การตรวจวัดความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยแบบพื้นที่

Average Illuminance of Area Measurement

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ วศ.ด. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ในการประเมินความเข้มแสงสว่างเฉลี่ย (average illuminance) บริเวณพื้นที่ทั่วไปภายในสถานประกอบกิจการ และบริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ลูกจ้างทำงานว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่นั้น มีวิธีการตรวจวัดที่กำหนดไว้ในแนวปฏิบัติตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 อยู่ 2 วิธีคือ

1) การแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 x 2 ตารางเมตร

2) การวัดแสงในจุดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีแสงตกกระทบในลักษณะเดียวกันตามวิธีการวัดแสงและการคำนวณค่าเฉลี่ยของ IES Lighting Handbook 1981 (reference volume) หรือเทียบเท่า

วิธีการตรวจวัดและคำนวณความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยตามวิธีของ IES Lighting Handbook เป็นวิธีการที่ได้รับการอ้างอิงมานาน ใน Edition ล่าสุด (10^{th} ed. 2011) ก็ยังใช้วิธีการดังกล่าวอยู่ แต่ถ้าตามไปอ่านดูแล้ว คิดว่าหลายท่านน่าจะมีคำถามเหมือนผู้เขียนถึงที่มาของตัวเลขและสมการที่ใช้ในการคำนวณว่า ทำไมในแนวปฏิบัติฯ กำหนดขนาด grid เป็น 2 x 2 ตารางเมตร พจน์ N - 1 และ M - 1 ในสมการมาจากไหน จำนวนหลอดไฟต่อแถวและจำนวนแถวนับอย่างไร ฯลฯ

ในที่นี้จึงนำหลักการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายวิธีการคำนวณความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยดังกล่าว ซึ่งอาจจะช่วยตอบคำถามในบางประเด็นที่มีความสำคัญต่อการดำเนินการตรวจวัดที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตาม หากผู้อ่านมีข้อสังเกตหรือข้อคิดเห็นที่แตกต่างในประเด็นใด ก็ยินดีรับฟังเพื่อจะได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในเชิงวิชาการต่อไป

1. การแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 x 2 ตารางเมตร

วิธีการนี้จะแบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม (grid) ขนาด 2 x 2 ตารางเมตร และวัดความเข้มแสงสว่าง ณ จุดกึ่งกลางของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่แบ่งไว้ แล้วนำค่าที่วัดได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันจะพบว่า วิธีการตรวจวัดในแนวปฏิบัติฯ นั้นจะแบ่ง grid ขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ใน IES Lighting Handbook และไม่ได้ระบุเงื่อนไขในการตรวจวัดใดๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยโดยวิธีแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม (grid)

มาตรฐาน	วิธีการแบ่งพื้นที่สี่เหลี่ยม	จุดตรวจวัด
แนวปฏิบัติตามกฎกระทรวงฯ	แบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นพื้นที่ (grid) ขนาด 2 x 2 ตารางเมตร	จุดกึ่งกลางของพื้นที่ (grid) ที่แบ่งไว้
IES Lighting Handbook	แบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นพื้นที่ (grid) ขนาด 0.6 m (2 ft) x 0.6 m (2 ft) และแบ่ง grid ขนาดเล็กลง เมื่อพื้นที่นั้นมีสิ่งกีดขวาง (obstructed) ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม (lack orthogonal geometry) และมีความเข้มแสงสว่างไม่สม่ำเสมอ (highly nonuniform illumination)	จุดกึ่งกลางของพื้นที่ (grid) ที่แบ่งไว้
CIBSE Code for Interior Lighting 1994	แบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นพื้นที่ (grid) ขนาดเท่าๆ กัน โดยไม่ระบุขนาดของ grid แต่กำหนดเป็นจำนวนจุดตรวจวัดขั้นต่ำที่สัมพันธ์กับค่าที่คำนวณได้จากความกว้าง ความยาว และความสูงของห้อง หรือ Room Index (k) **Room Index (k)** — **จำนวนจุดตรวจวัด** k < 1 — 9 1 ≤ k < 2 — 16 2 ≤ k < 3 — 25 3 ≤ k — 36	จุดกึ่งกลางของพื้นที่ (grid) ที่แบ่งไว้
JIS C 7612-1985: Illuminance Measurement for lighting installation	ระบุให้พิจารณาขนาดของ grid ตามความสม่ำเสมอของความเข้มแสงสว่างในพื้นที่นั้นๆ กล่าวคือ ให้แบ่ง grid ขนาดเล็กเมื่อมีความสม่ำเสมอน้อยและแบ่ง grid ขนาดใหญ่เมื่อมีความสม่ำเสมอมาก ทั้งนี้ควรมีจุดตรวจวัดประมาณ 10 - 50 จุด	วัด ณ จุดตัดของ grid ที่แบ่งไว้ แล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย $E = \frac{1}{4}\ (E_1+E_2+E_3+E_4)$

ตามหลักการทางสถิติแล้ว ค่าที่ตรวจวัดได้ในแต่ละ grid จะสามารถนำไปใช้ประมาณค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสว่างทั่วทั้งพื้นที่ได้ถูกต้องเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่สำคัญ 2 ประการคือ

1.1 ภายในพื้นที่สี่เหลี่ยม (grid) ต้องมีความเข้มแสงสว่างสม่ำเสมอ (uniform)

หากความเข้มแสงสว่างสม่ำเสมอจะทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้ใกล้เคียงกับความเข้มแสงสว่างทั่วทั้งพื้นที่ (grid) นั้นๆ มาก โดยทั่วไปแล้ว ถ้าแบ่งพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเล็กลงก็จะเพิ่มโอกาสที่จะมีความเข้มแสงสว่างสม่ำเสมอมากขึ้น แต่ก็เป็นการเพิ่มจำนวนจุดตรวจวัดเช่นกัน

ดังนั้น นอกจากจะกำหนดขนาดหรือจำนวน grid ขั้นต่ำไว้ บางมาตรฐานจึงให้พิจารณาความสม่ำเสมอ (uniform) ของความเข้มแสงสว่างในพื้นที่นั้นๆ เพิ่มเติมด้วย ถ้าพบว่ามีความไม่สม่ำเสมอก็จำเป็นต้องปรับลดขนาดของ grid หรือเพิ่มจำนวน grid ในบริเวณนั้น

1.2 ข้อมูลมีการกระจายปกติ

ตามหลักการคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตแล้ว ข้อมูลจะต้องมีการกระจายปกติจึงจะได้คำตอบที่มีความถูกต้อง ดังนั้น เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดจากการที่จุดตรวจวัดไปอยู่ในตำแหน่งใต้หลอดไฟหมด (ทำให้ผลการตรวจวัดสูงกว่าความเป็นจริง) หรืออยู่ในตำแหน่งที่ไกลจากหลอดไฟหมด (ทำให้ผลการตรวจวัดต่ำกว่าความเป็นจริง) ผู้ประเมินจำเป็นต้องพิจารณากำหนดจุดตรวจวัดที่เหมาะสมไม่ให้อยู่ในแนวเดียวกับระยะห่างของหลอดไฟ โดยอาจพิจารณาดำเนินการแก้ไขดังนี้เช่น

1) ปรับเฉพาะ grid ที่อยู่แนวริมผนังให้เล็กลงกว่าขนาด grid ที่อยู่ด้านใน เพื่อเลื่อนแนวจุดตรวจวัดไม่ให้ซ้ำกับระบบการติดตั้งหลอดไฟ

2) ปรับลดขนาด grid ทั้งหมดลง เพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของความเข้มแสงสว่างในแต่ละ grid และเพิ่มการกระจายของข้อมูลให้มากขึ้น

3) เพิ่มจำนวนจุดตรวจวัดในแต่ละ grid ให้มากขึ้น โดยอาจกระจายจุดตรวจวัดไปที่มุมทั้งสี่ หรือตามแนวแกน x และแกน y แล้วหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ เป็นตัวแทนความเข้มแสงสว่างใน grid นั้นๆ (แทนการวัดแค่ตำแหน่งเดียว)

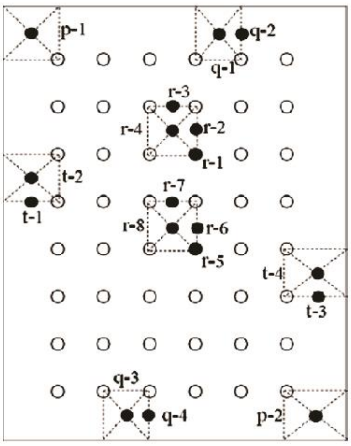
2. การวัดแสงในจุดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีแสงตกกระทบในลักษณะเดียวกันตามวิธีการวัดแสง และการคำนวณค่าเฉลี่ย ของ IES Lighting Handbook 1981 (Reference Volume) หรือเทียบเท่า

การตรวจวัดในลักษณะนี้จะช่วยให้จำนวนจุดตรวจวัดน้อยลงได้ โดยเลือกวัดแสงในจุดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีแสงตกกระทบในลักษณะเดียวกัน

2.1 หลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนมากกว่า 2 แถว (Symmetrically Spaced Luminaires in Two or More Rows)

จุดตรวจวัดความเข้มแสงสว่างของรูปแบบการติดตั้งหลอดไฟลักษณะนี้ แสดงได้ดังภาพที่ 1 จากนั้นนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยได้ตามสมการที่ 1

$$\text{ความเข้มแสงสว่างเฉลี่ย} = \frac{R(N-1)(M-1)+Q(N-1)+T(M-1)+P}{NM} \quad (1)$$



เมื่อ

R = ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสว่างที่อ่านได้บริเวณส่วนในและกลางห้อง (typical inner bay and centrally bay) ในตำแหน่ง r-1 ถึง r-8

Q = ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสว่างที่อ่านได้บริเวณกึ่งกลางขอบหัว-ท้ายห้อง (two typical half bays on each end of room) ในตำแหน่ง q-1 ถึง q-4

T = ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสว่างที่อ่านได้บริเวณกึ่งกลางขอบข้างห้อง (twotypical half bays on each side of room) ในตำแหน่ง t-1 ถึง t-4

P = ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงสว่างที่อ่านได้บริเวณมุมห้องในตำแหน่ง p-1, p-2

N = จำนวนหลอดไฟต่อแถว

M = จำนวนแถวของหลอดไฟ

ภาพที่ 1 หลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนมากกว่า 2 แถว

เมื่อพิจารณาจุดตรวจวัดความเข้มแสงสว่างในภาพที่ 1 จะพบว่ามีข้อสังเกตในการกำหนดตำแหน่งจุดตรวจวัดในจุดต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จุดตรวจวัดกรณีหลอดไฟมีระยะห่างระหว่างหลอดเท่ากันและมีจำนวนมากกว่า 2 แถว

ตำหน่ง	ข้อสังเกต
บริเวณส่วนใน (R) ตำแหน่งจุดตรวจวัดบริเวณกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประ 2 กรอบ เป็นการสุ่มตัวอย่างจำนวน 2 ซ้ำ โดยตำแหน่ง r-1 ถึง r-4 มีลักษณะซ้ำกับ r-5 ถึง r-8 ดังนี้	
r-1 และ r-5	อยู่ในตำแหน่งใต้หลอดไฟ (หลอดใดก็ได้ในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประ)
r-2 และ r-6	อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างแถว (ด้านซ้ายหรือด้านขวาของกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประ)
r-3 และ r-7	อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างหลอด (ด้านบนหรือด้านล่างของกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประ)
r-4 และ r-8	อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างหลอดไฟทั้ง 4 หลอดในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประ
บริเวณกึ่งกลางขอบหัว-ท้ายห้อง (Q) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนความเข้มแสงสว่างบริเวณขอบหัวห้องหรือขอบบน (ตำแหน่ง q-1 และ q-2) และบริเวณขอบท้ายห้องหรือขอบล่าง (ตำแหน่ง q-3 และ q-4) บริเวณละ 2 ตำแหน่งที่มีลักษณะเหมือนกัน ดังนี้	
q-2 และ q-4	อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับแนวหลอดไฟ (หลอดใดก็ได้ที่อยู่บริเวณขอบหัว-ท้ายห้อง)
q-1 และ q-3	อยู่ในตำแหน่งระหว่างหลอดไฟ (ด้านซ้ายหรือด้านขวาของตำแหน่ง q_2, q_4 ก็ได้)
บริเวณกึ่งกลางขอบข้างห้อง (T) เป็นการสุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนความเข้มแสงสว่างบริเวณขอบข้างห้องด้านซ้าย (ตำแหน่ง t-1 และ t-2) และบริเวณขอบข้างห้องด้านขวา (ตำแหน่ง t-3 และ t-4) โดยมีการกำหนดตำแหน่งจุดตรวจวัดในลักษณะเดียวกับบริเวณกึ่งกลางขอบหัว-ท้ายห้อง	
t-1 และ t-3	อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับแนวหลอดไฟ (หลอดใดก็ได้ที่อยู่บริเวณขอบข้างห้อง)
t-2 และ t-4	อยู่ในตำแหน่งระหว่างหลอดไฟ (ด้านบนหรือด้านล่างของตำแหน่ง t_1, t_4 ก็ได้)
บริเวณมุมห้อง (P) ในการกำหนดจุดตรวจวัดควรจะต้องเป็นจุดตรวจวัดที่อยู่ในแนวทะแยงมุม แต่อาจจะเป็นแนวทะแยงซ้ายหรือขวาก็ได้ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (P) ก็จะได้ค่าที่เป็นตัวแทนความเข้มแสงสว่างบริเวณมุมห้องครบทั้ง 4 ด้าน (บน ล่าง ซ้าย ขวา)	
p-1	เป็นตัวแทนของมุมห้องด้านบนและด้านซ้าย
P-2	เป็นตัวแทนของมุมห้องด้านขวาและด้านล่าง

สำหรับวิธีการคำนวณความเข้มแสงสว่างเฉลี่ยซึ่งมีรายละเอียดค่อนข้างเยอะนั้น ไม่สามารถนำเสนอในฉบับนี้ได้หมด ดังนั้น จึงขอยกไปกล่าวไว้ในฉบับต่อไป

เอกสารอ้างอิง

วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์ (2550) ร่างมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานการตรวจวัดแสงสว่างในสิ่งแวดล้อมการทำงาน. สมาคมอาชีวอนามัยและความปลอดภัย และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ค้นคืนวันที่ 5 มีนาคม 2556 จาก http://www.ohswa.net/

สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (2549) *แนวปฏิบัติตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง.*

Boyce, P. and Raynham, P. (2009). *The SLL Lighting Handbook. The Society of Light and Lighting*.

Carter, D.J., Sexton, R.C. and Miller, M.S. (1989). Field Measurement of Illuminance. *Lighting Research and Technology*, 21 (1), 29 - 35.

Chartered Institute of Building Service Engineers. *Working Plane Illuminance in Electrically Lit Spaces*. Retrieved Mar. 11, 2013, from http://www.cibse.org/docs/factf3.doc.

DiLaura, D., Steffy, G., Houser, K. and Mistrick, R. (2011). *The IES Lighting Handbook*. 10th ed. Illuminating Engineering Society of North America.

Health and Safety Executive. (1997). *Lighting at Work*. Retrieved Mar. 5, 2013, from http://www.hse.gov.uk.

Japanese Industrial Standard Committee. (1968). *Illuminance Measurements for Lighting Installations*. JIS C 7612 Japan: Japanese Standards Association.

Lindsey, J.L. (1991). *Applied Illumination Engineering*. U.S.: The Fairmont Press, Inc.

Occupational Safety and Health Branch Labour Department. (2008). *Lighting Assessment in the Workplace*. Retrieved Mar. 5, 2013, from http://www.labour.gov.hk.

Simons, R.H. and Bean, A.R. (2001). *Lighting Engineering: Applied calculations*. Great Britain: MPG Books, Ltd.