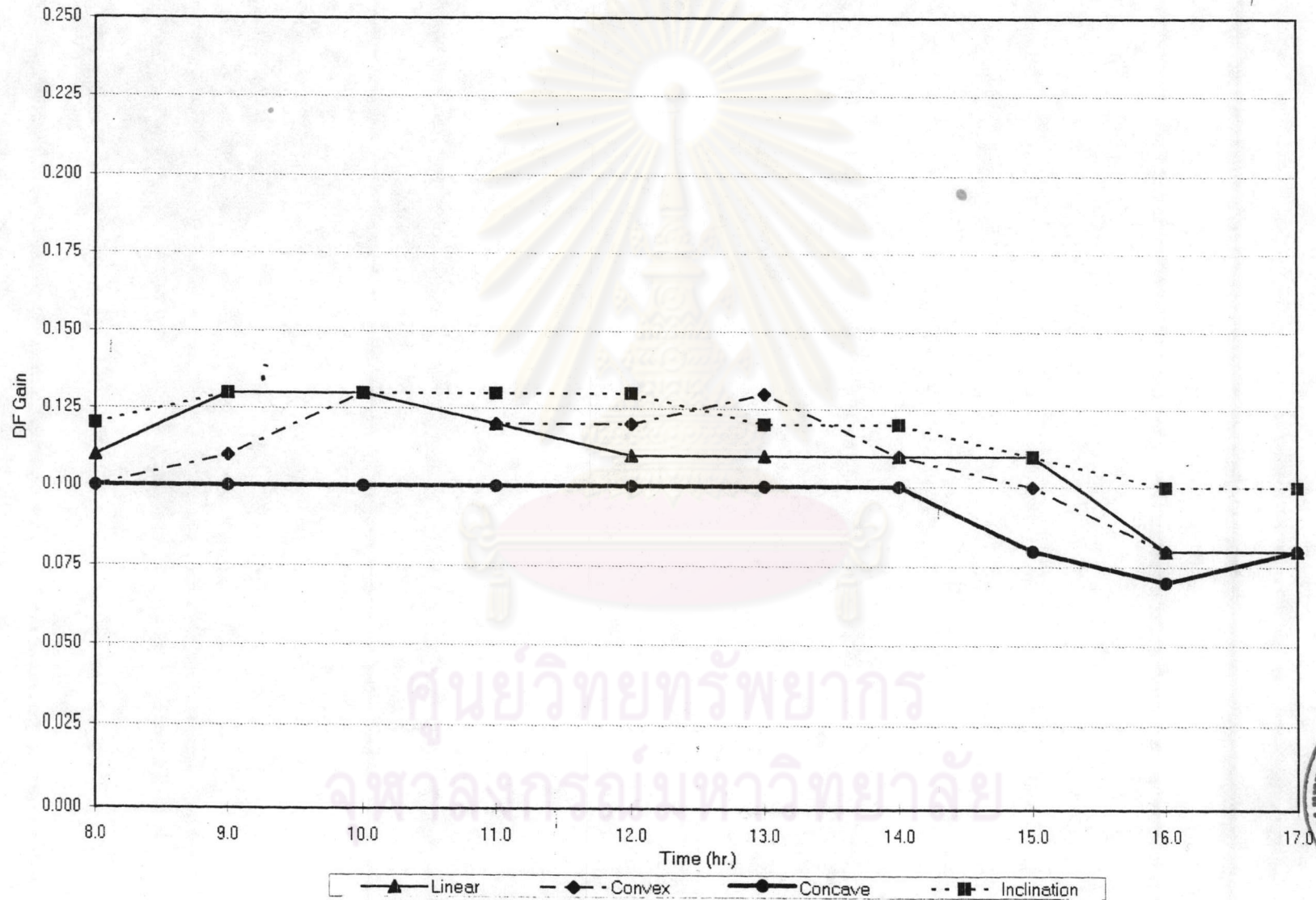
Daylight Factor Curve Comparison through 15.0%
Glass Area of Roof Lighting on 10 Mar 95



แผนภูมิที่ 55 แสดงค่าเฉลี่ย Daylight Factor ผ่านช่องเปิด 15.0 % จากหลังคา

พื้นเหลี่ยมทั้ง 4 แบบ วันที่ 10 มีค. 38

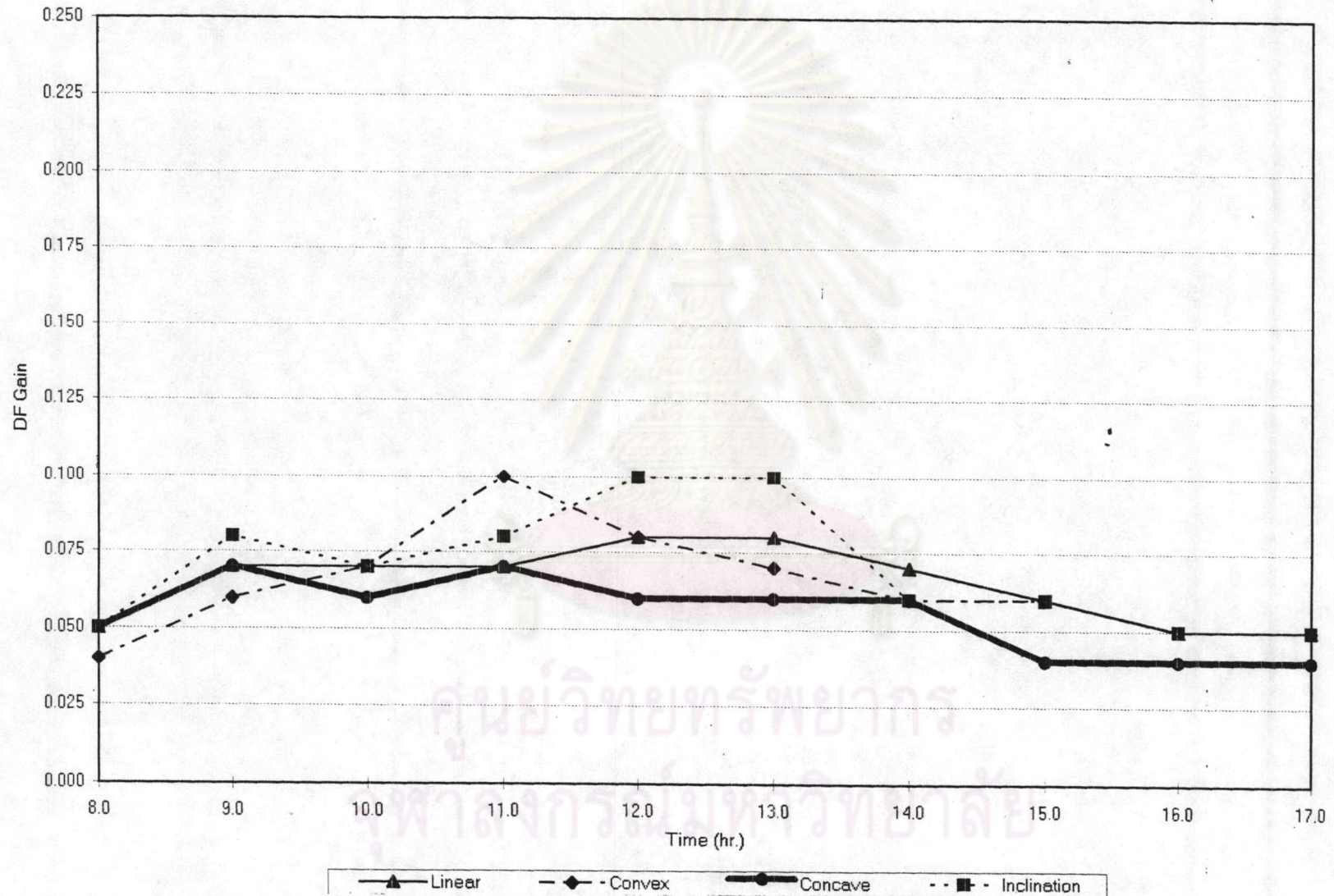
Daylight Factor Curve Comparison through 10.0%
Glass Area of Roof lighting on 9 Mar 95



แผนภูมิที่ 56 แสดงค่าเฉลี่ย Daylight Factor ผ่านช่องเปิด 10.0 % จากหลังคา
พื้นเลื่อยทั้ง 4 แบบ วันที่ 9 มีค. 38



Daylight Factor Curve Comparison through 5.0 %
Glass Area of Roof Lighting on 6 Mar 95



แผนภูมิที่ 57 แสดงค่าเฉลี่ย Daylight Factor ผ่านช่องเปิด 5.0 % จากหลังคา
พื้นเลื่อยทั้ง 4 แบบ วันที่ 6 มีค. 38

เปรียบเทียบปริมาณความร้อนภายในผ่านช่องเปิดขนาด 15.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงานโดย Computer Calculation พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากหลังคา 4 รูปแบบมีปริมาณเท่ากันตลอด

ค่าปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดตั้งแต่ 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	165.00 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 14.00 น.	เท่ากับ	18.40 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนต่ำสุดตั้งแต่ 8.00 น.	เท่ากับ	6.40 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนรวมตั้งแต่ 0-17.00 น.	เท่ากับ	16.54 BTU/h.sq.ft.

นับว่าเป็นรูปแบบช่องเปิดที่รับเอาปริมาณความร้อนเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่สอง

เปรียบเทียบปริมาณความร้อนภายในผ่านช่องเปิดขนาด 10.0 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทำงานโดยวิธี Computer Calculation พบว่าค่าที่เกิดขึ้นจากหลังคา 4 รูปแบบมีปริมาณเท่ากันหมด

ค่าปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดตั้งแต่ 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	160.00 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 14.00 น.	เท่ากับ	17.80 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนต่ำสุดตั้งแต่ 8.00 น.	เท่ากับ	6.10 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนรวมตั้งแต่ 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	16.04 BTU/h.sq.ft.

นับว่าเป็นรูปแบบช่องเปิดที่รับเอาปริมาณความร้อนเฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่สาม

เปรียบเทียบปริมาณความร้อนภายในผ่านช่องเปิดขนาด 5.0% ของพื้นที่ทำงานโดยวิธี Computer Simulation พบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นจากหลังคา 4 รูปแบบมีปริมาณเท่ากันตลอด

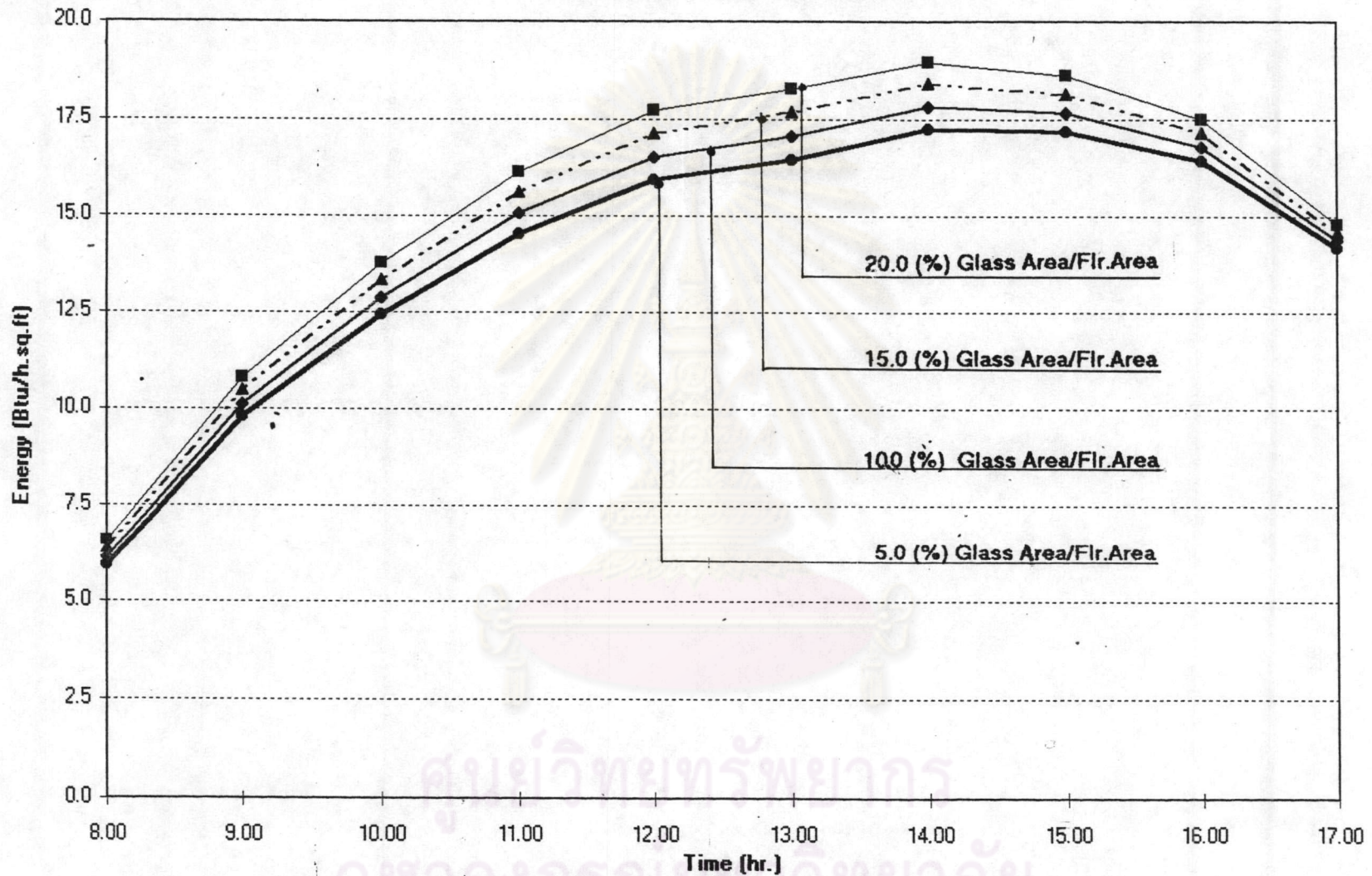
ค่าปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดตั้งแต่ 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	156.00 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 14.00 น.	เท่ากับ	17.30 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนต่ำสุดตั้งแต่ 8.00 น.	เท่ากับ	5.90 BTU/h.sq.ft.
ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนรวมตั้งแต่ 8.00-17.00 น.	เท่ากับ	15.55 BTU/h.sq.ft.

นับว่าเป็นรูปแบบช่องเปิดที่รับเอาปริมาณความร้อนเฉลี่ยต่ำที่สุด

สรุปผลการทดสอบปริมาณความร้อนจาก Daylight Model

จากกราฟเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิด 4 ขนาดจากหลังคา 4 รูปแบบพบว่า

Relationship between Glass Area (%) & Heat Gain on Mar 95



20.0 (%) Ag
 15.0 (%) Ag
 10.0 (%) Ag
 5.0 (%) Ag

แผนภูมิที่ 58) แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนผ่านช่องเปิด 4 ขนาด (%)

ของ Daylight Model จากหลังคา 4 รูปแบบด้านทิศเหนือ

1) ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิด 4 ขนาดจากหลังคาทั้ง 4 รูปแบบมีค่าเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้

ขนาดช่องเปิด 20.0 เพอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทำงานมีปริมาณความร้อนรวมเท่ากับ
170.00 BTU/h.sq.ft.

ขนาดช่องเปิด 15.0 เพอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทำงานมีปริมาณความร้อนรวมเท่ากับ
165.00 BTU/h.sq.ft

ขนาดช่องเปิด 10.0 เพอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทำงานมีปริมาณความร้อนรวมเท่ากับ
160.00 BTU/h.sq.ft

ขนาดช่องเปิด 5.0 เพอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทำงานมีปริมาณความร้อนรวมเท่ากับ
156.00 BTU/h.sq.ft

จะพบว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาสู่ Daylight Model นั้นมีปริมาณแปรผันไปตามขนาดของช่องเปิดเป็นหลัก หากช่องเปิดมีขนาดใหญ่ก็จะนำเอาปริมาณความร้อนเข้ามาพร้อมแสงมากไปด้วย หากช่องเปิดมีขนาดเล็กก็จะนำเอาปริมาณความร้อนเข้ามาพร้อมแสงน้อยลงไปเช่นกัน สำหรับการวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะออกแบบขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถรับแสงธรรมชาติได้อย่างมีคุณภาพสูงสุดรวมทั้งมีความร้อนน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากกราฟ แม้ว่าขนาดของช่องเปิดที่เล็กที่สุดจะได้รับปริมาณความร้อนเฉลี่ยน้อยที่สุด แต่ก็ได้รับปริมาณแสงสว่างธรรมชาติน้อยลง ในขณะที่ขนาดช่องเปิดใหญ่ก็จะรับเอาทั้งปริมาณแสงธรรมชาติและความร้อนเข้าสู่อาคารเหมือนกัน ดังนั้นต้องพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากภาวะการทำความเย็นอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติและแสงสว่างจากหลอดไฟประดิษฐ์ เพื่อนำมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจในการเลือกขนาดของช่องเปิดที่มีความเหมาะสมที่สุดในทุก ๆ ด้าน

2) ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิด 4 ขนาดจากหลังคาทั้ง 4 รูปแบบมีค่าไม่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากความแตกต่างของลักษณะหลังคา ค่าปริมาณความร้อนรวมที่ได้จากกราฟ พบว่ามีค่าเท่ากันตลอดทั้ง 4 รูปแบบหลังคา จากการทดสอบผ่านช่องเปิดขนาดเดียวกันในวันและเวลาเดียวกัน (ค่าที่คำนวณได้โดยวิธี Computer Simulation) แต่หากเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นโดยยึดหลักเกณฑ์ความแตกต่างด้านขนาดช่องเปิดเป็นหลัก จะพบว่าช่องเปิดขนาดใหญ่ที่สุดจะรับเอาปริมาณความร้อนเข้ามามากที่สุด และช่องเปิดที่เล็กที่สุดจะรับเอาปริมาณความร้อนเข้ามาน้อยที่สุดโดยที่ลักษณะความแตกต่างของหลังคาไม่ได้มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารเลย

3) ค่าเฉลี่ยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านช่องเปิด 4 ขนาดจากหลังคาทั้ง 4 รูปแบบตั้งแต่ 8.00-17.00 น. พบว่าในช่วงเวลา 12.00-14.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงสุดกว่าในช่วง 8.00-12.00 น. และในช่วง 14.00-17.00 น. เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงดังกล่าว (กรมอุตุนิยมวิทยา) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดทำให้ปริมาณความร้อนเฉลี่ยมีค่าสูงตามไปด้วย

วิเคราะห์ผลการทดสอบปริมาณความร้อน

การทดสอบปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน Daylight Model โดยวิธี Computer Calculation พบว่ารูปแบบของหลังคาที่แตกต่างกันไม่มีผลกระทบต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น เพราะมีค่าเท่ากันตลอดการทดสอบ ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลของปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น คือ ขนาดของช่องเปิด หากช่องเปิดมีขนาดใหญ่ปริมาณความร้อนก็มาก หากช่องเปิดมีขนาดเล็กปริมาณความร้อนก็น้อยลงตามขนาดที่ลดหลั่นกันไป

สำหรับผลการทดสอบจาก Daylight Model นี้ สามารถนำมาวิเคราะห์ผลทางด้านค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ได้ในเวลาหนึ่ง เพราะมีจำนวนตัวอย่าง (Exsamples) ที่น้อยเกินกว่าจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หิวจัย ผลลัพธ์ที่ได้จัดเป็นการทดสอบในระดับหนึ่งเท่านั้น หากต้องการที่จะคิดค่าใช้จ่ายดังกล่าวจำเป็นจะต้องทำการเก็บข้อมูลให้มากขึ้นกว่านี้ (อย่างน้อยควรจะไม่ต่ำกว่า 1 ปี) เพื่อสามารถจะนำไปคิดคำนวณค่าปริมาณความส่องสว่างภายในและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นรวมทั้งค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาระการทำความเย็นจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ได้ใกล้เคียงถูกต้องที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย