หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

แกลร์

5.1 หลักการพื้นฐานในการควบคุมแกลร์

5.1.1 ธรรมชาติของแกลร์

คำว่า แกลร์ (Glare) ซีไออี ได้นิยามไว้ว่า เป็นสภาวะการมองเห็นที่มองแล้วเกิดความไม่สบายตา และ/หรือ เป็นตัวที่ลดความสามารถในการมองเห็นลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการให้ความส่องสว่าง (Luminance) ไม่เหมาะสม หรือการมองที่มี Contrast มากเกินไป

แกลร์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Discomfort Glare หมายถึง แกลร์ที่มีผลทำให้การมองเห็นไม่สบายตา แต่ยังสามารถมองเห็นได้ หากมีการใช้สายตาในสถานที่ซึ่งมีแกลร์ประเภทนี้เป็นเวลานาน ๆ ความรู้สึกไม่สบายตาจะมีความรุนแรงขึ้นจนสามารถก่อให้เกิดความเครียดทางประสาท และความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อตาได้

2. Disability Glare หมายถึง แกลร์ที่ทำให้ความสามารถในการมองเห็นลดลง แต่ไม่จำเป็นว่าจะต้องทำให้ไม่สบายตา

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แม้ว่าแกลร์ทั้ง 2 ประเภทนี้อาจเกิดร่วมกันได้ แต่แกลร์ทั้ง 2 ประเภทนี้มีลักษณะต่างกันที่ค่อนข้างเห็นได้ชัด กล่าวคือ Disability Glare จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงที่ส่องเข้าสู่ตาผู้มอง และส่วนใหญ่จะไม่ขึ้นกับความส่องสว่าง (Luminance) ของแหล่งกำเนิดแสง สำหรับ Discomfort Glare นั้น จะขึ้นอยู่กับความส่องสว่างของแหล่ง

กำเนิดแสงเป็นสำคัญ นอกจากนี้แล้ว Disability Glare นั้นจะไม่ขึ้นกับเวลา แต่ Discomfort Glare นั้นจะมากขึ้นถ้าใช้สายตาในห้องนั้นเป็นเวลานาน ๆ

นอกจากเราจะแบ่งแกลร์ตามผลที่เกิดขึ้นแล้ว เราอาจแบ่งออกตามลักษณะของแสงที่ส่องเข้าสู่ตาได้เป็น 2 อย่าง คือ

1. แกลร์โดยตรง (Direct Glare) เป็นแกลร์ที่เกิดขึ้นจากความส่องสว่างของหลอดไฟหรือโคมไฟที่ส่องเข้าสู่ตาโดยตรง

2. แกลร์สะท้อน (Reflected Glare) เป็นแกลร์ที่เกิดจากความส่องสว่างที่สะท้อนมาจากพื้นผิวใด ๆ ที่ไม่ใช่องค์ประกอบของโคมไฟ ซึ่งโดยมากเป็นผิวที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง และให้แสงสะท้อนเดินมาในทิศทางเดียว เช่น ผิวโลหะที่เป็นเงามัน เป็นต้น

ในการควบคุมแกลร์ที่เกิดขึ้นจากหลอดไฟและโคมไฟ เรามักจะคำนึงถึงเฉพาะ Discomfort Glare เท่านั้น เนื่องจาก Discomfort Glare มีความสำคัญมากกว่า Disability Glare และโดยปกติ ถ้าเราสามารถควบคุม Discomfort Glare ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้ว Disability Glare ก็จะไม่เกินค่าที่จะยอมรับได้เช่นกัน ดังนั้นคำว่าแกลร์ที่จะกล่าวต่อไปในบทนี้จะหมายถึง Discomfort Glare ยกเว้นจะกำหนดเป็นอย่างอื่น และจะคำนึงถึงเฉพาะแกลร์โดยตรงเท่านั้น

5.1.2 แฟกเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการควบคุม Discomfort Glare

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า Discomfort Glare ที่เกิดจากโคมไฟโคมหนึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลัก 4 ตัว ดังนี้

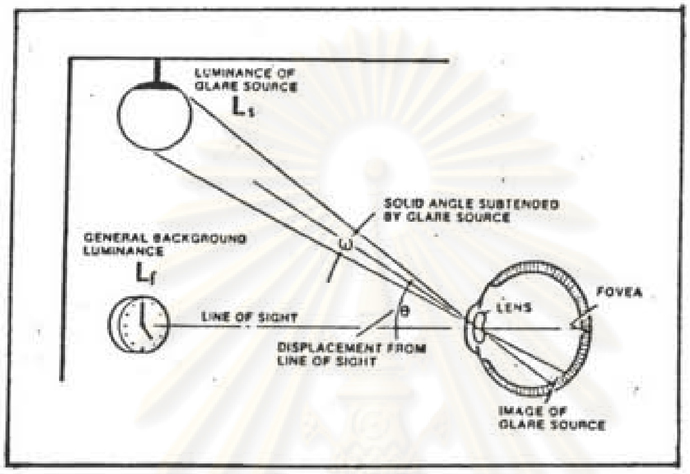
1. L_s คือ ความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางจากแหล่งกำเนิดแสงพุ่งเข้าสู่ดวงตาของผู้สังเกต

2. W คือ มุมเชิงของแข็ง (Solid Angle) ของแหล่งกำเนิดแสงในทิศทางการมองของผู้สังเกต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. θ คือ การขจัดเชิงมุม (Angular Displacement) ของแหล่งกำเนิดแสง วัดจากแนวมอง (Line of Sight)

4. L_f คือ ความส่องสว่างของบริเวณที่มอง (Field Luminance) ซึ่งมีผลต่อการปรับตัวของดวงตาต่อความส่องสว่างที่มองเห็น



รูปที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อ Discomfort Glare

ปกติ Discomfort Glare จะเริ่มมีผลเมื่อ L_s มีค่าเกิน 500-700 cd/m^2 ขึ้นไป

ความรู้สึกไม่สบายตาในการมองของผู้สังเกต สามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ 4 ตัวดังกล่าว ดังนี้

$$G = (L_s^{a} \,.\, W^{b}) \,/\, (L_f^{c} \,.\, f(\theta)) \qquad (5.1)$$

เมื่อ G = ค่าคงที่แกลร์ (Glare Constant)

a,b,c = ค่าคงที่ เรียกว่า Weighting Components

f(θ) = ฟังก์ชั่นของการขจัดเชิงมุม

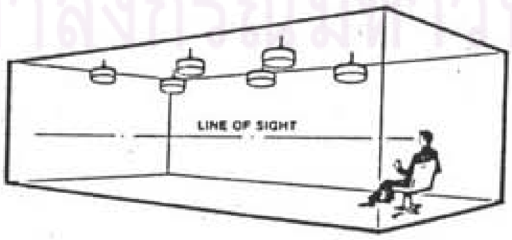
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ ฮอบกินสัน (Hopkinson) ถ้าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัว อยู่ในหน่วยที่เหมาะสม และใช้ Weighting Components ตามที่เขาได้คำนวณไว้ พบว่าความรู้สึกไม่สบายตา สามารถแสดงเป็นตัวเลขของค่าคงที่แกลร์ (Glare Constant) ดังในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความรู้สึกไม่สบายตาเพิ่มจากขั้นหนึ่งไปสู่อีกขั้นหนึ่ง ค่าคงที่แกลร์จะเพิ่มเป็น 4 เท่าของเดิมโดยประมาณ ดังในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Glare Constant กับความรู้สึกของผู้สังเกต

Criterion of Discomfort Glare	Glare Constant
Just intolerable	600
Just uncomfortable.............	150
Just acceptable	35
Just perceptible	8

เมื่อใช้สมการ (5.1) สำหรับโคมไฟทั้งหมดที่ติดตั้งในห้อง (Complete Installation) ค่า G จะเป็นผลรวมของค่า G ของโคมไฟทุก ๆ โคมในห้องนั้น โดยตำแหน่งของผู้สังเกตอยู่ที่กึ่งกลางของฝาผนังห้องด้านหนึ่ง และแนวการมองอยู่ในแนวระดับและตั้งฉากกับฝาผนังด้านตรงข้าม ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ตำแหน่งของผู้สังเกตและแนวมอง (Line of Sight)

นอกจากนี้ จากการศึกษาของ ไอน์ฮอร์น (Einhorn) แสดงให้เห็นว่าสมการของค่า G ในสมการที่ (5.1) สามารถทำให้ง่ายเข้าโดยปรับ Weighting Factors a และ c ให้เหมาะสม เพื่อทำให้ b มีค่าเป็น 1

ในอดีตที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาเพื่อหาสูตรของค่าแกลร์ที่เหมาะสมมากมาย แต่มีปัญหาในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีต่าง ๆ ทำได้ยากเพราะแต่ละวิธีก็มีการคำนวณแตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Holladays ได้ศึกษาการปรับตัวของผู้สังเกตเมื่อเปลี่ยนระดับความส่องสว่างจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งอย่างกะทันหัน ซึ่งเรียกว่า Shock Effect การศึกษาของ Guth ได้พยายามหาสมการของค่าคงที่แกลร์โดยใช้ Brief Exposure Method ส่วน Hopkinson ได้ศึกษาโดยใช้หลักของ Continuous exposure คือให้เวลาแก่ผู้สังเกตเพื่อปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของความส่องสว่าง

ผลจากการทดลองของ Holladays ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความส่องสว่าง (L_s) มาก แต่พื้นที่เรืองแสง (W) มีค่าน้อย ได้ผลสรุปเป็นสมการ

$$\text{Glare Constant} = (L_s^{1.3} W^{1.0})/L_f^{1.0} \qquad (5.2)$$

ส่วนการทดลองของ Hopkinson ได้ใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความส่องสว่าง (Ls) น้อย แต่พื้นที่เรืองแสง (W) มีค่ามาก ได้ผลสรุปดังนี้

$$\text{Glare Constant} = (L_s^{1.6} W^{0.8})/L_f^{1.0} \qquad (5.3)$$

Hopkinson ให้ข้อเสนอแนะว่า ผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 คือสมการ (5.2) และ (5.3) นั้น กำลังของ L_s จะมากขึ้นถ้า W มีค่ามากขึ้น และในทางตรงข้าม กำลังของ W จะลดลง ถ้าค่าของ L_s มากขึ้น

ส่วน Einhorn ได้เสนอแนะว่า กำลังของ L_m ควรจะเท่ากับ 2 และกำลังของ W ควรเป็น 1 โดยใช้ความรู้เกี่ยวกับการควบคุมแกลร์เท่าที่มีอยู่ในขณะนั้น ร่วมกับการสังเกตเพื่อหาสูตรการคำนวณค่าคงที่แกลร์ที่เหมาะสม

5.1.3 วิธีการควบคุมแกลร์

เมื่อความส่องสว่างของหลอดเปลือยมีค่าเกินลิมิตที่ยอมรับได้ จะต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้มีแกลร์มากเกินไป วิธีในการควบคุมแกลร์มี 3 วิธี คือ

1. ใช้ตัวกระจายแสงโปร่งแสง (Translucent Diffusers)
2. ใช้ Prismatic Panels
3. ใช้บานเกล็ด (Louvres)

ในบางครั้งอาจใช้ร่วมกัน เช่น ใช้บานเกล็ดที่ทำด้วยสารโปร่งแสง และเพื่อความสะดวกจะแยกประเภทของการกระจายความส่องสว่างของโคมไฟที่ใช้วิธีการควบคุม 3 วิธีดังกล่าว ออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. การกระจายความส่องสว่างคงที่ (Constant Distribution)
2. การกระจายความส่องสว่างไม่คงที่ (Non-Constant Distribution)
3. การกระจายความส่องสว่างแบบ Cut-off

ศูนย์วิทยทรัพยากร

5.1.3.1 การกระจายความส่องสว่างคงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับโคมไฟที่ใช้ตัวกระจายแสงเป็นพลาสติกหรือกระจกปิดอยู่ทางด้านล่างของโคมไฟ โดยปกติจะมีความส่องสว่างที่มุมต่าง ๆ ไม่เกิน 15 kcd/m^2 และพบว่าการกระจายความส่องสว่างในช่วงมุมวิกฤติมีลักษณะค่อนข้างคงที่ (ช่วงมุมวิกฤต คือช่วงที่ θ ตั้งแต่ 0° ถึง 45° หรือ γ ตั้งแต่ 45° ถึง 90°) ดังนั้นจึงสามารถหาขีดจำกัดของความส่องสว่าง (Luminance Limit) L_m ของโคมไฟได้ โดยจัดรูปสมการ (5.1) เสียใหม่ดังนี้

$$L_a = [(G.L_f^{c}.f(\theta))/W^b]^{(1/a)} \qquad (5.4)$$

แต่ในทางปฏิบัติจริงในการออกแบบ การใช้สมการ (5.1) และ (5.4) มีความยุ่งยาก ดังนั้นจึงเปลี่ยนข้อมูลที่มีให้อยู่ในรูปของ Pre-calculated data ซึ่งวิธีนี้ใช้ครั้งแรกใน Australian Standard, Code for the Artificial Lighting of Buildings โดยใช้สูตรที่พัฒนาโดย Harrison และ Meaker การสร้างเป็นตารางเช่นนี้มีผลดีคือ ผู้ใช้ไม่ต้องคำนวณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโคมไฟเลย เพียงแต่พิจารณามิติของห้องและการจัดเรียงโคมไฟเท่านั้น

5.1.3.2 การกระจายความส่องสว่างไม่คงที่

ในกรณีที่โคมไฟมีการกระจายแสงไม่คงที่ในช่วงมุมวิกฤต ซึ่งไม่สามารถจัดเป็นโคมไฟในแบบการกระจายความส่องสว่างคงที่ได้ ถ้าโคมไฟได้รับการออกแบบมาดี ความส่องสว่างที่มุม γ = 90° จะมีค่าน้อยกว่าความส่องสว่างที่มุม γ = 45° อยู่มาก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโคมไฟประเภทฝังเพดาน (Recessed Luminaire) รวมทั้งในกรณีที่ห้องใหญ่มาก ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะถ้าใช้โคมไฟแบบ cut-off จำนวนโคมไฟที่จะมีผลต่อแกลร์ว่าจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับการกระจายแสงของโคมไฟมากกว่าขนาดจริง ๆ ของห้อง และ Harrison และ Meaker ได้นำแนวความคิดอันนี้ไปพัฒนาเป็นตารางซึ่งคำนวณจากความรู้สึกไม่สบายตาที่เกิดขึ้นจากการใช้สายตาในห้องโดยผู้สังเกตอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของห้อง ดังที่แสดงในรูปที่ 5.2

ในกรณีที่โคมไฟเป็นแบบติดเพดาน (Surface Mounted Luminaire) ที่มีฝาครอบด้านล่างและมีตัวสะท้อนแสงอยู่ภายใน จะมีการกระจายแสงเป็นแบบไม่คงที่เช่นกัน

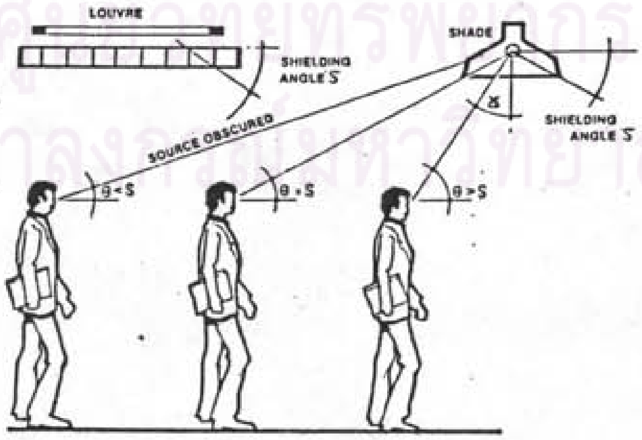
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3.3 การกระจายความส่องสว่างแบบ Cut-off

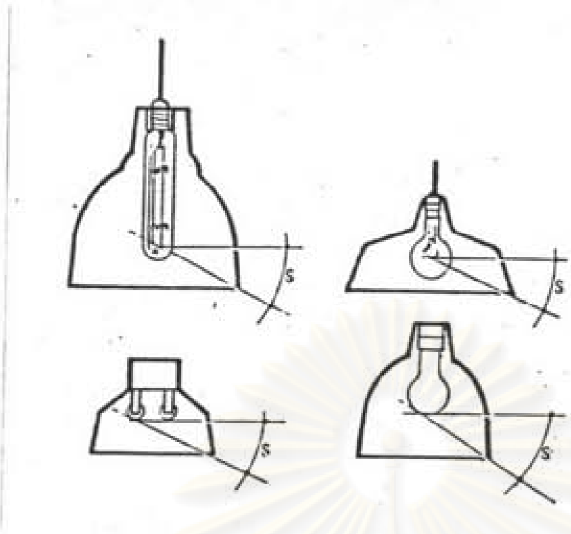
หลักการสำคัญของโคมไฟแบบนี้คือ การควบคุมแกลร์โดยการกั้นแสง ที่เรียกว่า Shielding จากรูปที่ 5.3 ถ้า θ มีค่าน้อยกว่า Shielding Angle S ผู้สังเกตจะมองไม่เห็นหลอดไฟเลย Shielding Angle ขึ้นอยู่กับลักษณะของโคมไฟ หลักการดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับสมมติฐาน 2 ข้อ คือ

1. โดยปกติแนวการมองของผู้สังเกตจะอยู่ต่ำกว่าแนวระดับ
2. หลอดไฟที่ให้ความสว่างมาก ๆ โดยปกติจะไม่ติดต่ำและไม่ใกล้กับศีรษะของผู้สังเกต

หลักการนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในทางปฏิบัติ รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการใช้งานของหลักการนี้ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าโคมไฟเป็นแบบ Cut-off แล้ว ความส่องสว่างของโคมไฟในส่วนที่ผู้สังเกตจะมองเห็นก็จะมีค่าต่ำ (ประมาณ 1 kcd/m^2 ในกรณีที่เป็นโคมไฟที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์) ดังนั้นระดับของแกลร์จะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดจริง ๆ ของห้อง และนอกจากนี้ถ้าโคมไฟมีการออกแบบบานเกล็ดที่เหมาะสมด้วยแล้ว จะทำให้ความส่องสว่างที่ผู้สังเกตจะมองเห็น จะมีค่าต่ำมากและต่ำกว่าค่า Threshold ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1.2



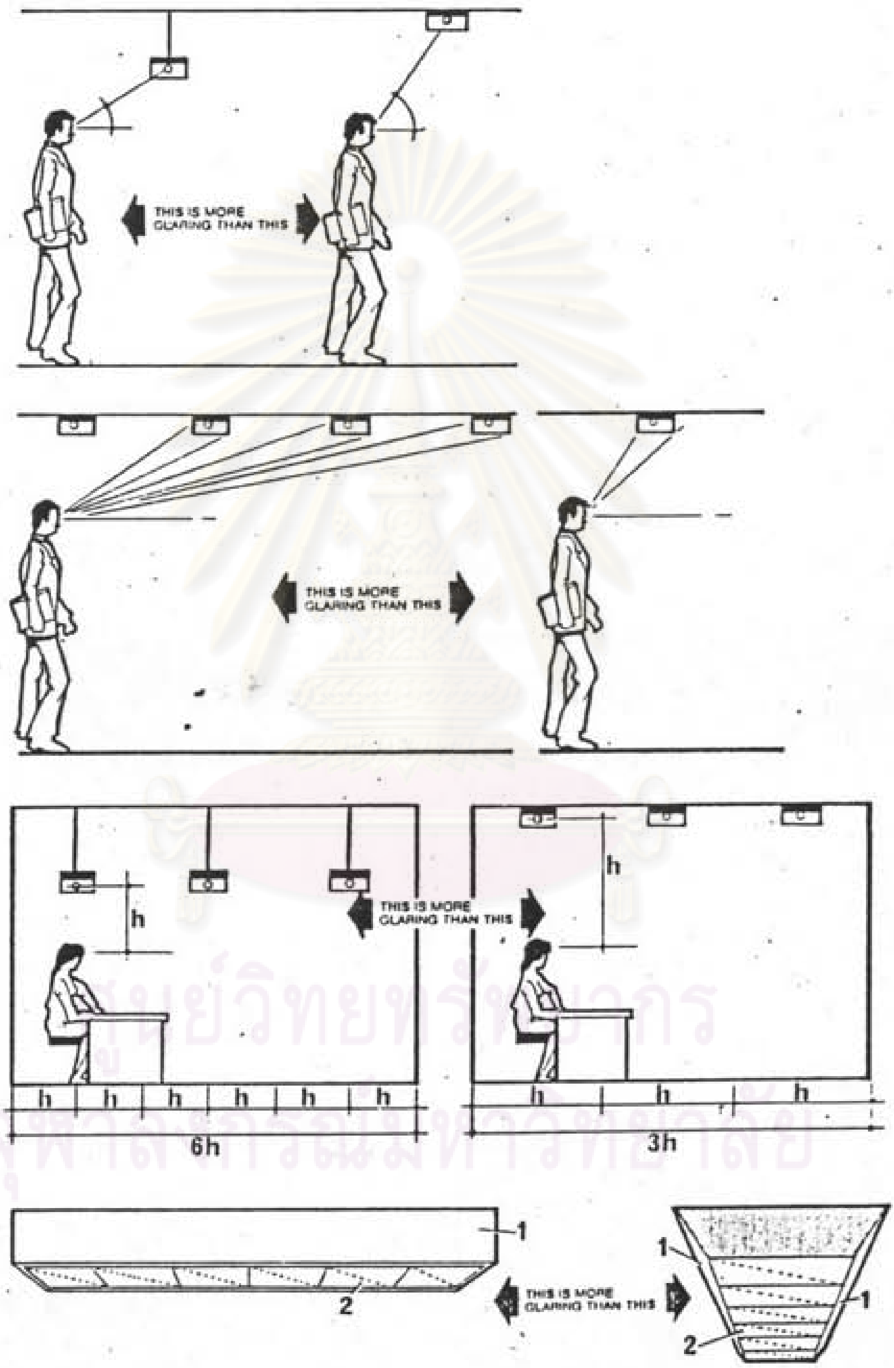
รูปที่ 5.3 หลักการของ Shilding Angle ถ้า θ < S ผู้สังเกตจะไม่เห็นหลอดไฟ



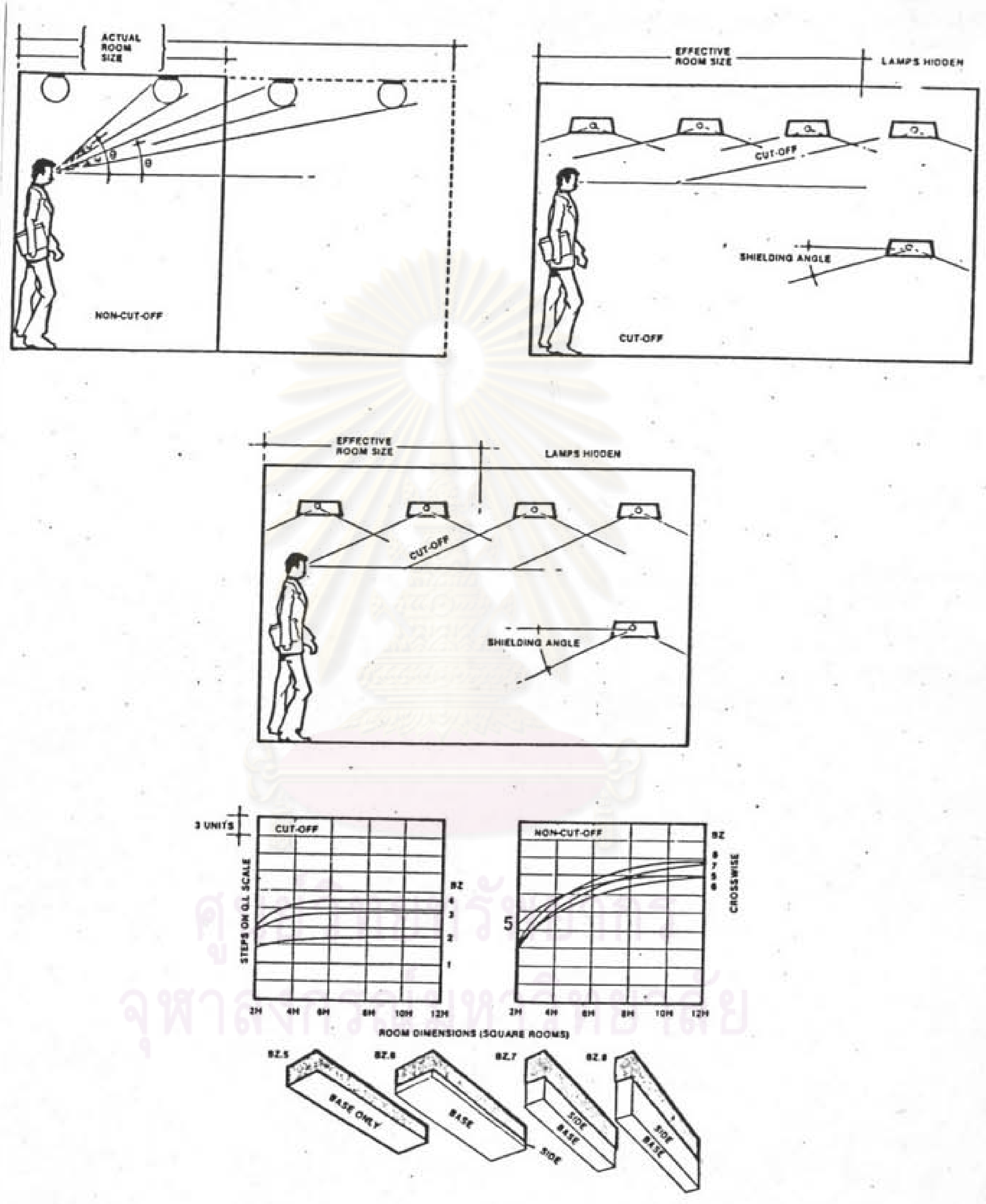
รูปที่ 5.4 การวัดมุมบัง (Shielding Angle S)

5.1.4 ระบบการควบคุมแกลร์ (Glare Control System)

ในการออกแบบระบบแสงสว่างภายในอาคาร มีวิธีอยู่หลายวิธีในการตรวจสอบว่าห้องนั้นมีแกลร์มากเกินไปหรือไม่ วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันคือ การหาดัชนีแกลร์ (Glare Index) (ซึ่งโดยปกติจะมีค่าเป็น 10 log G) ส่วนวิธีอื่น ๆ ที่ใช้ก็มีการกำหนดขีดจำกัดของความส่องสว่างของโคมไฟที่มุม γ ต่าง ๆ ในช่วงที่สนใจ ถ้าความส่องสว่างของโคมไฟมีค่าไม่เกินขีดจำกัด ก็แสดงว่าแกลร์จะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังมีวิธีที่เรียกว่า การกั้นแสง หรือ Shielding โดยกำหนดค่าต่ำสุดของระยะระหว่างโคมไฟกับพื้นที่ทำงาน (Mounting Height) และค่าสูงสุดของฟลักซ์ที่ได้จากหลอดไฟ (Lamp Lumen Output) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 ส่วนการใช้งานและประโยชน์ของแต่ละวิธีแสดงไว้ในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.5 ผลของพารามิเตอร์บางตัวที่มีต่อ Discomfort Glare



<u>รูปที่ 5.6</u> การควบคุมแกลร์โดยใช้โคมไฟแบบ Cut-off และ Non-cut-off

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.4.1 ระบบดัชนีแกลร์ (Glare Index System)

ระบบดัชนีแกลร์ เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบมากที่สุด เป็นการแสดงความรู้สึกไม่สบายตาออกมาในรูปตัวเลขดัชนีแกลร์ ถ้าตัวเลขดัชนีแกลร์มากแสดงว่ามีแกลร์มาก ถ้าตัวเลขดัชนีแกลร์น้อย แสดงว่ามีแกลร์น้อย การหาดัชนีแกลร์ขึ้นอยู่กับว่าใช้สูตรใดในการคำนวณและจากสูตรที่เราใช้คำนวณดัชนีแกลร์ เราสามารถพิจารณาดูได้ว่าควรจะเพิ่มหรือลดพารามิเตอร์ตัวใดในสูตรเพื่อให้มีดัชนีแกลร์น้อยลง นั่นคือเราสามารถควบคุมแกลร์ให้อยู่ในขีดจำกัดที่เราต้องการได้ อีกทั้งในปัจจุบันมีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ การคำนวณดัชนีแกลร์จึงหาได้สะดวกและรวดเร็วขึ้นกว่าแต่ก่อนมาก แต่อย่างไรก็ตามยังมีขีดจำกัดหรืออุปสรรคปัญหาในการใช้ดัชนีแกลร์อยู่บ้างคือ สูตรที่ใช้ในการคำนวณอาจแสดงในรูปของกราฟหรือตาราง การคำนวณจึงมีความยุ่งยากซับซ้อนอยู่ และจะต้องมีการจำกัดขอบเขตการติดตั้ง (Installation) ที่เราต้องการหาดัชนีแกลร์อยู่บ้าง แต่ก็มีแนวโน้มที่จะนำระบบดัชนีแกลร์นี้ไปใช้ใน Lighting Codes หรือ Design Handbooks ต่าง ๆ

5.1.4.2 ระบบจำกัดความส่องสว่าง (Luminance Limiting System)

ระบบนี้ใช้ได้ในกรณีที่โคมไฟมีการกระจายความส่องสว่างเป็นแบบการกระจายความส่องสว่างคงที่ (ดังได้อธิบายไว้ในข้อ 5.1.3.1) หลักการของระบบนี้คือ โดยใช้สมการ (5.4) เราสามารถหาค่า L_a ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีผลต่อค่าคงที่แกลร์ (Glare Constant) G โดยสัมพันธ์กับมิติของห้อง ระยะระหว่างโคมไฟกับพื้นที่ทำงาน (Mounting Height) เป็นต้น

นอกจากนี้เรายังสามารถปรับค่าของขีดจำกัดของความส่องสว่าง (Luminance Limit) เพื่อให้ได้ค่าคงที่แกลร์ G เหมาะสมกับคุณภาพของงาน ด้วยเหตุนี้ระบบจำกัดความส่องสว่างจึงมีความยืดหยุ่นในการใช้งานและมีความเที่ยงตรงเปรียบเทียบได้กับระบบดัชนีแกลร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในกรณีที่โคมไฟมีการกระจายความส่องสว่างไม่คงที่นั้น จะต้องมีการกำหนดช่วงของมุม γ ที่ต้องการจำกัดความส่องสว่างเพื่อไม่ให้มีแกลร์มากเกินไป (โดยปกติจะใช้ γ ในช่วง 45° ถึง 85° เท่านั้น) ดังนั้นเราสามารถตรวจสอบว่าโคมไฟใดจะมีแกลร์มากเกินไปหรือไม่ โดยพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการกระจายความส่องสว่างของโคมไฟที่จะทดสอบกับ Limitation Curve ถ้าหากว่าตลอดช่วง γ ที่กำหนด ค่าความส่องสว่างของโคมไฟต่ำกว่าของ Limitation Curve ก็แสดงว่าโคมนั้นจะมีค่าคงที่แกลร์ G ไม่เกินกว่าขีดจำกัดสำหรับคุณภาพของงานนั้น ๆ

สรุปแล้ว ทั้งผู้ผลิตโคมไฟและผู้ออกแบบต่างก็มีความสะดวกในการใช้ระบบจำกัดความส่องสว่างนี้ คือผู้ผลิตเพียงแต่ให้ข้อมูลของการกระจายความส่องสว่างในช่วงมุม γ ที่ใช้ (ปกติใช้ 45° ถึง 85°) ส่วนผู้ออกแบบก็เลือกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการติดตั้ง แล้วนำไปตรวจสอบกับ Limitation Curve ดังกล่าว เพื่อให้การติดตั้งนั้นมีค่าแกลร์อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

5.1.4.3 ระบบมุมกั้นแสง (Shielding Angle System)

ระบบนี้ใช้กันมากที่สุด และเป็นหลักสำคัญของการควบคุมแกลร์ของโคมไฟแบบ Cut-off โดยเฉพาะกับโคมไฟที่ใช้หลอดไฟที่ให้ฟลักซ์การส่องสว่างออกมามาก ๆ เช่น หลอด HID หรือหลอดประเภทมีไส้ที่มีวัตต์สูง ๆ ซึ่งในกรณีเหล่านี้ฟลักซ์การส่องส่างที่ได้มีความสำคัญมากกว่าความส่องสว่างของโคมไฟเสียอีก ระบบนี้ใช้ใน Australian Lighting Code มาเป็นเวลาหลายปี

5.1.5 การประเมิน Discomfort Glare โดยผู้สังเกต (Subjective Assessment of Discomfort Glare)

การศึกษาเกี่ยวกับเรื่องแกลร์ไม่ได้หยุดตรงที่การคำนวณค่าคงที่แกลร์ G เพราะการศึกษาจะสมบูรณ์ก็เมื่อทำการตีความค่าคงที่แกลร์ซึ่งเป็นตัวเลข ออกมาเป็นความรู้สึกของ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้สังเกตโดยเฉลี่ย

ความรู้สึกในการบอกถึงระดับความไม่สบายตาในการมองของแต่ละคนไม่เหมือนกัน เช่น บางคนอาจบอกว่าการติดตั้งนี้มีแกลร์ในระดับน้อยมาก ในขณะที่ผู้สังเกตคนอื่นอาจบอกว่ามีแกลร์ในระดับปานกลางก็เป็นได้ ดังนั้นจำนวนของผู้สังเกตต้องมากพอเพื่อความถูกต้องในเชิงสถิติ

วิธีการหา VCP โดย Guths ทำการทดลองโดยให้ผู้สังเกตตอบคำถามเพียงแต่ว่าการติดตั้งนั้นยอมรับได้หรือไม่ นั่นคือ พิจารณาที่ Boundary Between Comfort and Discomfort (BCD) แล้วนำจำนวนผู้สังเกตที่ตอบว่ายอมรับได้ทั้งหมดมาคิดเป็นเปอร์เซนต์ของผู้สังเกตทั้งหมดที่ถูกถาม ตัวเลขเปอร์เซนต์ดังกล่าวนี้คือ Visual Comfort Probability (VCP)

การตอบคำถามที่ว่าการติดตั้งนั้นยอมรับได้หรือไม่ดังกล่าว เป็นวิธีที่ตรงไปตรงมาและลดความยุ่งยากในอดีตที่เคยใช้เทคนิค Multiple Criteria แต่ข้อสำคัญวิธีของ Guths ต้องมีจำนวนผู้สังเกตมากพอเพื่อให้ได้ข้อมูลทางสถิติที่มีความเชื่อถือได้ เช่น ต้องใช้ผู้สังเกตจำนวนถึง 100 คน เป็นต้น

5.2 การศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้สูตรการหาแกลร์ที่เหมาะสม

5.2.1 Formula Based Systems

การศึกษาค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการหาสูตรของแกลร์ ได้กระทำมาเป็นเวลานานในหลาย ๆ ประเทศ ทั้งนี้เพื่อที่จะหาตัวยกกำลัง a, b และ c (ในสมการ (5.1)) ให้เหมาะสม แม้ว่าสมการที่ได้จากการวิจัยของแต่ละประเทศแตกต่างกันออกไป แต่ผลลัพธ์ที่ได้ค่อนข้างคล้ายคลึงกัน ซึ่งเราจะกล่าวถึงวิธีของประเทศต่าง ๆ โดยสรุปดังต่อไปนี้

(i) Guth (U.S.A.) มีสมการเป็น

$$M = (0.5L_sQ) / (PF^{0.44}) \tag{5.5}$$

เมื่อ $Q = 20.4\ W + 1.52\ W^{0.2} - 0.075$

L_s = ความส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง

F = ความส่องสว่างของบริเวณที่มอง (Field Luminance)

P = Position Index

W = มุมเชิงของแข็งของแหล่งกำเนิดแสง

ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดแสงหลายตัว จะหาในรูปของ Discomfort Glare Rating (DGR) ดังนี้

$$DGR = (\Sigma\ M)^a \tag{5.6}$$

เมื่อ a = ฟังก์ชั่นของจำนวนแหล่งกำเนิดแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อหา DGR ของการติดตั้งได้แล้ว ก็นำไปหา Visual Comfort Probability (VCP) ซึ่ง VCP นี้หมายถึงเปอร์เซนต์ที่ผู้สังเกตจะยอมรับว่าการจัดเรียงนั้นให้ความสบายตาหรือไม่ โดยพิจารณาที่ BCD (Border Line between Comfort and Discomfort)

(ii) The British System

ระบบนี้พัฒนามาจากสูตรของ Hopkinson และ Petherbridge และมีสมการดังนี้

$$G = (L_s^{1.6} W^{0.8}) / (L_b P^{1.6}) \tag{5.7}$$

เมื่อ L_b = ความส่องสว่างของบริเวณที่มอง (Background Luminance, cd/m^2)

ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดแสงหลายจุด จะหาในรูปของดัชนีแกลร์ (Glare Index, GI) ซึ่งมีสมการเป็น

$$GI = 10 \log \Sigma G \tag{5.8}$$

(iii) Czechoslovakia

Netusil ได้พัฒนาสมการขึ้นมาได้ผลดังนี้

$$S = (L_s W^{0.4}) / (PF^{0.5}) \tag{5.9}$$

และถ้าในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดแสงหลายจุด

$$S_t = (\Sigma S^2)^{0.5} \tag{5.10}$$

(iv) USSR

ได้ใช้สมการที่พัฒนาขึ้นโดย Yepaneshnikov ดังนี้

$$M = ((L_s{}^2 W) / (P^2 F))^{0.5} \tag{5.11}$$

ในการเปลี่ยนจากค่าคงที่แกลร์ให้เป็นดัชนีแกลร์มักมีความยุ่งยากซับซ้อน จึงต้องใช้คอมพิวเตอร์มาช่วย ในบางกรณีจึงพยายามทำให้การคำนวณง่ายเข้าโดยไม่คำนึงถึงตัวแปรที่ไม่ค่อยมีความสำคัญ หรืออีกวิธีอาจจะจัดหรือจำแนกระบบแสงสว่างออกเป็นประเภท (Class) ซึ่งอาจเป็นประเภทของโคมไฟ (Luminaire Class) หรือประเภทของการจัดเรียง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Installation Class) แล้วคำนวณข้อมูลของประเภทต่าง ๆ ออกมาในรูปของตาราง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีโดยไม่ต้องคำนวณอีก ซึ่งระบบที่ใช้วิธีนี้ได้แก่ ระบบ VCP ของอเมริกา และระบบ British Glare Index

5.2.2 ระบบจำกัดความส่องสว่าง (Luminance Limiting Systems)

หลักการของระบบนี้เช่นเดียวกับระบบกั้นแสง (Shielding System) เพราะมีหลักพื้นฐานอยู่ที่ลักษณะสมบัติของโคมไฟซึ่งสามารถวัดได้เช่นเดียวกัน ซึ่งแน่นอนจะง่ายกว่าการหาดัชนีแกลร์โดยตรง ซึ่งวิธีนี้เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดแม่นยำนัก ระบบการจำกัดความส่องสว่างนี้ได้มีการศึกษาพัฒนามาเป็นลำดับ ดังนี้

(i) เริ่มแรกใช้ใน Australian Standard ในปี 1957 และต่อมาได้ใช้ระบบที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นโดยพัฒนามาจาก Harrison and Meaker Glare Rating Table โดยเปลี่ยนจากข้อมูลที่ยึดความส่องสว่างเป็นหลัก มาเป็นข้อมูลที่ยึดเอา Glare Rating เป็นหลัก เดิมทีเดียวระบบนี้ใช้ได้กับโคมไฟที่มีการกระจายความส่องสว่างแบบคงที่ แต่ต่อมาก็พัฒนามาเป็นระบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังมีรายละเอียดในหัวข้อ 5.2.3.2 ซึ่งจะอธิบายต่อไป

(ii) The Bodmann/Sollner System (1965) ซึ่งต่อมาในปี 1971 ได้พัฒนามาเป็น Sollner/Fischer System โดยอยู่ในรูปของ Luminance Limit Curve ซึ่งสัมพันธ์กับความสว่างและประเภทคุณภาพของงาน (Quality Class) โดยพล็อตเทียบกับมุม γ

(iii) The American IES Scissor Curve Method (1965) พัฒนาขึ้นโดย Crouch, Chorlton เพื่อใช้กับงานประเภทสำนักงานและห้องเรียนซึ่งมีกฎเกณฑ์เป็นพิเศษ วิธีนี้ใช้งานได้ดีตรงกับวัตถุประสงค์ แต่ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่บ้าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(iv) นอกจากวิธีของอเมริกาที่กล่าวมาแล้ว ยังมีอีกวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย Goodbar, Fry, Crouch และ Kaufman โดยปรับปรุงมาจากสูตรของ Guth โดยใช้ที่ VCP เท่ากับ 70 และมีข้อจำกัดว่าต้องใช้กับโคมไฟแบบ Dark Sides เท่านั้น

ในการใช้งานโดยทั่วไปของระบบจำกัดความส่องสว่าง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

5.2.2.1 การหาค่าขีดจำกัดของความส่องสว่าง (Determine the Limiting Luminance Value)

ในกรณีนี้เราต้องการตรวจสอบว่าห้องที่ใช้โคมไฟนั้นมีตัวเลขแกลร์หรือ Glare Number มากกว่าค่าที่กำหนดหรือไม่ คือถ้าความสว่างของโคมไฟน้อยกว่าขีดจำกัดของความส่องสว่าง แสดงว่าจะมีตัวเลขแกลร์ไม่เกินที่กำหนด วิธีนี้ใช้ได้ดีกรณีที่โคมไฟเป็นแบบการกระจายแสงคงที่ในช่วงมุม γ ที่มีผลต่อค่าแกลร์ (คือเป็นโคมไฟที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 5.1.3.1)

5.2.2.2 การหาการกระจายของความส่องสว่าง (Determine the Limiting Luminance Distribution)

วิธีนี้ใช้ได้ดีในกรณีที่โคมไฟเป็นแบบการกระจายความส่องสว่างไม่คงที่ (ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.1.3.2) เป็นการตรวจสอบว่าถ้าใช้โคมไฟที่กำหนดแล้วจะมีแกลร์ไม่เกินกว่าค่าขีดจำกัดที่เราตั้งไว้ ระบบที่ใช้วิธีนี้คือ Australian System และ German System นอกจากนี้ ระบบที่ ซีไออี ได้ใช้ใน Interim Glare Limiting System ที่ได้ตีพิมพ์ใน CIE Publication No.29 (1975) Guide on Interior Lighting ก็ใช้หลักการของ German System

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 CIE Interim Glare Limiting System

ระบบ CIE Interim Glare Limiting นี้ ได้ตีพิมพ์ใน CIE Publication No.29 (1975). Guide on Interior Lighting เป็นระบบที่รวมเอาหลักของระบบ Luminance Curve กับระบบ Shielding Angle เข้าด้วยกัน และพิจารณาเฉพาะช่วงของมุม γ ที่ใช้งานจริง ๆ เท่านั้น เพื่อเป็นการลดความยุ่งยากในการเตรียมข้อมูลทางแสง (Photometric Data) ของโคมไฟ ค่าต่าง ๆ ที่นำมาเขียนกราฟก็ได้มาจาก Sollner/Fischer luminance curves ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบ CIE Interim Glare Limiting นี้เป็นการรวมเอาข้อดีของระบบทั้ง 2 มาใช้ และตัดบางส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป ทำให้การใช้งานง่ายขึ้นและสามารถใช้กับการติดตั้งโดยทั่ว ๆ ไปได้สะดวกขึ้น

5.2.3.1 หลักการของระบบ CIE Interim Glare Limiting

หลักการที่สำคัญมี 2 ข้อ ได้แก่

กฎข้อที่ 1 ขีดจำกัดของความส่องสว่าง (Limiting Luminances) จะกำหนดไว้ที่มุม γ เท่ากับ 55°, 65°, 75° และ 85° กฎข้อนี้ใช้ได้กับโคมไฟทุกแบบ แต่สำหรับโคมไฟที่มีลักษณะยาว (Elongated Luminaires) ซึ่งหมายถึงโคมที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อความยาวมากกว่า 1 : 2 (เช่น โคมไฟที่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น) จะพิจารณาแยกกับโคมไฟที่ไม่มีลักษณะยาว (Non-elongated Luminaires) และโคมไฟที่มีด้านข้างมืด (Dark-Sided Units) กับด้านข้างสว่าง (Bright-Sided Units) ก็พิจารณาแยกกัน ตัวอย่างของโคมไฟแบบด้านข้างมืดเช่น โคมไฟแบบฝังเพดาน หรือโคมไฟที่มีความสูงของ Projected Luminous Areas น้อยกว่า 30 ม.ม. เมื่อมองในแนวระดับ และ/หรือ มีความส่องสว่างน้อยกว่า 750 cd/m^2

ระบบนี้นำหลักการของระบบ Shielding Angle มาใช้โดยกำหนดคุณภาพของงาน (Quality Class) ขึ้นมา 3 ระดับ คือ

Class I หมายถึง งานที่ต้องการคุณภาพของแสงสว่างสูงมาก

Class II หมายถึง งานที่ต้องการคุณภาพของแสงสว่างต่ำที่สุด สำหรับงานทั่ว ๆไป เช่น ในอาคารสำนักงาน เป็นต้น

Class III หมายถึง งานที่ต้องการคุณภาพของแสงสว่างต่ำที่สุดสำหรับงานโรงงานอุตสาหกรรมและบริเวณที่ผู้คนเดินผ่านไปมา (Circulation Area)

ตารางที่ 5.2 ได้ให้ค่าขีดจำกัดความส่องสว่าง (Luminance Limits) ที่ช่วงของความสว่าง 2 ช่วง คือ มากกว่า 750 lux และน้อยกว่า 500 lux

กฎข้อที่ 2 ได้ให้ Recommended Shielding Angle สำหรับโคมไฟแบบ Cut-off ดังแสดงในตารางที่ 5.3

วิธีการใช้ตารางที่ 5.2

(i) หาขนาดของห้องและลักษณะการจัดเรียงของโคมไฟ รวมทั้งระยะระหว่างโคมไฟกับระดับสายตา และโคมไฟเป็นแบบด้านข้างมืดหรือด้านข้างสว่าง

(ii) พิจารณาดูว่างานนี้ใช้คุณภาพของงาน (Quality Class) แบบใด และมีความสว่างเท่าใด

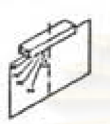
(iii) หาค่า P และ Q โดยแยกพิจารณาดังนี้

- <u>โคมไฟที่มีลักษณะยาว</u> P เป็นด้านที่ขนานกับ Long Axis ของโคมไฟ ส่วน Q เป็นด้านที่ตั้งฉากกับ Long Axis ของโคมไฟ
- <u>โคมไฟที่ไม่มีลักษณะยาว</u> P เป็นด้านกว้าง Q เป็นด้านยาว (P<Q)

(iv) ใช้ค่าที่หาได้ในข้อ (i) ถึง (iii) มาเลือกว่าจะใช้ขีดจำกัดความส่องสว่าง (Luminance Limit) เท่าใด

ตารางที่ 5.2 ขีดจำกัดของความส่องสว่าง (cd/m^2) สำหรับโคมไฟทุกแบบรวมทั้งหลอดเปลือย

Luminance limits (*cd.m*$^{-2}$) for all luminaires including bare lamps

Applicability	C plane	γ	Quality class I				Quality class II				Quality class III			
			Service Value of Illuminance ≥ 750 lux		≤ 500 lux		Service Value of Illuminance ≥ 750 lux		≤ 500 lux		Service Value of Illuminance ≥ 750 lux		≤ 500 lux	
			All Types		All Types		All Types		All Types		All Types		All Types	
Elongated Units In the C_{90} plane : If room dimension 'P' is : ≥ 5h : limits for 55°, 65°, 75° and 85° γ are applicable. ≥ 2h ≤ 5 h : limits for 55°, 65°, and 75° γ only are applicable. ≤ 2h : limits for 55° and 65° γ only are applicable.	C_{90} 	85°	1 600		2 200		2 200		3 300		5 300		9 400	
		75°	1 600		2 200		2 200		3 300		5 300		9 400	
		65°	2 300		3 800		3 800		7 200		15 000		38 000	
		55°	3 400		6 800		6 800		16 000		45 000		—	
			Service Value of Illuminance ≥ 750 lux		≤ 500 lux		Service Value of Illuminance ≥ 750 lux		≤ 500 lux		Service Value of Illuminance ≥ 750 lux		≤ 500 lux	
			Luminaires with Bright Sides	Dark Sides	Luminaires with Bright Sides	Dark Sides	Luminaires with Bright Sides	Dark Sides	Luminaires with Bright Sides	Dark Sides	Luminaires with Bright Sides	Dark Sides	Luminaires with Bright Sides	Dark Sides
All Units In the C_0 plane : If room dimension 'Q' is : ≥ 5h : limits for 55°, 65°, 75° and 85° γ are applicable. ≥ 2h ≤ 5h : limits for 55°, 65° and 75° γ only are applicable. ≤ 2h : limits for 55° and 65° γ only are applicable.	C_0	85°	1 100	1 600	1 200	2 200	1 200	2 200	1 500	3 300	1 900	5 300	2 400	9 400
		75°	1 100	1 600	1 200	2 200	1 200	2 200	1 500	3 300	1 900	5 300	2 400	9 400
		65°	1 500	2 300	1 900	3 800	1 900	3 800	2 800	7 200	4 300	15 000	7 100	38 000
		55°	2 000	3 400	3 100	6 800	3 100	6 800	5 200	16 000	10 000	45 000	20 000	—

Room dimensions 'P' and 'Q' expressed in multiples of h the mounting height above eye-level, are determined as follows :

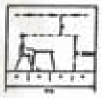
For all types of elongated unit :

'P' is the side *parallel to* the long axes of the units
'Q' is the side *normal to* the long axes of the units

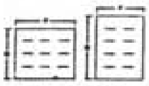
For all other types of unit :

'Q' is the *longer* side of the room

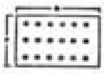
If a non-elongated luminaire has a markedly asymmetric intensity distribution in azimuth, the C_0 plane shall be taken as that containing the direction of the maximum intensity occuring between 45° and 90° from the downward vertical.



Eye level for standing persons 1.70 m



Elongated Units



Non-elongated Units

NOTE : This table has been reproduced from CIE Publication No 29 (1975) Guide on Interior Lighting.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตารางที่ 5.3</u> Recommended Shielding Angles สำหรับโคมไฟแบบ Cut-off

<table>
<tr><th rowspan="2">Type of installation</th><th colspan="6">Luminance of lamps (cd.m^{-2} × 10^3)</th></tr>
<tr><th>≤ 20</th><th colspan="4">20 - 500</th><th>> 500</th></tr>
<tr><td>Offices, schools & industrial interiors with visual tasks which are very difficult</td><td>30° in C_0 and C_{90} planes</td><td colspan="4">If lamp output > 3,000 lumens per lamp use of open bottom luminaires is not recommended and close louvering is required for other types.</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">General industrial interiors</td><td rowspan="4">15° in C_0 plane only</td><td rowspan="2">Lamp lumens</td><td colspan="4">Mounting height above floor level</td></tr>
<tr><td>> 10 m</td><td>5-10 m</td><td>< 5 m</td><td>Any</td></tr>
<tr><td>< 30,000</td><td>20°</td><td>30°</td><td>30° *</td><td rowspan="2">40° *</td></tr>
<tr><td>≥ 30,000</td><td>20°</td><td>30° *</td><td>40° *</td></tr>
<tr><td>Storerooms, passages etc. (casual seeing only)</td><td>0° φ</td><td></td><td colspan="4">20°</td></tr>
</table>

* In these cases, units with low-brightness specular reflectors should be used; diffuse finishes (including vitreous enamel) may appear too bright, and are therefore not recommended.

φ If the lamps can be seen from an adjacent working area, the shielding angle appropriate to that area should be adopted.

(v) นำขีดจำกัดของความส่องสว่างที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับความส่องสว่างของโคมไฟ ถ้าความส่องสว่างของโคมไฟน้อยกว่าขีดจำกัดของความส่องสว่าง แสดงว่าสามารถใช้โคมไฟนั้นได้โดยไม่มีปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการใช้ตารางที่ 5.3

(i) หาคุณภาพของงาน (Quality Class) ของงาน และความส่องสว่างของโคมไฟ

(ii) ถ้าเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาว (Tubular Fluorescent) ซึ่งมี Ls น้อยกว่า 20,000 cd/m^2 ให้เลือก Shielding Angle จากคอลัมน์แรกของตารางที่ 5.3 ถ้าเป็นหลอดแบบมีไส้หรือหลอด Gas Discharge ซึ่งจะมีความส่องสว่าง Ls เกิน 20,000 cd/m^2 ให้เลือก Shielding Angle จากคอลัมน์อื่น ๆ ของตารางที่ 5.3

โดยใช้ข้อมูล 3 ตัวในการเลือกคือ ความส่องสว่างของหลอดไฟ ฟลักซ์รวมที่ได้จากหลอดไฟ และระยะระหว่างโคมไฟกับระดับสายตา

(iii) เปรียบเทียบ Shielding Angle ที่หาได้จากตารางไปเปรียบเทียบกับ Shielding Angle ของโคมไฟที่จะใช้

(iv) ตรวจสอบความส่องสว่างของโคมไฟว่าเกินขีดจำกัดหรือไม่ โดยใช้วิธีการของตารางที่ 5.2 ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

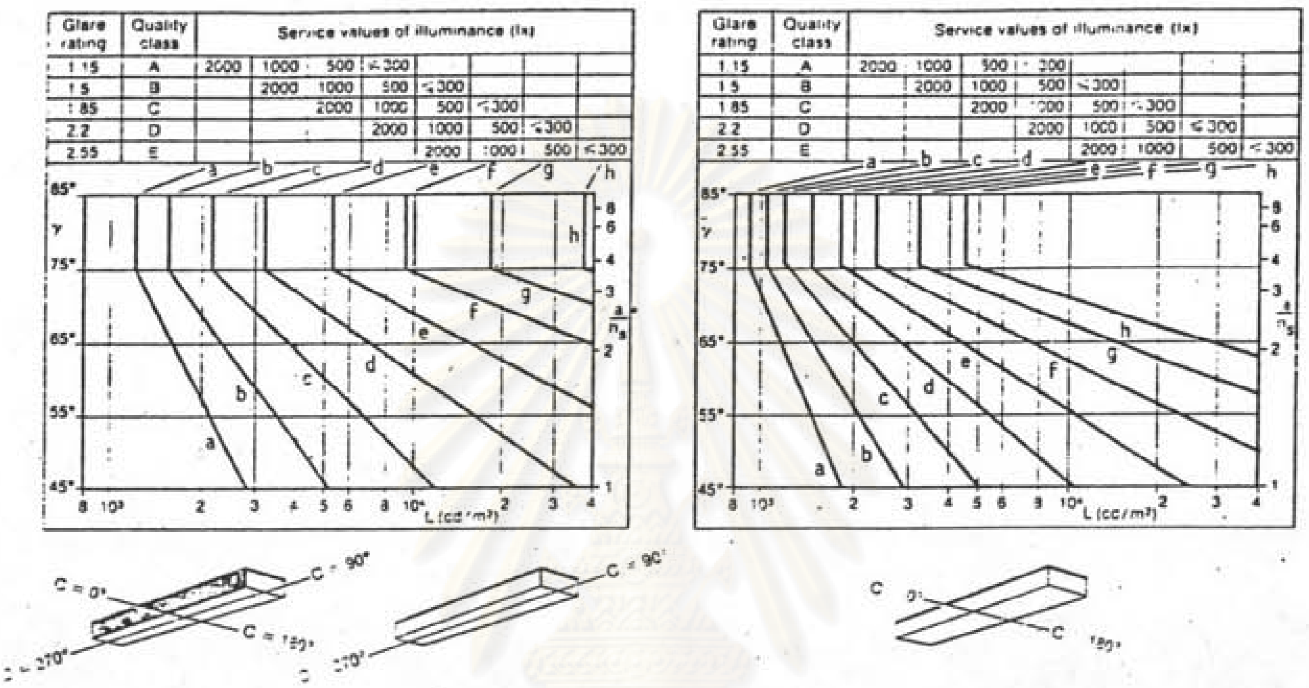
5.2.3.2 การใช้งาน CIE Interim Glare Limiting System

ในการใช้งานจริง ๆ จะใช้ลักษณะที่มักเรียกว่า CIE Glare Safeguard ซึ่งมีหลักการโดยพิจารณาจากกราฟของ Limitation Curve กับการกระจายความส่องสว่างของโคมไฟ ในช่วงมุม γ เท่ากับ 45° ถึง 85° ในทางปฏิบัติจะต้องเขียนกราฟของการกระจายความส่องสว่างของโคมไฟ ลงบนกราฟของ Limitation Curve แล้วพิจารณาดูว่าถ้ากราฟของโคมไฟอยู่ทางด้านซ้ายของ Limitation Curve ตลอดช่วง γ เท่ากับ 45° ถึง 85° ก็แสดงว่าโคมไฟนั้นจะมีแกลร์ไม่เกินขีดจำกัด จึงปลอดภัยที่จะใช้งาน ในทางกลับกัน ถ้าเส้นกราฟทั้งสองตัดกันหรือมีบางช่วงหรือทั้งช่วงของ γ จาก 45° ถึง 85° ที่เส้นกราฟของ Limitation Curve อยู่ทางด้านซ้ายของเส้นกราฟของโคมไฟ นั่นแสดงว่าถ้าใช้โคมไฟนี้จะไม่ปลอดภัยเพราะจะมีแกลร์มากเกินขีดจำกัด

ส่วนการเลือกเส้นกราฟของ Limitation Curve (ซึ่งมีอยู่ 8 เส้น คือ a, b, c, d, e, f, g และ h) ทำได้โดยพิจารณาจากความสว่างและระดับคุณภาพของงาน (Quality Class) ว่าจะตกอยู่ที่เส้นกราฟเส้นใด นอกจากนี้การเลือกว่าจะใช้กราฟรูปใดก็พิจารณาดังนี้

1. กราฟรูปที่ 5.7 (a) ใช้สำหรับโคมไฟที่เป็นแบบด้านข้างมืด และใช้สำหรับโคมไฟแบบเส้นตรง (Linear Luminaires) แบบด้านข้างสว่างและมองตามยาว (Endwise)

2. กราฟรูป 5.7 (b) ใช้สำหรับโคมไฟทุกชนิดที่มีด้านข้างสว่าง ยกเว้นกรณีเป็นโคมไฟแบบเส้นตรง (Linear Luminaires) แบบด้านข้างสว่างและมองตามยาว (Endwise)



(a) (b)

รูปที่ 5.7 Luminance Curves ของ CIE Glare Safeguard

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3.3 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบ CIE Glare Safeguard นี้มีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ห้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
2. ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องอยู่ในช่วงดังนี้

0.7 - 0.8 สำหรับเพดานและ Frieze (Upper Walls)

0.4 - 0.6 สำหรับฝาผนัง

0.1 - 0.2 สำหรับพื้น

3. แนวการมองอยู่ในแนวระดับและขนานกับฝาผนัง

4. ตำแหน่งของผู้สังเกตอยู่สูงจากพื้น 1.2 เมตร และอยู่ที่กึ่งกลางของฝาผนังด้านหนึ่งของห้อง

5. ถือว่าภาพที่ผู้สังเกตเห็นมีมุมเงยไม่เกิน 45° วัดจากแนวระดับ

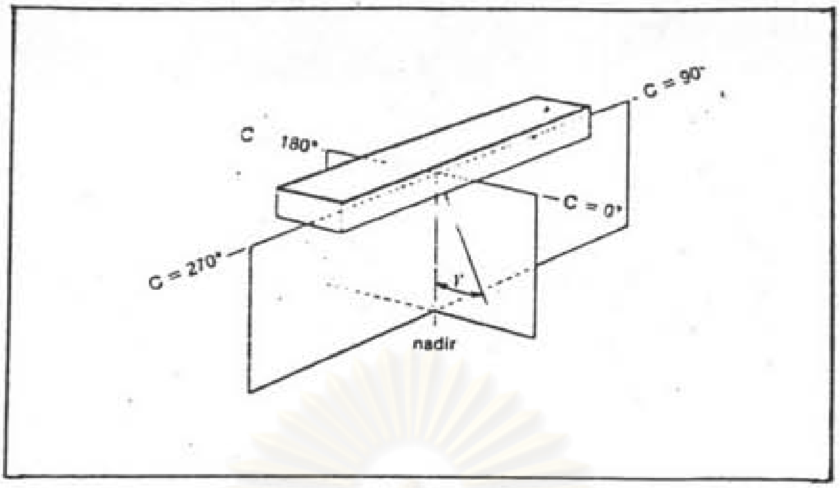
6. โคมไฟเรียงเป็นแถวขนานกับฝาผนัง

7. โคมไฟที่มีมุมมองต่ำกว่า 5° วัดจากแนวระดับจะไม่นำมาคิดเพราะถือว่ามีผลน้อยมาก

5.2.3.4 การกระจายความส่องสว่างของโคมไฟ

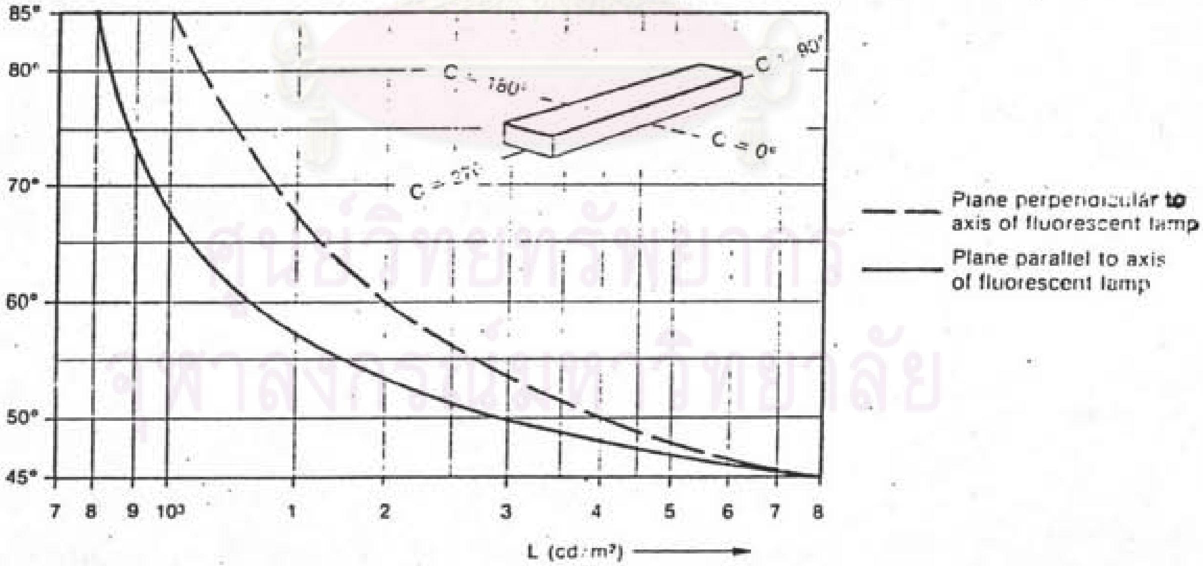
สำหรับโคมไฟภายในอาคารโดยทั่วไปจะแสดงการกระจายความส่องสว่างในระบบ C-γ Coordinate ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งสำหรับ CIE Glare Safeguard จะใช้เฉพาะระบบ C = 0, 90, 180 และ 270 องศา และช่วงมุม γ จาก 45° ถึง 85° เท่านั้น

ในกรณีที่ผู้ผลิตไม่มีข้อมูลของการกระจายความส่องสว่างให้ แต่มีการกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Intensity Distribution) เราสามารถคำนวณความส่องสว่างเฉลี่ยที่มุม γ ต่าง ๆ ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ว่าความส่องสว่างที่มุม γ ใดเท่ากับความเข้มแห่งการส่องสว่างที่มุม γ นั้น หารด้วย Projected Area ที่มุม γ นั้น ซึ่งความส่องสว่างที่มุม γ ที่หาได้นี้จะเป็นความส่องสว่างเฉลี่ยของส่วนเรืองแสงทั้งหมดของโคมไฟที่มุมนั้น ถ้าความเข้มแห่งการส่องสว่างมีหน่วยเป็น cd และ Projected Area มีหน่วยเป็น m^2 จะได้ความส่องสว่างในหน่วย cd/m^2 การหาความส่องสว่างโดยวิธีนี้จะมีความแม่นยำเฉพาะในกรณีที่ส่วนเรืองแสงของโคมไฟมีความส่องสว่างค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ถ้าความส่องสว่างไม่สม่ำเสมอจะพบว่าความส่องสว่างที่คำนวณได้จะต่ำกว่าที่เป็นจริง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังยอมรับให้ใช้วิธีการคำนวณนี้ได้เพราะยังไม่มีวิธีที่เหมาะสมมากกว่าวิธีนี้



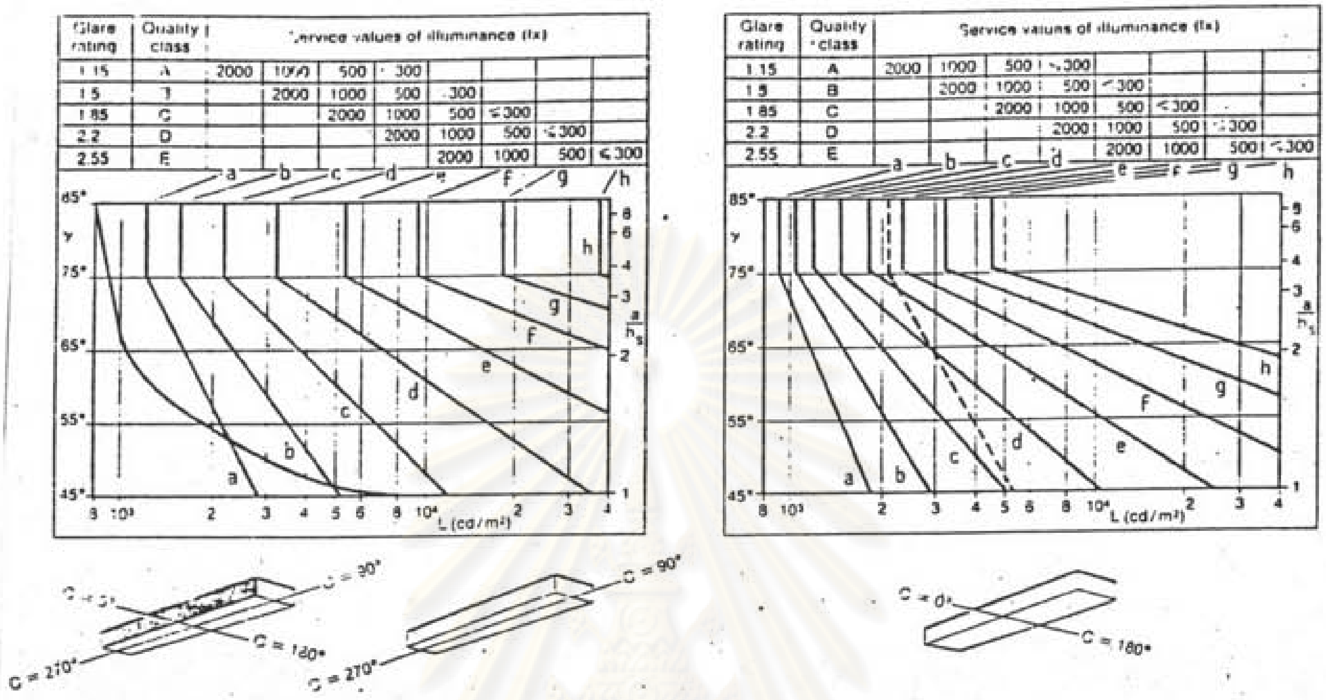
รูปที่ 5.8 ระบบ C-γ Coordinate

ตัวอย่างการกระจายความส่องสว่างของโคมไฟแสดงไว้ในรูปที่ 5.9 และตัวอย่างการนำเอาไปใช้งานได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างการกระจายความส่องสว่างของโคมไฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 5.10</u> ตัวอย่างการใช้งาน CIE Glare Safeguard

5.3 การหาดัชนีแกลร์ตามวิธีของซีไออี (CIE Glare Index)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาดัชนีแกลร์ตามวิธีของ ซีไออี นี้เป็นวิธีการหาดัชนีแกลร์ที่รวมเอาข้อดีของแต่ละระบบมาใช้ และมีขั้นตอนการคำนวณพอสรุปได้ดังนี้

5.3.1 พิจารณาการติดตั้ง ก่อนจะทำการคำนวณจะต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1. ขนาดของห้อง ได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความสูงของห้อง
2. ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวต่าง ๆ อันได้แก่ เพดาน ฝาผนัง และพื้น ซึ่งในส่วนที่เป็นฝาผนังจะแบ่งเป็น Upper Walls หรือ Frieze กับ Lower Walls ดังนั้นจะมีค่าการสะท้อนแสงที่ใช้ในการคำนวณอยู่ 4 ตัว ดังนี้

R1 = ค่าการสะท้อนแสงของเพดาน

R2 = ค่าการสะท้อนแสงของ Frieze

R3 = ค่าการสะท้อนแสงของฝาผนัง

R4 = ค่าการสะท้อนแสงของพื้นที่ทำงาน

3. รายละเอียดของการจัดเรียงโคมไฟ อันได้แก่ การกระจายความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟ ระยะแขวนโคมไฟ (Suspension Length) อัตราส่วนโดยตรงของการจัดเรียง (Installation Direct Ratio) จำนวนโคมไฟตามแนวการมองและตั้งฉากกับแนวการมอง ระยะห่างของโคมไฟ ลักษณะของการมองว่าเป็นการมองโคมไฟตามยาวหรือตามขวาง และลักษณะของโคมไฟว่าเป็นแบบใด เช่น แบบด้านข้างสว่างและด้านปลายมืด (Bright-sided, Dark-ended Type) หรือแบบด้านข้างและด้านปลายสว่าง (Bright-sided, Bright-ended Type) เป็นต้น

5.3.2 หาฟังก์ชั่น $f(E_d\ E_i)$ โดยใช้สมการ

$$E_d = 0.5K(1 - DR).F/A \qquad (5.12)$$

เมื่อ E_d = Direct Illuminance เป็นความสว่างที่ได้จากโคมไฟโดยตรง

F/A = ฟลักซ์การส่องสว่างที่ส่องออกจากโคมไฟในครึ่งทรงกลมล่างหารด้วย พื้นที่ทำงาน

K = ดัชนีห้อง (Room Index) = (L x W)/(Hm(L+W))

DR = อัตราส่วนโดยตรง

$$E_i = \frac{R4 . DR + R3 . (1 - DR) + R1 . FFR}{2 - (R1+R4) + 2/R1 . (1 - R3)} . F/A \qquad (5.13)$$

เมื่อ Ei = Indirect Component เป็นความสว่างที่ได้จากโคมไฟ โดยการสะท้อนจากพื้นผิวต่าง ๆ ของห้อง

R1,R3,R4 = ค่าการสะท้อนแสงของเพดาน ฝาผนัง และพื้นที่ทำงาน ตามลำดับ

FFR = Flux Fraction Ratio หาได้จากอัตราส่วนของฟลักซ์ที่ส่องขึ้นจากโคมไฟ หารด้วย ฟลักซ์ที่ส่องลงจากโคมไฟ มีค่าเท่ากับ (1-.N4)/.N4

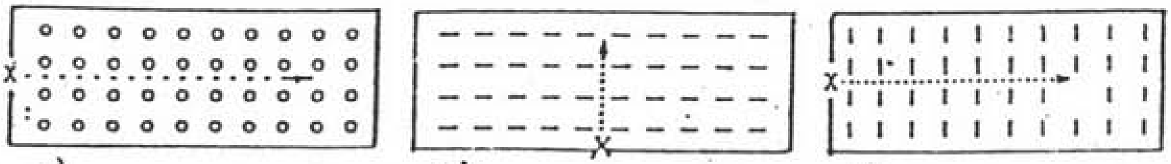
เมื่อหา Ed และ Ei ได้ เราสามารถหา f(Ed Ei) ได้เป็น

$$f(E_d\ E_i) = 2(1+E_d/500)/(E_d+E_i) \qquad (5.14)$$

5.3.3 **กำหนดตำแหน่งของผู้สังเกตและแนวการมอง (Line of Sight)** ซึ่งมีหลักการดังนี้

5.3.3.1 ในกรณีที่ความเข้มแห่งการส่องสว่างของโคมไฟค่อนข้างสมมาตร กล่าวคือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างที่ระนาบ C ต่าง ๆ ค่อนข้างใกล้เคียงกัน จุดมองที่จะให้ดัชนีแกลร์มากที่สุดคือ จุดที่อยู่กึ่งกลางด้านกว้างและแนวการมองมีทิศขนานกับด้านยาวของห้องและอยู่ในแนวระดับ ดังรูปที่ 5.11 (a)

5.3.3.2 ในกรณีที่เป็นโคมไฟที่มีด้านข้างสว่าง จุดมองที่จะให้ดัชนีแกลร์มากที่สุดคือ จุดกึ่งกลางของด้านที่ทำให้แนวการมองเป็นการมองโคมไฟตามขวาง (Crosswise) ดังรูปที่ 5.11 (b) และรูปที่ 5.11 (c)

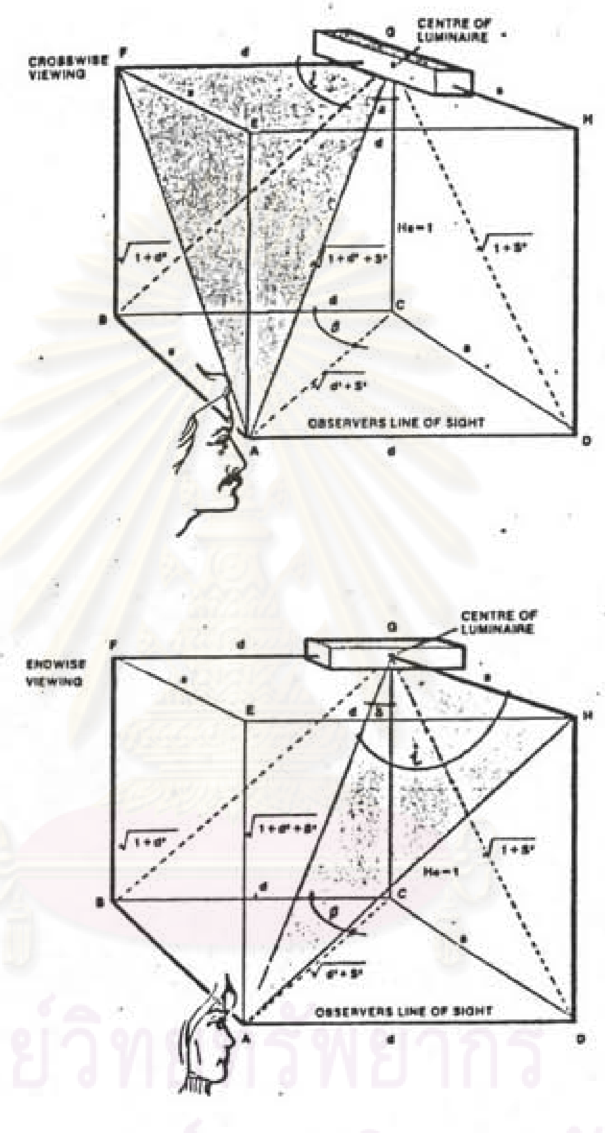


รูปที่ 5.11 การกำหนดแนวการมองที่จะให้ค่าดัชนีแกลร์สูงที่สุด

ในเวลาคำนวณจริง ๆ จะพบว่าแนวการมองจะแบ่งห้องออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กันเสมอ ดังนั้นเวลาคำนวณเทอม $\Sigma L^2W.p^{-2}$ (ซึ่งจะกล่าวต่อไป) จะคำนวณเพียงซีกเดียวแล้วคูณด้วยสอง โดยถ้าจำนวนแถวเป็นจำนวนคี่ แถวกลางจะต้องถูกหารด้วยสองก่อนที่จะรวมเข้าไปในผลรวมของครึ่งซีก เมื่อคำนวณครบครึ่งซีกก็คูณด้วยสอง เพื่อที่จะได้เทอม $\Sigma L^2W.P^{-2}$ ของทั้งห้อง

5.3.4 คำนวณ d-coordinate และ s-coordinate

s เป็นระยะทางระหว่างแนวการมองกับโคมไฟในทิศทางตั้งฉากกับแนวการมองนั้น ส่วน d เป็นระยะทางระหว่างผู้สังเกตกับโคมไฟในทิศทางขนานกับแนวการมอง ดังรูปที่ 5.12 โดยที่ทั้ง s และ d จะคิดเป็นต่อหน่วยของ He (ระยะระหว่างโคมไฟกับระดับสายตา) ซึ่งได้กำหนดไว้ว่า ถ้าผู้สังเกตยืนระดับสายตาอยู่สูงจากพื้น 1.70 เมตร และถ้าผู้สังเกตนั่งระดับสายตาอยู่สูงจากพื้น 1.20 เมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>รูปที่ 5.12</u> การกำหนด d-coordinate และ s-coordinate

5.3.5 พิจารณาว่าโคมใดบ้างที่ต้องนำมาคิดคำนวณเทอม $\Sigma L^2 W.p^{-2}$

ถ้าห้องมีขนาดเล็กจนถึงขนาดปานกลางต้องนำโคมไฟทุกโคมมาคำนวณทั้งหมด แต่ถ้าห้องมีขนาดใหญ่มาก ๆ แล้วสำหรับโคมที่มี s มากกว่า 3 และ/หรือ d มากกว่า 10 จะไม่นำโคมไฟนั้นมาคิด เพราะจะมีผลต่อดัชนีแกลร์น้อยมาก

ส่วนค่า $f(E_d\ E_i)$ จะต้องนำโคมไฟทุกโคมมาคำนวณทั้งหมดไม่ว่าขนาดห้องจะเป็นเท่าใด

5.3.6 คำนวณ Ah และ Av/Ah

Av เป็นพื้นที่เรืองแสงของโคมไฟในแนวดิ่ง ส่วน Ah เป็นพื้นที่เรืองแสงของโคมไฟในแนวราบ ซึ่งสามารถหาค่า Av และ Av/Ah ของโคมไฟทั่ว ๆ ไป โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 5.4

5.3.7 คำนวณเทอม $\Sigma L^2 W.p^{-2}$

จาก L = ความส่องสว่างของโคมไฟ (cd/m^2)

W = มุมเชิงของแข็งของโคมไฟ (sr)

p = ดัชนีบอกตำแหน่ง (Position Index)

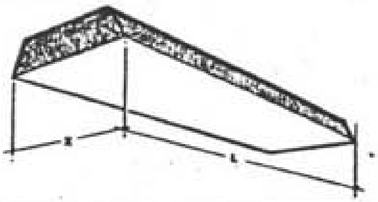
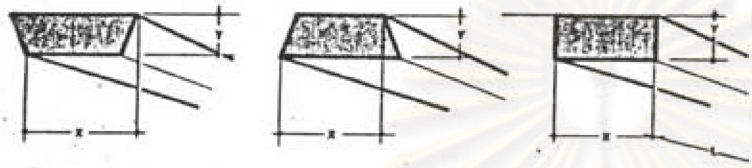
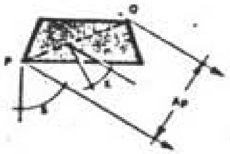
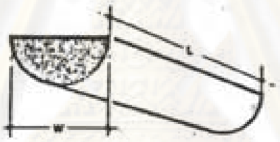
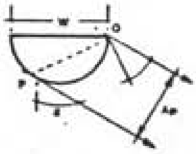
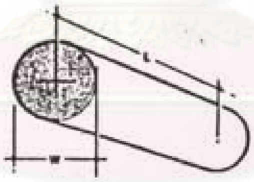
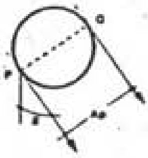
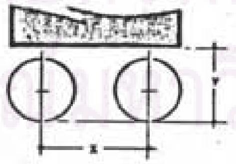
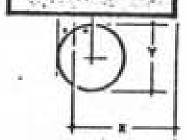
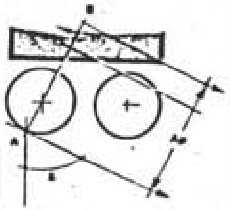
ในการคำนวณหาค่า L, W และ p ของโคมไฟโดยตรงนั้น มีความยุ่งยาก ดังนั้น ซีไออี จึงได้พัฒนาวิธีการหาเทอม $\Sigma L^2 W.p^{-2}$ นี้ขึ้นเพื่อประโยชน์ในการใช้คอมพิวเตอร์คำนวณ โดยได้เป็นความสัมพันธ์

$$\Sigma (L^2 W.p^{-2}) = [I^2_{TP}.(\text{Table 5.5 Factor})/(F^1 * 1000)] \tag{5.15}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4 การหา Av และ Av/Ah ของโคมไฟแบบต่าง ๆ

(Note : X, Y, L and W are in metres : A_H in sq.m., and A_v/A_H is a ratio.)

	Remarks
Dark sides All types of unit $A_H = X . L \quad A_v/A_H = 0$ 	Projected area A_p is exactly equal to $A_H . \cos\gamma$
Bright sides, dark ends Base distinguishable from sides (Dimension PQ normally fixed)  $A_H = X . L \quad A_v/A_H = Y/X$	Projected area $= PQ . L . \cos\chi$ and is exactly equal to $A_H \cos\gamma + A_v \sin\gamma$ throughout the γ 40°-85° range 
Base not distinguishable from sides (Dimension PQ does not remain fixed) Semi-cylindrical $A_H = 0.67 W . L$ $A_v/A_H = 0.75$ 	Projected area is $W . L . \cos^2 \gamma/2$ $= A_H \cos\gamma + A_v \sin\gamma$ within ± 5 % throughout the 40°-85° range. 
Cylindrical $A_H = 0.45 W . L$ $A_v/A_H = 2.1$  Alternatively, calculate A_p by Eq. (C.6) or (C.6A).	Projected area $= PQ . L$ $= A_H \cos\gamma + A_v \sin\gamma$ within ± 5 % throughout 40°-85° range. 
Bare-lamp fluorescent Two or more tubes  Single tube $A_H = X . L$ $A_v/A_H = Y/X$ 	Backplate is included as its luminance is > 750 cd/m²  Total projected area = AB . L $= A_H \cos\gamma + A_v \sin\gamma$ within ± 5 % throughout 40°-85° range Single tube unit : Within ± 5 % in 40°-80° zone, rising to 15 % at 85° (Here d > 10 H_s and the unit's contribution is of little importance).
Bright sides, bright ends Rectangular base unit : After calculating A_H and A_v/A_H, an additional A_v'/A_H ratio must be determined for the end surface.	Spherical unit : Here A_p remains constant and is given by Eq. (C.7).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณในสมการที่ 5.15

d	s = (0.0)	(0.5)	(1.0)	(1.5)	(2.0)	(2.5)	(3.0)	(3.5)	(4.0)	(4.5)	(5.0)	(5.5)	(6.0) = s	d
(12.0)	62.0	61.6	60.4	58.4	55.9	53.0	49.9	46.6	43.3	40.0	36.9	34.0	31.3	(12.0)
(11.5)	63.8	63.3	62.0	59.9	57.2	54.1	50.8	47.3	43.7	43.0	37.0	34.0	31.2	(11.5)
(11.0)	65.7	65.1	63.7	61.4	58.6	55.2	51.6	47.9	44.2	40.5	37.1	33.9	31.0	(11.0)
(10.5)	67.6	67.0	65.4	63.0	60.0	56.3	52.5	48.5	44.5	40.7	37.1	33.7	30.7	(10.5)
(10.0)	69.6	69.0	67.3	64.6	61.3	57.4	53.3	49.0	44.8	40.7	36.9	33.4	30.3	(10.0)
(9.5)	71.6	71.0	69.1	66.2	62.6	58.5	54.0	49.4	45.0	40.7	36.7	33.0	29.7	(9.5)
(9.0)	73.8	73.1	71.0	67.9	63.9	59.4	54.6	49.8	45.0	40.5	36.3	32.5	29.1	(9.0)
(8.5)	76.0	75.2	73.0	69.5	65.2	60.4	55.2	50.0	44.9	40.1	35.7	31.8	28.3	(8.5)
(8.0)	78.2	77.3	74.9	71.1	66.4	61.1	55.6	50.0	44.6	39.6	35.0	30.9	27.3	(8.0)
(7.5)	80.4	79.5	76.8	72.6	67.5	61.7	55.7	49.7	44.0	38.8	34.0	29.8	26.1	(7.5)
(7.0)	82.6	81.6	78.6	74.0	68.4	62.1	55.6	49.2	43.2	37.7	32.7	28.4	24.7	(7.0)
(6.5)	84.7	83.5	80.2	75.2	68.9	62.1	55.1	48.3	41.9	36.2	31.2	26.8	23.1	(6.5)
(6.0)	86.6	85.3	81.5	75.9	69.1	61.7	54.1	46.9	40.3	34.4	29.2	24.9	21.2	(6.0)
(5.5)	88.1	86.6	82.4	76.2	68.7	60.6	52.6	45.0	38.1	32.1	27.0	22.7	19.1	(5.5)
(5.0)	89.1	87.4	82.7	75.8	67.5	58.8	50.2	42.3	35.3	29.3	24.3	20.2	16.8	(5.0)
(4.5)	89.1	87.2	81.9	74.2	65.2	55.9	47.0	38.9	31.9	26.0	21.2	17.4	14.3	(4.5)
(4.0)	87.8	85.6	79.7	71.3	61.6	51.7	42.6	34.5	27.8	22.3	17.9	14.4	11.8	(4.0)
(3.5)	84.4	82.0	75.5	66.3	56.1	46.0	37.0	29.3	23.1	18.2	14.3	11.4	9.2	(3.5)
(3.0)	78.2	75.5	68.5	58.8	48.4	38.6	30.2	23.3	18.0	13.9	10.8	8.6	6.9	(3.0)
(2.5)	68.1	65.3	57.9	48.3	38.5	29.7	22.5	17.0	12.9	9.8	7.6	6.1	4.9	(2.5)
(2.0)	53.2	50.4	43.6	35.0	26.9	20.1	14.9	11.1	8.4	6.4	5.1	4.1	3.5	(2.0)
(1.5)	33.9	31.7	26.5	20.6	15.4	11.4	8.5	6.5	5.1	4.2	3.5	3.0	2.6	(1.5)
(1.0)	14.0	13.1	10.9	8.8	7.0	5.7	4.8	4.1	3.5	3.1	2.8	2.6	2.3	(1.0)
(0.75)	6.4	6.2	5.7	5.3	4.8	4.4	4.1	3.7	3.3	3.0	2.8	2.5	2.3	(0.75)
d	s = (0.0)	(0.5)	(1.0)	(1.5)	(2.0)	(2.5)	(3.0)	(3.5)	(4.0)	(4.5)	(5.0)	(5.5)	(6.0) = s	d

โดยที่ด้านขวาของสมการที่ 5.15 นั้นจะคิดรวมทุก ๆ โคมไฟในห้องและ

$I_{\gamma\beta}$	=	ความเข้มของโคมไฟที่มุม γ และ β
γ	=	$\arctan\ (d^2 + s^2)^{1/2}$
β	=	arctan (s/d) ถ้าแนวการมองโคมไฟไม่เป็นการมองตามยาว
	=	arctan (d/s) ถ้าแนวการมองโคมไฟเป็นการมองตามยาว
Table 5.5 Factors	=	ค่าคงที่ ซึ่งอ่านได้จากตารางที่ 5.5
F^1	=	1 + d.Av/Ah สำหรับโคมไฟแบบด้านข้างสว่าง ด้านปลายมืด และมองตามขวาง
	=	1 + s.Av/Ah สำหรับโคมไฟแบบด้านข้างสว่าง ด้านปลายมืด และมองตามยาว
	=	1 + d.Av/Ah + s.Av/Ah สำหรับโคมไฟแบบด้านข้างและด้านปลายสว่าง
	=	1 สำหรับโคมไฟแบบด้านข้างมืด

5.3.8 คำนวณดัชนีแกลร์ (CIE Glare Index, CGI) โดยใช้สมการที่ 5.16

$$CGI = 8\log[\ (f(E_d\ E_i).\ \Sigma L^2 W.p^{-2})\ /\ (H_e^{\ 2}.Ah)\ ] \qquad (5.16)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย