# บทที่ 2

## ทฤษฎีการคำนวณแสงธรรมชาติเพื่อประโยชน์ในการออกแบบอาคาร

### 2.1 สภาวะท้องฟ้า (sky condition)

ความส่องสว่างของท้องฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง ก็ไม่สามารถสังเกตุเห็นด้วยตาเปล่าได้ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นเพียงหลักการเบื้องต้นเท่านั้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับ จำนวนก้อนเมฆ ความสกปรกของอากาศ ความชื้นมีอยู่บ่อยครั้งที่ไอน้ำบนท้องฟ้าสูง อย่างไรก็ตามหลังจากที่แสงธรรมชาติผ่านสิ่งต่าง ๆ มาถึงพื้นดินระดับความสว่างบนพื้นดินจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง สิ่งนี้แหละที่จะช่วยให้นักออกแบบเข้าใจเกี่ยวกับสภาวะของท้องฟ้าเข้าสู่ในอาคาร สภาวะของท้องฟ้าสามารถแบ่งลักษณะต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ท้องฟ้ามืด (overcast sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่เป็นแบบเดียวกันหมดและปกติโดยทั่วไปจะมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ และช้ากว่าสภาวะของท้องฟ้าแบบอื่น ๆ ขอบเขตของท้องฟ้ามืดขึ้นอยู่กับฤดูกาลต่าง ๆ ฉนั้นสภาวะท้องฟ้ามืดแบ่งออกเป็นแบบต่าง ๆ คือ

ก. ท้องฟ้ามืดที่มีค่าความส่องสว่างเท่ากันตลอด (uniform brightness overcast sky) เป็นค่าโดยประมาณที่หาได้จากการกระจายความส่องสว่างของท้องฟ้า (sky luminance distribution) และค่าความสว่างในแนวราบ (Eh) มีค่าเท่ากับความส่องสว่าง (L) ส่วนค่าความสว่างในแนวดิ่ง (Ev) มีค่าเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของค่าความสว่างในแนวราบ ดังแสดงในรูป 2.1 ก.

ข. ท้องฟ้ามืดที่มีค่าความส่องสว่างไม่เท่ากันตลอด (nonuniform brightness overcast sky) เป็นแบบของท้องฟ้าที่ความส่องสว่างเป็นอัตราส่วน 1: 3 ของความส่องสว่างในแนวราบของระดับขอบฟ้ากับความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า (horizon to zenith) และความส่องสว่างของท้องฟ้าหาได้จาก

$$L\theta = Lz \times \frac{1+2\times\sin\theta}{3} \quad \text{นิท} \quad (cd/m^2) \quad [\ 6\ ]$$

เมื่อ

$L\theta$ = ความส่องสว่างที่ $\theta^{\circ}$ เหนือระดับขอบฟ้า

$Lz$ = ความส่องสว่างที่จุดยอดท้องฟ้า

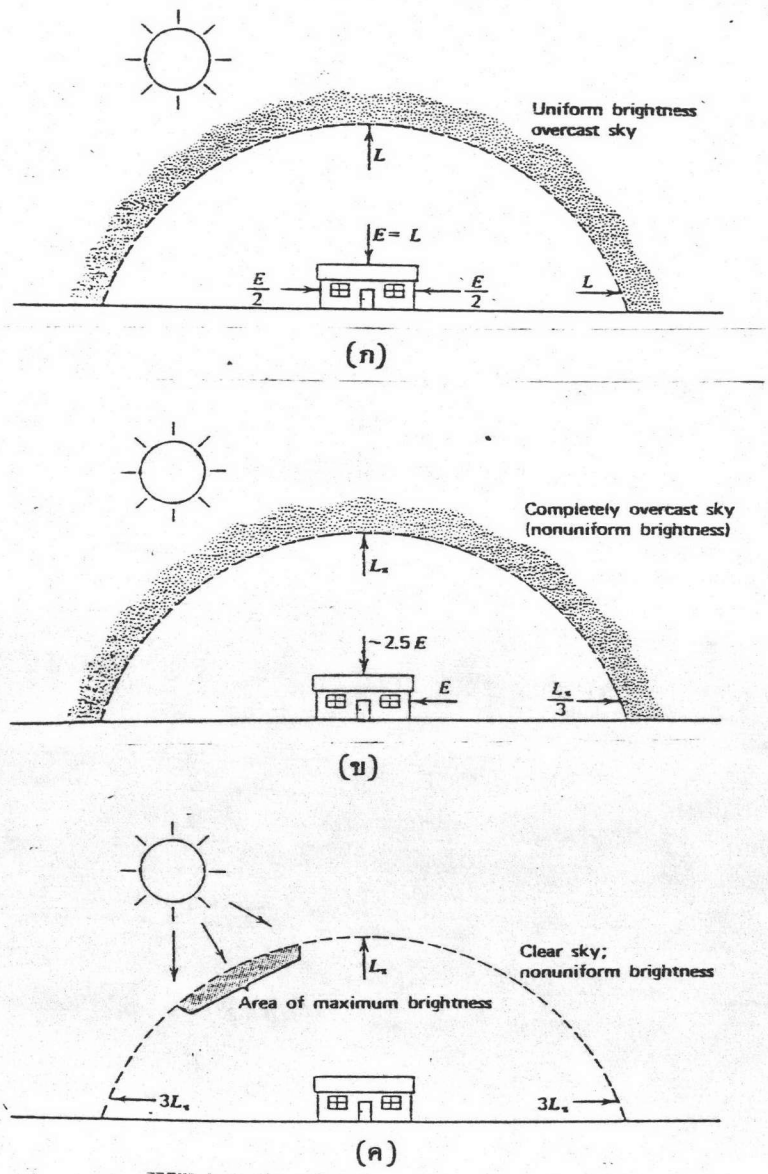
ถ้า $\theta = 0^{\circ}$ คืออยู่ที่ระดับขอบฟ้า

$$L\theta = \frac{Lz}{3}$$

ถ้าเราคิดในเรื่องของความสว่าง ความสว่างในแนวราบ (Eh) และความสว่างในแนวดิ่ง (Ev) ในอัตราส่วนของ 2.5: 1 ดังแสดงในรูป 2.1 ข.

2. ท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่มีรูปแบบ 2 แบบ คือ เฉพาะการสะท้อนของท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว และการสะท้อนของท้องฟ้ารวมกับดวงอาทิตย์ แต่โดยปกติในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสยอมต้องมีดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย แต่ถ้าเราคิดทิศทางของอาคาร ทิศเหนือในฤดูหนาวจะรับแสงสะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งในขณะเดียวกันทิศอื่น ๆ ก็จะได้รับแสงสะท้อนจากท้องฟ้าและดวงอาทิตย์รวมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตามถ้าคิดการกระจายแสงที่สะท้อนจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว เราสามารถหาค่าความส่องสว่าง (L) ในระดับขอบฟ้าเป็น 3 เท่าของจุดยอดท้องฟ้า และผลของค่าความสว่าง (E) ทั้งทางแนวราบ (Eh) และในแนวดิ่ง (Ev) เป็นผลมาจากมุมแนวดิ่งของดวงอาทิตย์เหนือเส้นระดับขอบฟ้า (solar altitude) และมุมในแนวราบที่ทำกับทิศเหนือหรือใต้ (solar azimuth) แต่โดยปกติจะทำมุมกับทิศใต้ ดังแสดงในรูป 2.1 ค.

3. ท้องฟ้ามีเมฆมาก (partly cloudy sky) เป็นสภาวะของท้องฟ้าที่ค่าความส่องสว่างมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การคำนวณจึงเป็นไปได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าเมฆปกคลุมอย่างสม่ำเสมอ เราก็อาจเลือกการกระจายความส่องสว่างแบบเดียวกับท้องฟ้ามืดหรือท้องฟ้าแจ่มใสก็ได้



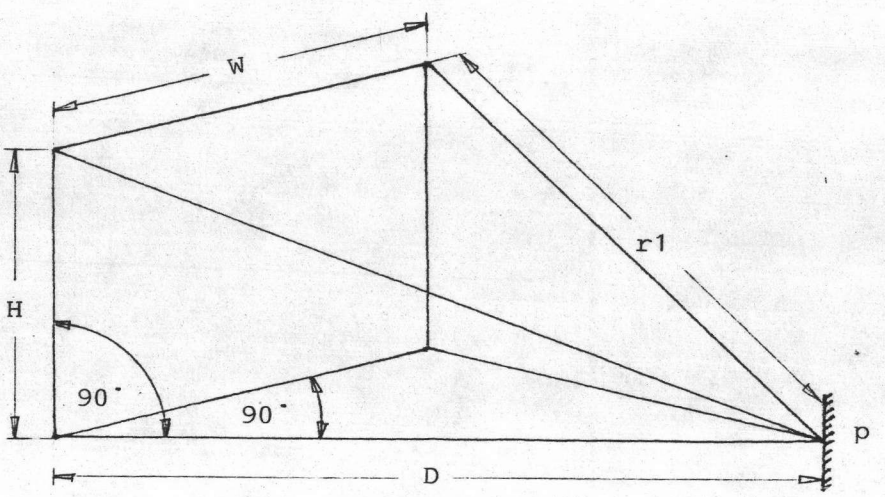

รูป 2.1 แสดงความส่องสว่างและความสว่างของท้องฟ้า ตามสภาวะของท้องฟ้าทั้งท้องฟ้ามืดและท้องฟ้าแจ่มใส

2.2 ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (illumination of rectangular source) [ 1 ]

ผลจากความสว่างของการกระจายแสงด้วยแหล่งกำเนิดแสงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากซึ่งได้รับจากผลรวมภายในขอบเขตจำกัดของแหล่งกำเนิดแสง การจัดรูปเหมือน ๆ กันของสี่เหลี่ยมมุมฉาก การรวมจะใช้สมการพื้นฐานง่าย ๆ

2.2.1 ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสม่ำเสมอรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (uniform source) จะนำไปคำนวณต่อเมื่อท้องฟ้ามีความส่องสว่างสม่ำเสมอ (uniform sky luminance) ซึ่งสามารถหาที่จุดระนาบขนานกับแหล่งกำเนิดแสง และระนาบตั้งฉากกับแหล่งกำเนิดแสง และความส่องสว่างสม่ำเสมอเฉพาะท้องฟ้าเป็นเพียงทฤษฎีอ้างถึงเท่านั้น

1. ความสว่างของระนาบขนานกับแหล่งกำเนิดแสง โดยที่จุดความสว่างตั้งฉากกันกับมุมหนึ่งของแหล่งกำเนิดแสง ดังแสดงในรูป 2.2




รูป 2.2 ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสม่ำเสมอที่จุดระนาบขนานกับแหล่งกำเนิดแสงความสว่างที่จุด P หาได้จากสมการ

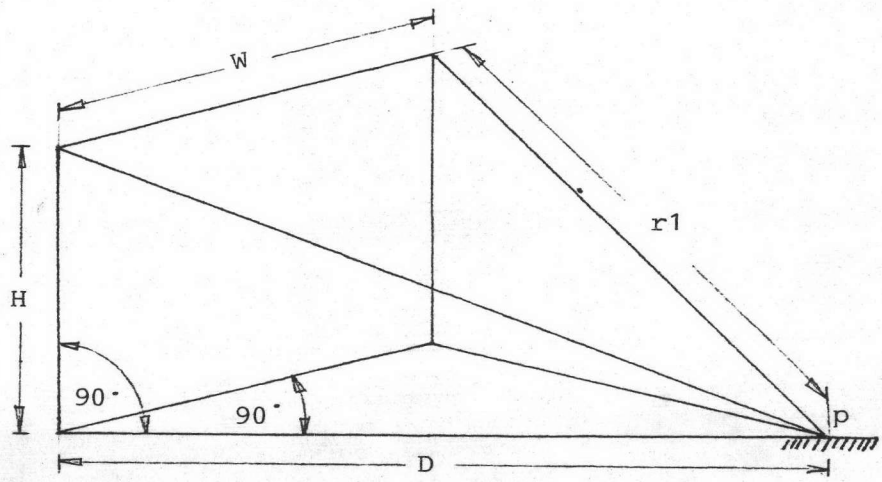
$$\frac{E}{L} = \frac{1}{2\pi}\left\{\frac{H}{\sqrt{D^2 + H^2}} \sin^{-1}\frac{W}{r1} + \frac{W}{\sqrt{D^2 + W^2}} \sin^{-1}\frac{H}{r1}\right\}$$

เมื่อ

$$r1 = \sqrt{D^2 + H^2 + W^2}$$

ในสมการสามารถเขียนเป็นกราฟแสดงว่า Ev/L, W/H และ D/H ในกราฟผนวกที่ 1.1 หน่วยและอัตราส่วนต่าง ๆ แสดงไว้ในบทที่ 1 หัวข้อที่ 1.6

2. ความสว่างของระนาบตั้งฉากกับแหล่งกำเนิด โดยที่จุดความสว่างตั้งฉากกับมุมหนึ่งของแหล่งกำเนิดแสง ดังแสดงในรูป 2.3




รูป 2.3 ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสม่ำเสมอที่จุดตั้งฉากบนระนาบกับแหล่งกำเนิดแสงความสว่างที่จุด p หาได้จากสมการ

$$\frac{E}{L} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \tan^{-1} \frac{W}{D} - \frac{D}{\sqrt{D^2 + H^2}} \sin^{-1} \frac{W}{r1} \right\}$$

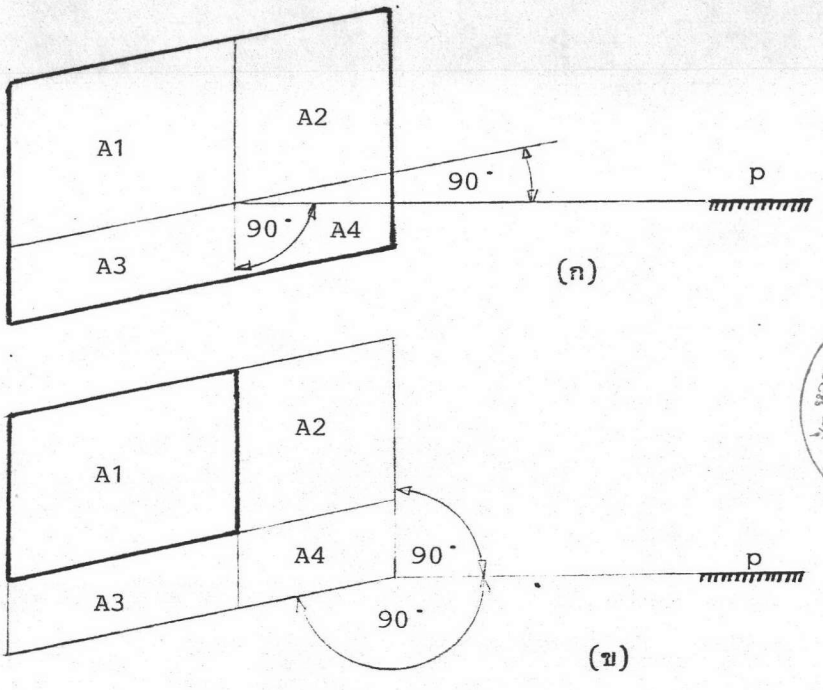
เมื่อ

$$r1 = \sqrt{D^2 + H^2 + W^2}$$

และในสมการเขียนเป็นกราฟ แสดง Eh/L, W/H, D/H ดังในกราฟผนวกที่ 1.2

3. ความสว่าง เมื่อพื้นที่แหล่งกำเนิดแสงอยู่ตำแหน่งอื่น ซึ่งสามารถจะแบ่งส่วนต่าง ๆ ออกเป็นสี่ส่วน และจะได้ผลรวมของความสว่างเป็นดังนี้

009999




หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 2.4 ความสว่างที่จุดไม่อยู่ที่มุมของแหล่งกำเนิดแสง

จากรูป 2.4 (ก) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$Ep\ (total) = EpA1 + EpA2 + EpA3 + EpA4$$

และจากรูป 2.4 (ข) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$EpA1 = Ep(A1+A2+A3+A4) - Ep(A2+A4) - Ep(A3+A4) + Ep\ (A4)$$

เมื่อ

Ep (total) = ผลรวมของความสว่างทั้งหมด มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx)

EpA1 = ความสว่างเฉพาะแต่ละพื้นที่ มีหน่วยเป็น ลักซ์ (lx)

2.2.2. ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงไม่สม่ำเสมอรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Nonuniform Source)

การหาความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงไม่สม่ำเสมอรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก สามารถหาได้ทั้งที่จุดขนานระนาบกับแหล่งกำเนิดแสง (Ev) และที่จุดตั้งฉากบนระนาบกับแหล่งกำเนิดแสง (Eh) ดังนั้นความส่องสว่าง (L) ที่กระจายสำหรับห้องฟ้ามืด สามารถหาได้จากสมการง่าย ๆ คือ

$$Le = 3/7 \; Eh1 \, (1+2 \sin \theta) \qquad [\,1\,]$$

เมื่อ

Le = ค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าที่มุม $\theta^{\circ}$ เหนือเส้นระดับขอบฟ้า

Eh1 = ความสว่างบนระนาบระดับจากท้องฟ้าที่ไม่สิ่งกีดขวาง

สมการนี้ สามารถนำไปใช้กับการคำนวณหาค่าความสว่าง จากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ผลลัพท์ที่ได้แสดงให้เห็นจากกราฟรูปผนวกที่ 1.3 และ 1.4 เป็นการกระจายความส่องสว่างในสภาวะท้องฟ้ามืด ซึ่งแสดงทั้งความสว่างในแนวดิ่ง หรือ แนวระนาบ (Ev/L หรือ Eh/L, D/H, และ W/H) ในอัตราส่วนของความสว่าง 2.5 : 1

## 2.3 การคำนวณความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก [ 1 ]

การคำนวณความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก จะคิดที่จุดตั้งฉากกับมุมของแหล่งกำเนิดแสง (corner of source) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามค่าต่าง ๆ คือ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสง D, ความสูงช่องแหล่งกำเนิดแสง H , ความกว้างของแหล่งกำเนิดแสง W , และความส่องสว่าง L

2.3.1 วิธีการคำนวณ ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงสม่ำเสมอรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Uniform Source) หาได้จากสมการ

$$Ev \text{ หรือ } Eh = \frac{Ev \text{ หรือ } Eh}{L} \times L \times \tau \times Km \times 3.14 \text{ ลักซ์}$$

เมื่อสัญญลักษณ์ต่าง ๆ มีความหมายกล่าวไว้ในหัวข้อ 1.6

ค่า $\frac{Ev}{L}$ หรือ $\frac{Eh}{L}$ อ่านได้จากกราฟผนวกที่ 1.1 และ 1.2 ซึ่งเป็นรูปที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดแสงสม่ำเสมอ

ค่า $\tau$ อ่านได้จากตารางผนวกที่ 1.3 ซึ่งขึ้นอยู่กับเปอร์เซนต์การส่งผ่านของกระจกหรือพลาสติก

ค่า Km อ่านได้จากตารางผนวกที่ 1.4 ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความสกปรกและการบำรุงรักษา

ค่า L เป็นค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าในสภาวะท้องฟ้ามีความสว่างสม่ำเสมอเท่ากันตลอด

2.3.2 วิธีการคำนวณความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงไม่เสม่ำเสมอรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (nonuniform source)

การคำนวณเหมือนสมการตามหัวข้อที่ 2.3.1

ค่า $\frac{Ev}{L}$ หรือ $\frac{Eh}{L}$ อ่านได้จากกราฟผนวกที่ 1.3 และ 1.4 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงเกี่ยวข้องกับความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงไม่สม่ำเสมอในสภาวะท้องฟ้ามืด

ค่า L อ่านได้จากตารางผนวกที่ 1.5 ขึ้นอยู่กับค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในสภาวะท้องฟ้ามืด ส่วนตารางผนวกที่ 1.6 เป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส มีหน่วยเป็น นิท ($cd/m^2$) ค่านี้เป็นความส่องสว่างเฉพาะท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว

2.3.3 ลำดับขั้นการคำนวณความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากตามหัวข้อที่ 2.3.1 และ 2.3.2

1. หาค่าอัตราส่วนของระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสง กับความสูงของแหล่งกำเนิดแสง (D/H)

2. หาค่าอัตราส่วนของความกว้างแหล่งกำเนิดแสงกับความสูงของแหล่งกำเนิดแสง (W/H)

3. อ่านค่าอัตราความสว่างกับความส่องสว่าง $\frac{Ev}{L}$ หรือ $\frac{Eh}{L}$ ได้จากกราฟผนวกที่ 1.1 และ 1.2 สำหรับแหล่งกำเนิดแสงสม่ำเสมอ และกราฟผนวกที่ 1.3 และ 1.4 เป็นกราฟสำหรับแหล่งกำเนิดแสงไม่สม่ำเสมอ ในสภาวะท้องฟ้ามืด

4. หาค่า L จากตารางผนวกที่ 1.5 และ 1.6 สำหรับตารางผนวกที่ 1.5 เป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ยในสภาวะท้องฟ้ามืด ส่วนตารางผนวกที่ 1.6 เป็นค่าความส่องสว่างเฉลี่ย ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส ในการคำนวณจะใช้ความส่องสว่างจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว

5. คูณค่า $\frac{Ev}{L}$ หรือ $\frac{Eh}{L}$ , ค่า L , ค่า $\tau$ และค่า Km ที่หาได้ลงในสมการหัวข้อที่ 2.3.1 จะได้ความสว่าง (E) ในระนาบต่าง ๆ ทั้งขนานกับระนาบ (Ev) และตั้งฉากกับระนาบ (Eh)

6. ค่าความสว่างที่ได้ต้องถือว่า ผนังและเพดานมีสีดำ ไม่มีการสะท้อนแสงภายใน [ 1 ]

2.4 การออกแบบแสงธรรมชาติด้วยวิธี IES

วิธี IES เป็นวิธีคำนวณแบบอเมริกา ซึ่งจำเป็นต้องใช้สัมประสิทธิ์ของการใช้ประโยชน์ (coefficient of utilization) ใช้สัญญลักษณ์ Ku

2.4.1 คุณลักษณะของวิธี IES

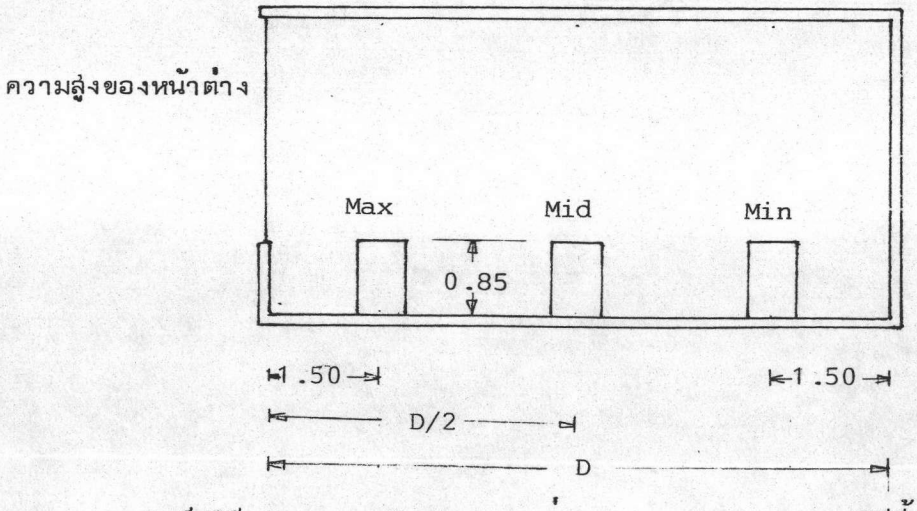
วิธีของ IES เป็นเทคนิคที่สามารถยืดหยุ่นได้ อย่างไรก็ตาม จะต้องทบทวนถึงความแตกต่างให้กระจ่างในขอบเขตดังนี้

1. ใช้วิธีนี้ ต้องมีข้อมูลของแสงธรรมชาติ จึงจะสามารถคำนวณได้

2. การพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ จำเป็นต้องให้ความส่องสว่างเท่ากันตลอด ความส่องสว่างมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งสอดคล้องกับสภาวะของท้องฟ้า ความผิดพลาดตามวิธีนี้จะเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการใช้ประโยชน์ (Ku) ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส จะช่วยชดเชยในเมื่อความส่องสว่างของท้องฟ้าเปลี่ยนแปลง

3. สิ่งกีดขวางต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ต้นไม้ เป็นสิ่งยุ่งยากในการคิด ดังนั้นจึงไม่สนใจเพราะถือว่าไม่ได้ลดความแน่นอนลงไปเลย

4. มาตรฐานการคำนวณค่าต่ำสุดของความสว่างที่ระยะ (1.50 เมตร) จากหลังห้อง ดังรูป 2.5




รูป 2.5 เป็นวิธีคำนวณสำหรับ IES แบ่งระยะตามมาตรฐานของวิธีนี้

2.4.2 การคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธี IES

ความสว่างของแสงธรรมชาติบนระนาบทำงาน (Work Plane) เป็นผลรวมของความสว่างของท้องฟ้า เรียกว่า Es และผลรวมของความสว่างที่สะท้อนจากพื้นดิน เรียกว่า Eg ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Ep = Es + Eg$$

ค่า Ep คือความสว่างทั้งหมดของแสงธรรมชาติที่ตกลงบนระนาบทำงาน มีหน่วยเป็น ลักซ์ (Lux : lx)

ค่า Es คือความสว่างของแสงธรรมชาติที่ได้รับจากท้องฟ้าอย่างเดียวที่ตกบนระนาบทำงาน มีหน่วยเป็น ลักซ์

ค่า Eg คือความสว่างของแสงธรรมชาติที่ได้รับจากการสะท้อนจากพื้นดินที่ตกบนระนาบทำงาน มีหน่วยเป็น ลักซ์

2.4.3 ความสว่างที่ได้รับจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวในสภาวะท้องฟ้ามืด และท้องฟ้าแจ่มใส สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Es = Ew \times Aw \times \tau \times Km \times Ku \times 10.76 \quad \text{ลักซ์} \quad [1]$$

ค่า Ew เป็นค่าความสว่างของท้องฟ้าในตำแหน่งต่าง ๆ ทางแนวดิ่งเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์ (vertical surface facing in azimuth from sun) ทั้งในฤดูหนาวและฤดูร้อน ดังแสดงในกราฟผนวกที่ 1.5 และ 1.6 ซึ่งแสดงในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใส ส่วนรูปผนวกที่ 1.7 เป็นกราฟที่แสดงในสภาวะท้องฟ้ามืด ความสว่างเป็นลักซ์

ค่า Aw เป็นพื้นที่ของหน้าต่างมีหน่วยเป็นตารางเมตร

ค่า $\tau$ อ่านได้จากตารางผนวกที่ 1.3

ค่า Km อ่านได้จากตารางผนวกที่ 1.4

ค่า Ku อ่านได้จากตารางผนวกที่ 1.9 ซึ่งเป็นผลของการออกแบบแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร, การควบคุมแสงธรรมชาติ, การสะท้อนแสงภายในอาคารและขนาดสัดส่วนของห้องซึ่งสามารถหาได้สามค่าด้วยกัน คือ ค่าสูงสุด (Max) ค่าปานกลาง (Mid) และค่าต่ำสุด (Min) ทั้งในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสและท้องฟ้ามืด โดยคิดที่พื้นที่กระจก 80 % ของ

พื้นที่หน้าต่าง

2.4.4 แสงที่สะท้อนจากพื้นเสมือนแหล่งกำเนิดแสง

แสงที่สะท้อนจากพื้นหรือจากสิ่งอื่น ๆ ภายนอกอาคาร เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบแสงธรรมชาติ แสงที่สะท้อนจากพื้นดินในทิศที่มีแสงแดดกล้าจะมีค่าตั้งแต่ 10 - 15 % ของแสงธรรมชาติทั้งหมด ที่มาที่หน้าต่าง ซึ่งเปอร์เซนต์นี้จะเป็นสัดส่วนกับลักษณะของพื้นต่าง ๆ เช่น ทราย, ดิน, ต้นไม้ปกคลุม หรือหิมะปกคลุม แต่สำหรับในทิศที่ดวงอาทิตย์ไม่เปิดเผยแสงสะท้อนที่ได้รับจากพื้นอาจจะมากกว่าครึ่งหนึ่งของแสงทั้งหมดที่มาที่หน้าต่าง ซึ่งการคำนวณสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$Eg = (E1g + E2g)\ Aw \times \tau \times Km \times Ku \times 10.76 \text{ ลักซ์} \quad [\ 1\ ]$$

ค่า E1g เป็นค่าความสว่างสะท้อนจากพื้นไปที่หน้าต่าง ซึ่งได้รับจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว ทั้งในสภาวะท้องฟ้ามืดและท้องฟ้าแจ่มใส ค่าความส่องสว่างจากท้องฟ้ามีค่าเท่ากับความสว่างจากท้องฟ้าในแนวราบคูณกับเปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของลักษณะพื้นต่าง ๆ สำหรับความสว่างจากท้องฟ้าที่สะท้อนจากพื้นไปที่หน้าต่างนั้นจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความส่องสว่างจากท้องฟ้าที่พื้น [ 1 ]

$$E1g = 0.5\ (Eh1 \times Rg) \quad \text{ลักซ์}$$

ค่า Eh1 เป็นค่าความสว่างในแนวราบ (horizontal surface) ที่ได้รับจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวทั้งในสภาวะท้องฟ้ามืดและท้องฟ้าแจ่มใส ดังในกราฟผนวกที่ 1.5, 1.6 และ 1.7 มีหน่วยเป็น ลักซ์

ค่า Rg เป็นค่าเปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของวัสดุภายนอกอาคาร เช่น พื้น สนามหญ้า พื้นดิน หรือพื้นคอนกรีต ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1.7

ค่า E2g เป็นค่าความสว่างสะท้อนจากพื้นไปที่หน้าต่าง ซึ่งได้รับจากดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว และค่านี้จะคิดเฉพาะในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสเท่านั้น ค่าความส่องสว่างจากดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับความสว่างจากดวงอาทิตย์ในแนวราบคูณกับเปอร์เซนต์การสะท้อนแสงของลักษณะพื้นต่าง ๆ สำหรับความสว่างจากดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นไปที่หน้าต่างนั้นมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความส่องสว่างจากดวงอาทิตย์ที่พื้น [ 1 ]

E2g = 0.5 (Eh2 x Rg) ลักซ์

ค่า Eh2 เป็นค่าความสว่างของดวงอาทิตย์ในแนวราบ (horizontal solar illumination) เฉพาะดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1.8

ค่า Ku อ่านได้จากตารางผนวกที่ 1.9 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการใช้ประโยชน์สำหรับหน้าต่างในแนวดิ่ง ที่ได้รับการส่องสว่างจากพื้นดินสม่ำเสมอ (uniform ground) โดยเป็นสัดส่วนกับเปอร์เซนต์สะท้อนแสงของห้อง ขนาดของห้อง และสามารถหาได้สามค่า คือ ค่าสูงสุด (Max) ค่าปานกลาง (Mid) และค่าต่ำสุด (Min)

2.4.5 ลำดับขั้นการคำนวณตามวิธี IES

1. หาค่าความสว่างของแสงธรรมชาติที่ได้รับจากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว ในสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสหรือท้องฟ้ามืด ตามหัวข้อที่ 2.4.3 ซึ่งมีวิธีหาดังต่อไปนี้

1.1 หาตำแหน่งแอ็ลติจูด และอะซิมุตของดวงอาทิตย์ตามตารางผนวกที่ 1.1 หรือ 1.2

1.2 หาค่าความสว่างในแนวดิ่งจากท้องฟ้า แต่ละตำแหน่งโดยทำมุมเทียบอะซิมุตกับดวงอาทิตย์ (vertical suface facing in azimuth from sun)ตามกราฟผนวกที่ 1.5, 1.6 และ 1.7 โดยกราฟแต่ละเส้นสามารถเลือกได้ตามตำแหน่งทิศทางอาคาร (หน้าต่าง) ที่ต้องการรับแสงธรรมชาติ โดยเทียบมุมอะซิมุตและแอ็ลติจูดกับดวงอาทิตย์

1.3 ค่าความสว่างที่หาได้ คูณด้วย ค่า Aw, $\tau$ , Km และ Ku ตามสมการหัวข้อ 2.4.3 ซึ่งสามารถหาได้ทั้งสามค่า คือ สูงสุด (Max) ปานกลาง (Mid) และค่าต่ำสุด (Min)

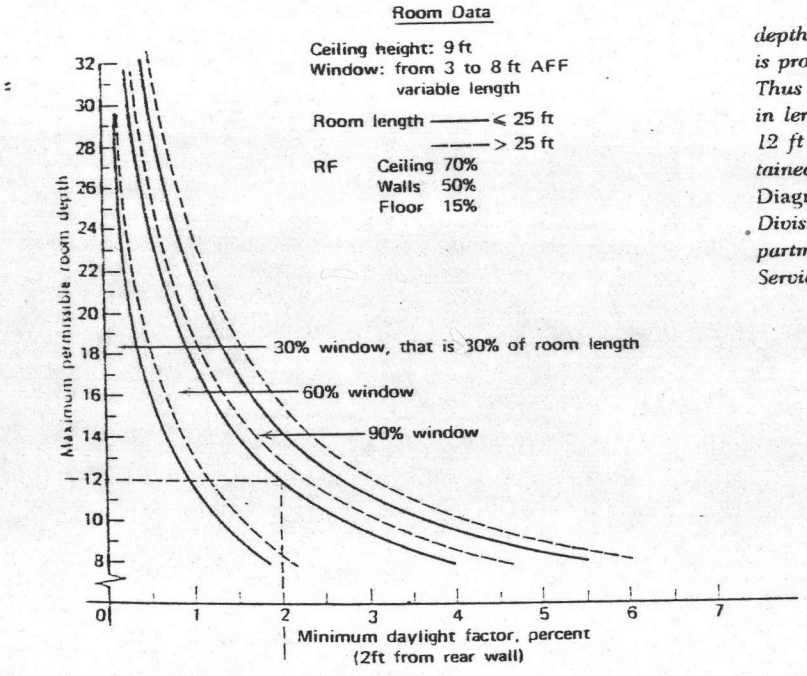
2. หาค่าความสว่างจากแสงธรรมชาติที่ได้รับการสะท้อนจากพื้นดิน หาได้ตามหัวข้อที่ 2.4.4 ซึ่งจะได้ความสว่างที่สะท้อนจากพื้นดินสามค่า คือ ค่าสูงสุด (Max) ค่าปานกลาง (Mid) และค่าต่ำสุด (Min)

3. รวมค่าความสว่างที่ได้รับจากท้องฟ้า และการสะท้อนจากพื้นดินตามสมการหัวข้อที่ 2.4.2 จะได้ค่าความสว่างทั้งหมดของแสงธรรมชาติที่ตกบนระนาบทำงานค่าที่ได้จะมีสามค่า คือ ค่าสูงสุด (Max) ค่าปานกลาง (Mid) และค่าต่ำสุด (Min)

## 2.5 การออกแบบแสงธรรมชาติด้วยวิธี CIE [ 2, 3 ]

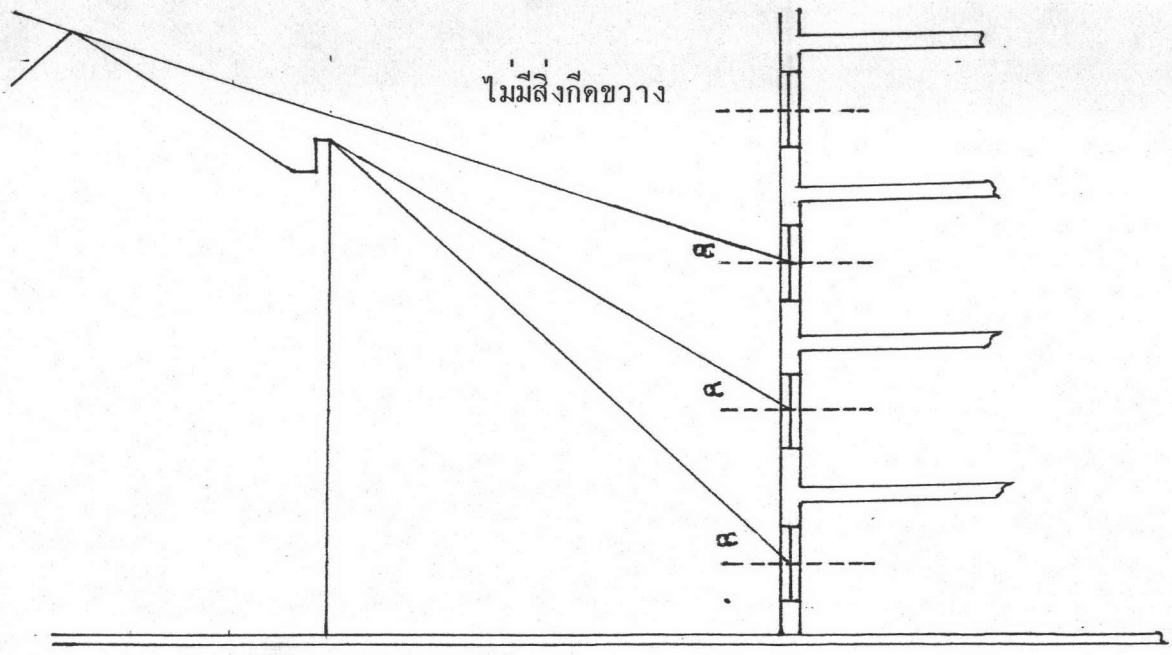
การออกแบบด้วยวิธีนี้ทำได้ง่าย, รวดเร็ว และมีความแน่นอนพอใช้ได้ ซึ่งเป็นระบบที่ได้ปรับปรุงในออสเตรเลีย โดย Dr. A. Dresler ในปี 1970 โดยใช้พื้นฐานค่า DF (daylight factor) ดังรูปที่ 2.6 ค่า DF นี้ เป็นค่าต่ำสุดขององค์ประกอบแสงธรรมชาติ ที่ระยะ 0.60 เมตร จากหลังห้อง

ตามปกติแสงธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นวิธีนี้จะคำนวณค่าต่ำสุดซึ่งเป็นพื้นฐานในการอ้างถึง เพราะที่ระดับค่าต่ำสุดของแสงธรรมชาติจะได้รับความสว่างเป็นที่พอใจ เหมาะสมกับการทำงานในชั่วโมงนั้น ๆ

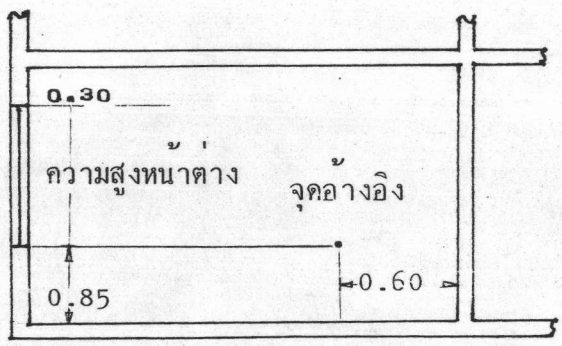



*Maximum room depth to maintain minimum DF is proportional to window size. Thus for a room less than 25 ft in length, depth cannot exceed 12 ft if 2% DF is to be maintained. From* Daylight Design Diagrams, *published by Service Division, Commonwealth Department of Labor and National Service, Melbourne, Australia.*

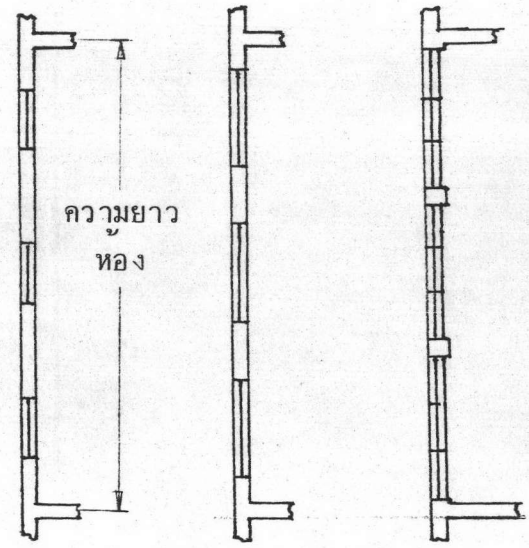
รูป 2.6 แสดงค่าความลึกสูงสุดของห้องกับค่าต่ำสุดของ DF ซึ่งเป็นสัดส่วนกับขนาดหน้าต่าง




(ก) บอกถึงสิ่งกีดขวางภายนอกอาคาร และมุมสิ่งกีดขวาง ( α )




(ข) แสดงรูปตัดของห้องมาตรฐาน และจุดอ้างอิง




(ค) แสดงความกว้างหน้าต่างเมื่อเทียบกับความยาวห้องเป็น %

รูป 2.7 เป็นรูปที่ชี้แสดงให้เห็นค่าและตำแหน่งอ้างอิงตามการคำนวณด้วยวิธี CIE

สำหรับในรูปที่ 2.7 (ก) บอกถึงสิ่งกีดขวางภายนอกอาคารและมุมของสิ่งกีดขวาง ( $\alpha$ ) โดยมุมของสิ่งกีดขวางวัดจากจุดกึ่งกลางหน้าต่าง ส่วนรูป (ข) เป็นรูปตัดของห้องมาตรฐานและจุดอ้างอิงต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณด้วยวิธี CIE ส่วนรูป (ค) เป็นรูปที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความกว้างหน้าต่างต่อความยาวของห้องทั้งหมด

2.5.1 คุณลักษณะของวิธี CIE

วิธีของ CIE เป็นเทคนิคหนึ่งในการคำนวณหาความสว่างของแสงธรรมชาติในอาคาร ซึ่งมีข้อได้เปรียบและขีดจำกัด ดังต่อไปนี้

ข้อได้เปรียบของวิธีนี้

1. มีการพิจารณาสิ่งกีดขวางแสง การสะท้อนแสง การสะท้อนแสงภายในอาคาร
2. ใช้ความสว่างของท้องฟ้าที่เปลี่ยนแปลงแต่ละ ละติจูด (latitude)
3. นำไปใช้ได้กว้างขวาง ทั้งการออกแบบแสงด้านข้าง และหลังคา (sidelighting and toplighting)
4. ตึกโดยทั่วไปห้องจะถูกจัดสัดส่วนโดยสถาปนิก มากกว่าจะใช้ขนาดของห้องที่เป็นขนาดเฉพาะ

ขีดจำกัดของวิธีนี้

1. ไม่เหมาะสมกับสภาวะท้องฟ้าแจ่มใสหรือภาวะที่มีดวงอาทิตย์
2. คำนวณได้ค่าต่ำสุดเพียงอย่างเดียว
3. ไม่เหมาะสมกับห้องที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก
4. จะผิดไปจากเป็นจริง ถ้ามีเครื่องมือบังแสงแดด หรือพื้นดินมีเปอร์เซนต์การสะท้อนแสงสูง
5. ผลลัพท์ที่ได้จะได้จุดต่ำสุดเพียงอย่างเดียว

2.5.2 การคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธี CIE

การคำนวณแสงธรรมชาติด้วยวิธี CIE สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$DF = IDF \times CF \qquad [2, 3]$$

$$DF = \frac{\text{ความสว่างของแสงในแนวราบที่จุดวัดภายในอาคาร (Eh)}}{\text{ความสว่างของแสงในแนวราบภายนอกอาคาร โดยไม่มีสิ่งกีดขวางท้องฟ้า (Eh1)}}$$

สัญญลักษณ์ต่าง ๆ แสดงในหัวข้อที่ 1.6

2.5.3 ลำดับขั้นการคำนวณตามวิธี CIE

1. หาค่า Rd/H
2. หาค่า wd
3. อ่านค่า IDF ตามกราฟผนวกที่ 2.1
4. อ่านค่า CF ตามกราฟผนวกที่ 2.2 และตารางผนวกที่ 2.1 (a), b และ (c)
5. ค่าที่ได้ทั้งหมด คูณด้วยค่า IDF และ CF ตามหัวข้อที่ 2.5.2 จะได้ค่า DF เป็นเปอร์เซนต์
6. อ่านค่าความสว่างในแนวราบภายนอกอาคาร ตามแต่ละ ละติจูด ดังในกราฟผนวกที่ 2.3
7. นำค่าความสว่างในแนวราบภายนอกอาคาร คูณด้วยค่า DF จะได้ความสว่างภายในอาคารในแนวราบต่ำสุดที่ระยะ 0.60 เมตร หรือ 2 ฟุต โดยวัดจากหลังห้อง ตามตำแหน่งมาตรฐาน CIE รูป 2.7 (ข)