

บทที่ 3

ทฤษฎีการคำนวณแสงสว่างธรรมชาติและการทำงานความร้อนที่เข้ามาในอาคาร

นิยามและคำศัพท์เทคนิค

- เส้นศูนย์สูตร (Equator)

เส้นศูนย์สูตรเป็นเส้นสมมุติที่ลากกรอบโลกผ่านระหว่าง
โลกใต้

กึ่งกลางซีกโลกเหนือและซีก

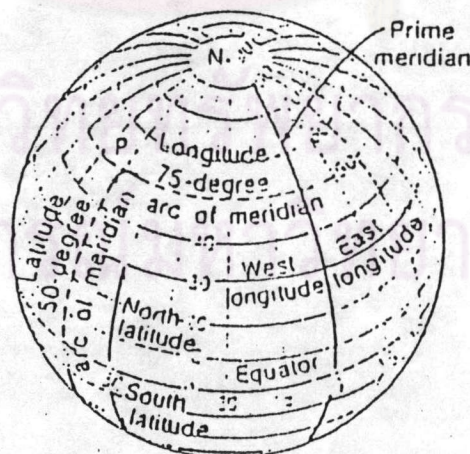
- เส้นรุ้ง (Latitude)

เส้นรุ้งเป็นเส้นสมมุติที่ลากรอบโลกขนานกับเส้นศูนย์สูตร
ซีกโลกใต้ ออกเป็น 90 องศา เท่า ๆ กัน

โดยแบ่งซีกโลกเหนือและ

- เส้นแวง (Longitude)

เส้นแวงเป็นเส้นสมมุติที่ลากจากซีกโลกเหนือไปซีกโลกใต้และในการหาตำแหน่งบนพื้น
โลกเทียบจากเส้นเมริเดียนปฐม (Prime Meridian) ดังรูป



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการแบ่งเส้นศูนย์สูตร เส้นรุ้ง และเส้นแวงรอบโลก

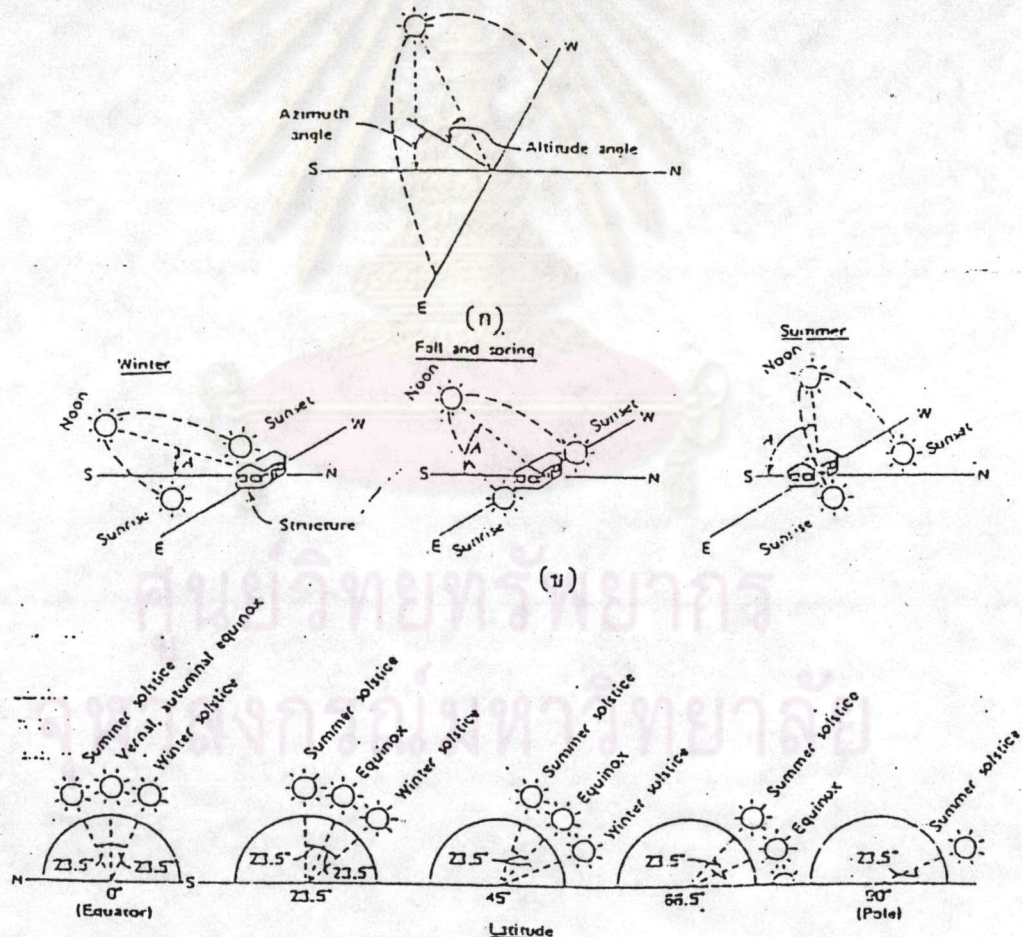
ที่มา: Stein/Reynolds/McGuinness .1988

- แอลติจูดและอะซิมุมต์ (Altitude & Azimuth)

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะขึ้นอยู่กับมุมแอลติจูดเหนือเส้นระดับขอบฟ้าและมุมอะซิมุมต์ วัดจากมุมในแนวราบ โดยวัดเทียบกับทิศใต้ในรูป 8 ก. เป็นปรากฏการณ์ง่าย ๆ ของการเคลื่อนที่ของโลกด้วยฤดูกาลต่าง ๆ ในแต่ละเส้นรุ้ง (Latitude) ที่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ตามสภาวะต่าง ๆ ดังนี้

3.1.1 ในแต่ละเส้นรุ้งแอลติจูดของดวงอาทิตย์จะสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำสุดในฤดูหนาว ส่วนฤดูฝนจะอยู่ระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังในรูป 8 ข.

3.1.2 ตำแหน่งที่ใกล้เส้นศูนย์สูตร (Equator) ค่าสูงสุดของมุมทางตั้งดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (Altitude of Sun) จะเปลี่ยนแปลงแต่ละเส้นรุ้ง ดังรูป 8 ค. สำหรับแต่ละเส้นรุ้งจะเปลี่ยนแปลง 23.5 องศา ทุก ๆ ปี และมุมแอลติจูดจะสูงสุดเมื่ออยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร



รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของดวงอาทิตย์ มุมแนวตั้งเหนือระดับขอบฟ้า (Altitude) และมุมในแนวราบของดวงอาทิตย์ (Azimuth) โดยวัดเทียบกับทิศใต้

ที่มา : Stein/Reynolds/McGuinness, 1988

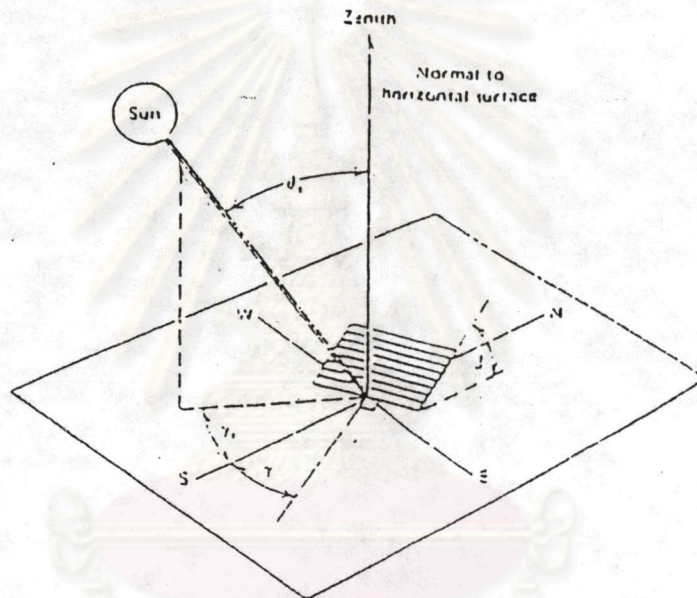
- โขลาแอล์ติจูด (Solar Altitude) ใช้สัญลักษณ์ A1

โซลาแอล์ติจูดเป็นมุมแนวตั้งของดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้าจะมีมุมตั้งแต่ 0 - 90 องศา

องศา

- โขลาอะซิมุต (Solar Azimuth) ใช้สัญลักษณ์ Az

โซลาอะซิมุตเป็นมุมทางแนวราบของดวงอาทิตย์ โดยปกติมุมจะวัดเทียบกับทิศใต้และจะมีมุมตั้งแต่ 0 - 180 องศา



รูปที่ 9 แสดงมุมต่าง ๆ ของระนาบกับดวงอาทิตย์

- ความส่องสว่าง (Luminance หรือ Brightness) ใช้สัญลักษณ์ L และหน่วยของค่าความส่องสว่างเป็นฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert : Fl) หรือเป็นนิท (Nit., cd/sq.m : nt) $1 \text{ Fl} = 3.426 \text{ cd/sq.m}$

-วันที่เวลาสมดุลย์ (Equinox)

เป็นวันที่ทุก ๆ แห่งบนพื้นโลกมีระยะเวลากลางวันและกลางคืน 12 ชั่วโมง เท่า ๆ กัน และดวงอาทิตย์จะเดินทางตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรพอดี สำหรับในวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่า วันที่เวลาสมดุลย์ในฤดูใบไม้ผลิ (Vernal Equinox) และในวันที่ 23 กันยายน เรียกว่า วันที่เวลาสมดุลย์ในฤดูใบไม้ร่วง (Autumnal Equinox) ดังรูป 10 ก.

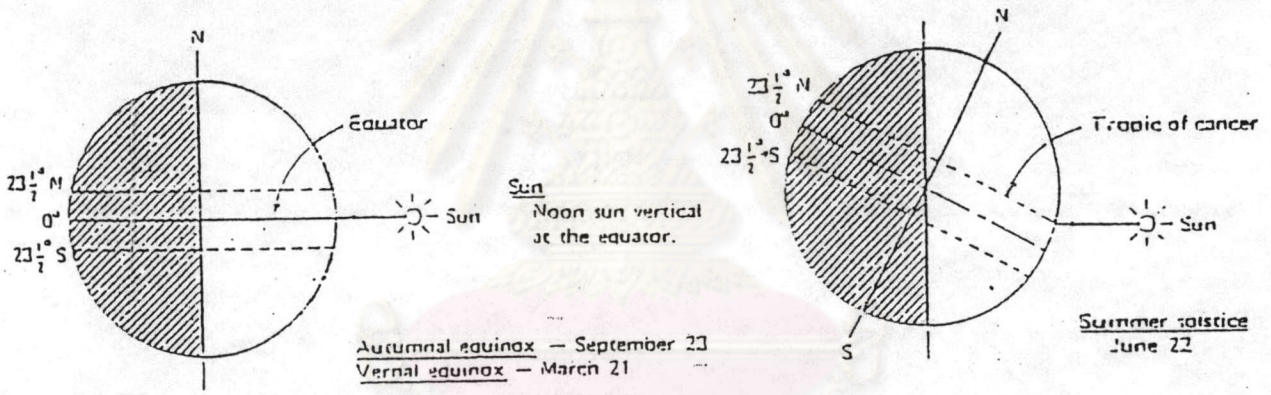
-วันเต็มฤดูร้อน (Summer Solstice)

วันเริ่มฤดูร้อน เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ส่วนขั้วโลกใต้จะเบนออกจากดวงอาทิตย์ วันนั้นก็คือ 22 มิถุนายน ดังรูป 10 ข.

-วันเริ่มฤดูหนาว (Winter Solstice)

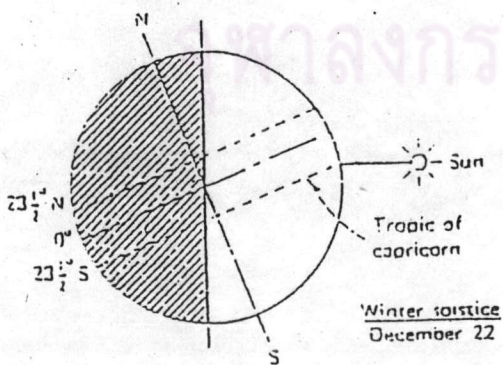
วันเริ่มฤดูหนาว เป็นวันที่ตำแหน่งขั้วโลกเหนือเบนออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุดและขั้วโลกใต้เบนเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด วันนั้นก็คือ 22 ธันวาคม ดังรูป 10 ค.

-ความสว่าง (Illumination) ใช้สัญลักษณ์ E และหน่วยของความสว่างเป็น ฟุตแคนเดิล (Footcandle : FC) หรือเป็นลักษณะ (Lux) : $\text{lm/sq.m} : \text{Lx}$



(ก) กลางวันเท่ากับกลางคืน

(ข) กลางวันยาวกว่ากลางคืน



(ค) กลางวันสั้นกว่ากลางคืน

รูปที่ 10 แสดงผลของการเกิดฤดูกาล

ที่มา: Stein/Reynolds/McGuinness, 1988

-การส่งผ่านของวัสดุ (Transmittance) ใช้สัญลักษณ์ T

ค่าการส่งผ่านของวัสดุนี้ ขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุที่จะยอมให้แสงผ่านมากหรือน้อยก็เปอร์เซ็นต์

-การสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance) ใช้สัญลักษณ์ R

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุที่จะสะท้อนแสงออกจากผิวหน้าวัสดุต่อฟลักซ์ความสว่างที่ตกกระทบผิวหน้าของวัสดุนั้น ดังนั้น ความสามารถในการสะท้อนจึงขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ

-ค่าการบำรุงรักษา (Maintenance) ใช้สัญลักษณ์ Km

ค่าบำรุงรักษาขึ้นอยู่กับระดับความสกปรก และระยะเวลาทำความสะอาด

สภาวะท้องฟ้า (Sky Condition)

ความส่องสว่างของท้องฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ไม่สามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นเพียงหลักการเบื้องต้นเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและประเภทของเมฆบนท้องฟ้า จำนวนก้อนเมฆความสกปรกของอากาศ ความชื้นมีอยู่บ่อยครั้งที่ไอน้ำบนท้องฟ้าสูง อย่างไรก็ตามหลังจากที่แสงธรรมชาติผ่านสิ่งต่าง ๆ มาถึงพื้นดินระดับความสว่างบนพื้นดินจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง สิ่งนี้แหละที่จะช่วยให้นักออกแบบเข้าใจเกี่ยวกับสภาวะของท้องฟ้า โดยทั่วไปสภาวะของท้องฟ้าสามารถแบ่งลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ คือ

3.2.1 ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมไม่เกิน 30% แบ่งได้ 2 แบบ คือ เฉพาะการสะท้อนของท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวและการสะท้อนของท้องฟ้ารวมกับดวงอาทิตย์ แต่โดยปกติในสภาวะท้องฟ้าโปร่งย่อมต้องมีดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย แต่ถ้าเราคิดทิศทางของอาคาร ทิศเหนือในฤดูหนาวจะรับแสงสะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งในขณะเดียวกันทิศอื่น ๆ ก็จะได้รับแสงสะท้อนจากท้องฟ้าและดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วยอย่างไรก็ตามถ้าคิดการกระจายแสงที่สะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว เราสามารถหาค่าความส่องสว่าง (L) ในระดับขอบฟ้าเป็น 3 เท่าของจุดยอดท้องฟ้า และผลของค่าความส่องสว่าง (E) ทั้งทางแนวราบ (Eh) และในแนวตั้ง (Ev) เป็นผลมาจากมุมแนวตั้งของดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (Solar Altitude) และ

มุมในแนวราบที่ทำกับทิศเหนือหรือใต้ (Solar Azimuth) แต่โดยปกติจะทำมุมกับทิศใต้ ดังแสดงในรูป 11 ก.

สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) ของทุกเดือน จะมีปริมาณของค่าส่องสว่างรายชั่วโมงเปลี่ยนแปลงขึ้นลงสม่ำเสมอ ช่วงเวลา 11.00-13.00 น.จะมีปริมาณแสงเข้ามามากที่สุด โดยเดือนมีนาคมและเมษายนจะมีสภาพท้องฟ้าโปร่งมากที่สุด เท่ากับ 25 วัน ส่วนเดือนสิงหาคม จะมีวันที่ท้องฟ้าโปร่งน้อยที่สุด เท่ากับ 3 วัน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในระยะเวลา 1 ปี พบว่า มีวันที่ท้องฟ้าโปร่งทั้งหมด 146 วัน คิดเป็น 40% ของทั้งปี

3.2.2 ท้องฟ้ามีเมฆมาก (Partly Cloudy Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม 30-70% โดยค่าความส่องสว่างมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การคำนวณจึงเป็นไปได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าเมฆปกคลุมอย่างสม่ำเสมอเราก็อาจเลือกการกระจายความส่องสว่างแบบของท้องฟ้าที่ความส่องสว่างเป็นอัตราส่วน 1 : 3 ของความส่องสว่างในแนวราบของระดับขอบฟ้ากับความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า (Horizon to Zenith) และความส่องสว่างหาได้จาก

$$Le = \frac{Lz \times 1 + 2 \times \text{sine}}{3} \text{ นิต (cd/sq.m)} \dots\dots\dots (3.1)$$

โดยที่ Le = ความส่องสว่างที่ e เหนือระดับขอบฟ้า

Lz = ความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า

ถ้า O = 0 คือ อยู่ในระดับขอบฟ้า

$$Le = \frac{Lz}{3} \dots\dots\dots (3.2)$$

(Stein/Reynolds/McGuinness ,1988)

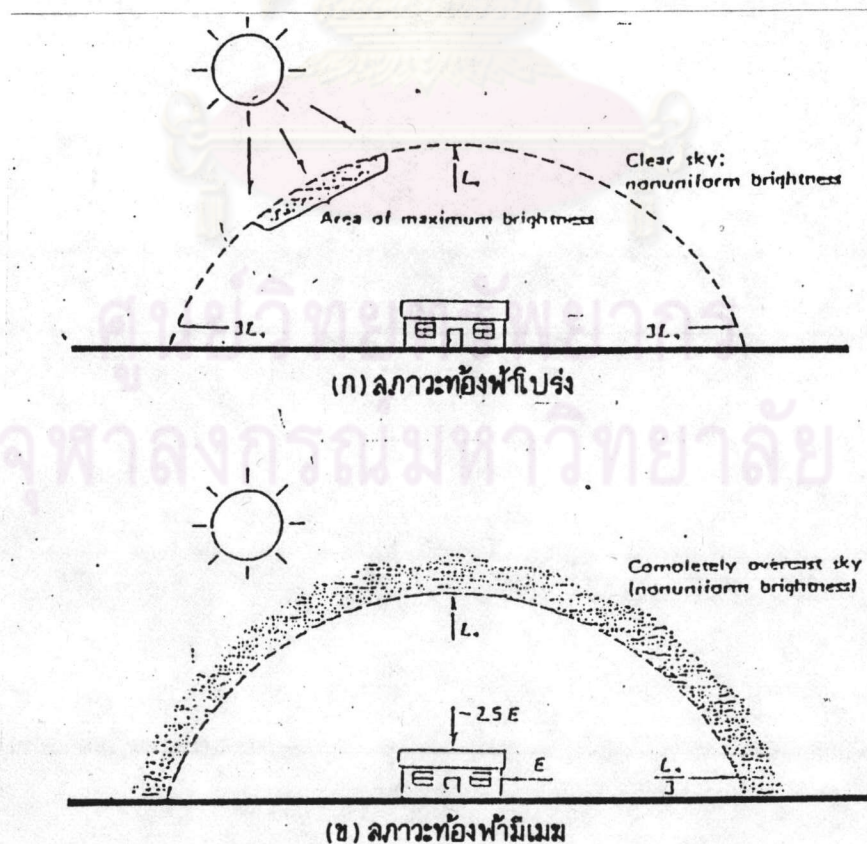
ถ้าเราคิดในเรื่องของความสว่าง ความสว่างในแนวราบ (E_h) และความสว่างในแนวตั้ง (E_v) ในอัตราส่วน 2.5 : 1 ดังแสดงในรูป 11 ข.

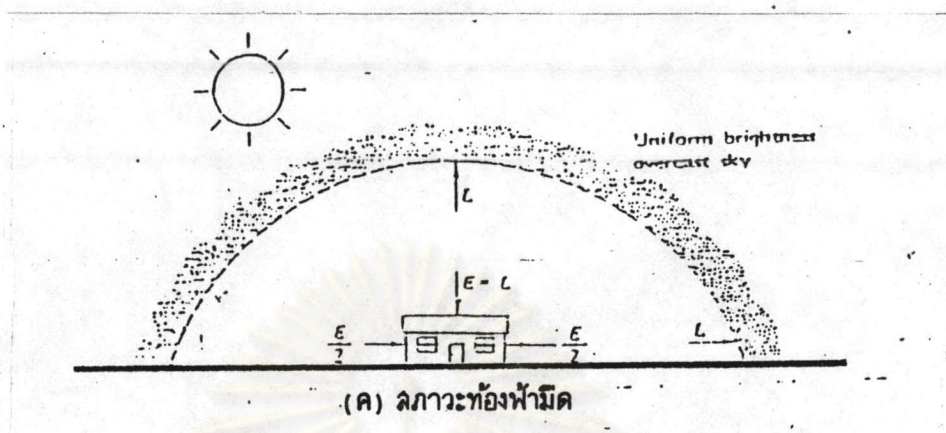
สภาพท้องฟ้ามีเมฆมากของทุกเดือนจะมีปริมาณของค่าส่องสว่างรายชั่วโมงเปลี่ยนแปลงก่อนข้างสม่ำเสมอ ช่วงเวลาที่แสงเข้ามามากที่สุดส่วนใหญ่จะเหมือนกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง แต่มีบางเดือนที่ย้ายไปช่วงเวลาอื่น เนื่องจากมีปริมาณเมฆเข้ามาเกี่ยวข้องและปริมาณแสงโดยรวมบางเดือนจะมีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพท้องฟ้าโปร่ง เนื่องจากปริมาณเมฆที่นำมาใช้ในข้อมูลส่วนใหญ่เป็นเมฆชั้นกลางและชั้นสูงยอมให้แสงผ่านได้ ซึ่งบางเดือนมีปริมาณเมฆชั้นต่ำ

มากปริมาณแสงโดยรวมจะแตกต่างกับสภาพท้องฟ้าโปร่งมาก เดือนกุมภาพันธ์จะมีวันท้องฟ้ามีเมฆมากที่สุดเท่ากับ 23 วัน และเดือนเมษายนจะมีน้อยที่สุดเท่ากับ 2 วัน เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในช่วง 1 ปี จะมีทั้งหมด 157 วัน คิดเป็น 43.02 % ของทั้งปี

3.2.3 ท้องฟ้ามีด (Overcast Sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่เป็นแบบเดียวกันหมด มีเมฆปกคลุมมากกว่า 70% ไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้และปกติโดยทั่วไปจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ และช้ากว่าสภาวะของท้องฟ้าแบบอื่น ๆ ขอบเขตของท้องฟ้ามีดขึ้นอยู่กับฤดูกาลต่าง ๆ โดยท้องฟ้ามีดที่มีค่าความส่องสว่างเท่ากันตลอด (Uniform Brightness Overcast Sky) เป็นค่าโดยประมาณที่หาได้จากการกระจายความส่องสว่างของท้องฟ้า (Sky Luminance Distribution) และค่าความสว่างในแนวราบ (Eh) มีค่าเท่ากับค่าความส่องสว่าง (L) ส่วนค่าความสว่างในแนวตั้ง (Ev) มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าความสว่างในแนวราบ ดังแสดงในรูป 11 ค

สภาพท้องฟ้ามีด ของทุกเดือนมีปริมาณค่าส่องสว่างรายชั่วโมงไม่สม่ำเสมอโดยเดือนสิงหาคมมีสภาพท้องฟ้ามีดมากที่สุดเท่ากับ 10 วัน และเดือนมีนาคมจะไม่มีวันที่มีท้องฟ้ามีด และพิจารณาในช่วง 1 ปี จะมีทั้งหมด 62 วัน คิดเป็น 16.98 % ของทั้งปี





รูปที่ 11 แสดงความส่องสว่างและความส่องสว่างของท้องฟ้า ตามสภาวะของท้องฟ้า ทั้งท้องฟ้าโปร่ง, ท้องฟ้ามีเมฆ และท้องฟ้ามืด

ที่มา : Stein/Reynolds/McGuinness , 1988

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และค่าความส่องสว่างทางด้านทิศเหนือสำหรับ โรงงานอุตสาหกรรม

ความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังบรรยากาศของโลกมี 2 ชนิด คือ

1. การแผ่รังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation) การแผ่รังสีความร้อน จากดวงอาทิตย์นี้ เกิดจากพื้นผิวของดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นอุลตราไวโอเล็ต $0.29\mu\text{m} - 0.40\mu\text{m}$, ช่วงแสงสว่าง $0.4\mu\text{m} - 0.7\mu\text{m}$ และช่วงใกล้อินฟราเรด $0.7\mu\text{m} - 3.5\mu\text{m}$ (The Ultra Violet, Visible and Near Infra-Red Regions) โดยเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) คิดเป็นสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 9%, 38% และ 53% ตามลำดับ

2. การแผ่รังสีแสงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก (Terrestrial Radiation) คือ การแผ่รังสีความร้อนจากบรรยากาศ และวัตถุบนพื้นผิวโลกในช่วงคลื่นแสงเหนืออินฟราเรด (The Far Infra-Red Regions) โดยเรียกอีกชื่อว่า การแผ่รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation)

โดยทั่วไป การทำความร้อนแก่พื้นผิวอาคาร มักเกิดโดย Solar Radiation เป็นหลัก ส่วน Terrestrial Radiation นั้นมีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากปริมาณที่รับและส่งออกมาจากพื้นผิวเกือบใกล้เคียงกัน ซึ่งในการวิจัยนี้จะกล่าวถึง Solar Radiation เท่านั้นโดย

พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (Beam Radiation or Direct Solar Radiation) คือ พลังงานที่รับได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์ โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง (I_d)

พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffused Radiation) คือ พลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นแสงอาทิตย์ไว้หรือเป็นพลังงานที่มาจากท้องฟ้าทั้งหมด (I_{ds})

พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากแสงสะท้อน (I_r : Reflected Solar Radiation from Surrounding Surface)

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม (Total or Global Solar Radiation) คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยพลังงานอาทิตย์แบบรังสีตรงและแบบรังสีกระจายที่รับได้บนระนาบ (โดยทั่วไปจะวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมบนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา - หน่วยพื้นที่) (I_t)

$$I_t = I_d + I_{ds} + I_r \quad \text{BTU/h. sq.ft.} \dots\dots\dots (3.3)$$

(AHRAE, 1993)

โดยที่ I_t = พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม (BTU/h.sq.ft)

I_d = พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (BTU/h.sq.ft)

I_{ds} = พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (BTU/h.sq.ft)

I_r = พลังงานแสงอาทิตย์แบบสะท้อน (BTU/h.sq.ft)

โดยทั่วไป การแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงต่อพื้นผิวดังจากกับดวงอาทิตย์ ทำมุมโดยรอบ 5.7° โดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ที่ดวงอาทิตย์ (ในภาวะท้องฟ้าแจ่มใสโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 285 BTU/h. sq.ft. (900 W/sq. m.) และพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย จะมีค่าเฉลี่ย

ขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสมีค่าประมาณ 32 BTU/h. sq. ft. (100 W/sq.m.) แต่ในสภาวะท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีค่าอยู่ในช่วง 95 - 190 BTU/h. sq.ft. (300 - 600 W/sq.m.)

การคำนวณค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของแสงสว่างตามธรรมชาติ

สำหรับทางทิศเหนือจะได้รับแต่พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจายและพลังงานแสงแบบสะท้อนเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่รวมค่าพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1 พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (Direct Solar Radiation)

จากสมการที่ 3.3 สามารถคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงได้จาก

$$I_d = I_{dn} + \cos \theta \quad \text{BTU/h. sq.ft.} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

(เมื่อ θ = มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ เพิ่มขึ้น, I_d จะลดลง)

โดย I_{dn} = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบระดับ

(AHRAE, 1993)

โดยความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบที่ทิศทางเฉพาะใด ๆ เมื่อเทียบกับโลก ที่เวลาใด ๆ (ไม่ว่าจะเป็นระนาบที่อยู่กับที่หรือเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับโลกก็ตาม) กับพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงที่ได้รับ นั่นคือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยมุมต่าง ๆ โดยที่มุมต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างมุมมีดังนี้

เดคลิเนชัน (Declination) คือ มุมที่เกิดระหว่างแนวต่อศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตรเมื่อเวลาเที่ยงสุริยะ โดยทางเหนือของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นบวก ทางใต้ของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ มีค่าระหว่าง -23.45° - $+ 23.45^\circ$

มุมเอียงของระนาบ (Slope) คือ มุมของระนาบที่ทำกับแนวระดับมีค่าระหว่าง $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ($\beta > 90^\circ$ แสดงว่าระนาบหันหน้าลง)

มุมเอซซิมุทของระนาบ (Surface Azimuth Angle) คือ มุมที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของแนวฉาย (Projection) บนระนาบระดับของเส้นตั้งฉากกับผิวระนาบจากแนวเมริเดียน (Local

Meridian) มุมนี้มีค่าเป็นศูนย์ถ้าแนวของรูปฉายชี้ไปทางทิศใต้ มีค่าเป็นบวกถ้าชี้ไปทางทิศตะวันตกของทิศใต้และเป็นลบถ้าชี้ไปทางทิศตะวันออกของทิศใต้มุมนี้มีค่าระหว่าง $-180^\circ \leq v \leq 180^\circ$

3.3.2 พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย

จากสูตร $I_{ds} = C * I_{dn} * F_{ss}$ BTU/h. sq.ft. (3.5)

โดยที่ C = Diffuse Radiation Factor

$F_{ss} = (1.0 + \cos \Sigma) / 2$ โดย Σ คือ มุมระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า สำหรับการวิจัย

ครั้งนี้พบว่ามุม Σ มีค่าเท่ากับ 80° ($\cos 80^\circ = 0.1736$)

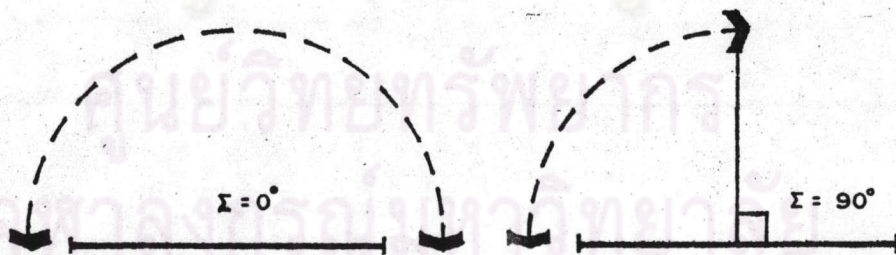
(AHRAE ,1993)

3.3.3 พลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากแสงสะท้อน

พลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นสามารถคำนวณได้จาก

$I_{th} = I_{dn} * (C + \sin \beta)$ BTU/h. sq.ft. (3.6)

(AHRAE ,1993)



Angle Factor for Horizontal Surface

$F_{ss} = (1 + \cos 0) / 2 = 1.0$

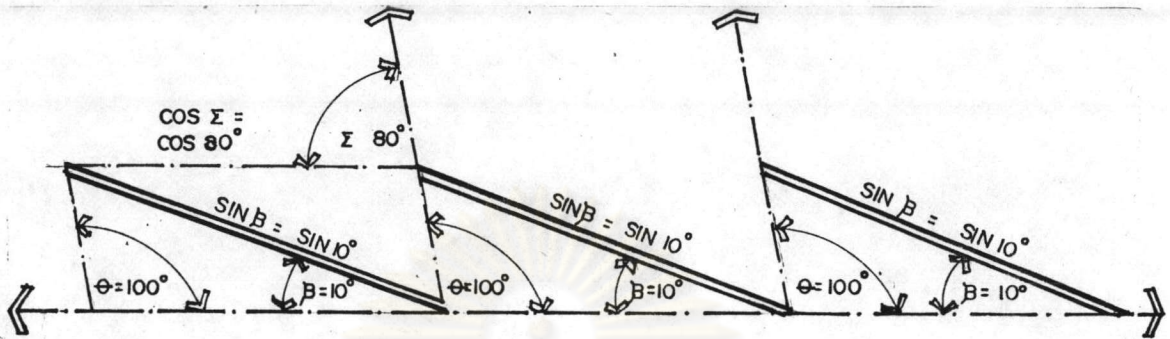
$F_{sg} = (1 - \cos 0) / 2 = 0$

Angle Factor for Vertical Surface

$F_{ss} = (1 + \cos 90) / 2 = 0.5$

$F_{sg} = (1 - \cos 90) / 2 = 0.5$

ก) มุมทั่วไปตามทฤษฎี



ข) มุมที่เกิดขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้

รูปที่ 12 แสดงมุมระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า

ที่มา : ASHRAE , 1993 ภาพประกอบโดยนายมานะ หุตินทะ

และพลังงานที่สะท้อนจากพื้นไปยังผนังสามารถคำนวณได้จาก

$$I_{dg} = I_{th} * O_g * F_{sg} \quad \text{BTU/h. sq.ft} \dots\dots\dots (3.7)$$

(ASHRAE , 1993)

โดยที่ O_g = Ground Albedo (0.1 สำหรับดินสีเข้ม, 0.2 สำหรับพืชคลุมดิน, 0.3 สำหรับดินหรือวัสดุสีอ่อน) ค่า O_g คือ ค่าการสะท้อนแสงของพื้นดิน สำหรับการวิจัยนี้ค่า O_g คือค่าการสะท้อนแสงของหลังคาที่กำหนดค่าเท่ากับ 0.7 (R.G. Hopkinson , 1963) ซึ่งเป็นค่าสะท้อนแสงที่ดีสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

$F_{sg} = (1.0 - \cos \Sigma) / 2$ ซึ่งมุม Σ คือ มุมระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้าดังที่ได้อธิบายไปแล้ว

3.3.4 พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม

มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Angle of Incidence) คือ มุมที่เกิดจากแนวของแสงอาทิตย์ทำกับแนวของเส้นตั้งฉากของระนาบ

มุมเซนนิธ (Zenith Angle), มุมเอียงของระนาบ (Slope) และมุมแอสซิมุทของระนาบ (Surface Azimuth Angle) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 18 เดคลิเนชัน (Declination), δ , สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin (360.284+n) \dots\dots\dots (3.8)$$

365

(John A.Duffie and William A. Beckman ,1980)

เมื่อ n เป็นจำนวนวันของปี เพื่อความสะดวก n สามารถหาได้จากตารางที่ 4 หรือจากรูปที่ 19

สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ กับมุมอื่น ๆ มีดังนี้

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \psi \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \psi \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \psi \sin \omega \dots\dots\dots (3.9) \end{aligned}$$

(ASHRAE , 1993)

มุมที่จะกล่าวถึงเพิ่มเติมได้แก่ มุมแอสซิมุทของดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth Angle) คือมุมที่เกิดจากแนวฉายของแนวแสงอาทิตย์บนระนาบระดับทำกับแนวเมริเดียนโดยที่มุมนี้จะเป็นศูนย์เมื่อแนวของรูปฉายชี้ไปทางทิศใต้ จะมีค่าเป็นบวกเมื่อชี้ไปทางทิศตะวันตกของทิศใต้และมีค่าเป็นลบถ้าชี้ไปทางทิศตะวันออกของทิศใต้ดังแสดงในรูปที่ 18 ในกรณีที่ระนาบวางอยู่บนพื้นระดับมุมเอียงระนาบ β เป็นศูนย์, มุมตกกระทบจะเป็นมุมเซนนิธ, θ_z แทน ค่า $\beta = 0$ ลงในสมการ จะได้

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \dots\dots\dots (3.10)$$

(ASHRAE , 1993)

ในการวิจัยประสิทธิภาพของแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในโรงงานอุตสาหกรรมทางด้านทิศเหนือตลอดปีนี้ จะทำการคำนวณโดยใช้ข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องแคมป์เบลล์ไฮโดรเทอร์มอลของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้วัดพลังงานการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (Total Radiation From Sun and Sky)

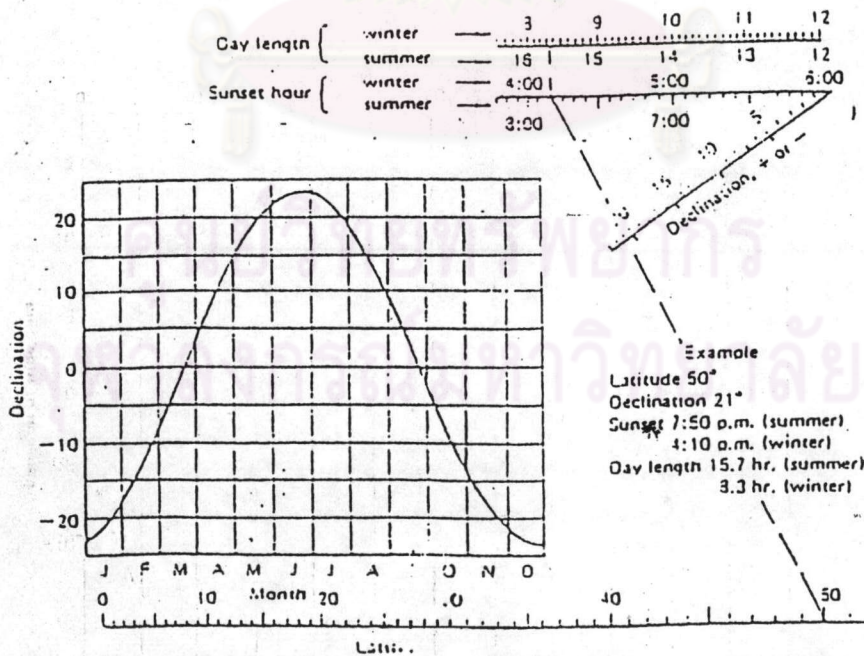
Recommended Average Day¹ for Each Month [from Klein (1976)]
and Values of n by Months.

Month	n for i th Day of Month ²	For the Average Day of the Month		
		Date	n , Day of Year ³	δ , Declination
January	i	17	17	-20.9
February	$31 + i$	16	47	-13.0
March	$59 + i$	16	75	-2.4
April	$90 + i$	15	105	9.4
May	$120 + i$	15	135	18.8
June	$151 + i$	11	162	23.1
July	$181 + i$	17	198	21.2
August	$212 + i$	16	228	13.5
September	$243 + i$	15	258	2.2
October	$273 + i$	15	288	-9.6
November	$304 + i$	14	318	-18.9
December	$334 + i$	10	344	-23.0

¹ The average day is that day which has the extraterrestrial radiation closest to the average for the month.

² These do not account for leap year; values of n from March onward for leap years can be corrected by adding 1. Declination values will also shift slightly.

ตารางที่ 4 แสดงค่าวันเฉลี่ยของทุกเดือน



Nomogram to determine sunset and day length. Adapted from Whillier, Solar Energy 9, 164 (1965).

รูปที่ 13 แสดงโมโนแกรม

ที่สถานีกรุงเทพ ฯ ละติจูด 13.44 เหนือ ลองจิจูด 100.34 ตะวันออก ข้อมูลที่ได้จากตารางผนวกมีหน่วยเป็น MJ/sq.m. เพื่อทำการคำนวณได้สะดวกต้องนำมาเปลี่ยนดังนี้

$$1 \text{ MJ/sq.m.} = 0.8806 \text{ BTU/sq.ft} \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

(ASHRAE , 1993)

นำมาหาความส่องสว่างโดยใช้สูตร

$$E = 104.8 + 31.007 * \text{Rad.} \text{ จะได้} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

(Boonyatikarn Soontorn, 1984)

$$1 \text{ BTU/sq.ft.} = 135.807 \text{ Footcandles}$$

(ASHRAE , 1993)

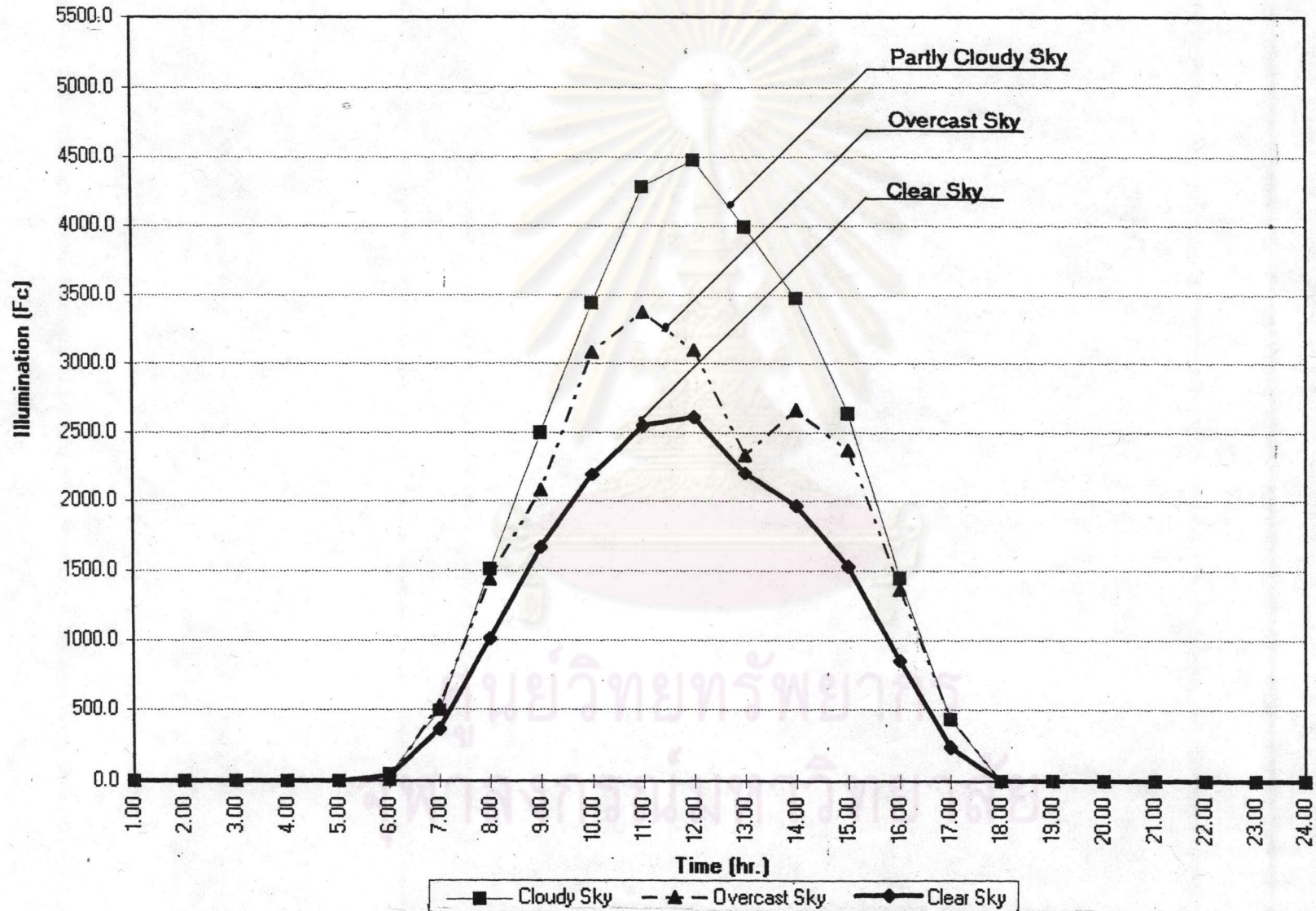
แล้วนำมาจัดข้อมูลตามลักษณะของสภาพอากาศตามท้องฟ้าแจ่มใส, ท้องฟ้ามีเมฆและท้องฟ้ามีด (Clear, Partly cloudy, Overcast) โดยดูจากค่าเฉลี่ยของปริมาณเมฆในท้องฟ้า (Cloudness Factor) เป็นนัยสำคัญ นำมาสรุปเป็นแผนภูมิที่ 1 - 12 ซึ่งแสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าด้านทิศเหนือ ตั้งแต่เดือน ม.ค - ธ.ค. 2536

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และค่าความร้อนทางด้านทิศเหนือสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

ในการหาค่าความร้อนเข้ามาในอาคารจะพิจารณาเฉพาะถึงความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งเป็นบริเวณปรับอากาศ เมื่อพิจารณาถึงรูปร่างรอบนอกของอาคาร ความร้อนจะผ่านเข้ามาได้ 2 วิธี คือ จากการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร โดยการนำความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ ในหัวข้อการวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะกรณีแรกเพียงประการเดียวโดยถือว่าผนังมีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกทั้งหมดเท่ากับ

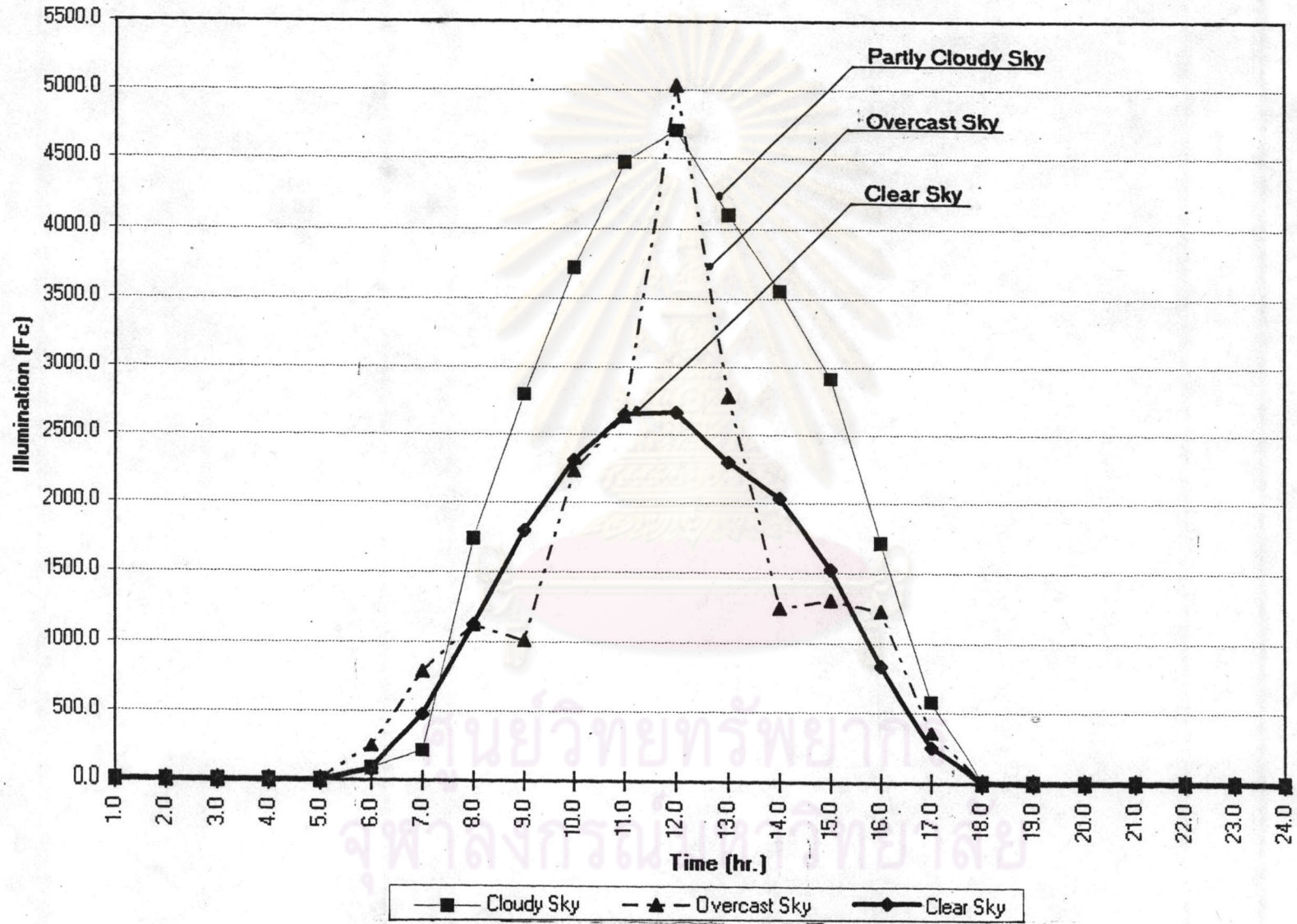
พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านทะลุกระจก + ความร้อนที่ระบายสู่ภายในเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน + ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างภายนอกและภายใน

Total Daylight from Northside on January



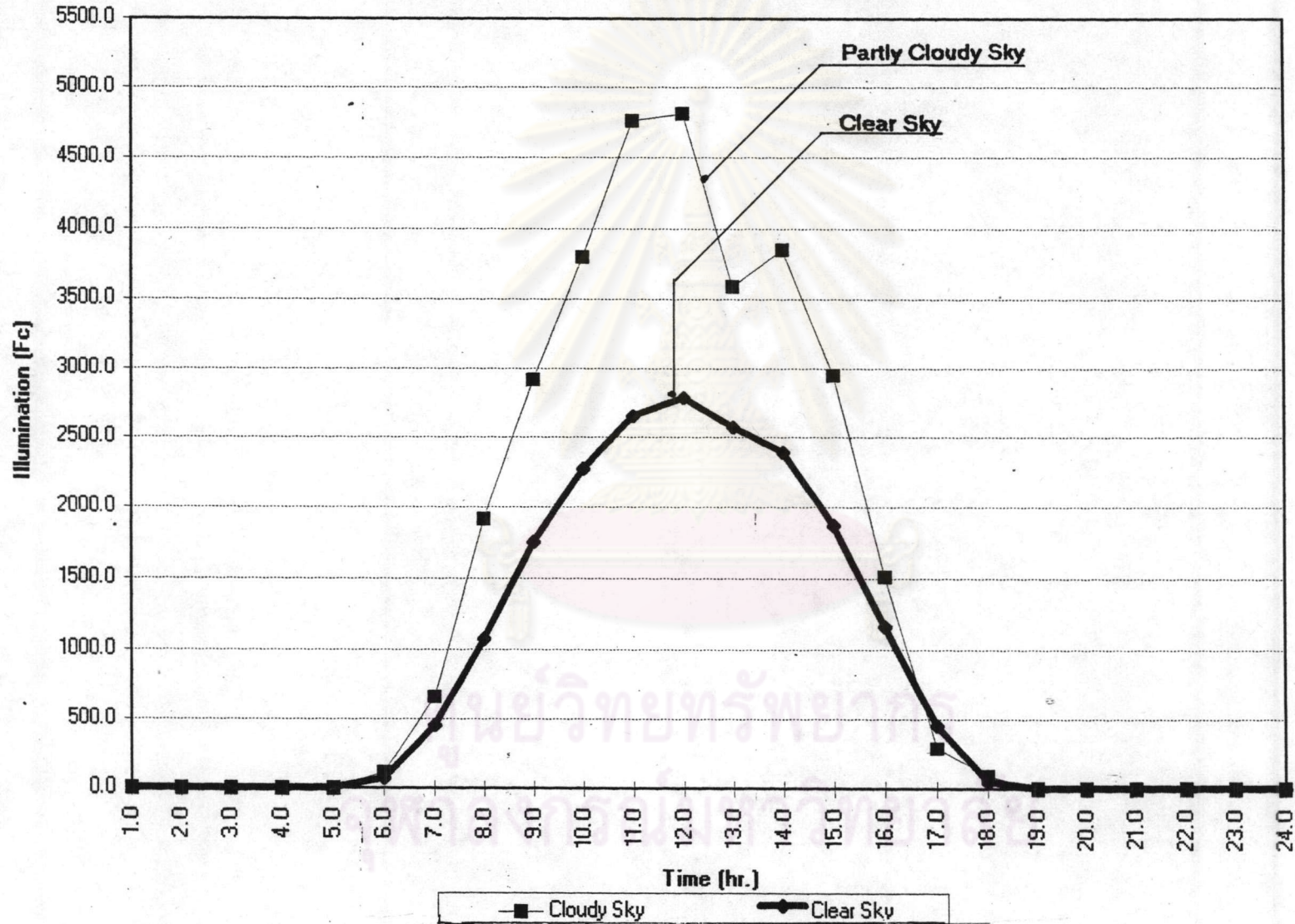
แผนภูมิที่ 1) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน ม.ค. 2536

Total Daylight from Northside on February



แผนภูมิที่ 2) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน ก.พ. 2536

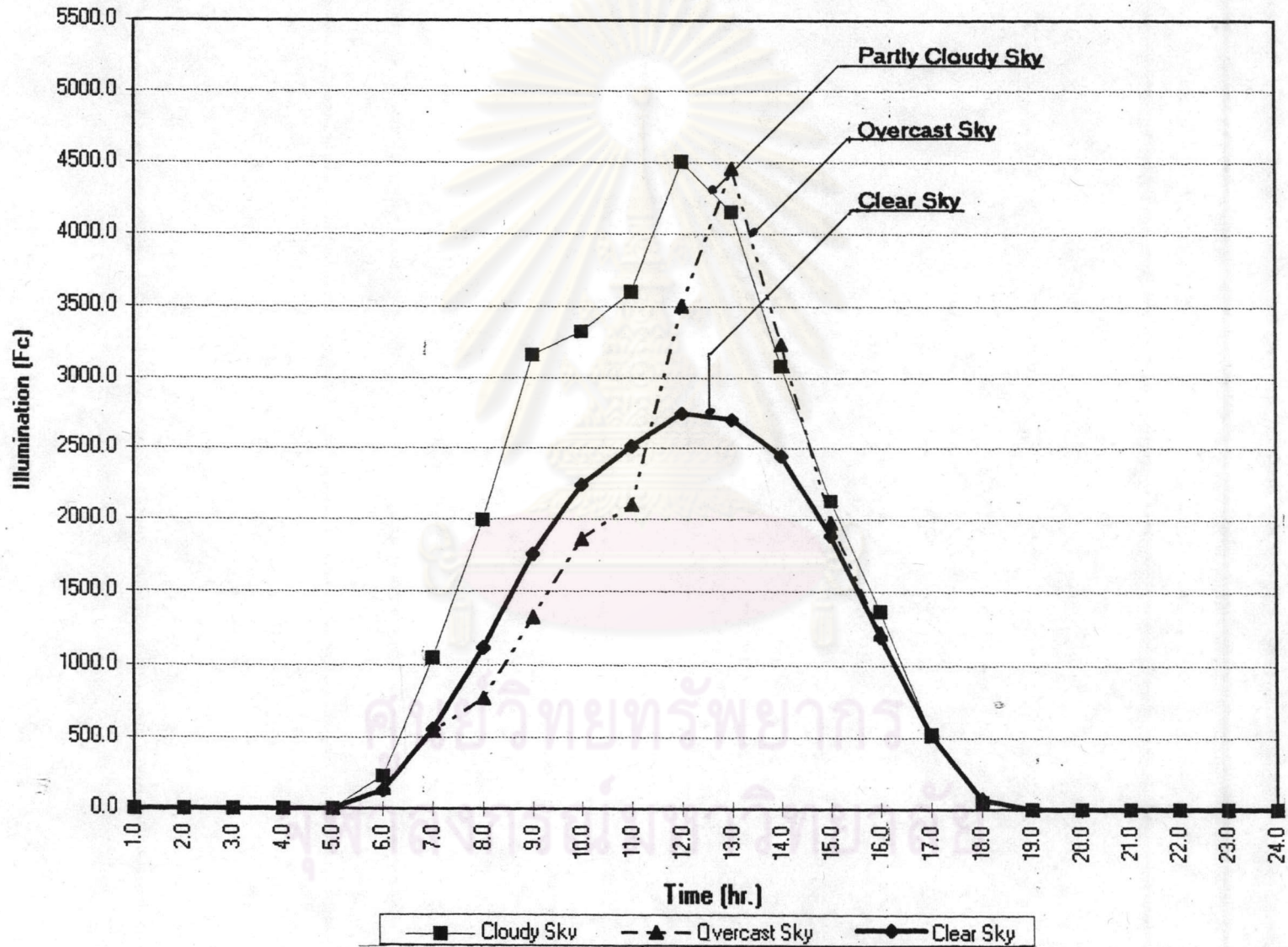
:Total Daylight from Northside on March:



แผนภูมิที่ 3) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง

ด้านทิศเหนือเดือน มี.ค. 2536

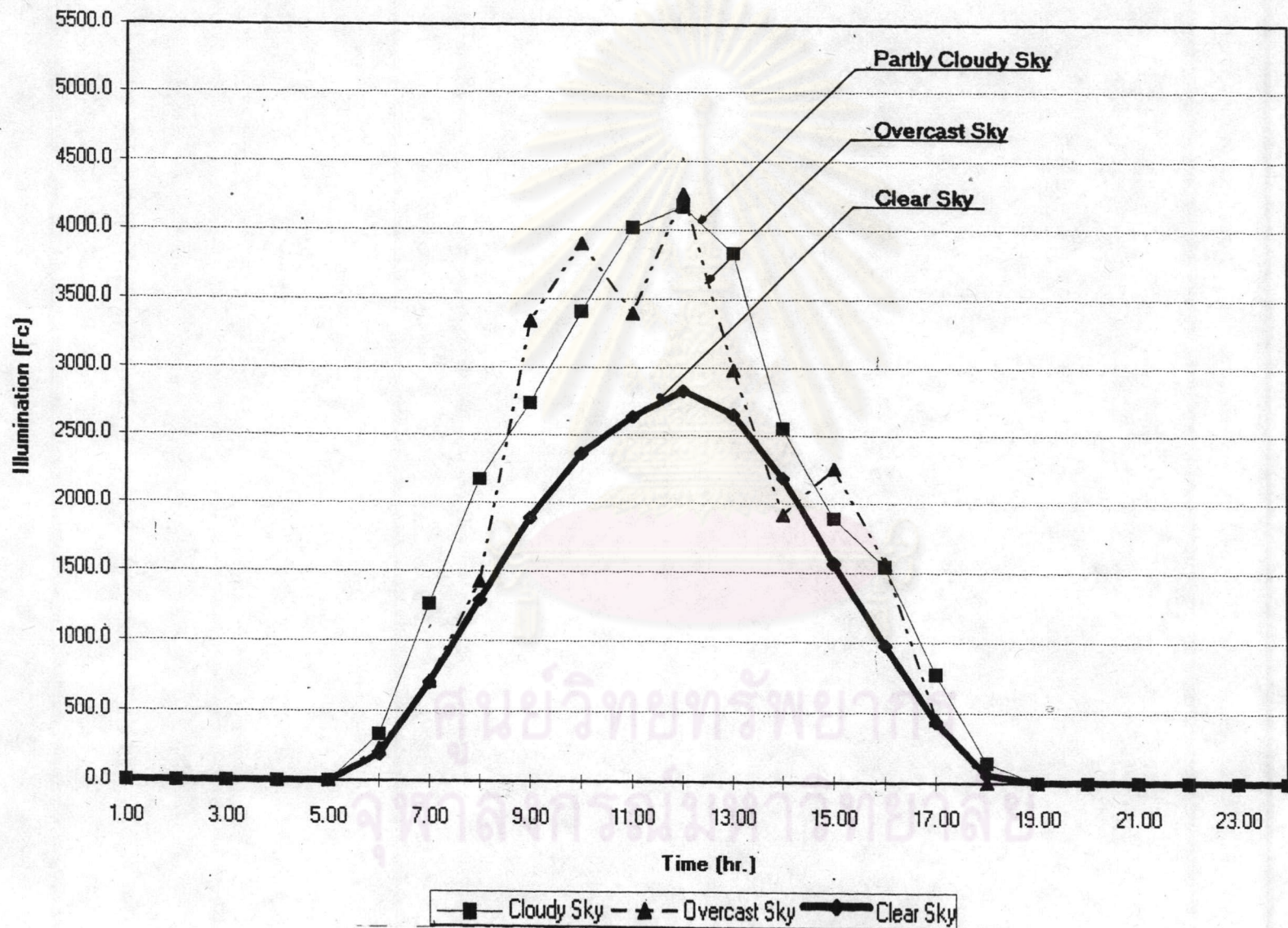
Total Daylight from Northside on April



แผนภูมิที่ 4) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง

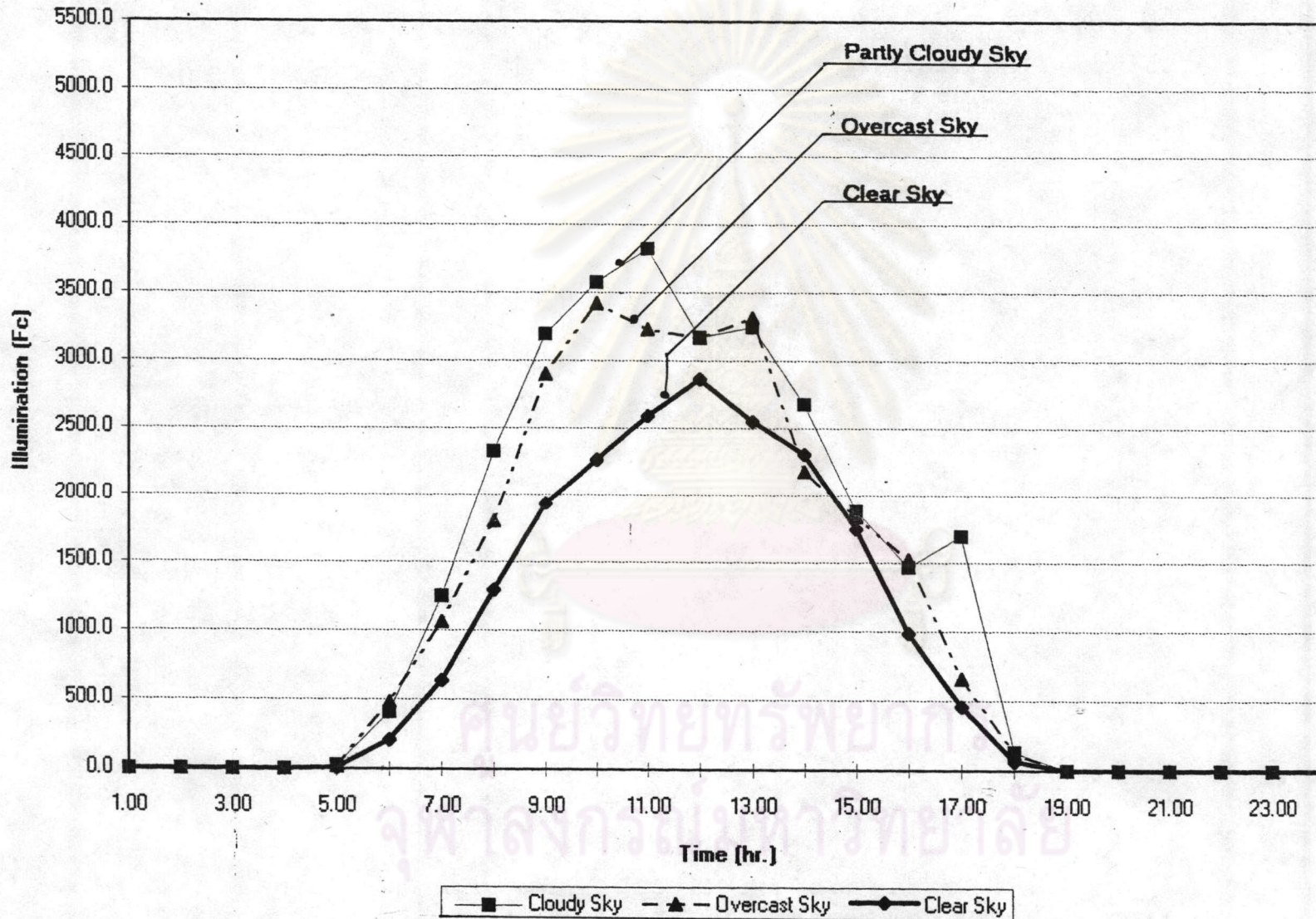
ด้านทิศเหนือเดือน เม.ย. 2536

Total Daylight from Northside on May.



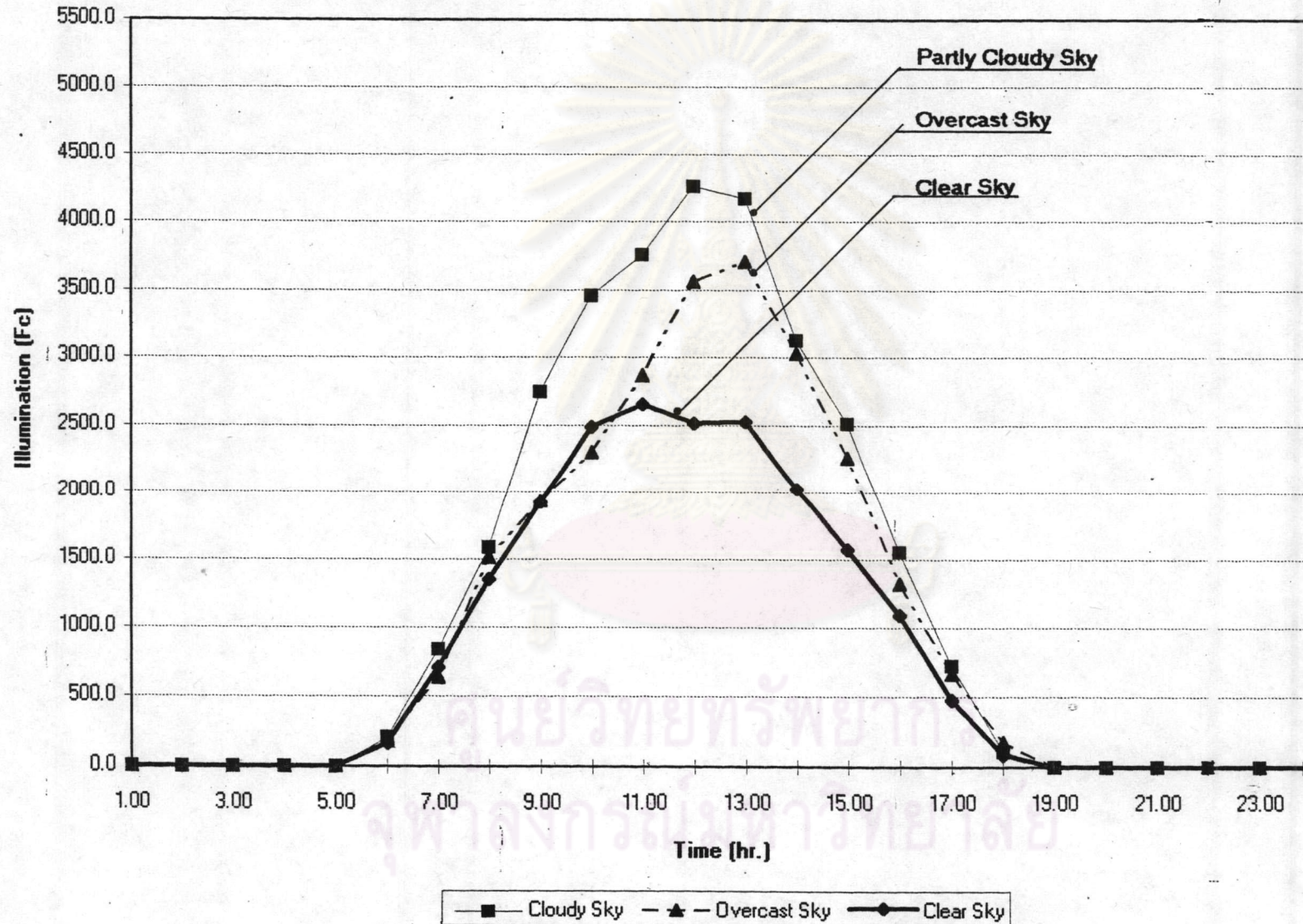
แผนภูมิที่ 5) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน พ.ค. 2536

Total Daylight from Northside on June



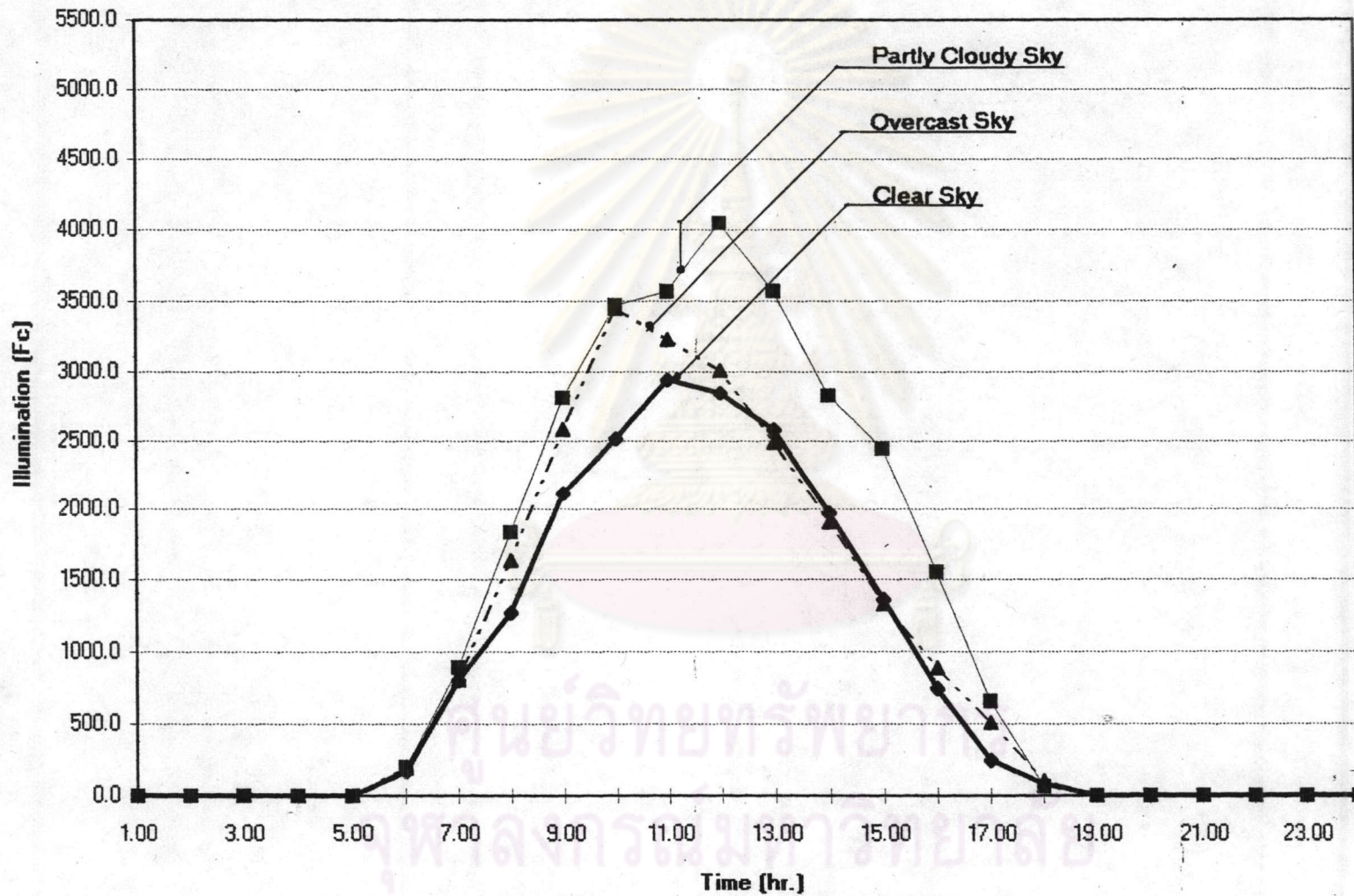
แผนภูมิที่ 6) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน มิ.ย. 2536

Total Daylight from Northside on July



แผนภูมิที่ 7) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน ก.ค. 2536

Total Daylight from Northside on August

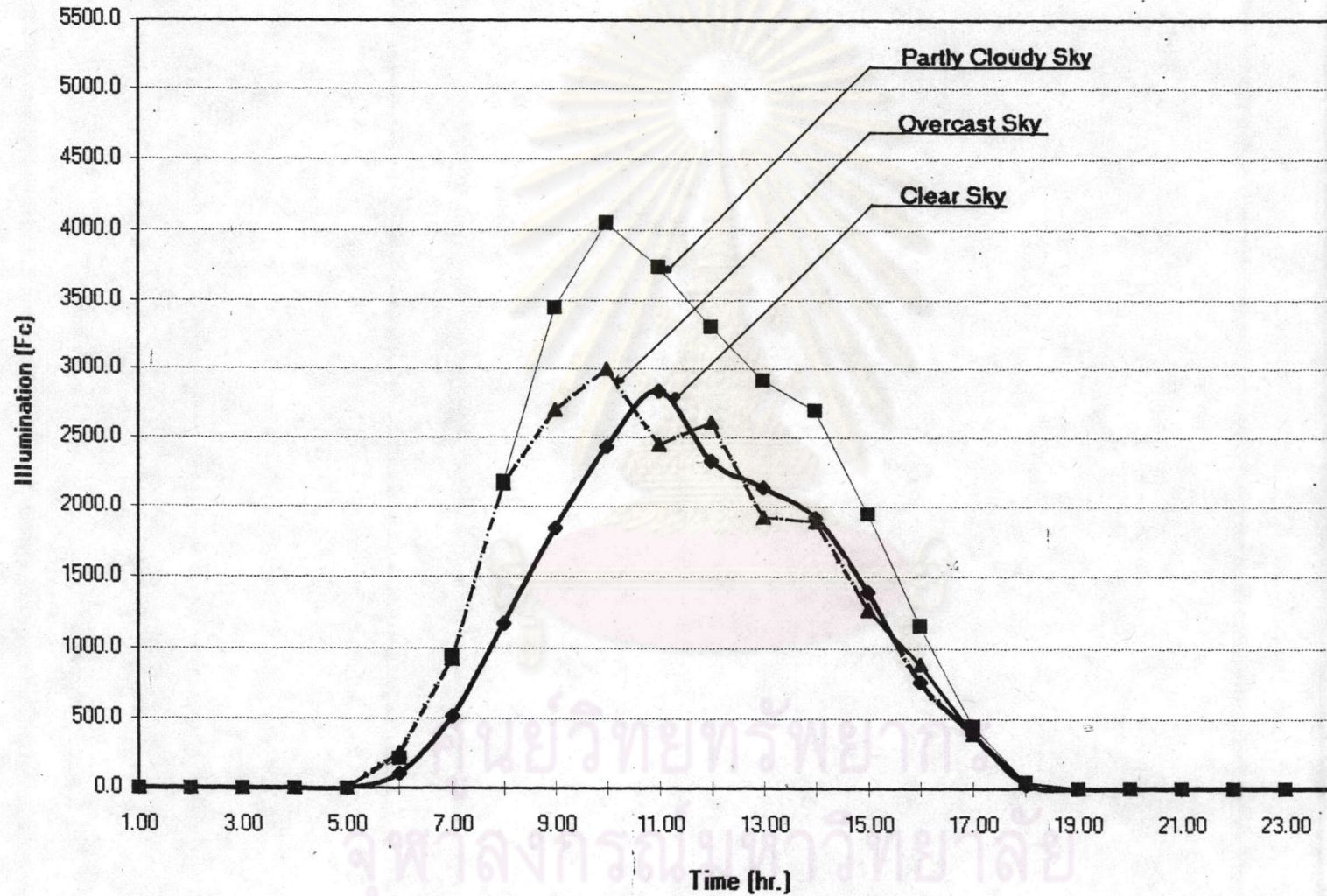


Cloudy Sky
 Overcast Sky
 Clear Sky

แผนภูมิที่ 8) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง

ด้านทิศเหนือเดือน ส.ค. 2536

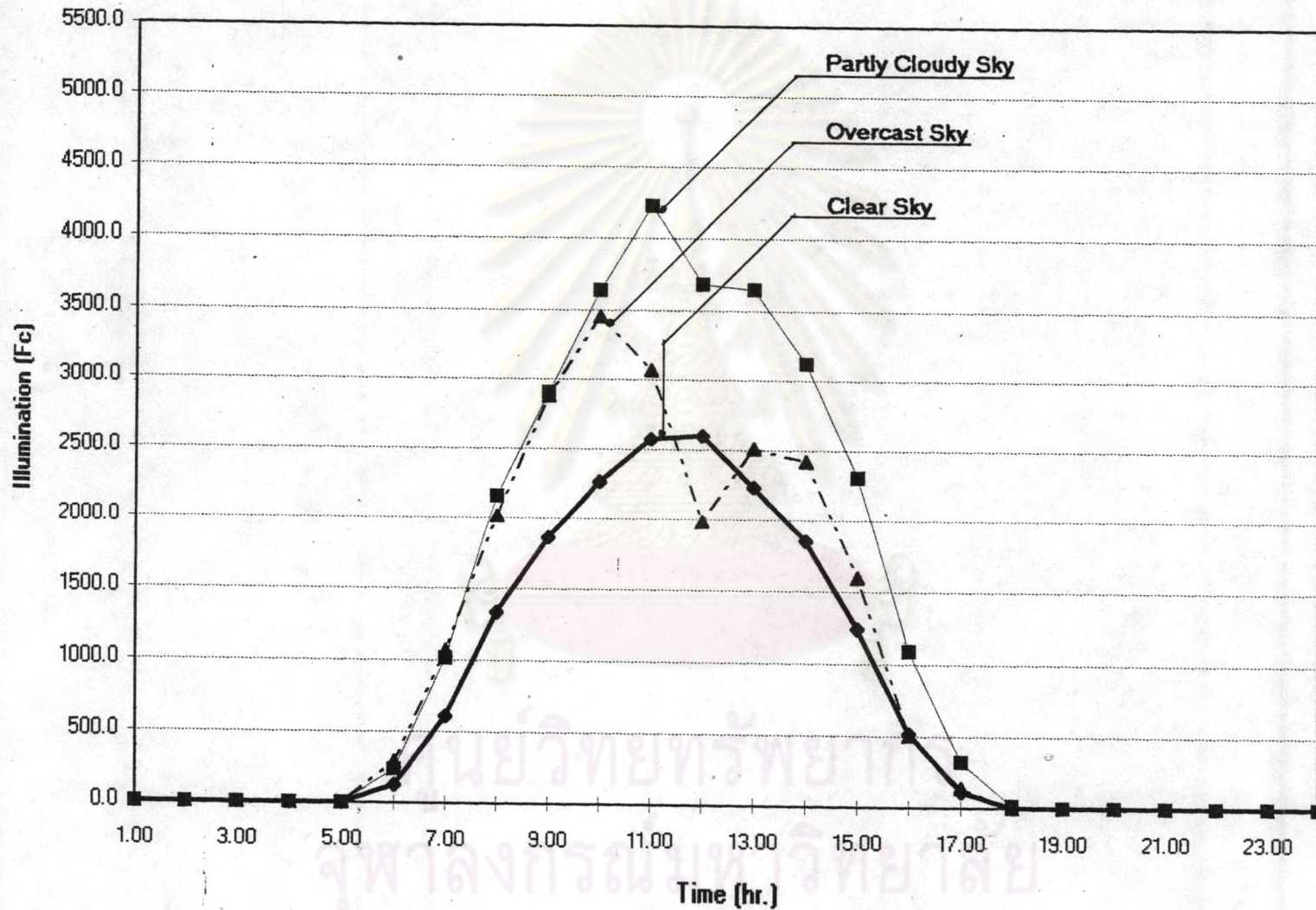
Total Daylight from Northside of September



■ Cloudy Sky ▲ Overcast Sky ◆ Clear Sky

แผนภูมิที่ 9) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน ก.ย. 2536

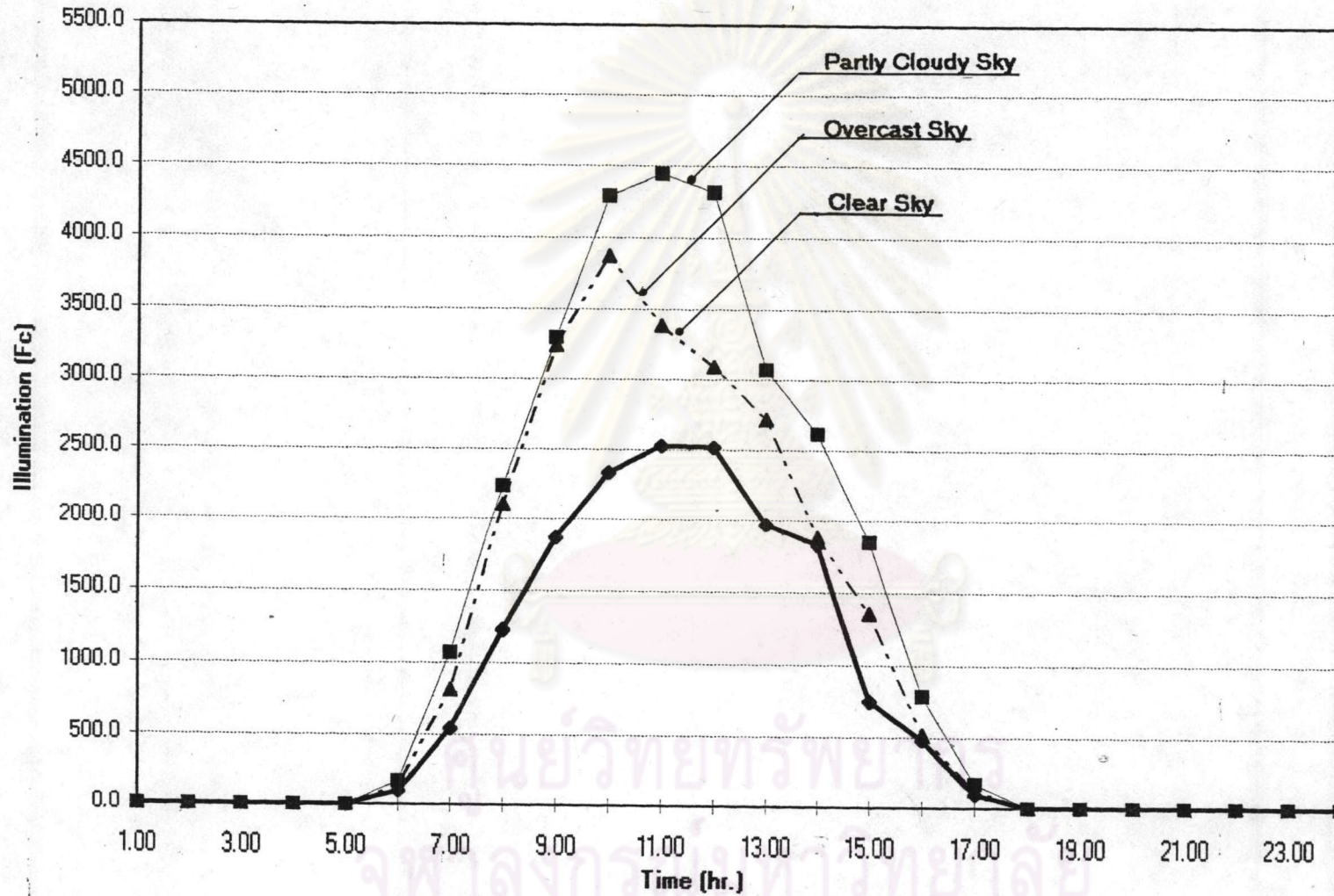
Total Daylight from Northside of October



■ Cloudy Sky ▲ Overcast Sky ● Clear Sky

แผนภูมิที่ 10) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน ต.ค. 2536

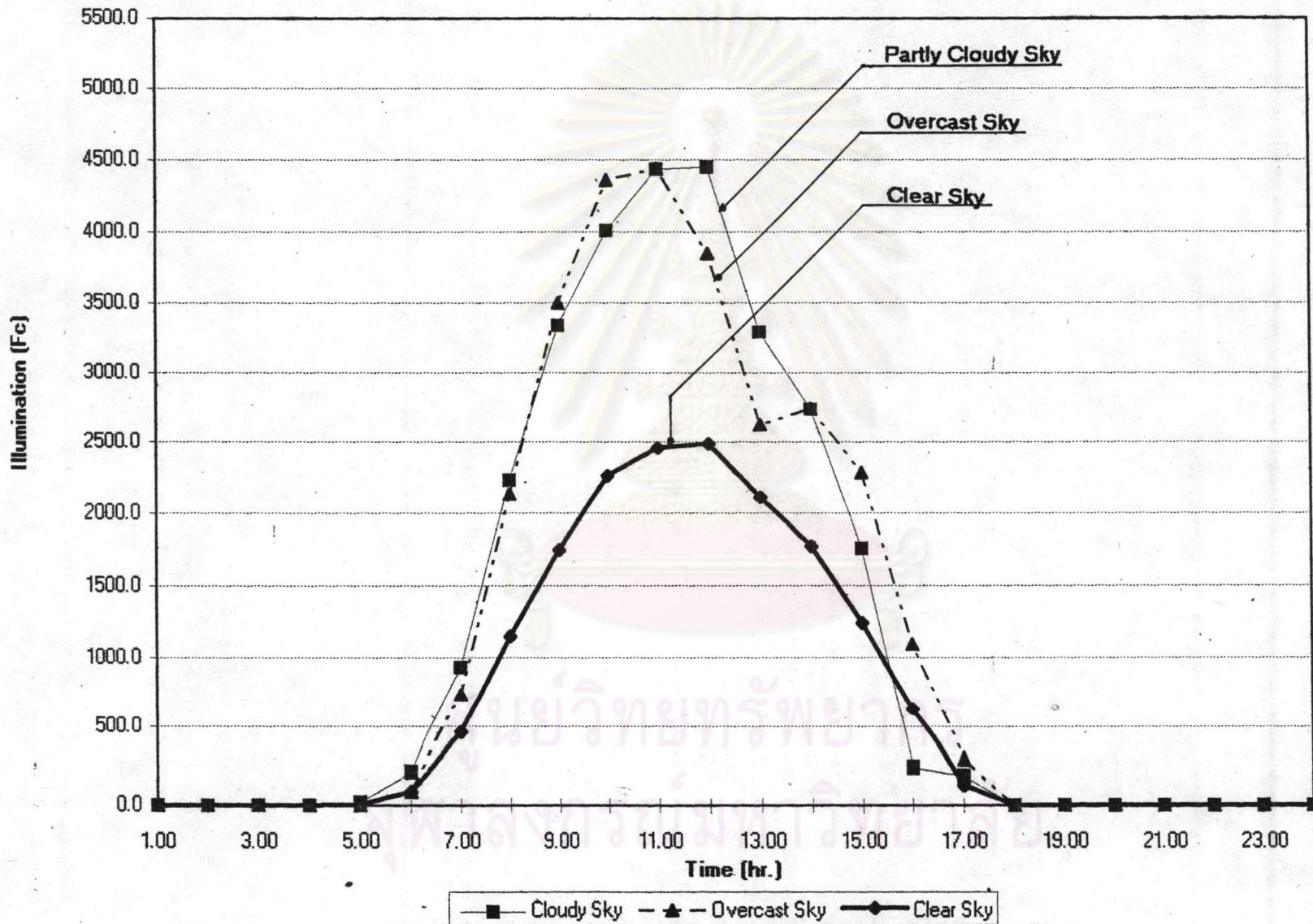
Total Daylight from Northside of November



■ Cloudy Sky ▲ Overcast Sky ● Clear Sky

แผนภูมิที่ 11) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน พ.ย. 2536

Total Daylight from Northside on December



แผนภูมิที่ 12) แสดงค่าการส่องสว่างเฉลี่ยตามสภาพท้องฟ้าต่อผนัง
ด้านทิศเหนือเดือน ธ.ค. 2536

$$Q = Ht + A * (SC) * (SHGF) * (CLF) + U * (A) * (\Delta T) \dots\dots\dots (3.13)$$

(AHRAE, 1993)

โดยที่ Q = พลังงานความร้อนที่ผ่านกระจกทั้งหมด (BTU/h.sq.ft)

HT = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านทะเลกระจก, (BTU/h.sq.ft)

A = พื้นที่กระจกสุทธิของช่องเปิดอาคาร Glass Area (sq.ft.)

SC = Shading Coefficient ดูจากตาราง (ASHRAE , 1989)

SHGF = Solar Heat Gain Factor ดูจากตาราง (ASHRAE , 1989)

CLF = Cooling Load Factor ดูจากตาราง (ASHRAE ,1989)

U = คุณสมบัติในการส่งถ่ายความร้อนของกระจก

ΔT = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในอาคารกับภายนอกอาคาร (F° หรือ C°) (ข้อมูลจากกรมอุตุนิยม ฯ เขตสถานีกรุงเทพมหานคร ฯ)

สำหรับค่า U ของกระจกสามารถแสดงได้ ดังนี้

$$\text{จากสูตร } U = 1/\Sigma R \dots\dots\dots (3.14)$$

(AHRAE, 1993)

โดยที่ U คือ ค่าการส่งถ่ายความร้อนของวัสดุ

ΣR คือ ค่าความต้านทานรวมของวัสดุ โดยที่

R1 คือค่าความต้านทานอากาศภายนอก (ที่ความเร็วลม 15 MPH.) = 0.17

R2 คือ ค่าความต้านทานกระจกหนา-6 มม. = 0.10

R3 คือ ค่าความต้านทานอากาศภายใน = 0.68

ดังนั้น

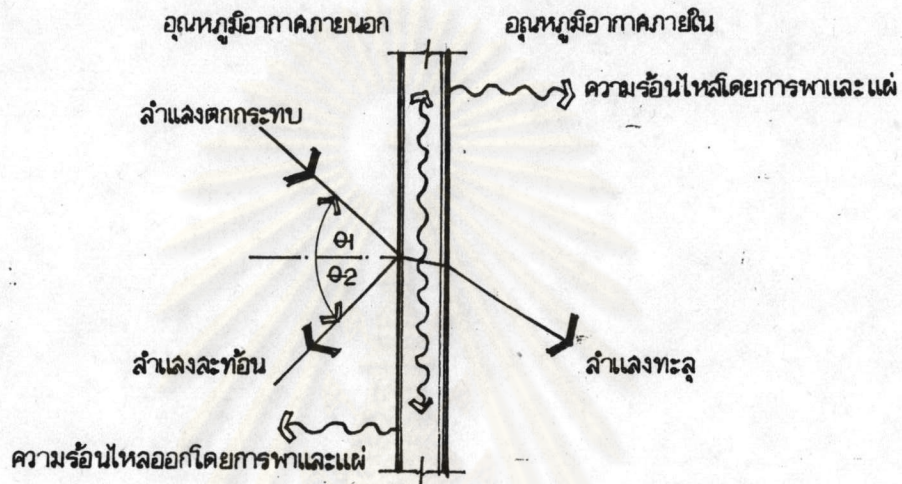
$$\begin{aligned} \Sigma R &= R1 + R2 + R3 \\ &= 0.17 + 0.10 + 0.68 \\ &= 0.95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } U \text{ ของกระจกหนา 6 มม.} &= 1/\Sigma R \\ &= 1/0.95 \\ &= 1.05 \end{aligned}$$

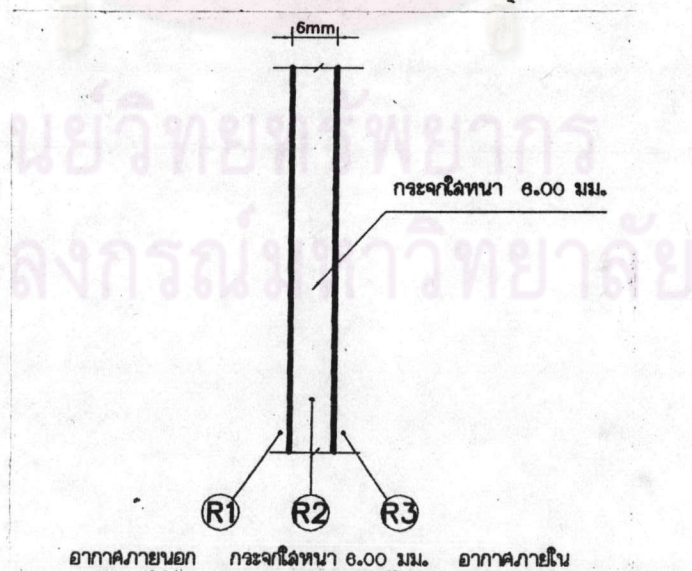
และเนื่องจากพิจารณาเฉพาะด้านทิศเหนืออย่างเดียว ถือว่า HT เท่ากับ 0 (เพราะว่ามีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านทะลุกระจก) ดังนั้นเขียนความสัมพันธ์ใหม่จะได้

$$Q = A_g * (SC) * (SHGF) * CLF + U_g * A_g * \Delta T \dots\dots\dots (3.15)$$

(ASHRAE,1993)



รูปที่ 14 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกในหนา 6.00 มม.
ที่มา : AHRAE, 1993 ภาพประกอบโดยนายมานะ หุตินทะ



รูปที่ 15 แสดงการคิดค่าความต้านทานรวมของช่องเปิดกระจกใส
ที่มา : ภาพประกอบโดยนายพงศ์รัฐ พลาพงศ์