

การประเมินคุณภาพของการส่องสว่างด้านแสงจ้าแสงตาและการเกิดเงา

Quality Evaluation in Illumination : Glare and Shadow

รุจิพรรณ สัมปโน

ไชยะ แซ่มซ้อย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. (02) 2186553

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการประเมินระดับคุณภาพของการให้แสงสว่างในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น สนามกีฬากลางแจ้ง โดยพิจารณาจากปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ระดับของแสงจ้าแสงตา และเงาที่เกิดจากการให้แสงสว่างในพื้นที่นั้นๆ วิธีการหลักในการวิเคราะห์ใช้วิธีคิดที่ละจุด ผลลัพธ์จะถูกแสดงในรูปของภาพสามมิติ ภาพลายเส้น ภาพเงา ตลอดจนตารางข้อมูลของความสว่าง และค่าแสงจ้าแสงตา นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบความสม่ำเสมอของความสว่างในพื้นที่นั้นๆ ได้ด้วย

Abstract

This paper presents illumination quality evaluation on outdoor large area lighting system installation. Glare rating and shadow on horizontal plane have been investigated. The calculation algorithm is based on point by point method. The results of glare rating, horizontal and vertical illuminance values and uniformity can be presented in the form of 3D, contour lines and shading pictures.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้การให้แสงสว่างทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคารเป็นสิ่งจำเป็นต่อกิจกรรมในการมองเห็นของมนุษย์ ระบบไฟส่องสว่างพื้นที่ขนาดใหญ่ได้รับความสนใจและถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในแง่ของคุณภาพของแสงและความสวยงาม งานที่ต้องใช้ความละเอียดแม่นยำมาก จะต้องการความสว่างปริมาณมากและมีคุณภาพสูง

การประเมินระดับคุณภาพของการให้แสงสว่างในพื้นที่ขนาดใหญ่นั้น พิจารณาได้จากค่าความสม่ำเสมอของความสว่าง ระดับของแสงจ้าแสงตา และเงาที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ดังกล่าว

2. ทฤษฎีการคำนวณความสว่างภายนอกอาคาร

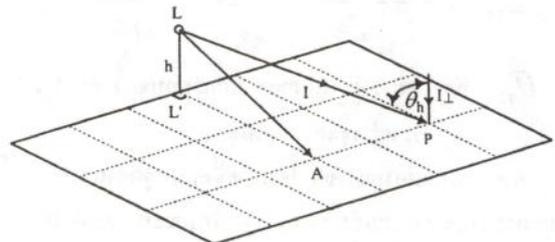
การคำนวณความสว่าง (Illuminance) นั้น สามารถคำนวณได้ทั้งวิธีคิดที่ละจุดและวิธีรวม วิธีคิดที่ละจุดมีข้อดีคือ จะให้ผลลัพธ์ที่มีรายละเอียดและความแม่นยำสูงกว่าวิธีรวม สามารถใช้ตรวจสอบความสม่ำเสมอ หรือตรวจสอบความสว่างที่จุดใดๆ ที่ต้องการ สามารถนำเสนอผลลัพธ์ในลักษณะรูปภาพได้ บทความนี้ได้นำเสนอการหาค่าความสว่างบนพื้นที่ขนาดใหญ่โดยวิธีการคิดที่ละจุด ทำให้สามารถวิเคราะห์ ปริมาณแสง และคุณภาพของแสงบนพื้นที่ได้

การคำนวณค่าความสว่างบนพื้นสนามหรือบนพื้นระนาบเอียงใดๆ ด้วยวิธีนี้จะต้องอาศัยปัจจัยสำคัญ 4 อย่าง คือ

- 1) การกระจายค่าความเข้มส่องสว่างของโคมฉาย โดยจัดทำเป็นข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมแต่ละแบบ ซึ่งอาจแสดงในระบบ H-V หรือระบบ C- γ ก็ได้
- 2) ฟลักซ์ส่องสว่างของหลอดไฟ เนื่องจากหลอดไฟแต่ละหลอดอาจให้ฟลักซ์ส่องสว่างไม่เท่ากัน
- 3) ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของตำแหน่งของโคมฉาย และจุดที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง
- 4) รายละเอียดของระนาบ คือพื้นที่ที่ต้องการคำนวณนั้นเป็นระนาบคิง ระนาบนอน หรือระนาบเอียง

2.1 การคำนวณค่าความสว่างด้วยวิธีคิดที่ละจุด

วิธีคิดที่ละจุดเป็นการคำนวณค่าความสว่างที่จุดต่างๆบนพื้นที่ ทำให้ทราบค่าความสว่างสูงสุดและต่ำสุด ค่าความสว่างเฉลี่ย และค่าความสม่ำเสมอของความสว่างได้ การคำนวณค่าความสว่างที่จุดใดๆพิจารณาได้จากรูปที่ 1



รูปที่ 1 การคำนวณค่าความสว่างแบบคิดที่ละจุด

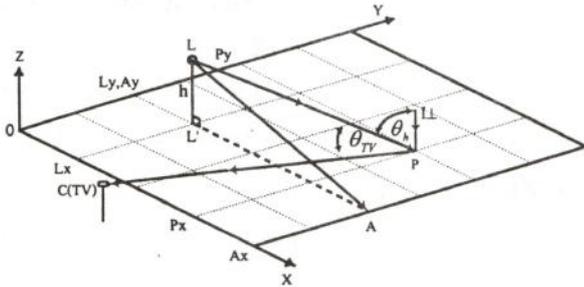
ค่าความสว่างที่จุด P บนพื้นราบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$E_{HP} = \frac{I_{\perp}}{LP^2} = \frac{I(H, V) \cos \theta_h}{LP^2} = \frac{I(C, \gamma) \cos \theta_h}{LP^2} \quad (1)$$

- โดยที่ E_{HP} คือ ความสว่างบนพื้นระนาบที่จุด P (ลักซ์)
 I_{\perp} คือ ความเข้มส่องสว่างที่ตั้งฉากกับระนาบที่จุด P (แคนเดลา)
 LP คือ ระยะห่างจากดวงโคมไปยังจุดที่ต้องการคำนวณค่าความสว่าง (เมตร)
 θ_h คือ มุมระหว่างแนวแสงตกกระทบบนจุด P กับแนวตั้ง

$I(H,V)$ คือ ความเข้มส่องสว่างที่วัดในระบบ H, V (แคนเดลา)
 $I(C,\gamma)$ คือ ความเข้มส่องสว่างที่วัดในระบบ C, γ (แคนเดลา)

ถ้ามีการติดตั้งกล้องเพื่อถ่ายภาพกิจกรรมต่างๆ บนพื้นที่คำนวณ ก็จะต้องจัดแสงเพื่อให้ได้ความสว่างบนพื้นที่คำนวณพอเพียงกับการถ่ายภาพ การคำนวณความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมอง (แนว CP) ณ จุด P พิจารณาได้จากรูปที่ 2



รูปที่ 2 การคำนวณค่าความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมอง

ความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมอง ณ จุด P สามารถหาค่าได้เช่นเดียวกับการหาค่าความสว่างบนพื้นระนาบนอน โดยการใช้นุม θ_{TV} แทนมุม θ_h ซึ่งมุม θ_{TV} คำนวณหาค่าได้โดยใช้กฎของสามเหลี่ยมพิจารณาจาก ΔLPC จะได้

$$\cos \theta_{TV} = \frac{LP^2 + CP^2 - LC^2}{2 \times LP \times CP} \quad (2)$$

ความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมอง หาได้ดังสมการที่ (3)

$$E_{TVP} = \frac{I(H,V) \cos \theta_{TV}}{LP^2} = \frac{I(C,\gamma) \cos \theta_{TV}}{LP^2} \quad (3)$$

เมื่อ θ_{TV} คือ มุมระหว่างแนวแสงตกกระทบจุด P กับแนวระหว่างจุดสังเกตกับจุด P

ค่าความเข้มส่องสว่างของโคมฉายที่ตกบนจุดคำนวณ P จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายความเข้มส่องสว่าง ลักษณะการติดตั้งโคมฉาย และตำแหน่งจุดที่จะคำนวณ โดยข้อมูลการกระจายความเข้มส่องสว่างของโคมฉาย ผู้ผลิตโคมฉายจะแสดงด้วยระบบมุมที่ใช้วัดการกระจายความเข้มส่องสว่างในระบบ H-V หรือระบบ C- γ ก็ได้

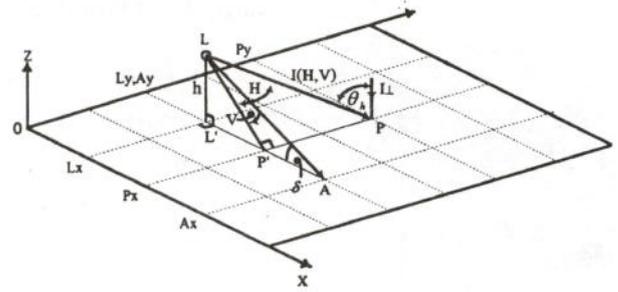
2.2 การคำนวณในระบบ H-V

มีการคำนวณได้ 2 กรณีด้วยกันคือ

- กรณีที่มุมหัน (T) เป็นศูนย์
- กรณีที่มุมหัน (T) ไม่เป็นศูนย์

ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของการคำนวณทั้ง 2 กรณี ได้ดังนี้

2.2.1 กรณีที่มุมหัน (T) เป็นศูนย์



รูปที่ 3 การคำนวณหาค่ามุม H และมุม V กรณีมุมหันเป็นศูนย์

กำหนดให้

θ_h คือ มุมที่จุด P ที่กระทำกันระหว่างเส้นที่ลากจาก L ถึง P กับเส้นที่ลากตั้งฉากกับระนาบ (องศา)

T คือ มุมหันของโคมฉาย (องศา)

δ คือ มุมเฉียงของโคมฉายที่ทำกับแนวระดับ (องศา)

P คือ จุดที่ต้องการหาค่าความสว่าง

L คือ จุดที่ติดตั้งโคมฉายบนเสา

A คือ จุดเฉียงของโคมฉาย

h คือ ความสูงของโคมฉาย (เมตร)

L' คือ จุดติดตั้งโคมที่พื้นระนาบ

P_x, P_y, P_z คือ โคออดิเนตของจุดที่ต้องการคำนวณหาค่าความสว่าง

A_x, A_y, A_z คือ โคออดิเนตของจุดเฉียงของโคมฉาย

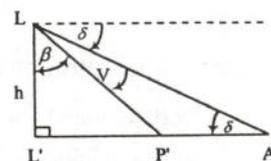
L_x, L_y, L_z คือ โคออดิเนตของจุดติดตั้งโคม

พิจารณาจากรูปที่ 3 และ 4 จะได้ว่า

$$\Delta LL'A \Rightarrow \sin \delta = \frac{LL'}{LA} = \frac{Az - Lz}{\sqrt{(Ax - Lx)^2 + (Az - Lz)^2}} \quad (4)$$

$$\Delta LP'A \Rightarrow \sin H = \frac{PP'}{LP}$$

$$\sin H = \frac{|Py - Ly|}{\sqrt{(Px - Lx)^2 + (Py - Ly)^2 + (Pz - Lz)^2}} \quad (5)$$



รูปที่ 4 แสดงการหามุม V

มุม δ จะมีค่าติดลบเนื่องจากเงื่อดำกว่าแนวระดับ และมุม V มีค่าติดลบเพราะจุด P' อยู่ต่ำกว่าแนวเงื่อดังนั้น $\beta + (-V) + (-\delta) = 90^\circ$

$$\beta = \nu + (90^\circ + \delta)$$

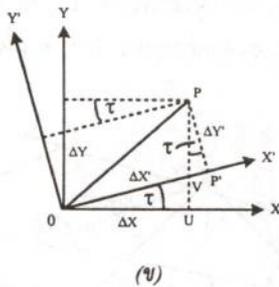
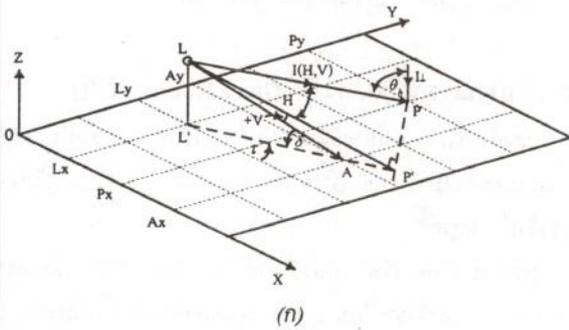
พิจารณาที่ $\triangle LL'P'$ จะได้

$$\tan \beta = \frac{L'P'}{LL'} = \frac{Px - Lx}{Lz - Pz} \quad (6)$$

$$\nu = \tan^{-1} \left(\frac{Px - Lx}{Lz - Pz} \right) - (90 + \delta) \quad (7)$$

2.2.2 กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์

จากรูปที่ 3 เมื่อหันโคมฉายไปเป็นมุม τ องศา จากแนวตั้งฉากกับขอบสนามจะทำให้แนวที่กำหนดมุม $H = 0^\circ$ หันไปเป็นมุม τ องศาด้วยการคำนวณค่ามุม H และมุม ν จึงทำได้โดยการหมุนระนาบ XY ไปเป็นมุม τ องศา กลายเป็นระนาบ $X'Y'$ ดังแสดงในรูปที่ 5 แล้วคำนวณมุม H และมุม ν ในเทอมของ $\Delta X'$ และ $\Delta Y'$ โดยการประยุกต์ใช้สมการที่ (5) และ (7) ดังนี้



รูปที่ 5 (ก) และ (ข) การคำนวณหาค่ามุม H และมุม ν กรณีมุมหันไม่เป็นศูนย์

$$H = \sin^{-1} \frac{\Delta Y'}{\sqrt{(\Delta X')^2 + (\Delta Y')^2 + (\Delta Z')^2}} \quad (8)$$

$$\nu = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta X'}{\Delta Z'} \right) - (90 + \delta) \quad (9)$$

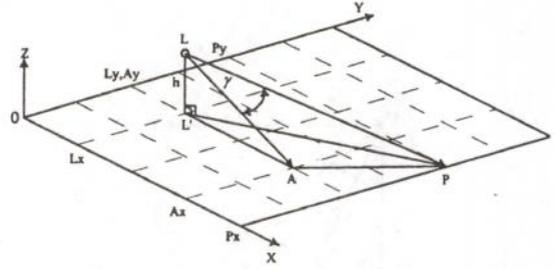
ทำการเปลี่ยน $\Delta X'$, $\Delta Y'$ และ $\Delta Z'$ ให้อยู่ในเทอมของ ΔX , ΔY และ ΔZ จะได้มุม H และมุม ν ดังนี้

$$H = \sin^{-1} \left(\frac{\Delta Y \cos \tau - \Delta X \sin \tau}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}} \right) \quad (10)$$

$$\nu = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta X \cos \tau + \Delta Y \sin \tau}{\Delta Z} \right) - (90 + \delta) \quad (11)$$

2.3 การคำนวณในระบบ C- γ

2.3.1 กรณีที่มุมหัน (τ) เป็นศูนย์

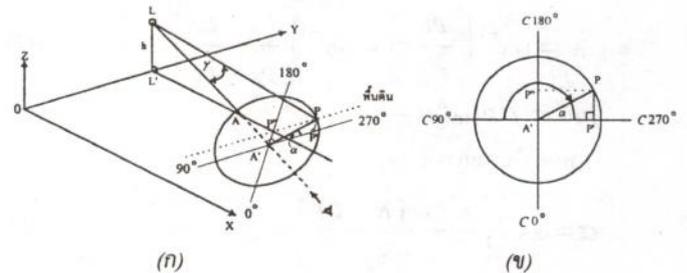


รูปที่ 6 การคำนวณมุม γ ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์

จากรูปที่ 6 พิจารณาที่ $\triangle LAP$ สามารถหามุม γ ได้จากสมการที่ (12)

$$\cos \gamma = \frac{LP^2 + LA^2 - AP^2}{2 \times LP \times LA} \quad (12)$$

สำหรับการคำนวณมุม C นั้นเนื่องจากมีมุมเฉียงเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ระนาบมุม C ที่จุดเฉียง และจุดคำนวณไม่ตั้งฉากกับพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องลากเส้นต่อจากเส้น LA จนกระทั่งตั้งฉากกับเส้นตรงที่ลากจากจุด P ที่จุด A' แล้วสร้างเป็นรูปกรวยโดยให้จุด A' เป็นจุดศูนย์กลางดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 (ก) และ (ข) การคำนวณมุม C ในกรณีมุมหันเท่ากับศูนย์

จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาวงกลมซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน โดยกำหนดมุม C ดังรูป ตามระบบของ CIE จะสามารถคำนวณมุม C ได้ดังนี้

$$C = 270^\circ - \alpha \quad (\text{กรณีนี้เท่านั้น}) \quad (13)$$

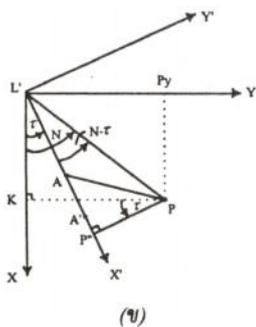
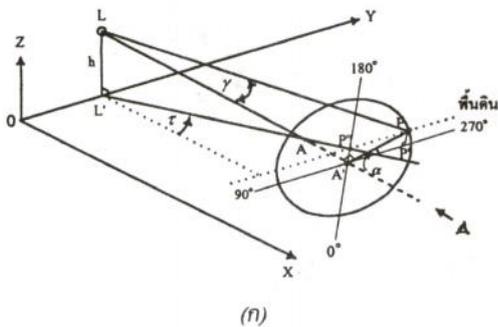
พิจารณา $\triangle A'P'P$ จะได้

$$PA' = LP \sin \gamma$$

$$P'A' = PP'' = Py - Ay = Py - Ly$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{P'A'}{PA'} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{Py - Ly}{LP \sin \gamma} \right) \quad (14)$$

2.3.2 กรณีที่มุมหัน (τ) ไม่เป็นศูนย์



รูปที่ 8 (ก) และ (ข) การคำนวณมุม C และมุม γ

ในกรณีมุมหันไม่เท่ากับศูนย์

การคำนวณมุม γ จะคำนวณโดยวิธีเดียวกับในกรณีมุมหันเท่ากับ ศูนย์ดังสมการที่ (12)

$$\tau = \tan^{-1} \frac{Ay - Ly}{Ax - Lx} \quad (15)$$

จากรูป 8 (ข) พิจารณา $\Delta L'P''P$ และ $\Delta L'KP$

$$L'P = \sqrt{(Px - Lx)^2 + (Py - Ly)^2} \quad (16)$$

$$N = \tan^{-1} \left(\frac{PK}{L'K} \right) = \tan^{-1} \left[\frac{Py - Ly}{Px - Lx} \right] \quad (17)$$

$$PP'' = L'P \sin(N - \tau) \quad (18)$$

แทนค่าในสมการที่ (14)

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{L'P \sin(N - \tau)}{LP \sin \gamma} \right) \quad (19)$$

3 การประเมินคุณภาพการส่องสว่าง

การออกแบบแสงสว่างในพื้นที่ใดๆ นั้น เมื่อได้ความสว่างตามที่ต้องการแล้ว ปัจจัยแรกที่ควรคำนึงถึงก็คือความสม่ำเสมอของความสว่างทั่วทั้งบริเวณ นอกจากนี้ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่จะต้องพิจารณาควบคู่กับการออกแบบไปด้วย คือในเรื่องของแสงจ้าแยงตาและการเกิดเงาจากวัตถุ ซึ่งเป็นสิ่งที่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการมองเห็น โดยที่แสงจ้าแยงตาเป็นความรู้สึกที่เกิดจากความส่องสว่างในบริเวณที่มอง มีมากกว่าค่าความส่องสว่างที่ตาสามารถปรับได้ อาจทำให้เกิดความเมื่อยล้าในการใช้สายตา ส่วนในเรื่องของเงานั้น

จะมีผลกระทบต่อความสม่ำเสมอของความสว่างในพื้นที่ และอาจทำให้การมองเห็นไม่ชัดเจน

3.1 ความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของความสว่าง

การออกแบบแสงสว่างจะไม่สมบูรณ์ถ้าขาดการพิจารณาในเรื่องของความสม่ำเสมอของระดับความสว่างบนพื้นที่คำนวณ โดยค่าความสม่ำเสมอสามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วนของค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างเฉลี่ยและอัตราส่วนของค่าความสว่างต่ำสุดต่อค่าความสว่างสูงสุด ดังสมการที่ (20) และ (21)

$$U_0 = \frac{E_{\min}}{E_{av}} \quad (20)$$

$$U_1 = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \quad (21)$$

โดยที่ E_{\min} คือ ค่าความสว่างต่ำสุด (ลักซ์)

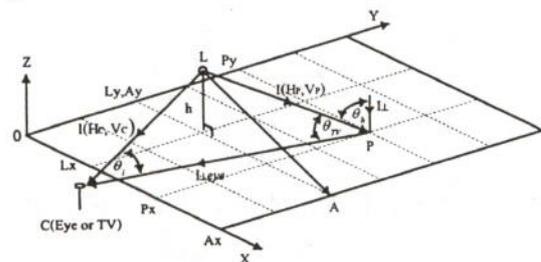
E_{\max} คือ ค่าความสว่างสูงสุด (ลักซ์)

E_{av} คือ ค่าความสว่างเฉลี่ย (ลักซ์)

3.2 การคำนวณขีดจำกัดแสงจ้า (Glare Rating : GR)

แสงจ้า (Glare) หมายถึง แสงที่เข้าตาแล้วทำให้มองเห็นวัตถุได้ยาก ไม่ชัดเจนหรือมองไม่เห็นเลย การจัดวางโคมให้แสงสว่างโดยทั่วไปต้องการให้มีแสงจ้าน้อยที่สุด

การคำนวณหาปริมาณแสงจ้าภายนอกอาคารพิจารณาได้จากรูปที่ 9 ซึ่งเป็นกรจำลองแสงจ้าจากโคม 1 ดวง และแสงจ้าที่เกิดขึ้นนี้มาจาก 2 องค์ประกอบคือ แสงที่มีทิศทางพุ่งออกจากดวงโคมเข้าสู่ตาผู้สังเกตการณ์โดยตรง อีกส่วนหนึ่งเป็นแสงที่ตกกระทบจุดใดๆ บนพื้นที่คำนวณแล้วสะท้อนเข้าสู่ตาผู้สังเกตการณ์



รูปที่ 9 การคำนวณแสงจ้าแยงตา

$$GR = 27 + 24 \log \left[\frac{Lvl}{(Lve)^{0.9}} \right] \quad (22)$$

$$Lvl = \sum \left\{ \frac{E_{eye, i}}{\theta_i^2} \right\} \quad (23)$$

$$\cos \theta_i = \frac{LC^2 + CP^2 - LP^2}{2 \cdot LC \cdot CP} \quad (24)$$

$$E_{eye, i} = \frac{I(H_C, V_C)}{LC^2} \times \cos \theta_i = \frac{I(C_C, \gamma_C)}{LC^2} \times \cos \theta_i \quad (25)$$

$$Lve = 0.035 \times Eh_{ave} \times \frac{\rho}{\pi} \quad (26)$$

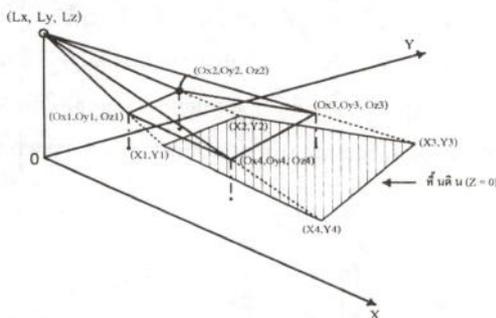
$$E_{h,ave} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{hi,j}}{mn} \quad (27)$$

- โดยที่ L_{vl} คือ ความส่องสว่าง (Lumina ace) ซึ่งเกิดจากแสงจากโคมส่อง มาที่ดวงตา (cd / m^2)
- $E_{eye,i}$ คือ ความสว่าง จากโคมดวง ที่ i ที่แก้วตาบนระนาบที่ตัดฉากกับแนวมอง (ลักซ์)
- θ_i คือ มุมระหว่าง แนวมอง กับแนวแสง ตกกระทบแก้วตา โดยมุม θ_i มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5° กับ 60° (อ.ศ.)
- L_{ve} คือ ความส่องสว่าง ซึ่งเกิดจากสี แวดล้อม (cd / m^2)
- ρ คือ ค่าตัวประกอบการสะท้อนแสง ของ พื้นสนาม
- $E_{h,ave}$ คือ ความสว่าง เฉลี่ยบนพื้นที่ (ลักซ์)

3.3 การคำนวณเงาที่เกิดจากวัตถุ (Shadow)

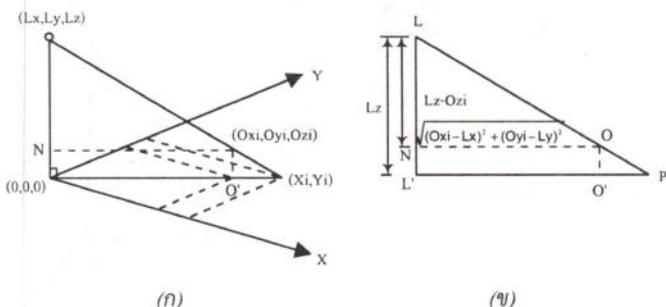
โดยธรรมชาติของ แสงแล้ว เกิดขึ้นจากการที่มีวัตถุมาบัง แนวของลำแสง จากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่ง อาจจะมีลักษณะผิวด้านจากรูปทรงของวัตถุไปบ้าง ขึ้นอยู่กับระยะห่างของ แหล่งกำเนิดแสง กับตำแหน่ง ของ วัตถุ โดยการคำนวณหาตำแหน่ง ที่เกิดเงา นั้นจะมีประโยชน์มากในการออกแบบติดตั้ง โคมในสถานที่ต่าง ๆ

3.3.1 การคำนวณหาลักษณะเงาของวัตถุที่กระทำกับพื้น

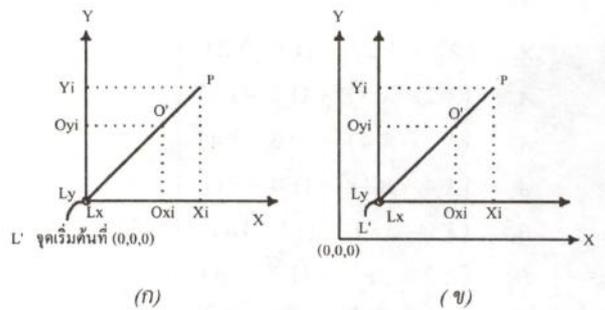


รูปที่ 10 การเกิดเงาของวัตถุรูปสี่เหลี่ยมใด ๆ

พิจารณารูปที่ 10 เป็นการจำลอง วัตถุขึ้นมารูปหนึ่ง มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า แล้วทำการคำนวณหา เงาของ วัตถุที่กระทำกับพื้นโดยมีวิธีคำนวณดังนี้ ในรูปที่ 11 นี้จะพิจารณาวัตถุที่จุดๆ เดียวก่อน



รูปที่ 11 (ก) และ (ข) การคำนวณหาจุดที่ตกลงบนพื้น โดยพิจารณาวัตถุที่จุดๆ เดียว



รูปที่ 12 (ก) และ (ข) มุมมองด้านบน (Top view) ของรูปที่ 11

จากรูปที่ 11(ข) และรูปที่ 12(ก) ใช้กฎของ สามเหลี่ยมคล้ายคำนวณหาระยะ X_i และ Y_i ของ จุด P ได้ดังนี้

$$X_i = \frac{Oxi \times L'P}{\sqrt{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}} = \frac{Oxi \times Lz}{Lz - Ozi} \quad (28)$$

$$Y_i = \frac{Oyi \times L'P}{\sqrt{(Oxi - Lx)^2 + (Oyi - Ly)^2}} = \frac{Oyi \times Lz}{Lz - Ozi} \quad (29)$$

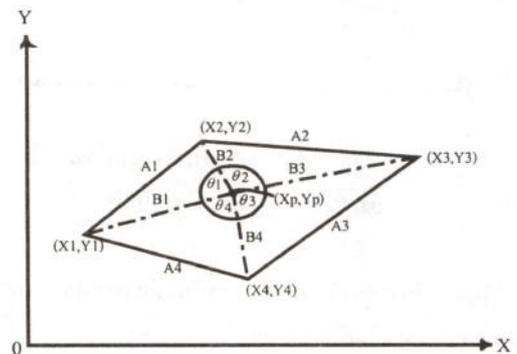
ถ้ามีการเลื่อนตำแหน่ง ของ ดวง โคมคือ รูปที่ 12(ข) จะได้สมการดังนี้

$$X_i = Lx + \frac{(Oxi - Lx) \times Lz}{Lz - Ozi} \quad (30)$$

$$Y_i = Ly + \frac{(Oyi - Ly) \times Lz}{Lz - Ozi} \quad (31)$$

3.3.2 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงา

การคำนวณความสว่าง ของ พื้นที่หนึ่ง ๆ นั้น บางครั้ง เมื่อมี เพลกบนพื้นผิวที่ต่อ การคำนวณ ความสว่าง ในบริเวณนั้นจะมีค่าน้อยมากซึ่ง อาจประมาณให้เป็นที่ศูนย์ได้ การคำนวณหาจุดที่อยู่ในบริเวณที่เกิดเงา จะพิจารณาได้จากรูปที่ 13 พื้นที่สี่เหลี่ยมในรูปนี้เป็นรูปสี่เหลี่ยมของ เพลกตกบนพื้นและสมมุติจุด P ใดๆ ให้อยู่ในพื้นที่นี้



รูปที่ 13 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสี่เหลี่ยม

โดยพิจารณาว่าถ้ามุม θ ที่ 4 มุมในรูปรวมกันแล้วมีค่าประมาณ 360 องศา ก็แสดง ว่าจุดนั้นอยู่ในบริเวณที่เกิดเงา ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

- ◆ คำนวณหาขนาดของด้าน $A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3, B_4$

$$\left. \begin{aligned} A_1^2 &= (X1 - X2)^2 + (Y1 - Y2)^2 \\ A_2^2 &= (X2 - X3)^2 + (Y2 - Y3)^2 \\ A_3^2 &= (X3 - X4)^2 + (Y3 - Y4)^2 \\ A_4^2 &= (X4 - X1)^2 + (Y4 - Y1)^2 \\ B_1^2 &= (X1 - Xp)^2 + (Y1 - Yp)^2 \\ B_2^2 &= (X2 - Xp)^2 + (Y2 - Yp)^2 \\ B_3^2 &= (X3 - Xp)^2 + (Y3 - Yp)^2 \\ B_4^2 &= (X4 - Xp)^2 + (Y4 - Yp)^2 \end{aligned} \right\} (32)$$

- ◆ คำนวณมุม $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$

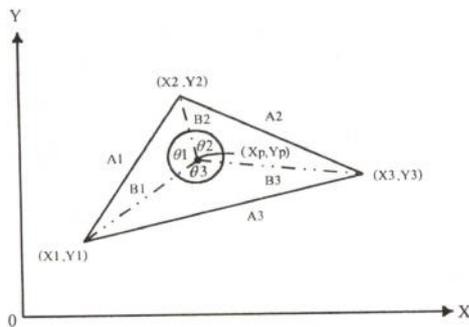
$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= \cos^{-1} \left[\frac{(B_1^2 + B_2^2 - A_1^2)}{2 \cdot B_1 \cdot B_2} \right] \\ \theta_2 &= \cos^{-1} \left[\frac{(B_2^2 + B_3^2 - A_2^2)}{2 \cdot B_2 \cdot B_3} \right] \\ \theta_3 &= \cos^{-1} \left[\frac{(B_3^2 + B_4^2 - A_3^2)}{2 \cdot B_3 \cdot B_4} \right] \\ \theta_4 &= \cos^{-1} \left[\frac{(B_4^2 + B_1^2 - A_4^2)}{2 \cdot B_4 \cdot B_1} \right] \end{aligned} \right\} (33)$$

- ◆ รวมมุม θ ทั้ง 4 มุม แล้วพิจารณาว่ามีค่าประมาณ 360 องศาหรือไม่

$$\theta_{Total} = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4$$

$$359.5^\circ \leq \theta_{Total} \leq 360.5^\circ$$

ถ้าจุด P อยู่ในพื้นที่ที่เกิดเงาจากโคมดวงนั้นๆ ก็ไม่ต้องคำนวณความสว่างที่จุด P ที่เกิดจากโคมดวงนั้น



รูปที่ 14 การตรวจสอบตำแหน่งของจุดที่อยู่ภายในบริเวณที่เกิดเงาเป็นรูปสามเหลี่ยม

ในกรณีที่เงาของวัตถุมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ก็จะตรวจสอบเหมือนกับรูปสี่เหลี่ยมโดยใช้เงื่อนไข

$$\theta_{Total} = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$$

$$359.5^\circ \leq \theta_{Total} \leq 360.5^\circ$$

เหตุผลที่ใช้เงื่อนไขในการตรวจสอบจุดใดๆ ที่อยู่ในพื้นที่ที่เกิดเงาเป็นรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมนั้น เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่จะไปบังแสงที่ทำให้เกิดเงารูปปร่างอย่างใดก็ได้ ดังตารางที่ 1

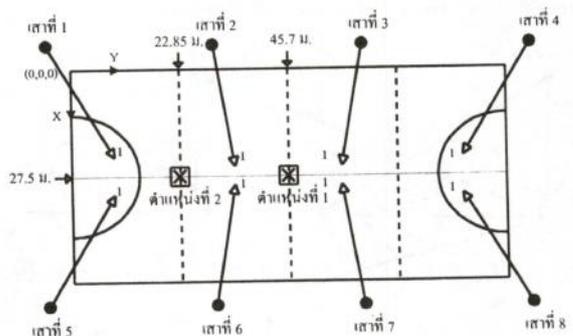
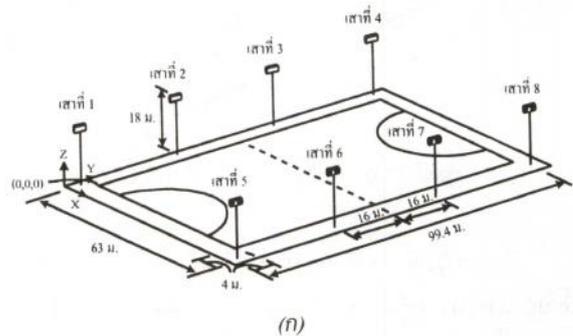
ตารางที่ 1 รูปภาพแสดงการประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่มีรูปร่างต่างๆ

รูปภาพของวัตถุ	วิธีการพิจารณา
	จะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยม 2 ชั้น
	จะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมอย่างละ 1 ชั้น
	จะแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยม 1 ชั้นและสามเหลี่ยม 2 ชั้น

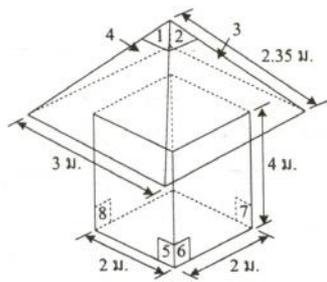
4. ผลการคำนวณ

4.1 กรณีที่ 1 พื้นที่กลางแจ้ง

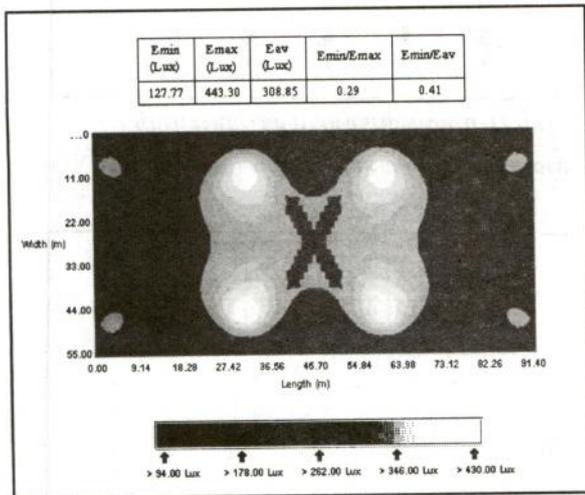
พื้นที่ทดสอบเป็นพื้นที่ขนาด กว้าง 55 เมตร ยาว 91.4 เมตร ติดตั้งโคมฉายสูง 18 เมตร จำนวน 8 ดวง ($\phi - lamp = 50,000$ ลูเมน) มีลักษณะการวางดวงโคมและจุดแสงแสดงดังรูปที่ 15 ในกรณีนี้มีวัตถุวางอยู่ในพื้นที่คำนวณดังรูปที่ 15(ข) วัตถุที่พิจารณามีลักษณะดังรูปที่ 16 โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ในกรณีแรกมีจุดศูนย์กลางวัตถุอยู่ที่พิกัด $X = 27.5$ ม. $Y = 45.7$ ม. และ ตำแหน่งที่ 2 มีจุดศูนย์กลางวัตถุอยู่ที่พิกัด $X = 27.5$ ม. $Y = 22.85$ ม. แล้วศึกษาผลของเงาที่มีต่อความสว่างในแนวระนาบบนพื้น



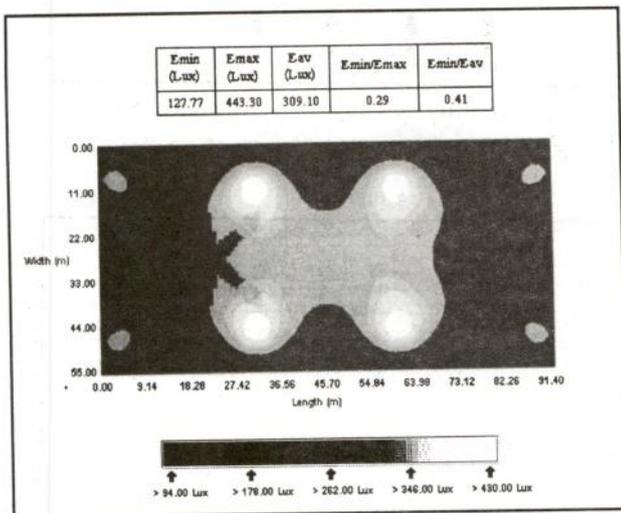
รูปที่ 15 ลักษณะของพื้นที่คำนวณ



รูปที่ 16 ลักษณะวัตถุ



รูปที่ 17 ภาพแรงของแสงสว่างในระนาบนอน เมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 18 ภาพแรงของแสงสว่างในระนาบนอน เมื่อวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่ 2

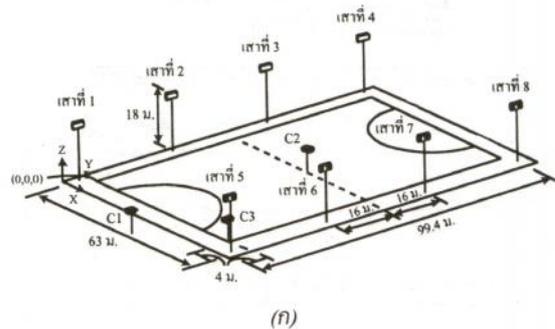
ผลการวิเคราะห์พิจารณาการวางวัตถุ 2 ตำแหน่ง ดังนี้

ก. ตำแหน่งที่ 1 ผลจากโคมทั้ง 8 ดวง ทำให้เงาที่เกิดขึ้นมีลักษณะทอดยาวไปบนพื้นสนามแบบสมมาตรกันทั้งด้านบนกับด้านล่างและด้านซ้ายกับด้านขวา ส่วนตำแหน่งที่ 2 เงาที่เกิดขึ้นจะได้รับอิทธิพลจากโคมที่อยู่ทางด้านซ้ายมือเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะของเงาจึงเกิดขึ้นทางด้านขวามือ

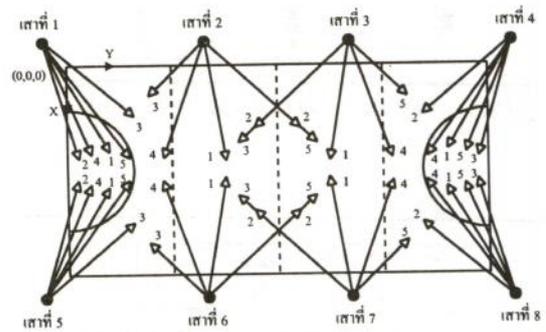
ข. ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่แสดงในรูปที่ 17 และรูปที่ 18 นี้วิศวกรผู้ออกแบบไฟแสงสว่างบนพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น สนามกีฬา พื้นที่วางตู้สินค้าสามารถใช้ประเมินความเหมาะสมของการกำหนดจุดติดตั้งดวงโคม ที่สททางการให้แสง จำนวนชุดของดวงโคม ตลอดจนความกว้างของลำแสงจากดวงโคมแต่ละชุดได้ว่า การให้แสงสว่างลักษณะโคมจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เช่น เกิดเงาที่น้อยที่สุด ได้ความสม่ำเสมอของแสงสว่างที่สุด

4.2 กรณีที่ 2 สนามกีฬาขนาดใหญ่

พื้นที่ทดสอบเป็นสนาม Hockey ขนาด กว้าง 55 เมตร ยาว 91.4 เมตร ติดตั้งโคมฉายสูง 18 เมตร จำนวน 40 โคม ($\phi - lamp = 50,000$ ลูเมน) และมีการติดตั้งกล้องสำหรับถ่ายทอดกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นค่านวมจำนวน 3 ตัว ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้มีการจัดวางดังรูปที่ 19



(ก)



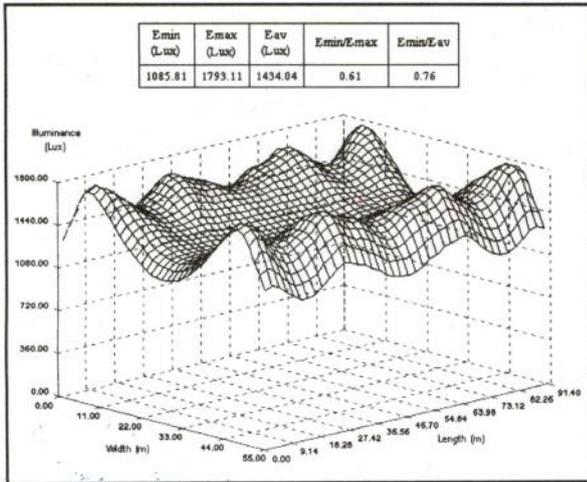
(ข)

รูปที่ 19 (ก) และ (ข) ลักษณะของพื้นที่ค่านวม

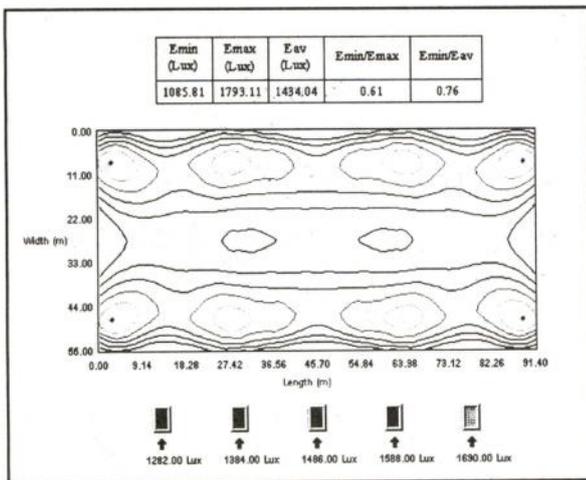
4.2.1 ข้อกำหนดในการให้แสงมีดังนี้ (การแข่งขันระดับประเทศ)

- 1) $E_h, ave \geq 750$ ลักซ์, $U1 \geq 0.5, U2 \geq 0.7$
- 2) $E_{TV\ main} \geq 1000$ ลักซ์, $U1 \geq 0.3, U2 \geq 0.5$
- 3) $E_{TV\ sec.} \geq 700$ ลักซ์, $U1 \geq 0.3, U2 \geq 0.5$
- 4) $GR \leq 50$

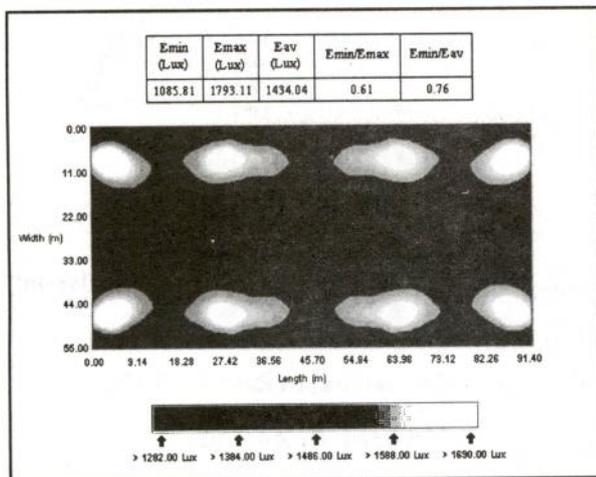
4.2.2 ผลการคำนวณความสว่างบนระนาบนอน



รูปที่ 20 ภาพสามมิติของความสว่างบนระนาบนอน



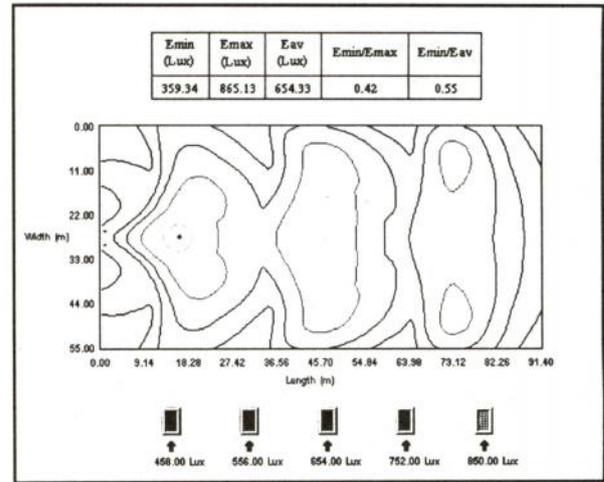
รูปที่ 21 ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบนอน



รูปที่ 22 ภาพแรงจางของความสว่างบนระนาบนอน

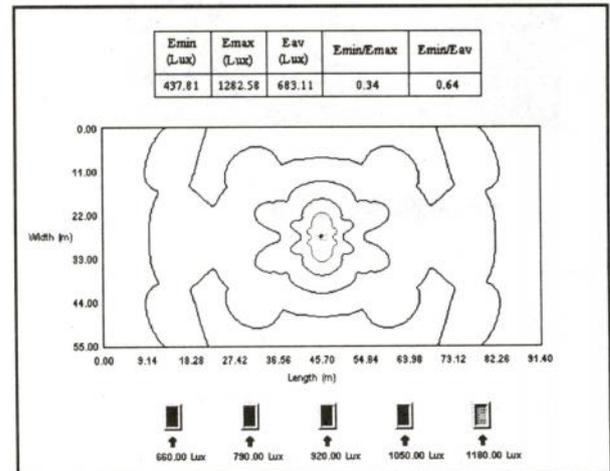
4.2.3 ผลการคำนวณความสว่างบนระนาบที่ติดตั้งกับแนวมอง

• กล้องตัวที่ 1



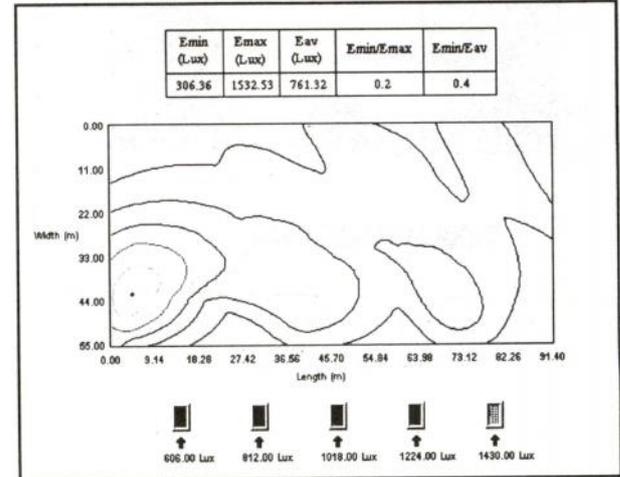
รูปที่ 23 ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ติดตั้งกับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (กล้องตัวที่ 1)

• กล้องตัวที่ 2



รูปที่ 24 ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ติดตั้งกับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (กล้องตัวที่ 2)

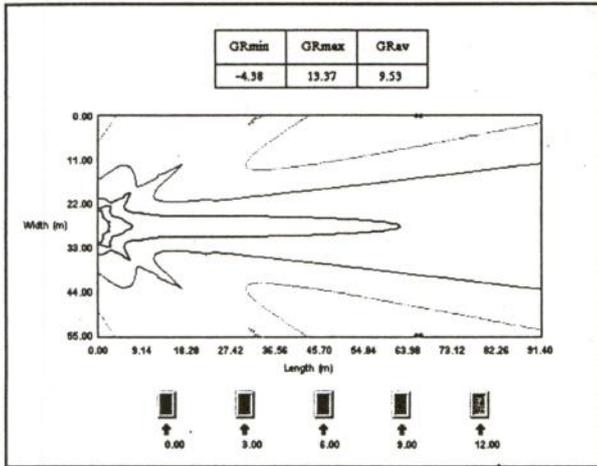
• กล้องตัวที่ 3



รูปที่ 25 ภาพลายเส้นของความสว่างบนระนาบที่ติดตั้งกับแนวมองของผู้สังเกตการณ์ (กล้องตัวที่ 3)

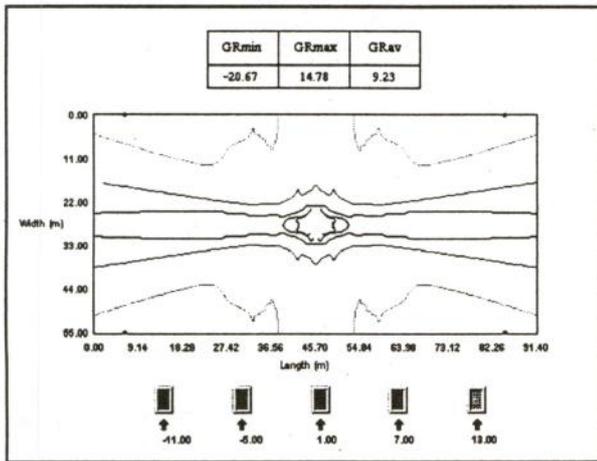
4.2.4 ผลการคำนวณแสงจ้า

• กล้องตัวที่ 1



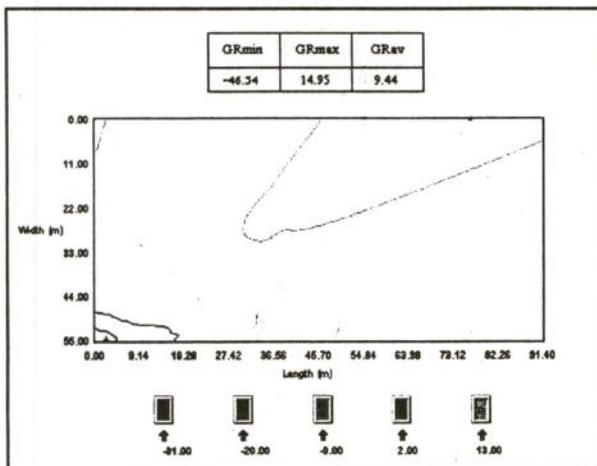
รูปที่ 26 ภาพลายเส้นของแสงจ้า

• กล้องตัวที่ 2



รูปที่ 27 ภาพลายเส้นของแสงจ้า

• กล้องตัวที่ 3



รูปที่ 28 ภาพลายเส้นของแสงจ้า

4.2.5 การวิเคราะห์ผล

- ก. จากผลการคำนวณได้ความสว่างเฉลี่ยบนพื้นสนาม 1,434 ลักซ์ ความสม่ำเสมอ U1 (min/max) 0.61 และ U0 (min/av.) 0.76 ซึ่งผ่านเงื่อนไขในการให้แสง
- ข. สำหรับความสว่างบนระนาบที่ตั้งฉากกับแนวมองทั้ง 3 จุด คือ C1 (กล้องหลังประตู) C2 (ผู้เล่นที่จุดกลางสนาม) และ C3 (กล้องที่มุมสนาม) จะมีความสว่างเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 654 ลักซ์ 683 ลักซ์ และ 761 ลักซ์ โดยมีความสม่ำเสมอ U1 เป็น 0.42, 0.34 และ 0.2 และ ความสม่ำเสมอ U0 เป็น 0.55, 0.64 และ 0.4 ตามลำดับ ซึ่งไม่ผ่านเงื่อนไขของการให้แสง
- ค. ระดับแสงจ้าสูงสุดที่มองเห็นจากจุดสังเกตการณ์ทั้ง 3 จุด จะเป็น 13.4, 14.8 และ 14.9 ผ่านเงื่อนไขของการให้แสง
- ง. ตัวอย่างการคำนวณนี้ไม่ผ่านเงื่อนไขของการให้แสงในเรื่อง E_{TV} ออกแบบจะต้องเพิ่มจำนวนดวงโคม ปรับจุดตั้งโคม หรือเปลี่ยนชนิดของดวงโคมแล้วตรวจสอบเงื่อนไขการให้แสงใหม่จนกว่าจะผ่านเงื่อนไขทุกรายการ

5. สรุป

บทความนี้ต้องการแสดงให้เห็นว่า การให้แสงสว่างที่ดี ต้องตรวจสอบคุณภาพของการให้แสงทั้งระดับความสว่างที่ต้องการใช้ ความสม่ำเสมอของความสว่าง และที่สำคัญคือปริมาณแสงจ้าที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อการมองเห็น นอกจากนี้ได้นำเสนอการพิจารณาของวัตถุที่เกิดจากการให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเงาที่เกิดขึ้นอาจจะมีผลต่อทัศนียภาพในการมองเห็น ผู้เขียนจึงได้พัฒนาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการตรวจสอบ โดยใช้ข้อมูลของดวงโคม(Floodlight) ได้ทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบมุม H-V และระบบมุม C-γ

6. เอกสารอ้างอิง

1. อุดม จงศักดิ์สวัสดิ์, 2534, การออกแบบเหมาะที่สุดสำหรับการส่องสว่างพื้นที่, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. มานพ รุจิภากร, 2538, การใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณและการจำลองความสว่างภายในอาคาร, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
3. Lighting Manual, 5th edition, Philips lighting, 1993.
4. International Commission on Illumination, "Technical Report : Guide for the Lighting of Sports events for colour television and film systems", CIE Publication No. 83, 2nd ed. 1989.
5. General Association of International Sports Federations European Broadcasting Union and Philips Lighting B.V., "Guide to the artificial lighting of multipurpose indoor sports venues" 1992.
6. CIE Technical Report, "Glare evaluation system for use within outdoor sports and area lighting" TC 5-04 6th draft, December 1992.

ข้อมูลการกระจายแสงของโคมฉาย

Lamp Lumen : 10000

V H	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	8	8	8	8	8	5	5	3	3	3	0
-75	32	32	32	29	24	21	16	11	5	3	0
-65	88	88	75	61	51	40	29	19	11	0	0
-55	483	598	518	368	168	69	45	29	13	3	0
-45	1107	1307	1187	976	611	261	69	37	19	3	0
-35	2041	2102	1814	1443	1089	611	173	48	24	5	0
-25	3690	3626	3034	2129	1417	947	333	59	27	5	0
-15	5029	4962	4392	3170	1817	1150	480	67	29	8	0
-5	6531	6382	5517	4133	2265	1350	598	88	35	8	0
0	7044	6782	5856	4381	2407	1395	638	91	35	11	0
5	6531	6382	5517	4133	2265	1350	598	88	35	8	0
15	5029	4962	4392	3170	1817	1150	480	67	29	8	0
25	3690	3626	3034	2129	1417	947	333	59	27	5	0
35	2041	2102	1814	1443	1089	611	173	48	24	5	0
45	1107	1307	1187	976	611	261	69	37	19	3	0
55	483	598	518	368	168	69	45	29	13	3	0
65	88	88	75	61	51	40	29	19	11	0	0
75	32	32	32	29	24	21	16	11	5	3	0
85	8	8	8	8	8	5	5	3	3	3	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0