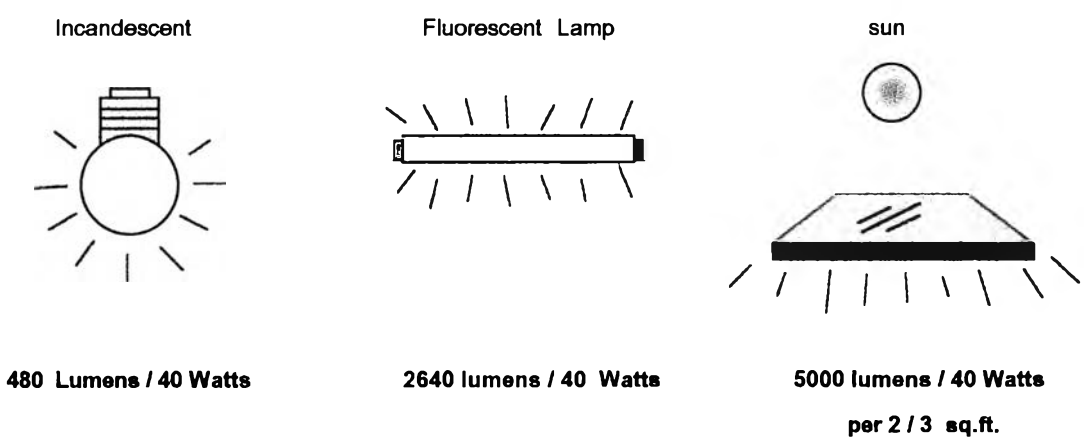
บทที่ 4
แนวความคิดในการพัฒนาโปรแกรม

4.1 แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

ในอดีตแสงธรรมชาติ ได้มีการนำมาใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการออกแบบอาคาร มาเป็นเวลานาน แม้ว่าปัจจุบันจะมีแสงจาก แสงเทียน แสงจากตะเกียง หรือแม้แต่แสงจากหลอดไฟฟ้า เข้ามาแทนที่ แต่คุณภาพของแสงเหล่านี้ก็ยังไม่อาจที่จะเทียบได้กับคุณภาพของแสงจากธรรมชาติ อีกทั้งแสงจากการประดิษฐ์ จะเป็นแสงที่ได้จากแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปเป็นหลัก อาทิพลังงานจากซากพืชซากสัตว์ หรือพลังงานจากถ่านหิน ซึ่งในท้ายสุด ก็จะก่อให้เกิดมลพิษคืนสู่ธรรมชาติ แต่หากเรากลับมาพิจารณา ถึงการใช้พลังงานแสง ที่ได้จากแสงอาทิตย์ เราจะพบว่าเป็นพลังงานแสงที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และมีให้เราใช้ได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การนำแสงอาทิตย์มาใช้งานในการออกแบบสถาปัตยกรรม เพื่อให้ได้งานสถาปัตยกรรมที่ดีนั้น จำเป็นที่ผู้ออกแบบจะต้องมีความเข้าใจถึงองค์ประกอบต่างๆ ของแสงธรรมชาติอย่างดีเสียก่อน มิเช่นนั้นอาจทำให้การนำแสงธรรมชาติ มาใช้ภายในอาคารนั้น เป็นการบั่นทอนคุณค่าของงานสถาปัตยกรรมลงก็ได้ เช่นการนำแสงตรงจากดวงอาทิตย์มาใช้ โดยขาดความเข้าใจที่ดีพอ ก็อาจจะทำให้เกิดแสงจ้า(Glare) แก่ผู้ใช้อาคารได้หรือการนำแสงธรรมชาติ เข้ามาใช้ในอาคารมากเกินไป ก็อาจจะกลับกลายเป็นการเพิ่มภาระการปรับอากาศ ให้แก่อาคาร จากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ก็ได้เช่นกัน นอกจากนี้ความแตกต่างของแสงธรรมชาติ ที่ส่องเข้าสู่ภายในอาคาร ตามความแตกต่างของเวลา และสภาพของท้องฟ้า ที่เปลี่ยนแปลงจะให้ความรู้สึกและสีสัน ที่สร้างความรู้สึกที่พึงพอใจต่อมนุษย์ กระตุ้นให้มนุษย์เกิดความตื่นตัว และไม่เบื่อหน่าย เหมือนกับแสงที่มีระดับโทนเพียงโทนเดียวจากแสงประดิษฐ์

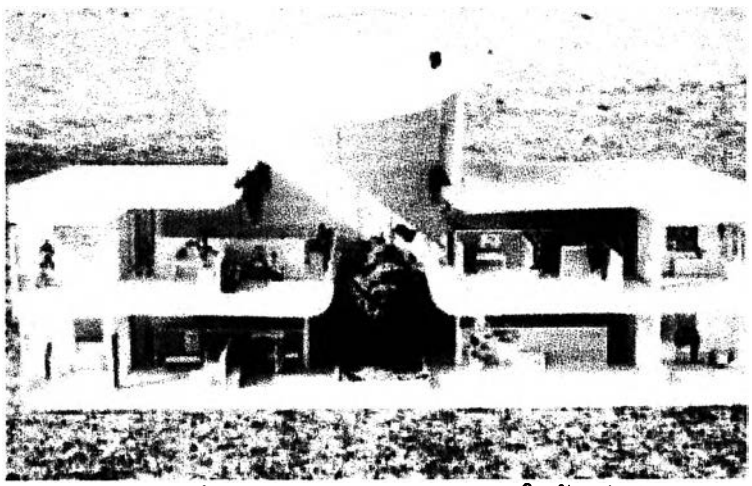


รูป 4.1 เปรียบเทียบค่าการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในแต่ละประเภท เมื่อเทียบกับแสงธรรมชาติ
ที่มา : Daylighting for Building in the topic II , An Overview of Daylighting , page 6

ดังนั้นการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด จึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆของแสงจากธรรมชาติเสียก่อน ซึ่งในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของแสงสว่างจากธรรมชาติ และใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์มาคำนวณแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร ที่สามารถนำมาพัฒนาต่อเนื่องเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยรายละเอียด ของการคำนวณหาความสว่างภายในอาคารนั้น จะอาศัย

หลักเรขาคณิต มาอธิบายถึงทิศทางของแสงที่เข้าสู่อาคาร เมื่อกำหนดให้ช่องเปิด เปรียบเสมือน แหล่งกำเนิดแสง รูปแบบหนึ่งของอาคาร

ที่ผ่านมาการหาระดับปริมาณแสงธรรมชาติ ภายในอาคาร จะศึกษา โดยการวัดปริมาณแสงธรรมชาติจากหุ่นจำลอง (Simulation Model) ภายใต้สภาวะท้องฟ้าจริงหรือท้องฟ้าจำลอง (Sky dome) ผลการศึกษาที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือ แต่การศึกษาโดยหุ่นจำลองนั้นจะมีความยุ่งยากในการเตรียมหุ่นจำลอง เตรียมสถานที่ และใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล จึงได้มีผู้ทำการค้นคว้าหาวิธีการคำนวณ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวโดยอาศัยหลักของเรขาคณิต มาอธิบายการเกิดแสงในทิศทางต่างๆ ในปัจจุบันได้ มีการพัฒนาทฤษฎีการคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร อย่างกว้างขวางมีมากมายหลายวิธี อาทิ วิธีสกายแฟกเตอร์ (Sky Factor) , วิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor) หรือวิธีลูเมน (Lumen Method) รวมถึง 2 วิธีล่าสุดที่กำลังมีการศึกษาอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ (Flux Transfer Method) และ การหาลำแสงส่องสว่าง (Ray Tracing Method) ที่อาศัยการอธิบายด้วยคณิตศาสตร์ชั้นสูง



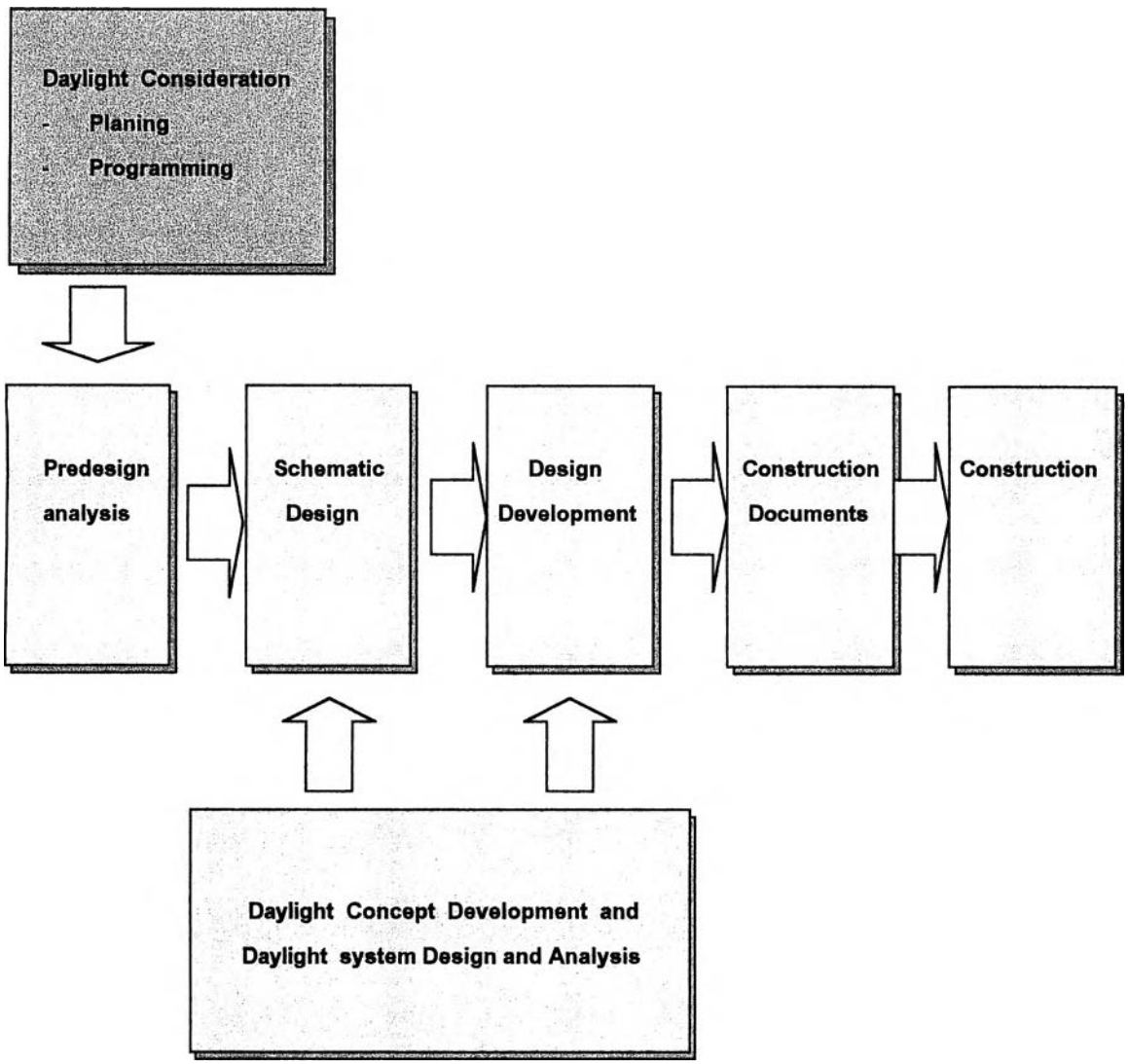
รูป 4.2 การศึกษาปริมาณแสงธรรมชาติภายในด้วยหุ่นจำลอง

ที่มา : Daylighting , page 230 (picture a)

การคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร ด้วยวิธีการคำนวณช่วยให้การหาปริมาณความส่องสว่างภายในเป็นไปด้วยความรวดเร็ว นักวิทยาศาสตร์สามารถ ที่จะนำเอาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ ไปเชื่อมโยงกับทฤษฎีในแขนงอื่นๆ ทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ๆอย่างมากมาย แต่ทว่าการใช้วิธีการคำนวณในการอธิบายปรากฏการณ์แสงธรรมชาติ จะถูกจำกัดการใช้งานอยู่อย่างจำกัด เฉพาะกลุ่มบุคคลที่มีความเชี่ยวชาญทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก บุคคลที่ไม่มีทักษะทางคณิตศาสตร์ที่เพียงพอ ซึ่งเป็นกลุ่มคนกลุ่มใหญ่ ไม่สามารถนำวิธีการดังกล่าวไปใช้งานได้ โดยเฉพาะ สถาปนิก หรือวิศวกรที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้แสงธรรมชาติ ภายในอาคารโดยตรง

จากปัญหาดังกล่าวได้มีการนำทฤษฎีดังกล่าว ที่ใช้ในการคำนวณ มาพัฒนาเป็นรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน และเผยแพร่ อีกทั้งในปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว การคำนวณด้วยสมการ ที่สลับซับซ้อน ที่ต้องอาศัยประสิทธิภาพการคำนวณ จากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ก็สามารถ นำมาใช้งานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กหรือเพียงแค่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ดังนั้นการคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติ เมื่อผนวกรวมกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ จึงพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ผู้ใช้งานโดยทั่วไป ไม่จำเป็นจะต้องมีความเข้าใจในการคำนวณอย่างลึกซึ้ง เพียงแค่ทราบถึงข้อมูลเบื้องต้นก็สามารถสั่งให้คอมพิวเตอร์ หาผลลัพธ์ที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หรือช่วยในการออกแบบได้ทันที

ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติ ในการออกแบบอาคาร ของสถาปนิก และวิศวกร



แผนภูมิ 4.1 แสดงขั้นตอนการประยุกต์การใช้แสงธรรมชาติ ในการออกแบบอาคาร

ที่มา : Daylighting , Light and Daylight page 14

4.2 แนวทางและวิธีการในการคำนวณ

4.2.1 แนวทางและวิธีการคำนวณหาความสว่างภายนอก

ในปัจจุบันการออกแบบการส่องสว่างภายในด้วยแสงธรรมชาติ ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 วิธี คือ 1) การคำนวณด้วยวิธีลูเมน (Lumen Method) และ 2) วิธีการคำนวณด้วยเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight Factor) ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคำนวณทั้งสองวิธีการข้างต้น ในการคำนวณหาความสว่างภายในอาคาร แต่ไม่ว่าการคำนวณจะใช้วิธีใด การออกแบบการส่องสว่างภายในด้วยแสงธรรมชาติ ก็จำเป็น ที่จะต้องทราบค่าความสว่าง ภายนอกอาคารเสียก่อน ดังนั้นจึงต้องมีการเรียนรู้ข้อกำหนดและหลักการในการหาค่าความสว่างภายนอกอาคาร ที่แตกต่างกันตามสภาวะท้องฟ้า และองค์ประกอบของสภาพแวดล้อม เพื่อใช้คำนวณหาความสว่างของท้องฟ้า

เนื่องจากการคำนวณหาค่าความสว่างภายในอาคาร มักจะใช้ค่าความสว่างภายนอกที่ต่ำกว่าความเป็นจริง เพื่อให้มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติจริงมากที่สุด การพิจารณาค่าความส่องสว่าง ของแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร จึงต้องมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ หรือมากกว่าค่าที่ต้องการตลอดชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยตลอดทั้งปี โดยที่ความส่องสว่างที่สนใจนี้ จะเป็นค่าความสว่างต่ำสุดเฉลี่ยตลอดปี บนพื้นดินในแนวราบกลางแจ้ง ที่ถือว่าได้รับแสงโดยตรงจากท้องฟ้า โดยไม่คำนึง ถึงความสว่าง ที่ได้จากการสะท้อนแสงจากสิ่งปลูกสร้าง หรือพื้นผิวสภาพแวดล้อมข้างเคียง ความส่องสว่างและความสว่างของท้องฟ้า ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ดังได้กล่าวข้างต้น แต่ในงานวิจัยนี้ การคาดการณ์ปริมาณความส่องสว่างภายนอกอาคาร จะแปรผันตามมุมอัลติจูล (Solar Altitude) และมุมอัลซิมุทของดวงอาทิตย์ (Solar Azimuth) เป็นสำคัญ ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคาดการณ์ การพิจารณาหาค่าความสว่าง ที่พัฒนาขึ้น โดยสถาบันวิจัย และพัฒนาพลังงาน SERI (The Solar Energy Research Institute) ประเทศสหรัฐอเมริกา จะเป็นการหาค่าความสว่าง เป็นรายชั่วโมงในแต่ละเดือน โดยวิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้ในการคำนวณทั้งในรูปแบบของคอมพิวเตอร์ และการคำนวณด้วยมือ การคำนวณผลที่ได้จะแปรผันตามข้อมูลความสว่างที่เกิดขึ้น บนพื้นผิว ในทิศทางต่างๆ ตามลักษณะที่ตั้ง ที่แตกต่างกัน เช่น ที่ตั้ง ที่ปกคลุมด้วยเมฆ ลักษณะของท้องฟ้า ความสกปรกของท้องฟ้า (Turbidity) มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ และ ลำดับวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันในแต่ละเดือน ฯลฯ โดยตัวแปรเหล่านี้จะมีผลต่อการกำหนดค่าความสว่างของท้องฟ้าในแต่ละปี

ความสว่างรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง $E_{D,C}$ (ในหน่วยของ ลักซ์) จะสามารถหาได้จากค่าความสว่างพื้นฐาน และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{D,C} = E_{D,C} \cos \theta \quad \text{.....(4.1)}$$

สมการข้างต้น มุม θ จะเป็นมุมตกกระทบระหว่างดวงอาทิตย์และพื้นผิว ในแนวระนาบปริมาณรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะเป็น

$$E_{DH,C} = E_{DN} \cos \theta_0 \quad \text{.....(4.2)}$$

ในสมการ มุม θ_0 จะเป็นมุมเซนิทของท้องฟ้า (Solar Zenith angle)

ปริมาณรังสีตรงดวงอาทิตย์ E_{DN} ในสองสมการข้างต้น จะสามารถหาได้โดย

$$E_{DN} = E_{SC} e^{-\alpha_n} \quad \text{.....(4.3)}$$

Esc หมายถึง ค่าคงที่ความสว่างสุริยะ (Extraterrestrial illuminance) มีค่าอยู่ระหว่าง 126,820 lux (Dogniaux et al 1967) หรือประมาณ 127,500 lux (Gillette 1983) แต่ในวิธีการคำนวณหาความสว่าง (Prof. Robbin-Hunter) จะใช้ค่าคงที่ของความสว่างสุริยะ ทุกๆ 21 วันในแต่ละเดือน ตามการเก็บข้อมูลของ SERI

	Esc		B	t
	Apparent Solar Constant		Atmospheric Extinction	Optical Depth
Month	(lux)	(fc)	Coefficient	
Jan	134780	12526	0.142	0.142
Feb	134130	12465	0.144	0.144
Mar	132630	12326	0.154	0.156
Apr	130470	12126	0.177	0.180
May	128320	11925	0.194	0.196
Jun	126630	11769	0.206	0.205
Jul	126070	11716	0.207	0.207
Aug	126540	11760	0.203	0.201
Sep	128130	11910	0.182	0.177
Oct	130280	12110	0.163	0.160
Nov	132530	12320	0.151	0.149
Dec	134130	12470	0.143	0.142

ตาราง 4.1 ค่าความสว่างดวงอาทิตย์ ที่ใช้ในการคำนวณ

ที่มา : Daylighting , The Daylight and Sunlight Resource , page 39

สำหรับสภาพบรรยากาศ ที่แปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลานั้น จะเป็นตัวกำหนด ค่าความสกปรกของสภาพบรรยากาศ (Atmospheric Turbidity) ซึ่งมีอยู่สองลักษณะ คือ α_1 หมายถึงค่าความสกปรกต่ำ (Low-turbidity) และ α_2 หมายถึงค่าความสกปรกสูง (High turbidity)

สภาพของค่าความขุ่นต่ำ จะถูกกำหนดโดยสมการ

$$\alpha_1 = (\tau) \sec \theta_0 \quad \text{.....(4.4)}$$

และสำหรับ ค่าความขุ่นสูง จะถูกำหนดโดยสมการ

$$\alpha_2 = BmT \quad \text{.....(4.5)}$$

เมื่อ τ เป็นค่า ความหนารวมของชั้นบรรยากาศ ที่ประกอบจากสภาพของบรรยากาศที่เบาบางลง (จากการแพร่กระจายของโมเลกุล) และ การอัดของอากาศ (Aerosol) พิจารณาค่าตัวแปรคงที่ต่างๆ ได้จากตารางข้างต้น

θ_0 เป็นมุม เซนิทของท้องฟ้า

B เป็นค่า การลดลงของบรรยากาศ (Atmospheric extinction coefficient)

m เป็นค่าความสัมพันธ์ของมวลอากาศ (Air mass)

T เป็นค่าความขุ่นของอากาศ

สมการของ SERI ได้กำหนด ค่าของ m (Air mass) จากสมการที่แปรผันตามพื้นผิวที่โค้งของโลก (Buhl et al, 1982)

$$m = 1 / (\cos\theta_0 + 0.158 (93.885 - \theta_0)^{-1.253}) \quad \text{.....(4.6)}$$

เมื่อ θ_0 คือมุมเซนิทของท้องฟ้า
ความขุ่นของอากาศ หาได้ดังนี้

$$T = [(h + 85) / (39.5e^{-w} + 47.4) + 0.1] + (16 + 0.22w) \beta \quad \text{.....(4.7)}$$

เมื่อ T คือ ความขุ่นของสภาพบรรยากาศ
β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นของอากาศ

ความส่องสว่างกระจาย บนพื้นระนาบแนวนอน ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง Edh, c (หน่วยเป็น lux) ซึ่งจะแบ่งเป็นความสว่างจากด้านหลัง (EdH,back)และแสงจากองค์ประกอบโดยรอบ (EdH,cir) อธิบายด้วยสมการได้ดังนี้

$$Edh, c = Ed,back + Ed,cirsol \quad \text{.....(4.8)}$$

สมการ 4.8 เป็นการหาแสงกระจายในระนาบ ด้วยสมการ (Prof. Littlefair, 1965) ส่วนสมการแสงสว่างกระจายในระนาบนอนของ Robins-Hunter จะมีสมการดังนี้

$$Edh, c = (r) Edn / (CNd)^2 \quad \text{.....(4.9)}$$

สมการ 4.9 จะไม่มีการแบ่งความสว่าง ออกเป็นความสว่างด้านหลัง และความสว่างรอบข้างแต่ r จะเป็น อัตราส่วนระหว่าง รังสีกระจายรวมในระนาบนอน (Diffuse to Global horizontal radiation) และ CNd คือ ค่าตัวประ กอบแสงสว่าง (Daylighting clearness number) จะเป็นการคำนวณค่ารายชั่วโมงในแต่ละเมือง

ค่าการสะท้อนแสงจากพื้นดิน ภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่ง Eg,c จะมีสมการดังนี้

$$Eg,c = (Egh,c) (Fg) (\rho g) \quad \text{.....(4.10)}$$

เมื่อ Fg คือ ค่าของมุมระหว่างพื้นผิวและระนาบพื้นดิน
ρg คือ ค่าการสะท้อนแสงของพื้นดิน

$$Fg = (1 - \cos\theta) /2 \quad \text{.....(4.11)}$$

เมื่อ มุม θ คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่าง พื้นผิวที่แสงตกกระทบ และพื้นดิน

หาก เราให้ cos = 1 และ Fg = 0 แสงสว่างรวม (Global) ที่ตกกระทบบนผิวระนาบรวม จะมีเฉพาะแสงสว่างตรง และแสงสว่างกระจายเท่านั้น

แสงสว่างรวมบนพื้นผิวระนาบตั้ง (Total global illuminance on vertical surface) ภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง สามารถอธิบายด้วยสมการได้ดังนี้

$$E_{GV,C} = E_{DV,C} + Ed_{V,C} + Eg_{V,C} \quad \text{.....(4.12)}$$

องค์ประกอบของแสงสว่างกระจาย จะเกิดจากการรวมกันของ แสงสว่างจากท้องฟ้า และแสงสว่างจากรอบข้าง แสงสว่างกระจายจะมีการแปรเปลี่ยน บ้างไปตามสภาพภูมิประเทศ ที่แตกต่างกัน แต่โดยพื้นฐาน แสงสว่างกระจายในระนาบตั้ง จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นสำคัญ ดังนั้นแสงกระจายบนพื้นผิวระนาบตั้งในมุมองศาของพื้นผิวที่หมุนเปลี่ยนทิศทางต่างๆ จะเป็นดังนี้

$$Edv,\ orient,c = (b_0 + b_1 h + b_2 h^2 + b_2 h^3) \quad \text{.....(4.13)}$$

สมการข้างต้น h จะหมายถึง มุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude)
และ b จะหมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบ ตามตารางรางที่ 4.3 และ 4.4

Solar Azimuth	bo	b1	b2	b3
0	1797.50	873.968	- 25.783	0.267
45	635.005	775.031	- 23.281	0.233
90	114.284	320.616	- 7.113	0.058
135	310.715	175.837	- 3.606	0.026
180	228.572	116.277	- 3.641	0.030

ตาราง 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย ของ bo,b1,b2,b3 สำหรับวันที่ 21 ธันวาคม

ที่มา : Daylighting , The Daylight and Sunlight Resource , page 43

Solar Azimuth	bo	b1	b2	b3
0	5042.856	531.310	- 8.881	0.042
45	985.713	688.889	- 11.827	0.057
90	61.429	366.367	- 6.029	0.033
135	1285.713	68.453	0.547	- 8.33 E-3
180	1057.142	90.912	- 0.666	2.77 E -3

ตาราง 4.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย ของ bo,b1,b2,b3 สำหรับวันที่ 21 มิถุนายน

ที่มา : Daylighting , The Daylight and Sunlight Resource , page 43

หากเรากำหนดให้ค่าการสะท้อนแสงของพื้น เท่ากับ 20% ซึ่งจะสอดคล้องกับข้อมูลการคำนวณของ ASHRAE และสมมติให้ค่าจากผนังถึงพื้น = 0.5 จะได้ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวในระนาบตั้ง ดังสมการด้านล่างนี้ (From American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers , 1981)

$$Egv = 0.1\,(E_{DN} \cos \theta 0 + Edh,c) \quad \text{.....(4.14)}$$

การคำนวณหาค่าความสว่างรวม ในพื้นผิวระนาบตั้ง แสงกระจายบนพื้นผิวระนาบตั้ง ในทิศทางหลัก (N,E,S,W) และ ทิศรอง (NE, SE, SW, NW)

สมการค่าความสว่างบนพื้นผิวระนาบในทิศทางต่างๆ ภายใต้สภาพท้องฟ้า ที่มีเมฆปกคลุมทึบ (Overcast sky) จะเป็นดังนี้

$$E_{G,O} = E_{D},o + Ed,o + Eg,o \quad \text{.....(4.15)}$$

สมการ 4,14 ค่าของ E_D, Ed, Eg จะเป็นค่าของแสงสว่างตรง , แสงสว่างกระจาย และแสงสะท้อนจากพื้นดินตามลำดับ

ความสว่างรวม (Global illuminance, E_{GH},o) สามารถที่จะกำหนดในลักษณะของสมการถดถอยหลายตัวแปร (Polynomial) ได้ดังนี้

$$E_{GH,O} = a(C_1h + C_2h^2 + C_3h^3 + C_4h^4 + C_5h^5) \quad \text{.....(4.16)}$$

สมการข้างต้น a จะเป็นตัวกำหนด ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล และค่า C จะกำหนดจากตารางต่อไปนี้ โดยให้ ค่า Co เท่ากับศูนย์ และ h = มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์

C1	C2	C3	C4	C5
797.8926	- 49.0255	1.7956	-2.7548E-2	1.5221E-4

ตาราง 4.4 แสดงค่า สัมประสิทธิ์ตัวประกอบ C จากสมการถดถอย

ที่มา : Daylighting , The Daylight and Sunlight Resource , page 39

ค่า a ในสามารก 4.5 มีค่าดังต่อไปนี้

Station Elev. (m.)	A1	A2	A3	A4	A5
0	0	0	0	0	0
450	6.0079E-3	3.5319E-4	-2.1357E-5	3.2753E-7	-1. 5548E-9
900	2.2954E-2	- 6.5710E-4	4.8760E-6	2.5372E-8	- 3.0384E-10
2250	4.7556E-2	- 2.1753E-3	4.1302E-5	- 3.5649E-7	1.1598E-9
3000	6.7569E-2	- 3.5961E-3	7.8822E-5	- 7.7968E-7	2.8774E-10

ตาราง 4.5 แสดงค่า สัมประสิทธิ์ตัวประกอบ a จากสมการถดถอย

ที่มา : Daylighting , The Daylight and Sunlight Resource , page 43

ในทำนองเดียวกับ ค่าความสว่างรวม ในระนาบตั้ง $E_{GV,O}$ สามารถกำหนดได้ดังสมการดังนี้

$$E_{GV,O} = [\, a(E_1h + E_2h^2 + E_3h^3 + E_4h^4 + E_5h^5) \,] + [(0.5)(\rho g)(E_{GH,O})] \quad \text{.....(4.17)}$$

ค่า a สามารถพิจารณาได้จากตาราง 4.6

ค่า E1,E2,E3,E4,E5 ตามสมการถดถอย สามารถพิจารณาได้ดังนี้

E1	E2	E3	E4	E5
152.6658	- 2.8152	1.1202E-1	-1.8129E-3	1.0911E-5

ตาราง 4.6 แสดงค่า สัมประสิทธิ์ตัวประกอบ a จากสมการถดถอย

ที่มา : Daylighting , The Daylight and Sunlight Resource , page 43

ค่าความสว่างตกกระทบบนพื้นผิวที่มีความลาดชัน ในทิศทางต่างๆ นั้น จะมีค่าความสว่างอยู่ระหว่างระนาบตั้ง และ ระนาบนอนภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง สามารถกำหนดค่าแสงสว่างรังสีตรง (Direct illuminance) ที่ตกกระทบพื้นผิวระนาบตั้งในทิศใต้ และระนาบนอนได้ดังนี้

$$E_{Dk,C} = [(E_{GH,C})(\cos k) + (E_{GV},\text{south},c)(\sin k)(\cos l)] \quad \text{.....(4.18)}$$

เมื่อ ค่า $E_{Dk,C}$ หมายถึงค่ารังสีแสงสว่างตรงตกลงบนผิวระนาบที่มีความลาดชัน (slope) เท่ากับ k

ค่า l หมายถึง มุมตกกระทบระหว่างพื้นผิวและดวงอาทิตย์

หากค่าความสว่างในระนาบตั้ง มีการกำหนดทิศทางในการคำนวณ สมการจะแปรเปลี่ยนเป็น

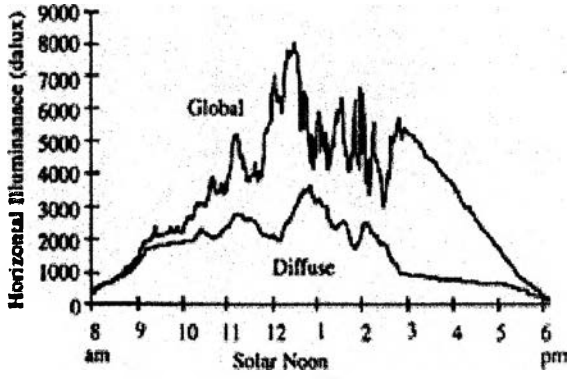
$$E_{Dk,C} = [(E_{GH,C})(\cos k) + (E_{GV},\text{orient},c)(\sin k)] \quad \text{.....(4.19)}$$

ในทำนองเดียวกัน ความสว่างกระจาย ที่ตกกระทบพื้นผิว ที่มีระนาบลาดชัน ภายใต้ท้องฟ้าโปร่งจะสามารถกำหนดค่าความสว่างในรูปของความสว่างในระนาบตั้ง และระนาบนอนได้ดังนี้

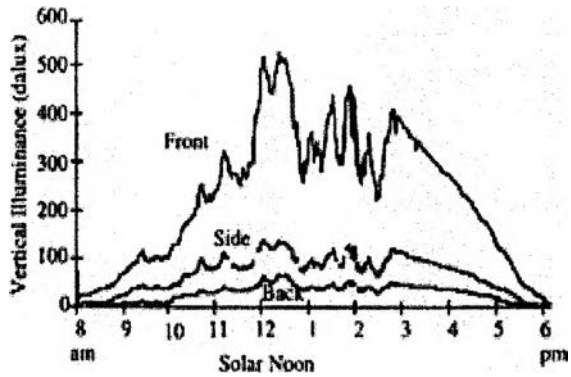
$$Edk,c = [(E_{GH,C})(\cos k) + (E_{GV},\text{orient},c)(\sin k)] \quad \text{.....(4.20)}$$

และสำหรับท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมทึบ (overcast sky) ค่าความสว่างบนระนาบพื้นผิว ที่มีความชันจะเท่ากับ

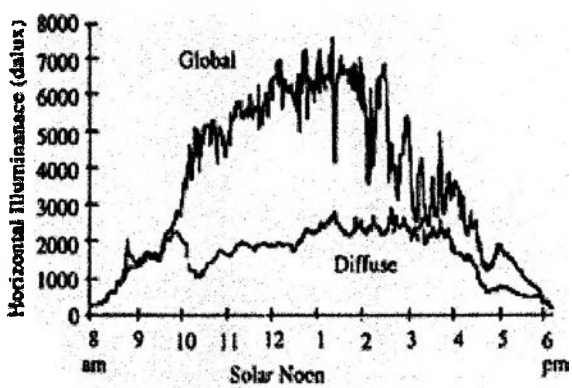
$$Egk,o = [(E_{GH,C})(\cos k) + (E_{GV},\text{orient},c)(\sin k)] \quad \text{.....(4.21)}$$



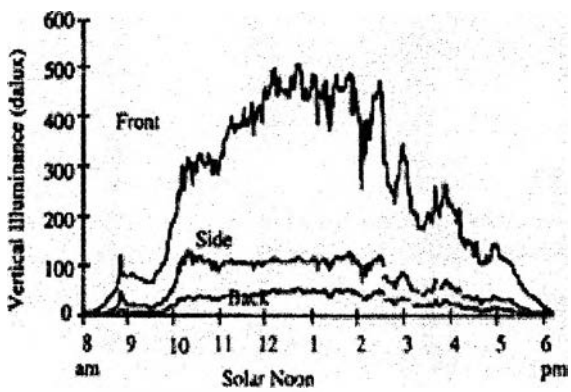
Horizontal illuminance outside.



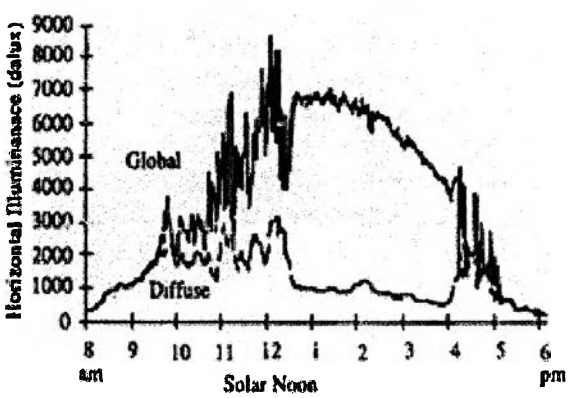
Vertical illuminance inside.



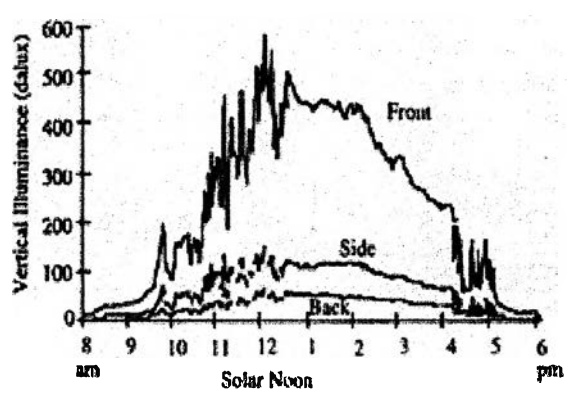
-Horizontal illuminance outside.



Vertical illuminance inside.



Horizontal illuminance outside.



Vertical illuminance inside.

รูป 4.3 กราฟแสดงความสว่างแสงธรรมชาติในระนาบนอน และระนาบตั้ง (lux)
ของ รังสีรวม และรังสีกระจายของดวงอาทิตย์ ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

ที่มา : M.Navvab, M.Siminovitch and J.Love ,Variability of Daylight in Luminous Environments
From The 1995 IESNA annual conference , page 101

4.2.2 แนวทางและวิธีการหาองค์ประกอบในการคำนวณ

ในการออกแบบการส่องสว่างภายในอาคารด้วยแสงธรรมชาติ นอกจากองค์ประกอบของ แหล่งกำเนิดแสง ที่ได้จากปริมาณ ความสว่างภายนอกนั้น ยังมีองค์ประกอบที่สำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อแสงสว่างธรรมชาติ ภายในอีกหลายองค์ประกอบ ซึ่งสามารถแยกอธิบายออกเป็นข้อๆ ให้ง่ายต่อความเข้าใจได้ดังนี้

1) การสะท้อนแสงของวัสดุภายนอกอาคาร (Ground reflectance : RFg)
2) การส่องผ่านแสงของวัสดุ (Visible transmission : Vt)
3) กรอบช่องเปิดอาคาร (Frame or Glazing bar : Ra)
4) การสะสมของฝุ่นหรือสิ่งสกปรก (Dirt Accumulation : Km)
5) การป้องกันรังสีตรงดวงอาทิตย์ (Obstruction Angle : α)

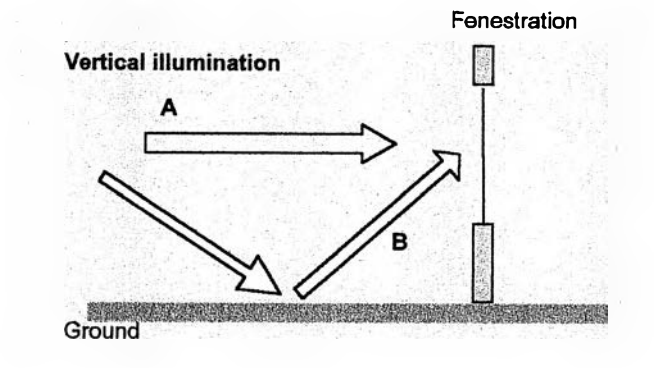
1) การสะท้อนแสงของวัสดุภายนอกอาคาร (Ground reflectance : RFg)

เนื่องจากรังสีแสงอาทิตย์กระจายในระนาบนอน จะเกิดจากองค์ประกอบของแหล่งกำเนิดแสง ที่ได้จากแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นดินภายนอกอาคารสะท้อนมารวมกับแสงในระนาบตั้งของท้องฟ้า ดังนั้นการสะท้อนแสงของพื้นดินภายนอกอาคาร จึงมีอิทธิพลต่อปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาสู่อาคาร ซึ่งค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายนอกอาคาร จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิด และวัสดุ ที่เป็นองค์ประกอบของพื้นผิว ภายนอกอาคารนั้นๆ และมีค่าการสะท้อนแสงดังนี้

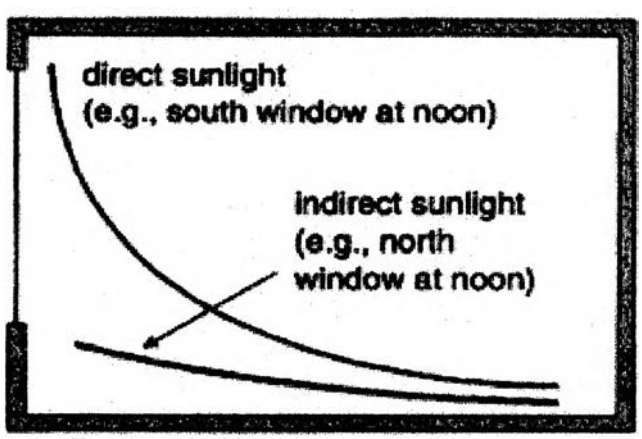
Materials	Reflectance (percentage)	Materials	Reflectance (percentage)
Blue stone, sand stone	18	Granolite pavement	17
Brick - light buff	48	Grass (dark green)	6
- dark buff	40	Gravel	13
- dark red glazed	30	Macadam	18
Cement	27	Slate (dark clay)	8
Concrete	55	Snow - new	74
Granite	40	- old	64
Marble (white)	45	Vegetation (mean)	25
Paint (white) - new	75		
- old	55		
Asphalt (free from dirt)	7		
Earth (moist cultivated)	7		

ตาราง 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายนอกอาคาร (IES , RP-23-1989)

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building. page 1003



รูป 4.4 แสงกระจายในระนาบนอน ที่ประกอบด้วย A) รังสีกระจายในระนาบตั้งจากท้องฟ้า และ B) รังสีกระจายในระนาบนอนที่สะท้อนจากพื้นดิน ก่อนเข้าสู่ช่องเปิด



Curves show light levels when a window is facing the part of the sky that has the sun versus the sky away from the sun (daylight only, no direct beam in the room).

รูป 4.5 ปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร ของรังสีตรง และรังสีกระจาย

ที่มา : Tip for Daylighting with Windows , page 3 - 3

การคำนวณหาปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร

ตัวอย่าง 4.1

กำหนดให้ปริมาณแสงสว่างกระจายภายนอกอาคาร ในระนาบนอน , Ehk = 14000 ลักซ์

กำหนดให้ปริมาณแสงสว่างกระจายภายนอกอาคาร ในระนาบตั้ง , Evk = 18000 ลักซ์

กำหนดให้ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายนอกอาคาร เป็นพื้นคอนกรีต , RFg = 0.55

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงสว่างที่สะท้อนพื้นดินเข้าสู่อาคาร จะคำนวณจากความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะครึ่งท้องฟ้า (half sky) คูณกับค่าการสะท้อนแสงของพื้นดิน , Evg = RFg x (Ehk / 2)

= 0.55 x (14000 / 2)

= 3,850 ลักซ์

ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร = Evg + Ehk

= 3,850 + 18000

= 21,850 ลักซ์

ตัวอย่าง 4.2

กำหนดให้ความสว่างจากรังสีตรงดวงอาทิตย์ ในระนาบนอน , E_{Dh} = 80,000 ลักซ์

ปริมาณแสงสว่างกระจาย เช่นเดียวกับตัวอย่าง 4.1

ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุพื้นผิวภายนอกอาคาร เป็นพื้นหญ้า , RFg = 0.25

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงสว่างที่สะท้อนพื้นดินเข้าสู่อาคารจะคำนวณจากความสว่างของท้องฟ้า ในลักษณะครึ่งท้องฟ้า (half sky) ของความสว่างจากรังสีตรงดวงอาทิตย์ รวมกับความสว่างกระจาย คูณกับค่าการสะท้อนแสงของพื้นดิน ,

Evg = RFg x ((Ehk + E_{Dh}) / 2)

= 0.25 x ((80,000 + 14,000) /2)

= 23,500 ลักซ์

ปริมาณแสงสว่างธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร = Evg + Ehk

= 23,500 + 18,000

= 41,500 ลักซ์

2) การส่องผ่านแสงของวัสดุ (Visible Transmission : Vt)

เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญมาก ต่ออิทธิพลของแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร ซึ่งการทะลุผ่านของแสง จะถูกกำหนดจากค่าสัมประสิทธิ์ ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณการทะลุผ่านของแสง ของวัสดุนั้น เมื่อเทียบกับวัสดุที่ให้แสงผ่านได้เต็มที่ ที่เป็นวัสดุอ้างอิง ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านวัสดุ ของแสงจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1 เมื่อ ศูนย์หมายถึงไม่มีการทะลุผ่านของแสงเลย และ หนึ่งหมายถึงมีการทะลุผ่านของแสงอย่างเต็มที่ การควบคุมการเพิ่ม หรือลดค่าสัมประสิทธิ์ การทะลุผ่านของวัสดุ จะมีผลอย่างมาก ต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร เนื่องจาก หากมีการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ โดยลดลงจาก 0.9 ไปเป็น 0.8 ปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารจะลดลงประมาณร้อยละ10 จากปริมาณเดิม และหากค่าการทะลุผ่านของแสงเท่ากับหนึ่ง จะหมายถึงเป็นช่องเปิดโล่ง ที่ไม่ได้มีการปิดกั้นจากวัสดุใดๆ

การส่องผ่านของแสงธรรมชาติ ของวัสดุจะแตกต่างกันไปในวัสดุแต่ละชนิด และภายในวัสดุชนิดเดียวกัน จะมีความแตกต่าง ของเฉดสี หรือความทึบแสงที่แตกต่างกันเช่นกัน โดยจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความแตกต่างของเฉดสีในวัสดุชนิดเดียวกัน ระหว่าง 0 – 1 ในลักษณะเดียวกับค่าการส่องทะลุผ่านของวัสดุ

Materials	**Approximate Transmittance (%)**
Polished plate / float glass	80 – 90
Sheet glass	85 – 91
Heat-absorbing plate glass	70 – 80
Heat-absorbing sheet glass	70 – 85
Tinted polished plate	40 – 50
Figure glass	70 – 90
Corrugated glass	80 – 85
Glass block	60 – 80
Clear plastic sheet	80 – 92
Tinted plastic sheet	9 – 42
Colorless patterned plastic	80 – 90
White translucent plastic	10 – 80
Glass-fiber-reinforced plastic	5 – 80
Double glazed – two lights clear glass	77
Tinted plus clear	37 – 45
Reflective glass	5 – 60

Source : IES RP-23-1989

ตาราง 4.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของแสงผ่านวัสดุ ที่เป็นช่องเปิด

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , pp 996

วิธีการหาค่าความสว่าง ที่ทะลุผ่านช่องเปิด

คำนวณโดยการนำปริมาณแสงธรรมชาติ ทั้งหมดที่ผ่านช่องเปิด คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การส่องทะลุผ่านของแสง ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของวัสดุ

ตัวอย่าง 4.3

จากตัวอย่าง 4.1 จะได้ปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร , Ei = 21,850 ลักซ์

กำหนดให้วัสดุช่องเปิด เป็นกระจกใส มีค่าการทะลุผ่านของแสง 90 เปอร์เซนต์ , Vt1 = 0.90

กระจกใสที่ใช้มีความทึบแสง (ติดฟิลม์) มีค่าการทะลุผ่านของแสง 80 เปอร์เซ็นต์ , Vt2 = 0.80

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงธรรมชาติที่ทะลุผ่านช่องเปิดกระจกใส (Visible Transmission)

= Ei x Vt1 x Vt2

= 21,850 x 0.90 x 0.80

= 15,732 ลักซ์

ตัวอย่าง 4.4

จากตัวอย่าง 4.1 จะได้ปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร , Ei = 21,850 ลักซ์

กำหนดให้วัสดุช่องเปิดเป็นบล๊อคแก้ว (Glass block)

มีค่าการทะลุผ่านของแสง 70 เปอร์เซ็นต์ ,Vt1= 0.70

วัสดุที่ใช้ไม่มีเฉดสีใดๆ Vt2 = 1

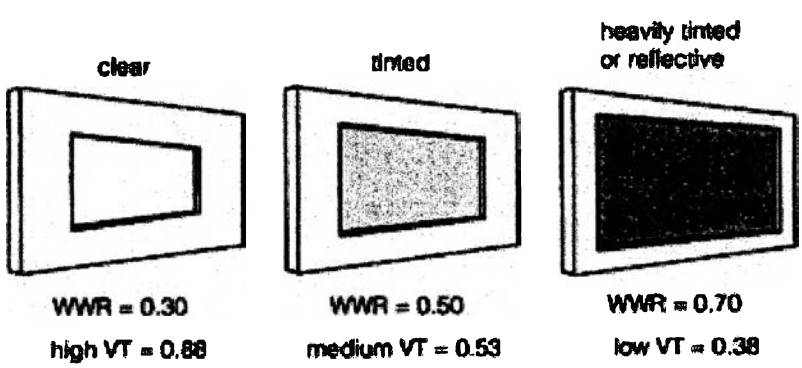
วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงธรรมชาติที่ทะลุผ่านช่องเปิดบล๊อคแก้ว (Visible Transmission)

= Ei x Vt1 x Vt2

= 21,850 x 0.70 x 1.00

= 15,295 ลักซ์



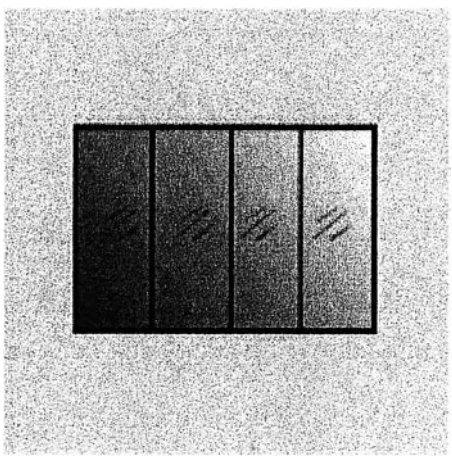
รูป 4.6 สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของกระจก ที่แตกต่างกัน

ที่มา : Tip for Daylighting with Windows , page 3 - 3

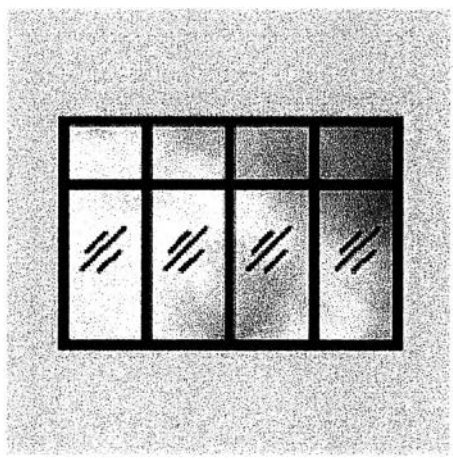
3) กรอบช่องเปิดอาคาร (Frame or Glazing bar : Ra)

กรอบช่องเปิดอาคาร จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงพื้นที่สุทธิของช่องเปิด จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของวัสดุที่เป็นช่องเปิด ต่อพื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด ค่าสัมประสิทธิ์กรอบช่องเปิดของอาคาร จะมีความแตกต่างกันไปตามรูปแบบที่กำหนด โดยรูปแบบของช่องเปิด ที่ได้มีการใช้คำนวณในงานวิจัยนี้ จะใช้รูปแบบของกรอบที่เป็นมาตราฐาน (R.G. Hopkinson 1966 , pp101) เพื่อให้สะดวกในการคำนวณ

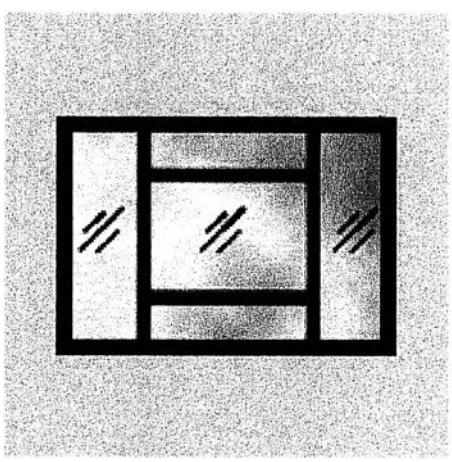
รูปแบบกรอบช่องเปิดมาตราฐาน ที่มีความแตกต่างกัน ในแต่ละแบบนั้นจะมีลักษณะและค่าสัมประสิทธิ์ดังนี้



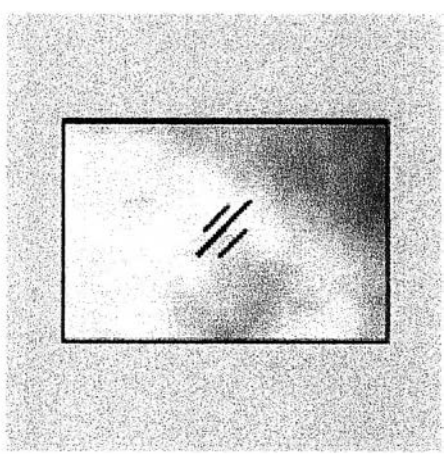
92 %



80 %



60 %



100 %

รูป 4.7 กรอบช่องเปิดอาคารมาตราฐาน ที่แตกต่างกันในแต่ละรูปแบบ และค่าสัมประสิทธิ์ พื้นที่สุทธิของช่องเปิด

ที่มา : Daylighting ,University College London , page 101

วิธีการหาค่าความสว่าง ที่ทะลุผ่านช่องเปิด

คำนวณโดยการนำปริมาณแสงธรรมชาติ ทั้งหมดที่ผ่านช่องเปิด คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การส่องทะลุผ่านของแสง และสัมประสิทธิ์พื้นที่สุทธิของช่องเปิด

ตัวอย่าง 4.5

จากตัวอย่าง 4.1 จะได้ปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร , Ei = 21,850 ลักซ์
กำหนดให้วัสดุช่องเปิด เป็นกระจกใส มีค่าการทะลุผ่านของแสง 90 เปอร์เซนต์ , Vt1 = 0.90
กระจกใสที่ใช้มีความทึบแสง (ติดฟิลม์) มีค่าการทะลุผ่านของแสง 80 เปอร์เซ็นต์ , Vt2 = 0.80
พื้นที่สุทธิของช่องเปิดที่กำหนดเท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ , Ra = 0.92

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงธรรมชาติที่ทะลุผ่านช่องเปิดกระจกใส และกรอบช่องเปิด (Visible Transmission)

= Ei x Vt1 x Vt2 x Ra
= 21,850 x 0.90 x 0.80 x 0.92
= 14,473 ลักซ์

ตัวอย่าง 4.6

จากตัวอย่าง 4.4 จะได้ปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านช่องเปิดและวัสดุที่เป็นช่องเปิดของอาคาร , Ei = 15,295 ลักซ์
หากช่องเปิดของอาคาร ไม่มีกรอบของช่องเปิด ค่าสัมประสิทธิ์กรอบของช่องเปิด = 1

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงธรรมชาติที่ทะลุผ่านช่องเปิดที่ประกอบด้วยวัสดุโปร่งแสงที่ไม่มีกรอบของช่องเปิด

= Ei x 1
= 15,295 x 1.00
= 15,295 ลักซ์

4) การสะสมของฝุ่นหรือสิ่งสกปรก (Dirt Accumulation : Km)

การสะสมของฝุ่นหรือสิ่งสกปรกเป็นองค์ประกอบหนึ่ง ที่มีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร ความลาดชันหรือมุมเอียงของช่องเปิด จะเป็นตัวกำหนดความสกปรก ที่สะสมบนพื้นผิววัสดุที่เป็นช่องเปิดรับแสง ซึ่งขึ้นกับสภาพแวดล้อมรอบๆ อาคารด้วย การที่ความลาดชันของช่องเปิดยิ่งน้อย หรือใกล้เคียงระนาบนอน เมื่อเทียบกับแนวระนาบตั้งแล้ว ฝุ่นผงสกปรกก็จะเกาะจับที่ช่องเปิดได้มากขึ้น ทำให้จำเป็นต้องทำความสะอาดถี่ขึ้น โดยปกติช่องเปิดควรมีการทำความสะอาดทุก 6 เดือน

Correction Factor to Allow for Dirt Accumulation on Glass

Locality	Class of Industry	Angle of slope (measured to the Horizontal)		
		90 - 75	60 - 45	30 - 0
Country or Outer	Clean	0.9	0.85	0.80
Suburban area	Dirty	0.7	0.60	0.55
Build-up	Clear	0.8	0.75	0.70
Residential area	Dirty	0.6	0.50	0.40
Build-up	Clear	0.7	0.60	0.55
Industrial area	Dirty	0.5	0.35	0.25

Source : From Daylight , International Recommendations for the Calculation of Natural Daylight CIE, No. 16 (E-3.2), 1970

ตาราง 4.9 ค่าความสกปรกและฝุ่นผงของช่องเปิดบนระนาบที่มีความลาดชัน

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building , page 988

ตัวอย่าง 4.7

จากตัวอย่าง 4.1 จะได้ปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร , Ei = 21,850 ลักซ์

กำหนดให้วัสดุช่องเปิด เป็นกระจกใส มีค่าการทะลุผ่านของแสง 90 เปอร์เซนต์ , Vt1 = 0.90

กระจกใสไม่มีเฉดสี , Vt2 = 1.00

กรอบช่องเปิด มีพื้นที่สุทธิ Ra = 0.80 ,

อาคารพักอาศัยในเขตเมืองหลวง และมีการทำความสะอาดช่องเปิดเป็นประจำทุก 6 เดือน มีความลาดชัน 60 องศา ความสกปรกของช่องเปิดมีค่า Km = 0.75

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ทะลุผ่านช่องเปิดของอาคาร = Ei x Vt1 x Vt2 x Ra x Km

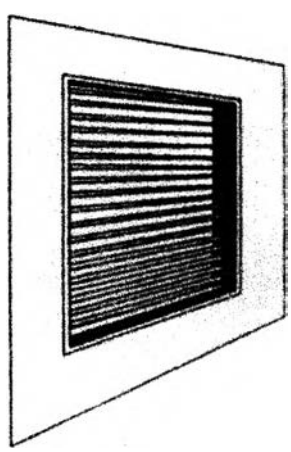
= 21,850 x 0.90 x 1 x 0.80 x 0.75

= 11,799 ลักซ์

5) การป้องกันรังสีตรงดวงอาทิตย์ (Obstructed Device : α)

เป็นอุปกรณ์เพิ่มเติม ของช่องเปิดอาคาร เพื่อป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงดวงอาทิตย์ จะก่อให้เกิดแสงจ้าแก่ภายในอาคาร (Glare) ปริมาณของแสงที่มีความสว่าง มากเกินความต้องการ ของผู้ใช้งานภายในอาคาร จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสายตามนุษย์ ดังนั้นการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานภายในอาคาร จะเลือกใช้เฉพาะแสงกระจายเท่านั้น(Diffuse illumination) ในการนำมาใช้ประโยชน์ หากอาคารใดที่ได้รับแสงธรรมชาติจากรังสีตรงจากดวงทิตย์ทะลุผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคาร จะต้องมีการป้องกันรังสีตรงดังกล่าว

การป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้ ได้นำวิธีป้องกันรังสีตรงดวงอาทิตย์ด้วยการใช้อุปกรณ์บังแดด ที่มีเฉดของอุปกรณ์บังแดด ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ หรือ มู่ลี่ (Blinds) มาใช้ในการลดทอนปริมาณแสงแดดตรง เนื่องจากอุปกรณ์บังแดดดังกล่าว สามารถที่จะปรับเปลี่ยนมุมของการบังแดดไปตามแนวทางเดินของดวงอาทิตย์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน ซึ่งการบังแดด จะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งเป็นอุปกรณ์ ที่เหมาะสมในแง่การศึกษาที่สามารถจะศึกษาปริมาณของแสงธรรมชาติที่ทะลุผ่านช่องเปิด เข้าสู่อาคาร ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามมุมองศาของการบังแดด และตำแหน่งดวงอาทิตย์ ได้อย่างชัดเจน อุปกรณ์บังแดดในลักษณะนี้จะทำหน้าที่ช่วยในการบังคับแสงสว่าง ให้เข้าสู่อาคารในปริมาณตามที่ต้องการ โดยปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคาร จะมากหรือน้อย ตามการปรับเปลี่ยนมุมองศาของมู่ลี่ ที่คล้อยตามมุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ และการสะท้อนแสงของมู่ลี่ที่แตกต่างกัน



รูป 4.8 อุปกรณ์ควบคุมปริมาณรังสีตรงดวงอาทิตย์ (มู่ลี่)

ที่มา : Tip for Daylighting with Windows , page 5 - 2

Minimum Blinds angle required to Block Direct sunlight

Solar Angle	Blinds Angle
41	0
32	15
23	30
13	45
0	60

ตาราง 4.10 ตารางแสดงค่ามุมองศาต่ำสุดที่ต้องการในการป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

ที่มา : IES RP – 23 - 1989 , page 9

การควบคุมปริมาณแสงแดดตรงจากดวงอาทิตย์ จะถูกกำหนดโดย มุมบังแดด , ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และค่าการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันของมู่ลี่ ดังมีรายละเอียดดังนี้

Blinds Factors for Ten Percent Blinds Reflectance

Blinds Factor	Solar Angle	Blinds Angle				
		0	15	30	45	60
B_{ss}	0	.000	.001	.002	.003	.003
	15	.001	.002	.003	.003	.003
	30	.003	.004	.003	.003	.002
	45	.004	.004	.003	.002	.001
	60	.003	.003	.002	.001	.001
	75	.002	.001	.001	.001	.000
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.002	.003	.003	.003	.003
B_{sd}	Any	.025	.017	.011	.007	.003
B_{dd}	0	.000	.026	.051	.072	.089
	15	.027	.052	.073	.087	.097
	30	.057	.081	.096	.095	.096
	45	.085	.085	.085	.085	.085
	60	.073	.073	.073	.073	.073
	75	.044	.044	.044	.044	.044
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.080	.086	.078	.089	.100
B_{ss}	Any	.001	.002	.007	.015	.025

Blinds Factors for Thirty Percent Blinds Reflectance

Blinds Factor	Solar Angle	Blinds Angle				
		0	15	30	45	60
B_{ss}	0	.000	.011	.019	.029	.035
	15	.011	.021	.026	.028	.018
	30	.024	.033	.031	.023	.015
	45	.036	.033	.026	.019	.011
	60	.030	.025	.019	.013	.008
	75	.017	.013	.010	.006	.003
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.021	.027	.029	.029	.026
B_{sd}	Any	.077	.054	.036	.024	.015
B_{dd}	0	.000	.080	.155	.218	.266
	15	.082	.159	.223	.264	.282
	30	.175	.247	.282	.281	.280
	45	.259	.258	.257	.256	.255
	60	.223	.222	.221	.220	.220
	75	.133	.132	.132	.131	.131
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.153	.200	.236	.270	.303
B_{ss}	Any	.010	.012	.025	.046	.076

Blinds Factors for Fifty Percent Blinds Reflectance

Blinds Factor	Solar Angle	Blinds Angle				
		0	15	30	45	60
B_{ss}	0	.000	.031	.058	.066	.064
	15	.033	.061	.079	.078	.061
	30	.069	.095	.088	.065	.041
	45	.103	.094	.075	.053	.032
	60	.087	.073	.055	.037	.021
	75	.048	.038	.027	.017	.009
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.080	.077	.084	.082	.073
B_{sd}	Any	.132	.093	.065	.046	.032
B_{dd}	0	.000	.139	.266	.372	.450
	15	.141	.272	.382	.449	.442
	30	.302	.426	.449	.442	.437
	45	.447	.444	.436	.432	.428
	60	.384	.380	.375	.371	.368
	75	.228	.225	.223	.221	.219
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.264	.344	.407	.460	.512
B_{ss}	Any	.030	.029	.047	.081	.130

Blinds Factors for Seventy Percent Blinds Reflectance

Blinds Factor	Solar Angle	Blinds Angle				
		0	15	30	45	60
B_{ss}	0	.000	.064	.112	.134	.127
	15	.067	.125	.161	.159	.103
	30	.142	.195	.180	.133	.083
	45	.214	.193	.154	.108	.065
	60	.180	.150	.113	.078	.043
	75	.099	.078	.056	.035	.018
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.125	.158	.171	.166	.145
B_{sd}	Any	.195	.138	.099	.074	.056
B_{dd}	0	.000	.204	.389	.537	.642
	15	.209	.401	.559	.648	.629
	30	.446	.626	.654	.635	.618
	45	.660	.651	.635	.618	.606
	60	.565	.554	.541	.528	.518
	75	.333	.327	.319	.313	.308
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ds}	Any	.391	.509	.595	.665	.731
B_{ss}	Any	.062	.055	.075	.121	.186

ตาราง 4.11 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การป้องกันแสงตรงดวงอาทิตย์ ของอุปกรณ์บังแดด ที่มีค่าการสะท้อนแสง 10, 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ที่มา : IES RP – 23 - 1989 , page 10

Blinds Factors for Ninety Percent Blinds Reflectance						
Blinds Factor	Solar Angle	Blinds Angle				
		0	15	30	45	60
B_{uu}	0	.000	.113	.197	.232	.217
	15	.119	.222	.283	.275	.176
	30	.254	.347	.315	.230	.142
	45	.382	.434	.269	.187	.111
	60	.320	.264	.197	.131	.073
	75	.176	.137	.097	.061	.031
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ka}	Any	.222	.281	.301	.267	.246
B_{ga}	Any	.271	.193	.141	.110	.088
B_{uu}	0	.000	.282	.531	.723	.849
	15	.290	.555	.764	.871	.826
	30	.620	.868	.890	.847	.810
	45	.917	.894	.856	.818	.788
	60	.780	.754	.724	.696	.674
	75	.456	.441	.424	.409	.399
	90	.000	.000	.000	.000	.000
B_{ku}	Any	.543	.702	.813	.894	.926
B_{gu}	Any	.111	.093	.113	.167	.247

ตาราง 4.12 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การป้องกัน แสงตรงดวงอาทิตย์ ของอุปกรณ์บังแดด ที่มีค่าการสะท้อนแสง 90 เปอร์เซ็นต์ (ต่อ)

ที่มา : IES RP – 23 – 1989 , page 11

เมื่อ B หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ที่แตกต่างกันตามค่าการสะท้อนแสง จาก 10 30 50 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การอ่านค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดจากตาราง จะมีการแบ่งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของมู่ลี่ ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) สำหรับด้านที่โดนบัง ของมู่ลี่ (กำกับด้วยตัวอักษร a)

2) สำหรับด้านที่โดนแสงอาทิตย์โดยตรง ของมู่ลี่ (กำกับด้วยตัวอักษร u)

และในแต่ละกลุ่มของมู่ลี่ จะแบ่งย่อยตามแหล่งกำเนิดแสง ได้อีก 3 รูปแบบ คือ

1) แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ (กำกับด้วยตัวอักษร u)

2) แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า (กำกับด้วยตัวอักษร k)

3) แสงธรรมชาติจากพื้นดิน (กำกับด้วยตัวอักษร g)

การหาปริมาณแสงธรรมชาติ ที่ทะลุผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคาร จะมีความ สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดในระนาบนอน (Horizontal blinds) ดังสมการต่อไปนี้

$$Ma = Exvu(Bua) + Exvk(Bka) + Exvg(Bga) \quad \text{.....(4.22)}$$

$$Mu = Exvu(Buu) + Exvk(Bku) + Exvg(Bgu) \quad \text{.....(4.23)}$$

สำหรับอุปกรณ์บังแดดในระนาบตั้ง (Vertical blinds)

$$Ma = Exvu(Bua) + 0.5(Exvk + Exvg)(Bka + Bga) \quad (4.24)$$

$$Mu = Exvu(Buu) + 0.5(Exvk + Exvg)(Bku + Bgu) \quad (4.25)$$

เมื่อ Ma = ค่าการบังแดดเทียบเท่าของมู่ลี่
(Equivalent exitance for the shade side of the blinds)

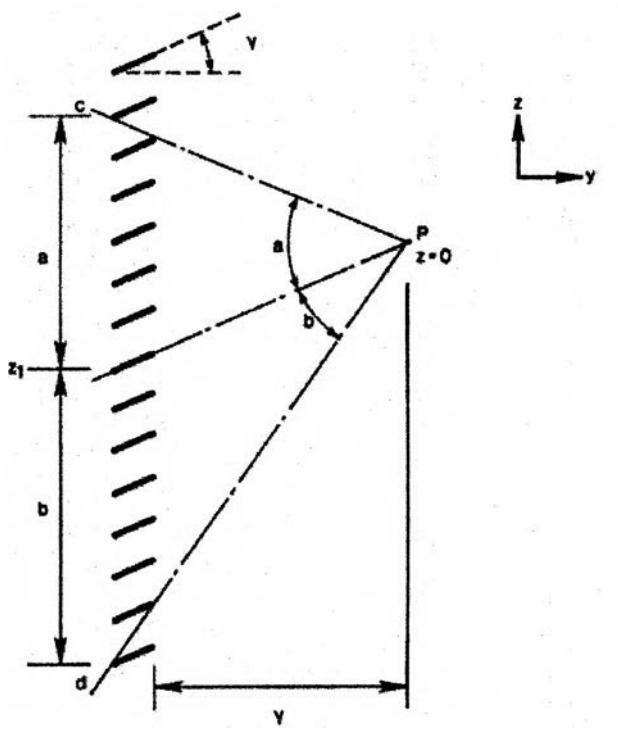
Mu = ค่าการบังแดดของดวงอาทิตย์ของมู่ลี่
(Equivalent exitance for the sun side of the blinds)

Exvu = ปริมาณแสงธรรมชาติในระนาบตั้ง จากดวงอาทิตย์ถึงช่องเปิด

Exvk = ปริมาณแสงธรรมชาติในระนาบตั้งจากท้องฟ้าถึงช่องเปิด

Exvg = ปริมาณแสงธรรมชาติในระนาบตั้งจากพื้นดินสู่ช่องเปิด

B = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด จากตาราง 4.11 และ 4.12

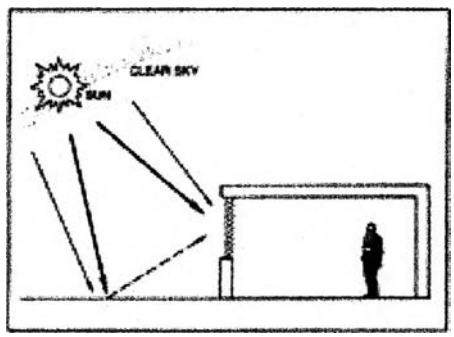


Proportion of sky and ground visible through a south-facing aperture equipped with blinds or louvers: (a) region A, view of the sky; (b) region B, view of the ground; (c) z_2, limit of region A;

รูป 4.9 มุมการบังแดด ของมู่ลี่

ที่มา : Daylighting , page 211

ตัวอย่าง 4.8 การคำนวณหาปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร สำหรับช่องเปิดที่มีอุปกรณ์บังแดด



มุมอัลติจูด ของดวงอาทิตย์ (Solar altitude)	52 องศา
มุมอะซิมุท ของหน้าต่าง (Solar-Window Azimuth)	0 องศา
ลักษณะท้องฟ้า (sky)	ท้องฟ้าโปร่ง (clear)
สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านของวัสดุช่องเปิด (T)	90 เปอร์เซ็นต์
พื้นที่ช่องเปิดสุทธิ (Net/Gross window area (Ra)	80 เปอร์เซ็นต์
สัมประสิทธิ์ความขุ่นของช่องเปิด	90 เปอร์เซ็นต์
มุมของมู่ลี่ (Venetian Blinds Angle)	0 องศา
การสะท้อนแสงของมู่ลี่	30 เปอร์เซ็นต์
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นดิน (RFg)	6 เปอร์เซ็นต์

วิธีการคำนวณ

ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร Evg = RFg x ((Edn + Ehk) / 2)

= 0.06 x ((77,000 + 15,000) / 2)

= 2,760 ลักซ์

Evk = 12,000 ลักซ์

การผ่านทะลุของแสงผ่านช่องเปิด (Transmission)

T = 0.90 x 0.80 x 0.90 = 0.65

การทะลุผ่านของแสงที่ถูกกำหนดโดยค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของมู่ลี่

จากตารางค่าการสะท้อนแสงของอุปกรณ์บังแดด 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถอ่านค่าสัมประสิทธิ์ได้ดังนี้

Bua = 0.033 Bka = 0.021 Bga = 0.077

Buu = 0.242 Bku = 0.153 Bgu = 0.010

ปริมาณแสงสว่าง ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดด จากสมการ 4.21 และ 4.22

Ma = 60,000 x 0.033 + 12,000 x 0.021 + 2760 x 0.077

= 2,440 ลักซ์

Mu = 60,000 x 0.242 + 12,000 x 0.153 + 2760 x 0.010

= 16,380 ลักซ์

4.2.3 แนวทางและวิธีการคำนวณหาความสว่างภายใน

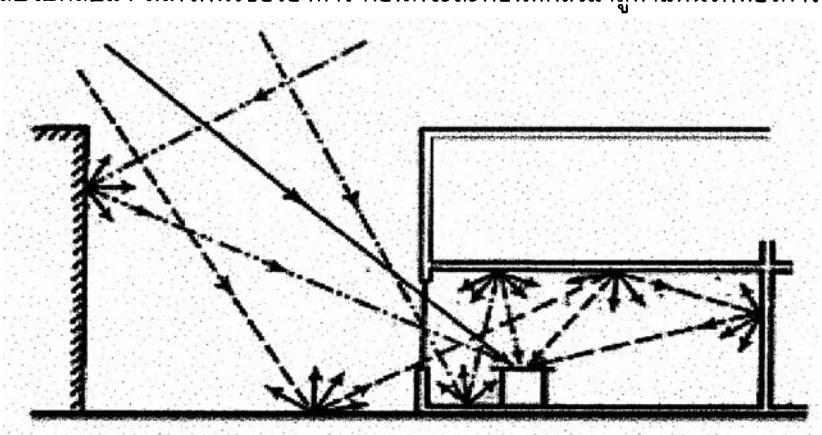
แสงธรรมชาติแม้ว่าจะได้ มีการนำมาประยุกต์ ใช้ภายในอาคาร นับตั้งแต่ยุคเริ่มต้น อารยธรรมทางสถาปัตยกรรมของมนุษย์ แต่การอธิบายแสงธรรมชาติในอาคาร ด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เพิ่งเริ่มมีการศึกษาอย่างจริงจัง ในศตวรรษที่ 19 เพราะได้มีการบันทึก วิธีการคำนวณในรูปแบบของเอกสาร โดยวิธีการคำนวณที่เป็นที่นิยมนั้น สามารถแยกได้เป็น สองวิธีการ คือ วิธีลูเมน (Lumen method) และ วิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight factor method)

วิธีลูเมน (Lumen Method ;IES) เป็นวิธีการคำนวณที่เริ่มมีการใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา และอ้างอิงการคำนวณจากการศึกษาจากการเก็บข้อมูลจากหุ่นจำลอง และต่อมาก็ได้มีการ พัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of utilization) ซึ่งเป็นตัวแปรตัวหนึ่งในการคำนวณ ให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นทำให้รูปแบบในการคำนวณมีความหลากหลายเหมาะสมต่อการใช้งาน โดยวิธีการแบบลูเมน (Lumen method) นี้จะคำนวณได้ทั้งท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ และท้องฟ้าโปร่ง วิธีการนี้จะถือเสมือนว่าความสว่างของแสงธรรมชาติ ที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาสู่ภายในอาคารเปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสง แต่การคำนวณด้วยวิธีการนี้จะมีข้อจำกัด จากระยะระหว่างช่องเปิด และตำแหน่งที่ต้องการทราบความสว่างจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับจุดกึ่งกลางของช่องเปิดเท่านั้น

วิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ (Daylight factor method ; CIS) เป็นวิธีการที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ในยุโรป โดยเฉพาะในประเทศอังกฤษ ที่เป็นต้นกำเนิดของวิธีการนี้ การคำนวณด้วย วิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ จะสามารถคำนวณได้จากหลายวิธี เช่นจากกราฟ,จากการเปิดตาราง หรือ การใช้ไม้บรรทัดเฉพาะที่มีอัตราส่วนในการวัดแสง ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการแบบ lumen method การคำนวณด้วย วิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ จะแสดงปริมาณแสงสว่างภายในอาคาร ณ จุดที่ต้องการเป็นอัตราส่วนร้อยละเมื่อเทียบกับปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้ามา ทำให้สามารถทราบถึงปริมาณแสง ณ ตำแหน่งต่างๆ ของห้องได้และไม่มีข้อจำกัดของอัตราส่วนของช่องเปิด แต่อย่างไรก็ตามวิธีการแบบเดยไลท์แฟกเตอร์ นี้จะใช้เฉพาะท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่(uniform sky) หรือท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ(Overcast sky) เท่านั้น อย่างไรก็ตามในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้ทั้งสองวิธีการเพื่อให้ได้ผลของการคำนวณ ที่ใกล้เคียงความจริงที่สุด และขจัดข้อด้อยของแต่ละวิธี

1) องค์ประกอบในการคำนวณความส่องสว่างภายในอาคาร

การศึกษาการส่องสว่างภายในอาคารด้วยแสงธรรมชาติสำหรับช่องเปิดด้านข้างอาคาร ในงานวิจัยนี้จะอาศัยพื้นฐานทฤษฎีของเดยไลท์แฟกเตอร์ที่ว่าปริมาณแสงสว่างภายใน ณ ตำแหน่งที่ต้องการในอาคาร จะเกิดจากการรวมกันระหว่าง แสงสว่างตรง (Direct Daylight) จากท้องฟ้า ส่องผ่านช่องเปิดมายังตำแหน่งที่ต้องการ และแสงสะท้อนภายอาคาร (Indirect Daylight) ที่เกิดจากแสงจากท้องฟ้าส่องผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคาร และสะท้อนแสงกลับไปกลับมา ในผิวผนังของอาคาร ก่อนที่จะสะท้อนตกลงมาสู่ตำแหน่งที่ต้องการ



รูป 4.10 ทิศทางของแสงอาทิตย์ รูปแบบต่าง ๆ ที่มาสู่ตำแหน่งที่ต้องการ

ที่มา : Daylighting , page 69

ดังนั้นองค์ประกอบของแสงภายในอาคารจะแบ่งออกได้เป็นสองลักษณะ คือ

1.1) แสงสว่างตรงจากท้องฟ้า (Direct Daylight)

1.2) แสงสว่างสะท้อนจากภายในอาคาร (Indirect Daylight)

1.1) แสงสว่างตรงจากท้องฟ้า (Direct Daylight)

การพิจารณาแสงสว่างตรงจากท้องฟ้าเมื่อส่องทะลุผ่านช่องเปิดมายังตำแหน่งที่ต้องการนั้นเราสามารถพิจารณาได้ จากการวัดค่าความสว่างของท้องฟ้า และนำมากำหนดเป็นอัตราส่วน ตามวิธีเดยไลท์แฟกเตอร์ ในการคำนวณหาค่าความสว่างภายในที่ต้องการ ซึ่งการคำนวณจะมีรายละเอียด (Factor) ที่มีผลต่อปริมาณแสงภายในอาคารและสามารถอธิบายเป็นข้อๆ ดังนี้

1.1.1) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky Factor) (ณ ตำแหน่งที่ต้องการภายในอาคาร)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความสว่าง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ บนระนาบเดียวกัน กับความสว่างของท้องฟ้านอกช่องเปิดของอาคาร ซึ่งความสว่างภายนอกของอาคารในระนาบนอน จะพิจารณาจากท้องฟ้า ครึ่งวงกลมที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง และแสงสว่างรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะไม่มีการนำมาใช้ในการพิจารณา

ตัวแปรจากท้องฟ้า ณ ตำแหน่งระนาบ ที่ต้องการจะกำหนดให้เป็นจุด P และมีพื้นที่ 1 / π บนเส้นตั้งฉากจากพื้นผิว ในรัศมีหนึ่งหน่วยของครึ่งทรงกลม (Sphere) ซึ่งจุด P จะเป็นจุดยอด และจุดศูนย์กลางของทรงกลมนั้น

1.1.2) องค์ประกอบจากท้องฟ้าของแสงสว่าง (Sky Component of Daylight Factor)

เป็นอัตราส่วนของปริมาณความสว่าง ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งได้รับแสงสว่างโดยตรงจากท้องฟ้า ในการหาความสว่าง ซึ่งในการคำนวณ จะพิจารณาจากแสง ในระนาบนอนสำหรับท้องฟ้าครึ่งวงกลมที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง (Horizontal plane due to unobstructed hemisphere of sky) ไม่นับรวมความสว่างที่ได้จากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Direct Sunlight) สำหรับท้องฟ้าแบบความสว่างคงที่ (Uniform sky) และช่องเปิดที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง เหล่านี้จะใช้เป็นเกณฑ์พื้นฐานของการคำนวณตามทฤษฎี

1.1.3) องค์ประกอบสัณฐานของตัวแปร (Configuration Factor)

ในลักษณะของการส่องผ่านของพื้นผิวที่มีรูปทรงไม่แน่นอน และพื้นผิวที่มีรูปทรงแน่นอน จะอธิบายได้ว่า ทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\int_{S2} ((\cos\theta_1 \cos\theta_2)/ \pi r^2)\, dS_2 \quad \text{.....(4.26)}$$

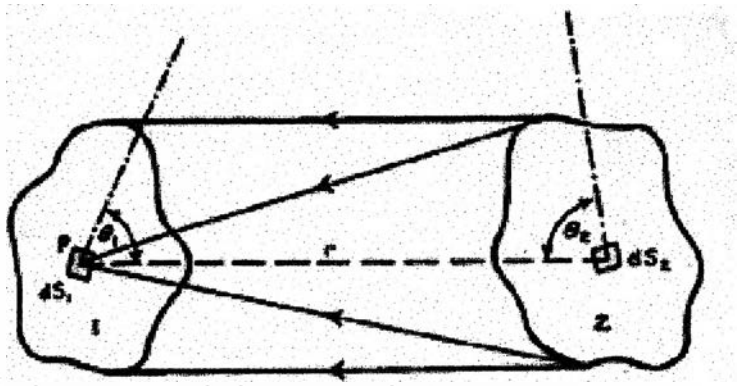
เมื่อ θ_1 , θ_2 เป็นมุมตกกระทบระหว่างกันของวัสดุทั้งสอง

และถ้าพื้นที่ทั้งสอง เป็น dS_2 ซึ่งเป็นพื้นผิวของทรงกลมครึ่งวงกลม ที่มีรัศมีเท่ากับ r ดังนั้นพื้นที่ของ dS_2 จะสามารถอธิบายในรูปของ r^2 ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการระบุสัณฐานของตัวแปร (Configuration factor) ที่จะทำให้การอธิบายตัวแปรของท้องฟ้าง่ายขึ้น

การใช้ตัวแปรสัณฐานอธิบายความสว่าง บนพื้นผิวที่ 1 ของตำแหน่ง P อันเนื่องมาจากพื้นที่ dS_2 ของพื้นผิวที่ 2 ในหน่วยของแสงสว่าง โดยการใช้ครึ่งทรงกลม กำหนดได้ว่าความสว่างที่ตำแหน่ง P จะมีความสว่างเท่ากับ 1 lm/m^2 ค่าตัวแปรของท้องฟ้า (sky factor) ที่จุด P สืบเนื่องมาจากพื้นที่ sD2 และปริมาณความสว่างของจุด P บนพื้นผิวที่ 1 ซึ่งค่าต่างๆ จะมีความสัมพันธ์ของสมการ ดังนี้

$$\frac{\text{Illumination at P due to dS2}}{\text{Illumination at P due to complete hemisphere}} = \frac{\text{Configuration factor}}{1} \quad \text{.....(4.27)}$$

ตัวแปรสันฐานของท้องฟ้า จะถูกใช้ เมื่อมีการกล่าวถึงความสว่างของแสง ที่มีการสะท้อนของแสงไปยังตำ แหน่งที่ต้องการ เพื่อใช้อธิบายถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น



รูป 4.11 การอธิบายสันฐานของตัวแปร

ที่มา : Daylighting , page 71

1.1.4) องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (Externally reflected component of daylight factor) องค์ประกอบของการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางภายนอกอาคาร จะมีอิทธิพลต่อตัวแปรความสว่างภายในอาคาร ณ ตำแหน่งที่ต้องการ โดยปกติการคำนวณ สามารถหาค่าเฉลี่ยความสว่างสำหรับสิ่งกีดขวางภายนอกทั้งหมดได้ แต่หากสิ่งกีดขวางภายนอกมีความแตกต่างกันหลายรูปแบบ เราสามารถหาค่าความสว่างเฉลี่ยภายนอกอาคารโดยการย่อย หรือแตกสิ่งกีดขวางออกเป็นส่วนๆ แล้วจึงหาค่าความสว่างเฉลี่ยในแต่ละส่วนนั้น

1.1.5) องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายในอาคาร (Internally reflected component of daylight factor) เป็นอัตราส่วนของความสว่างบนระนาบนอน ณ ตำแหน่งที่กำหนด ที่ได้รับมาจากการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง ซึ่งความสว่างภายนอก ในระนาบนอนอันเนื่องมาจากท้องฟ้าครึ่งทรงกลม ที่ปราศจากสิ่งปกคลุม จะเป็นแหล่งกำเนิดของแสงตรงดวงอาทิตย์ ที่ให้ความสว่างสะท้อนแก่พื้นผิวภายในอาคาร และจะไม่มีการเปรียบเทียบระหว่างความสว่างของพื้นผิวต่างๆ

1.1.6) องค์ประกอบรวม

ผลรวมของแสงสว่าง ณ ตำแหน่งใดๆ ที่ต้องการ จะเกิดจากการรวมกัน ขององค์ประกอบ ของท้องฟ้า องค์ประกอบจากการสะท้อนแสงภายนอกอาคาร องค์ประกอบของการสะท้อนแสงภายในอาคาร

2.2) แสงสว่างสะท้อนจากภายในอาคาร (Indirect Daylight)

วิธีการคำนวณในการคำนวณหาองค์ประกอบของการสะท้อนแสงภายในอาคาร จะอาศัยพื้นฐานทฤษฎีของการรวมกันของแสงในทรงกลม ซึ่งเป็นวิธีที่เคยนิยมใช้งานการคำนวณแสง ที่เกิดจากการสะท้อน แต่วิธีนี้มีข้อเสีย ของผลการคำนวณที่ไม่มีความแม่นยำ และวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน (Prof. Arndt and Prof. Dresler) ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า วิธีการคำนวณแยกฟลักซ์ (B.R.S. split-flux princle)

วิธีการแบบ B.R.S. split-flux princle จะกำหนดให้ฟลักซ์ของแสง มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอรอบทิศทางของทรงกลม ซึ่งเปรียบเสมือนผนัง มีพื้นที่ของทรงกลมเท่ากับ $4\pi R^2$ ดังนั้นการสะท้อนของฟลักซ์ของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของทรงกลมจะมีค่า เท่ากับ $FR / 4\pi R^2$ ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

การสะท้อนแสงในครั้งแรกสุด จะมีค่าฟลักซ์เท่ากับ FR ลูเมน จากนั้นจึงมีการสะท้อนแสงครั้งที่สอง ในพื้นที่ทรงกลม การสะท้อนในครั้งที่สอง จะมีค่าเท่ากับ $FR \times R = FR^2$ ลูเมน ค่าเฉลี่ยความสว่างของพื้นผิวทรงกลมอันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงในครั้งที่สอง จะมีค่าเท่ากับ $FR^2 / 4\pi R^2$ ลูเมน ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

ดังนั้นการรวมกันของของความสว่างบนพื้นผิวทรงกลม อันเนื่องมาจากการสะท้อนแสง ในครั้งที่หนึ่งและสองจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{FR}{4\pi R^2} + \frac{FR^2}{4\pi R^2} \text{ ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่}$$

ผลรวมของปริมาณความสว่าง บนพื้นผิวทรงกลม บนอันเนื่องมาจากการสะท้อนแสงจะมีความต่อเนื่องไม่รู้จบ (Infinite) ดังนี้

$$\frac{FR}{4\pi R^2} + \frac{FR^2}{4\pi R^2} + \frac{FR^3}{4\pi R^2} + \cdots\cdots$$

$$\frac{FR}{4\pi R^2} (1 + R + R^2 + R^3 + R^4 + \cdots\cdots)$$

$$\frac{FR}{4\pi R^2} \frac{1}{(1 - R)} \quad \cdots\cdots(4.28)$$

ตัวเลขข้างต้นจะแสดงถึงการสะท้อนในครั้งแรกสุด จากพื้นผิวทรงกลม และพื้นผิวของทรงกลมที่ค่าเท่ากับ $4\pi R^2$ ดังนั้นจากสูตรข้างต้นสามารถที่จะนำมาเขียนใหม่ในรูปของคำจำกัดความได้เป็น

$$\frac{\text{First reflected flux from interior surface}}{\text{Total area of internal surface} \times (1 - R)} \quad \cdots\cdots(4.29)$$

จากสมการดังกล่าวนี้ สามารถที่นำมาประยุกต์ในการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสง ของแสงสว่างภายในห้อง โดยการหาพื้นที่ผิวผนังรวมภายใน ซึ่งเป็นผลรวมของผนังในด้านต่างๆ เช่น ,เพดาน, ผนัง ,พื้น รวมถึงผนังของช่องเปิด และค่าการสะท้อน R จะเป็นค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของผนังทุกด้าน $R = \sum ra / \sum a$

การสะท้อนแสงในจุดแรกสุด จะกำหนดให้เป็นการตกกระทบของแสง ในระนาบตั้ง ที่ตำแหน่งของช่องเปิดคูณกับพื้นที่ของช่องเปิดทั้งหมด สมการการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในจะมีลักษณะดังนี้

$$\text{Average internally reflected component} = \frac{Ew}{Eh} \frac{WR}{A(1 - R)} \quad \cdots\cdots(4.30)$$

เมื่อ Ew จะเป็นความสว่างระนาบตั้งของช่องเปิด

Eh จะเป็นความสว่างในระนาบนอนจากท้องฟ้าที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง อัตราส่วนระหว่าง Ew/Eh จะเป็นตัวแปรในระนาบตั้งของหน้าต่าง

W เป็นพื้นที่ของช่องเปิด

A เป็นพื้นที่ผนังทั้งหมดของห้อง (เพดาน, ผนัง, พื้น)

R เป็นค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ย ของเพดาน ผนัง และพื้น

นอกจากนี้ ตามทฤษฎีข้างต้น (Prof. Dresler, 1970) ได้เสนอว่าการสะท้อนแสงครั้งแรกสุด จะมีความถูกต้องมากกว่าผลรวมของการสะท้อนแสงของผิวผนังครั้งต่อๆ มาภายในห้อง ที่ได้จากการคูณต่อเนื่องกัน ดังนั้นการสะท้อนแสงแรกสุดจะมีสมการดังนี้

$$FR = \sum (F_1R_1 + F_2R_2 + F_3R_3 + ...) \quad .....(4.31)$$

เมื่อ F_1 , F_2 , F_3 .... เป็นการตกกระทบของของฟลักซ์ (flux) บนพื้นที่เล็กๆ ของผิวผนังห้อง

R_1 , R_2 , R_3 .... เป็นค่าการสะท้อนแสงของพื้นที่นั้น ที่เกิดจากการตกกระทบของฟลักซ์

อย่างไรก็ตามทฤษฎีดังกล่าวข้างต้น จะให้ความถูกต้อง ในการคำนวณมากกว่า หากนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า ฟลักซ์ที่ตกกระทบพื้นผิวรูปทรงต่างๆ มากกว่าวิธีการคำนวณฟลักซ์ ที่ตกกระทบพื้นผิวทรงกลม การเปรียบเทียบกันระหว่างทฤษฎี ในการคำนวณหา ค่าเดยไลท์แฟกเตอร์ (Prof. Dresler, 1975) ในห้องที่มีขนาดเดียวกัน จะสามารถทำให้เชื่อได้ว่า สมการดังกล่าวจะให้ค่าของการคำนวณ ค่าการสะท้อนแสงภายในที่ใกล้เคียงมากกว่า แต่จะมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าในการคำนวณ

2) การคำนวณหาค่าความสว่างภายใน

การคำนวณหาค่าความสว่างภายใน สามารถแบ่งการคำนวณออก ได้เป็นสองวิธี ตามลักษณะขององค์ประ กอบความสว่างภายในอาคาร

2.1) การคำนวณหาความสว่างตรงจากช่องเปิด (Direct Illumination)

2.2) การคำนวณหาค่าความสว่างกระจายจากช่องเปิด (Indirect Illumination)

2.1) การคำนวณหาความสว่างตรงจากช่องเปิด (Direct Illumination)

ในงานวิจัยนี้ จะใช้ทฤษฎีการคำนวณหาความสว่างของช่องเปิดด้วย ทฤษฎีสกายแฟกเตอร์ (Sky Factor) ซึ่งมีรายละเอียดของทฤษฎี ในการคำนวณดังนี้

การคำนวณด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ (Sky Factor) จะเป็นวิธีการคำนวณ โดยพิจารณาจากความสว่างของท้องฟ้าแบบมาตราฐาน (Uniform sky) และขนาดของช่องเปิด ที่ยังไม่ได้ถูกปิดกั้นด้วยกระจก เพื่อนำมาคำนวณหาความส่องสว่างภายใน ด้วยหลักการทางเรขาคณิต ที่แตกต่างกัน ตามระยะต่างๆ จากช่องเปิด ณ ตำแหน่งที่ต้องการ การประยุกต์ใช้เรขาคณิตในการคำนวณ จะได้มาจากการสร้างรูปทรงเหลี่ยมต่างๆด้วยเส้นและจุดบนระนาบที่กำหนด เพื่อให้ได้โครงร่างของรูปทรง เรขาคณิตที่ต้องการ จากนั้นจึงใช้สมการทางคณิตศาสตร์ มาอธิบายความสัมพันธ์ ในแต่ละระนาบต่างๆ ของเส้นและมุมที่เกิดขึ้น เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความสว่าง ณ จุดที่ต้องการ

การคำนวณช่องเปิดแนวตั้ง (Side Lighting) ด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ (sky Factor)

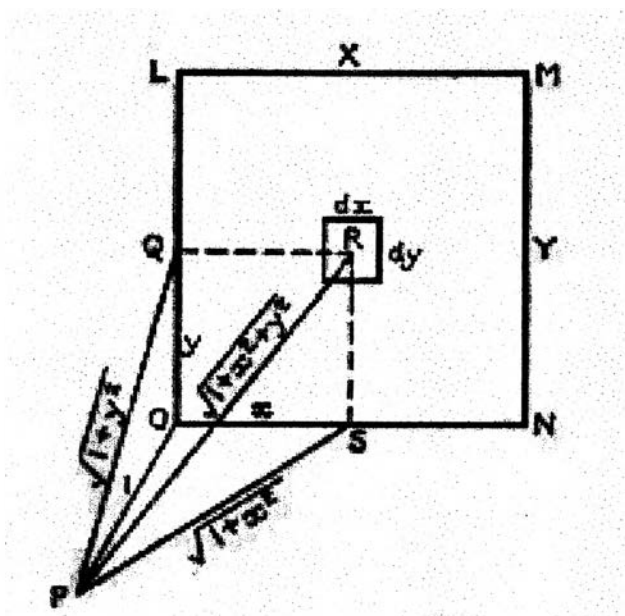
จุดประสงค์หลัก ของการคำนวณด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ (Sky Factor) จะใช้เพื่อหาระดับ ความสว่างที่ต้องการ ณ จุดที่กำหนดในระนาบนอนจากช่องเปิดแนวตั้ง ที่เป็นรูปทรงของสี่เหลี่ยมของผนังหรือช่องแสงของอาคาร โดยระดับความสว่าง ณ จุดบนระนาบนอนที่ต้องการ มาจากช่องเปิดบนผนังระนาบตั้ง และกำหนดให้มุมของขอบล่าง ของช่องเปิด ด้านใดด้านหนึ่ง เป็นจุดอ้างอิงหลัก ส่วนจุดอื่นๆ ที่ต้องการจะได้จากการ ลากเส้นระหว่างจุดที่ต้องการทราบระดับความสว่าง ถึงจุดใดๆ บนระนาบของช่องเปิดที่ทราบระยะบนช่องเปิดที่แน่นอน

รายละเอียดที่ใช้ในการคำนวณ สามารถอธิบายได้ดังนี้

หากพิจารณาจากรูปจะพบว่าระยะทางจากจุดที่ต้องการทราบระดับความสว่าง สมมติให้เป็นจุด P (ซึ่งต่อไปจะกล่าวถึงจุด P แทนจุดที่ต้องการทราบความสว่าง) จากช่องเปิดบนผนัง จะอ้างอิงโดยใช้หน่วยเดียวกัน เพื่อความสะดวกในการคำนวณ ขนาดของช่องเปิดจะมีขนาดความกว้างยาว X และ Y ตามรูป เมื่อพิจารณาจุด R บนช่องเปิดจะได้ว่า PO = 1 , PS = $\sqrt{(1 + X^2)}$, PQ = $\sqrt{(1 + Y^2)}$ และ PR = $\sqrt{(1 + X^2 + Y^2)}$ แสงจากจุด R เมื่อ ดกกระทบลงบนจุดที่ต้องการ บนพื้นผิวระนาบนอน จะมีมุมเท่ากับมุม T ตามค่ามุม cos มีสมการดังนี้ cosT = y $/\sqrt{(1 + X^2 + Y^2)}$ ส่วนมุม cosine จะเป็น 1 $/\sqrt{(1 + X^2 + Y^2)}$ ทำให้ระดับความสว่าง ณ จุดที่ต้องการจากสัดส่วน ความสัมพันธ์ของพื้นที่ *dxdy* ณ จุด R จะเป็นปฏิสัมพันธ์โดยตรง ของพื้นที่ y / $(1 + X^2 + Y^2)^2$ *dxdy* ดังนั้นระดับความสว่างต้องบนจุดที่กำหนดนั้น จะเกิดจากการนำพื้นที่ทั้งหมดของช่องเปิด มาคิดเป็นปริมาณความสว่างที่ต้องการ ที่จุดอ้างอิง ซึ่งสัดส่วนของความสว่างที่ต้องการจะเป็นดังนี้

$$\int_{x=X} \int_{y=y} [\, Y \,/\, (\, 1 + X2 + Y2 \,)\, 2 \,]\, dxdy \quad \text{.....(4.32)}$$

และเมื่ออินทีเกรด (Integrate) สมการข้างบน จะได้สมการดังนี้



รูป 4.12 ความสว่างระนาบนอน ณ ตำแหน่งที่ต้องการ จากการ dxdy บนพื้นที่ช่องเปิดสี่เหลี่ยมในระนาบตั้ง

ที่มา : Daylighting , page 89

$$\frac{1}{2}\left[\tan^{-1}X-\left(1/\sqrt{(1+Y^2)}\right)\tan^{-1}\left\{X/\sqrt{(1+Y^2)}\right\}\right] \quad \text{.....(4.33)}$$

เมื่อ $\tan^{-1}$ มีหน่วยเป็น เรเดียน (radians)

ดังนั้นจากการคำนวณด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ (sky factor) เพื่อให้ได้ความสว่างของแสง ณ จุดต่างๆ อันเนื่องมาจากแสงจากช่องเปิด จะเป็นดังนี้

$$1/2\pi\left[\tan^{-1}X-\left(1/\sqrt{(1+Y^2)}\right)\tan^{-1}\left\{X/\sqrt{(1+Y^2)}\right\}\right] \quad \text{.....(4.34)}$$

$$=\ 50/\pi\left[\tan^{-1}X-\left(1/\sqrt{(1+Y^2)}\right)\tan^{-1}\left\{X/\sqrt{(1+Y^2)}\right\}\right]\% \quad \text{.....(4.35)}$$

หากมุม $\tan^{-1}$ มีค่ามากกว่ามุมองศาของมุมเรเดียน สมการของสกายแฟกเตอร์ จะเปลี่ยนเป็นดังนี้

$$1/360\left[\tan^{-1}X-\left(1/\sqrt{(1+Y^2)}\right)\tan^{-1}\left\{X/\sqrt{(1+Y^2)}\right\}\right] \quad \text{.....(4.36)}$$

$$=\ 1/3.6\left[\tan^{-1}X-\left(1/\sqrt{(1+Y^2)}\right)\tan^{-1}\left\{X/\sqrt{(1+Y^2)}\right\}\right]\% \quad \text{.....(4.37)}$$

เนื่องจาก PO ที่ใช้ในการคำนวณ จะสัมพันธ์กับระยะของ X ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความกว้างของหน้าต่าง กับระยะทางจากจุดอ้างอิงที่ต้องการ และระยะของ Y ที่เป็นอัตราส่วนของความสูง ที่วัดจากจุดสูงสุดของช่องเปิดกับระยะห่างจากจุดอ้างอิงที่ต้องการ ดังนั้นจากอัตราส่วนดังกล่าวจะได้ว่า

อัตราส่วนของ X = W/D และ Y = H/D

เมื่อ W หมายถึง ความกว้างของช่องเปิด

H หมายถึง ความสูงของช่องเปิดเมื่อวัดจนถึงจุดสูงสุด ที่มีความสูงมากกว่า ระดับของจุดอ้างอิง

D หมายถึง ระยะทางระหว่างช่องเปิดถึงจุดที่อ้างอิง

และหากแทนค่าของ X และ Y ตามค่าต่างๆข้างต้นในสมการ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะทำให้สมการการคำนวณด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ เปลี่ยนได้ดังนี้

$$1/2\pi\left[\tan^{-1}W/D-\left(D/\sqrt{(H^2+D^2)}\right)\tan^{-1}\left\{W/\sqrt{(H+D^2)}\right\}\right] \quad \text{.....(4.38)}$$

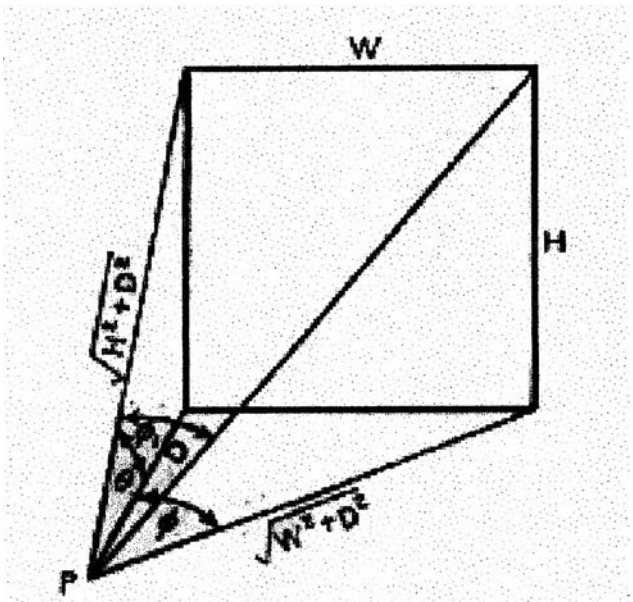
$$=\ 50/\pi\left[\tan^{-1}W/D-\left(D/\sqrt{(H^2+D^2)}\right)\tan^{-1}\left\{W/\sqrt{(H^2+D^2)}\right\}\right]\% \quad \text{.....(4.39)}$$

แต่หากจะพิจารณาค่าของมุมต่างๆ เป็นมุมเรเดียน (radians) ตัวแปรต่างๆ จะมีความหมายดังนี้

$$W/D=\tan\phi \quad ; \quad W/\sqrt{(H^2+D^2)}=\tan\phi_1 \quad ; \quad D/\sqrt{(H^2+D^2)}=\cos\theta$$

เมื่อ ϕ และ ϕ_1 หมายถึงมุมอซิมุทของช่องเปิดที่เกิดจากเส้นตรงที่ลากจากจุดอ้างอิง ที่ต้องการทราบความสว่างจนถึงช่องเปิด ณ จุดล่างสุด และด้านบนสุด

θ หมายถึงมุมในแนวตั้ง (Elevation) ของช่องเปิดที่จะตั้งฉากกับช่องเปิด เมื่อพิจารณาจากจุดที่ต้องการทราบระดับความสว่าง



รูป 4.13 ความสว่างระนาบนอน ณ ตำแหน่งที่ต้องการ จากช่องเปิดสี่เหลี่ยม WH

ที่มา : Daylighting , page 89

สมการที่ได้จะเป็นดังนี้

$$\text{Sky Factor (SF)} = 1/2\pi\ (\phi - \phi_1 \cos\theta) = 50/\pi\ (\phi - \phi_1 \cos\theta)\% \quad \text{.....(4.40)}$$

มุมที่ใช้ในสมการจะเป็นมุมเรเดียน (radian)

จากความหลากหลายของสมการในข้างต้น ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมในการคำนวณที่ต่างกันนั้น หากนำมาพิจารณาจะพบว่า จะมีหลักการในการพิจารณาที่มาจากสมการพื้นฐานเดียวกัน ดังนั้นหากต้องการผลของการคำนวณอย่างคร่าวๆ ที่ไม่ต้องการความแม่นยำในการคำนวณมากนัก สมการที่มีความซับซ้อนและแตกต่างกันไปในข้างต้นก็อาจสามารถนำมาเปลี่ยนแปลงในรายละเอียด เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ และมีผลของการคำนวณที่ไม่แตกต่างมากนัก ได้ดังนี้

$$\text{Sky Factor} = 100\,WH^2/\pi\ D\,(D^2 + H^2)\% \quad \text{.....(4.41)}$$

หรือ $$\text{Sky Factor} = 30\,WH^2/D\,(D^2 + H^2)\% \quad \text{.....(4.42)}$$

เมื่อ W หมายถึง ครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่องเปิด

H หมายถึง ความสูงของช่องเปิด ที่อยู่เหนือตำแหน่งของระดับความส่องสว่างที่ต้องการ

D หมายถึง ระยะระหว่างช่องเปิดถึงตำแหน่งที่ต้องการ

สูตรข้างต้นนี้ จะให้ค่าของสกายแฟกเตอร์ ในตำแหน่งที่ต้องการบนระนาบนอน ที่ต่ำกว่า ขอบล่างของหน้าต่าง ซึ่งในการคำนวณด้วยสมการดังกล่าวนี้ จะมีความคลาดเคลื่อนมากยิ่งขึ้น เมื่อจุดที่ต้องการอยู่ใกล้กับช่องเปิด แต่ผลของการคำนวณจะเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น เมื่อเป็นการคำนวณหาค่าระดับ ความสว่างที่น้อยที่สุด ที่ตำแหน่งที่ต้องการ ของห้อง

การคำนวณช่องเปิดในระนาบนอน ด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ (sky factor)

การคำนวณหาค่าความสว่าง ณ จุดที่จ้องการ ด้วยวิธีสกายแฟกเตอร์ (Sky factor) ในบริเวณกึ่งกลางของช่องเปิดบนหลังคาสี่เหลี่ยมที่มีระนาบนอน สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Sky factor (SF)} = 400\,LB / \pi (L^2 + D^2) \% \quad \text{.....(4.43)}$$

$$\text{Sky factor (SF)} = 120\,LB / (L^2 + D^2) \% \quad \text{.....(4.44)}$$

เมื่อ L หมายถึง ครึ่งหนึ่งของความยาวของช่องเปิดสี่เหลี่ยม

B หมายถึง ครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่องเปิดสี่เหลี่ยม

D หมายถึง ความสูงของระยะทางระหว่างช่องเปิดถึงตำแหน่งที่ต้องการ

นอกจากวิธีการคำนวณในข้างต้น ที่ใช้ในการพิจารณา ช่องแสงระนาบนอน บนหลังคาสามารถที่จะคำนวณช่องเปิดที่เป็นทรงกลม แต่มีพื้นที่ ที่เทียบเท่ากัน ซึ่งสามารถหาความสว่างได้ดังนี้

$$\text{Sky factor} = 50 (1 - \cos A)\% \quad \text{.....(4.45)}$$

เมื่อ A หมายถึง มุมองศา จากเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลม ที่ตำแหน่งที่กำหนด

สำหรับในกรณีของช่องเปิดที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือใกล้เคียง จะสามารถอนุโลมในการคำนวณที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถตัดมุม A ออกได้ซึ่งในส่วนของช่องเปิดหลังคาสี่เหลี่ยมและกำหนดให้ D แทนเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องเปิดแบบทรงกลมแทน

$$D^2 = 4LB / \pi \quad \text{.....(4.46)}$$

โดย D จะได้เป็นอัตราส่วนประมาณของ $1.1 \sqrt{(LB)}$

เมื่อ L หมายถึง ความยาวของช่องแสง

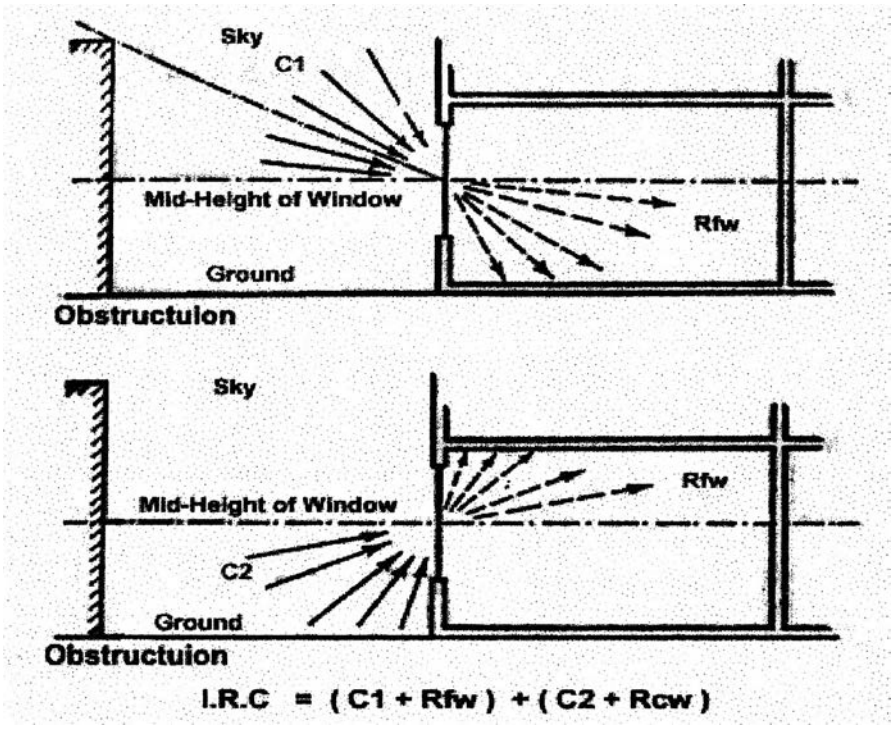
B หมายถึง ความกว้างของช่องแสง

และในกรณีของช่องแสงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะสามารถประมาณค่าของ D ได้เท่ากับ 1.1L เมื่อ L ความยาวด้านของสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2.2) **การคำนวณหาค่าความสว่างกระจายจากช่องเปิด (Indirect Illumination)**

การคำนวณความสว่างจากการสะท้อนแสงเฉลี่ยภายในอาคารจะอาศัยทฤษฎี การคำนวณพื้นฐานแยกแหล่งกำเนิดของฟลักซ์ (flux) ในการคำนวณ

การคำนวณแยกฟลักซ์ (THE B.R.S. SPLIT-FLUX PRINCIPLE) มีแนวความคิด ในการคำนวณตามประ เภทฟลักซ์ของแสงที่ต่างกัน ฟลักซ์ของแสงจะเข้ามาในอาคารจากช่องเปิด ซึ่งแยกได้สองลักษณะ คือ 1) ฟลักซ์ของแสงจะผ่านช่องเปิดเข้ามาโดยตรง จากท้องฟ้า หรือจากสิ่งกีดขวางเหนือแนวระนาบที่อ้างอิง และ 2) ฟลักซ์ของแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาจากพื้นดิน (แสงจากท้องฟ้า ที่สะท้อนพื้นดินเข้ามา) ฟลักซ์ของแสงที่เข้ามาจากทางด้านบน จะเกิดการเปลี่ยนแปลง จากการสะท้อนแสงเฉลี่ย ของผิวผนังอาคาร เมื่อมองจากท้องฟ้า และ ฟลักซ์ของแสงจากพื้นดินจะเปลี่ยนแปลงจากการสะท้อนแสงเฉลี่ยของผนังอาคาร เมื่อมองจากพื้นดิน (พิจารณาจากรูปประกอบ)



รูป 4.14 The Split-Flux principle ในการคำนวณหาค่าการสะท้อนแสงภายในอาคาร (i.r.c) ตามวิธีการ แบบ Daylight Factor

ที่มา : Daylighting , page 77

จากรายละเอียดของวิธีการข้างต้น สามารถสรุปเป็นสมการของการคำนวณ หาค่าความสว่างเฉลี่ยภายในอาคารได้ดังนี้

$$\text{Average I.R.C} = \frac{W}{A(1-R)}(C1\,Rfw + C2\,Rcw) \quad \text{.....(4.47)}$$

เมื่อ C1 และ C2 เป็นตัวแปรของฟลักซ์ที่เข้ามาในอาคาร จากด้านบนและด้านล่างของระนาบอ้างอิง Rfw และ Rcw เป็นค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงในส่วนของผนังด้านบน และด้านล่างของเส้นระนาบอ้างอิง ซึ่งได้รับแสงโดยตรงจากท้องฟ้า หรือแสงสะท้อนจากพื้นดิน

C1 จะเป็นตัวแปรประกอบเทียบเท่าฟลักซ์ของแสง ที่เข้ามาภายในอาคาร ที่เหนือระดับเส้นอ้างอิง เมื่อเทียบกับแสงที่เข้ามาโดยตรงจากท้องฟ้า และแสงจากช่องเปิด เมื่อสะท้อนจากพื้นดิน จากสิ่งกีด ขวางเหนือเส้นระนาบอ้างอิง

C2 จะเป็นตัวแปรประกอบเทียบเท่าของแสงที่ได้รับภายในอาคาร ที่ได้รับจากใต้เส้นระดับอ้างอิง ค่า C1 และ C2 จะเป็นค่าคงตัวโดยแสงจากพื้นดินจะมีค่าเพียง หนึ่งในสิบ ของค่าเฉลี่ยเท่านั้น ดังนั้น C2 จะมีค่าเท่ากับ 0.5 x 0.1 x T เมื่อ 0.5 เป็นตัวแปรประกอบของพื้นดิน ที่ช่องเปิด , 0.1 จะเป็นค่าประเมินของแสงจากพื้นดินที่มีค่าหนึ่งในสิบของความสว่างจากท้องฟ้าและ T เป็นค่ากระจายแสงของการส่องผ่านของกระจก (Diffuse Transmittance) จากแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าเป็นอนันต์ (Infinite extent) และเป็นแสงที่คงที่ (Uniform Illuminance) ค่าการกระจายแสงของการส่องผ่านของแสงจะมีค่าประมาณ 0.85 เปอร์เซ็นต์

ตารางแสดงค่าคงที่ตัวประกอบ C สำหรับมุมที่แตกต่างกันของสิ่งกีดขวาง

Angle of Obstruction from center Of Window (Degree above horizontal)	C
0 (No obstruction)	39
10	35
20	31
30	25
40	20
50	14
60	10
70	7
80	5

ตาราง 4.13 แสดงค่าคงที่ตัวประกอบ C ที่ใช้ในการคำนวณ

ที่มา : Daylight , page 78

ค่าคงที่ C นี้ได้จากการคำนวณจากมุมมองศาที่แตกต่างกันของทุกๆ สิ่งกีดขวาง ซึ่งปริมาณแสงสว่างที่ได้จะมีค่าราว หนึ่งในสิบ ของปริมาณแสงเฉลี่ยจากท้องฟ้า

ดังนั้นเพื่อสะดวกในการคำนวณจากสมการข้างต้น จึงได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าการกระจายการส่องผ่านของแสงผ่านช่องเปิด (Diffuse Transmittance of Window) ที่มีค่า 0.85 จาก C2 ไปแทนที่ในสมการนอกวงเล็บ สมการจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะดังนี้

$$\text{Average I.R.C} = \frac{0.85\,W}{A(1-R)}\,(C1\,Rfw + 5\,Rcw) \quad \text{.....(4.48)}$$

ค่าคงที่ C สามารถพิจารณาได้จากตารางข้างต้น และมีคุณสมบัติดังนี้

(1) แสงกระจายจากท้องฟ้า จากท้องฟ้ามาตราฐานแบบ CIE (CIE Standard Overcast sky)

(2) ความสว่างจากพื้นดิน และสิ่งกีดขวางโดยรอบ จะมีค่า หนึ่งในสิบ ของค่าเฉลี่ยจากท้องฟ้า

(3) สิ่งกีดขวางจะขยายโดยไม่มีขีดจำกัด ตามระนาบนอน และขนานไปกับระนาบของช่องเปิด (ข้อกำหนดนี้อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณได้)

(4) ค่าการกระจายการส่องผ่าน ของหน้าต่างจะมีค่าประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์

(5) ค่าตัวประกอบที่เหมาะสม จะลดทอนการส่องทะลุผ่านของแสงในท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมทึบ

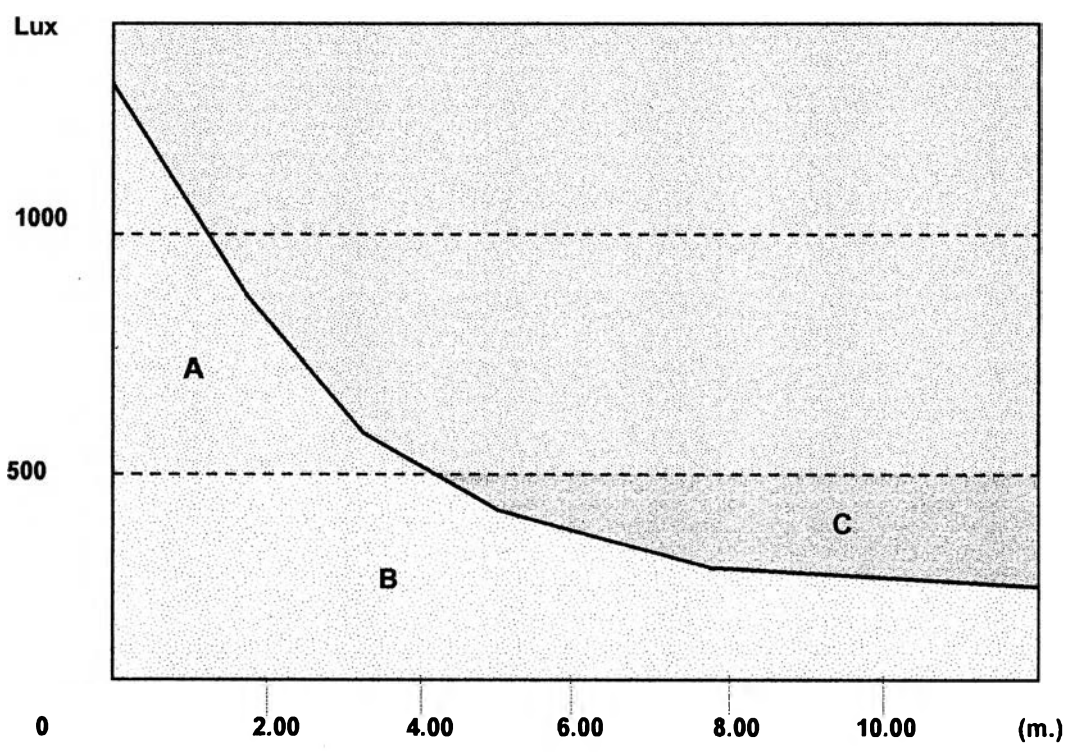
4.3.4 การคำนวณหาความต้องการเพิ่มเติมความส่องสว่างภายใน

การพิจารณาค่าความส่องสว่างเพิ่มเติมจะพิจารณา จากกราฟความส่องสว่างภายใน (Daylight Curve) เพื่อให้ได้ทราบถึง ปริมาณระดับความส่องสว่างที่พอเพียง และที่ต่ำกว่า ระดับความส่องสว่างพอเพียง การพิจารณาจะพิจารณาจากพื้นที่กราฟ เทียบกับเส้นระดับความสว่างที่พอเพียง โดยพื้นที่กราฟที่พิจารณา จะแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ

พื้นที่ส่วน A เป็นพื้นที่ ที่อยู่ระหว่างใต้เส้น กราฟความส่องสว่างภายใน (Daylight curve) และอยู่เหนือเส้นระดับความส่องสว่างที่พอเพียงที่กำหนด ที่ 500 ลักซ์ (lux) หรือ 50 ฟุตแคนเดิล (fc) พื้นที่ในส่วน A จะแสดงถึงระดับปริมาณการส่องสว่างอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติ โดยตรง ที่มีค่าความส่องสว่างสูงเกินกว่าความต้องการ

พื้นที่ส่วน B เป็นพื้นที่ ที่อยู่ใต้เส้นกราฟความส่องสว่างภายใน (Daylight curve) และอยู่ต่ำกว่าเส้นระดับความส่องพอเพียง ที่กำหนด ที่ 500 ลักซ์ หรือ 50 ฟุตแคนเดิล พื้นที่ในส่วน B จะแสดงถึงระดับปริมาณการส่องสว่างอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติ โดยตรงที่ จำเป็นต่อการใช้งานภายในอาคาร

พื้นที่ส่วน C เป็นพื้นที่ ที่อยู่เหนือเส้นกราฟความส่องสว่างภายใน (Daylight curve) และอยู่เหนือเส้นระดับความส่องสว่างที่พอเพียงที่กำหนดที่ 500 ลักซ์ หรือ 50 ฟุตแคนเดิล พื้นที่ในส่วน C จะแสดงถึงระดับปริมาณความส่องสว่างภายใน ที่ไม่พอเพียงต่อการใช้งาน จำเป็นที่จะต้องเพิ่มปริมาณ ความส่องสว่างภายในด้วยแสงประดิษฐ์ ในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้ ระดับความส่องสว่างมีค่าเพียงพอสำหรับการใช้งาน หรือเพียงพอตามระดับที่กำหนด



รูป 4.15 แสดงการแบ่งพื้นที่ใต้กราฟ เพื่อพิจารณาหาพื้นที่ใต้กราฟ ในส่วน A , B และ C

ที่มา : คมกฤช ชูเกียรติมั่น , วิทยานิพนธ์ 2540

ระดับความส่องสว่างที่พอเพียง สำหรับงานวิจัยนี้ ได้กำหนดไว้ที่ระดับ 500 ลักซ์ หรือ 50 ฟุตแคนเดิล ซึ่งเป็นระดับความส่องสว่าง สำหรับพื้นที่ทำงาน ตามมาตราฐานของ CIE (Publication CIE No.29.2 (1986) – Guide on interior Lighting)

การหาค่าความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่ม

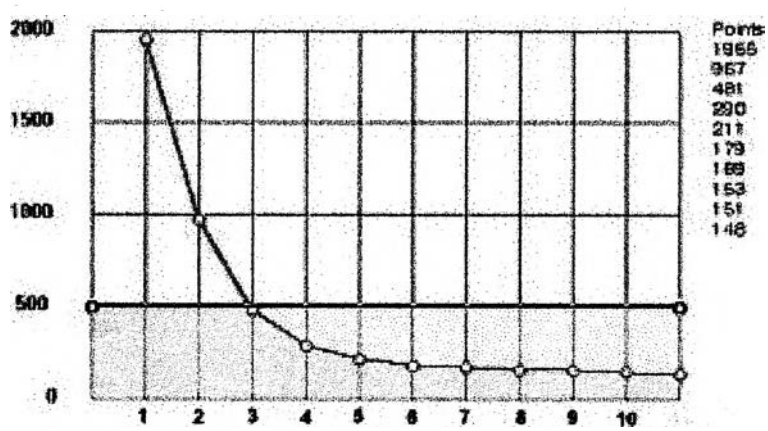
โดยวิธีการเปรียบเทียบเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ของค่าความส่องสว่างในแต่ละจุดที่ได้ เทียบกับค่าความส่องสว่างที่ต้องการ (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, วิทยานิพนธ์ 2540)

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ต้องการ = (ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 1 x ความสว่างที่ต้องการจุดที่ 1) + ... +
(ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ n x ความสว่างที่ต้องการจุดที่ n)
/ (ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 1 + ... + ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ n)

$$\text{Avg Ei} = \frac{(E_1 \times R_1) + (E_2 \times R_2) + (E_3 \times R_3) + \ldots\ldots + (E_n \times Rn)}{(R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots + Rn)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.49)$$

เมื่อ Avg Ei คือ ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ต้องการ
E1, E2 .... En คือ ค่าความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 1 ถึงจุดที่ n
R1, R2 .... Rn คือ ค่าความสว่างที่ต้องการจุดที่ 1 ถึงจุดที่ n

ตัวอย่างการคำนวณ



ความส่องสว่างที่ต่ำกว่าระดับที่พอเพียง (500 lux) ที่ระยะต่างๆ

ที่ระยะ 3 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 481 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 1 = 19
ที่ระยะ 4 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 290 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 2 = 210
ที่ระยะ 5 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 179 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 3 = 321
ที่ระยะ 6 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 169 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 4 = 331
ที่ระยะ 7 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 153 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 5 = 347
ที่ระยะ 8 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 151 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 5 = 349
ที่ระยะ 9 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 148 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 4 = 352
ที่ระยะ 10 เมตร จากช่องเปิด มีความส่องสว่าง = 146 , ความสว่างที่ต้องการเพิ่มจุดที่ 2 = 354

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ต้องการ (lux) = $\frac{(19 \times 500) + (210 \times 500) + (321 \times 500) + (331 \times 500) + (347 \times 500) + (349 \times 500) + (352 \times 500) + (354 \times 500)}{(500 + 500 + 500 + 500 + 500 + 500 + 500 + 500)}$

= 1141500 / 4000 = 285.38 ลักซ์

= 57.08 % ของความสว่างที่ต้องการ

ดังนั้นความส่องสว่างเฉลี่ยที่ต้องการเพิ่ม 285.38 ลักซ์ (Lumen / sq.m.) หรือ 57.08 %

การหาปริมาณความต้องการพลังงานอันเนื่องมาจากความส่องสว่างภายในเพิ่ม

การพิจารณาคำนวณหาความต้องการ อันเนื่องมาจากการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ โดยวิธีการคำนวณด้วยวิธีลูเมน มีสมการดังนี้

$$E = N \times L \times MF \times CU / A \quad \text{..... (4.50)}$$

เมื่อ E หมายถึง ความส่องสว่าง (ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล)
N หมายถึง จำนวนหลอดไฟฟ้า
L หมายถึง ปริมารแสง ลูเมนต่อหลอด
MF หมายถึง สัมประสิทธิ์การบำรุงรักษา
CU หมายถึง สัมประสิทธิ์การใช้งาน
A หมายถึง พื้นที่ ที่ต้องการความส่องสว่าง

สัมประสิทธิ์การใช้งาน CU หมายถึง อัตราส่วนปริมาณ แสงที่ออกมาจากโคม และสะท้อนพื้นเพดานและกำแพงก่อนลงมายังพื้นที่ทำงานต่อปริมาณแสงที่ออกมาจากหลอด โคมที่มีแผ่นกรองแสงปิด เช่น แผ่นกรองแสงขาวขุ่น แผ่นกรองแสงเกล็ดแก้วให้ปริมาณแสงออกมาจากโคมน้อยกว่าโคมที่ไม่มีแผ่นกรองแสงโคมที่มีแผ่นกรองแสงจึงมีค่า CU น้อยกว่า สำหรับห้องที่มีเพดาน พื้น หรือ กำแพงสีทึบจะให้การสะท้อนแสงน้อย ก็จะให้ค่าของ CU น้อยเช่นกัน สัมประสิทธิ์การใช้งานจึงขึ้นอยู่กับชนิดโคม และสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง ของเพดาน พื้นและกำแพง โดยตารางสัม ประสิทธิ์การใช้งานของโคมแต่ละชนิด จะเป็นการกำหนดจากผู้ผลิต (ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ, เทคนิคการส่องสว่าง 2540)

แต่ก่อนที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของโคมจากผู้ผลิต (CU) จะต้องมีการคำนวณหาค่า RCR ซึ่งจำเป็นในการอ่านค่า CU จากตาราง

ค่า RCR (สำหรับการคำนวณ แบบอเมริกา) หรือ สัดส่วนอาคาร ค่า Room Index, K (สำหรับการคำนวณ แบบอังกฤษ และญี่ปุ่น) สามารถคำนวณ ได้โดยใช้สมการดังนี้

$$RCR = 5 \times H \times (L \times W) / (L \times W) \quad \text{..... (4.51)}$$

$$K = (L \times W) / (H \times (L + W)) \quad \text{.....(4.52)}$$

เมื่อ L หมายถึง ความยาวห้อง

W หมายถึง ความกว้างห้อง

H หมายถึง ความสูงห้องเหนือระดับ ใช้งาน (Working plane) เท่ากับ 0.7 เมตร (Code for Interior Lighting, CIBS, London, 1984) เช่นหากห้องสูง 4.50 เมตร จะมีความสูงเท่ากับ H ลบด้วย ความสูงระดับใช้งาน 4.50 – 0.70 = 3.80 เมตร

หากนำสมการที่คำนวณหาความส่องสว่างภายใน จากแสงประดิษฐ์ด้วยวิธีลูเมน มาจัดรูปแบบของสมการใหม่ จะมีลักษณะดังนี้ (คมกฤช ชูเกียรติมั่น, วิทยานิพนธ์ 2540)

$$\text{Total watt of Lamp} = \frac{E \times Area}{Efficacy \times (CU \times LLF)} \quad \text{.....(4.53)}$$

เมื่อ Total watt of lamp คือ พลังงานที่ใช้ในส่วนของการให้ความสว่างเพิ่มไม่รวมการสูญเสียพลังงานในส่วนของบัลลาสต์ (Ballast) หน่วย วัตต์ – ชั่วโมง

E, illuminance คือ ปริมาณความสว่างที่ส่องกระทบพื้นที่ใช้งาน ที่ต้องการเพิ่ม (ลักซ์)

Area คือ พื้นที่ภายในที่ต้องการความส่องสว่างเพิ่ม

Efficacy คือ ประสิทธิผลของดวงโคม หรือหลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการให้แสงสว่างสำหรับงานวิจัยนี้จะให้หลอดไฟฟ้าขนาด 36 วัตต์มีปริมาณแสงเท่ากับ 2,600 ลูเมน

CU และ LLF คือ องค์ประกอบที่ทำให้แสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงมีค่าลดลง การพิจารณาให้คำนวณจากค่าความส่องสว่างภายในพื้นที่ใช้สอยจริง โดยค่า CU และ LLF จะแปรเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบภายในของแต่ละพื้นที่

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตัวอย่างที่ผ่านมามีความต้องการ ความส่องสว่างเฉลี่ยแสงประดิษฐ์เท่ากับ 285.38 ลักซ์ หรือ 57.08 %

พลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์ และภาระการทำความเย็น ที่เกิดขึ้นจากแสงสว่างเพิ่ม มีดังนี้

กำหนดให้ค่า CU = 0.55 , LLF = 0.75 , Efficacy (2600/36) = 72.2 , Area = 32 ตารางเมตร

$$\text{พลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์ (Total watt of Lamp)} = \frac{(285.38)(32)}{(72.2)(0.55)(0.75)} = 306.62 \text{ วัตต์ - ชั่วโมง}$$

แต่การส่องสว่างของหลอดไฟแสงประดิษฐ์ จะต้องอาศัยบัลลาสต์ในการทให้เกิดการส่องสว่าง ดังนั้นพลังงานทั้งหมดที่ใช้ไปในการส่องสว่างแสงประดิษฐ์ จะต้องรวมพลังงานทีสูญเสียไป เนื่องจากการใช้พลังงานของบัลลาสต์ด้วย ดังนั้นพลังงานที่ใช้สำหรับหลอดไฟไฟ้ 1 หลอด ที่ต้องการบัลลาสต์ จะเท่ากับ

$$\text{Energy Consumption} = \text{Watt of Lamp} + \text{Ballast loss} \quad \text{.....(4.54)}$$

เมื่อ Energy Consumption คือ พลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์ ที่รวมการสูญเสียของบัลลาสต์

Watt of Lamp คือ พลังงานที่ใช้ของหลอดไฟฟ้าในการให้แสงสว่าง(จากข้อมูลของผู้ผลิต)

Watt of Ballast คือ พลังงานที่สูญเสียไปในส่วนของชนิดบัลลาสต์ที่ใช้
หากต้องการทราบค่าพลังงานรวมของหลอดไฟแสงประดิษฐ์

Total Energy Consumption = No. of lamp (Watt of Lamp + Ballast loss).....(4.55)

เมื่อ No. of Lamp คือ จำนวนหลอดไฟฟ้าแสงประดิษฐ์
และหากนำสมการพลังงานรวมของหลอดไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ มาแยกตัวประกอบ

Total Energy Consumption = (No. of lamp x Watt of Lamp) + (No. of Lamp x Ballastloss)
No.of Lamp x Watt of Lamp = Total Watt of Lamp

$$\textbf{Total Energy Consumption} = \textbf{Total Watt of Lamp} \frac{(1 + \textbf{Watt of Ballast Loss})}{\textbf{Watt of Lamp}} \quad \text{.....(4.56)}$$

เมื่อ Total Energy consumption คือ พลังงานที่ใช้ในส่วนของแสงประดิษฐ์ทั้งหมด ที่ได้มีการรวมการสูญเสียของบัลลาสต์ สำหรับหลอดไฟแสงประดิษฐ์ 36 วัตต์ จะใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก ที่มีค่าการสูญเสียของบัลลาสต์ ประมาณ 10 วัตต์

จากตัวอย่างที่ผ่านมา พลังงานที่ใช้ในส่วนแสงประดิษฐ์ รวมการสูญเสียของบัลลาสต์

= 306.62 x (1 + 10 / 36)

= 391.80 วัตต์-ชั่วโมง

เนื่องจากหลอดไฟแสงประดิษฐ์แม้จะให้แสงสว่าง แต่ก็จะก่อให้เกิดความร้อนแก่ภายในอาคารด้วย ซึ่งจะเป็นภาระแก่การทำความเย็นของอาคาร โดยภาระการทำความเย็น อันเนื่องมาจากความร้อน ที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ สามารถคำนวณได้จากความร้อนที่เกิดจากดวงไฟแสงสว่าง ส่วนด้วยค่าประสิทธิการขจัดความร้อนของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ (Coefficient of Performance , COP)

สัมประสิทธิ์การขจัดความร้อนของเครื่องปรับอากาศ (COP)

= ขนาดของเครื่องปรับอากาศ / ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน หรือ 12,000 Btu.hr ใช้ปริมาณไฟฟ้าประมาณ 1200 watt.hr

COP = 12000 / (1200 x 3.415) = 2.92

ความร้อนที่เกิดจากดวงไฟแสงประดิษฐ์ จะคูณด้วยสัมประสิทธิ์ ที่มีค่าเท่ากับ 1.2 (ASHRAE , 1989)

= 306.06 x 1 x 1.2 = 367.94 วัตต์

พลังงานที่ใช้ในส่วนของภาระการปรับอากาศ ในการขจัดความร้อนที่เกิดขึ้นของหลอดไฟ

= 367.94 / 2.92 = 126 วัตต์

พลังงานรวมทั้งหมดในการที่ใช้ในการส่องสว่างเพิ่ม ของหลอดไฟแสงประดิษฐ์มีค่าเท่ากับ

= 391.80 + 126 = 517.80 วัตต์ - ชั่วโมง

4.3 แนวทางและรูปแบบการป้อนข้อมูลของโปรแกรม

จากการศึกษา การป้อนข้อมูลของโปรแกรม ในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ของต่างประเทศ อาทิโปรแกรม DOE- 2 และโปรแกรมการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ อีกหลายโปรแกรม พบว่าโปรแกรมเหล่านี้ แม้จะให้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง และแม่นยำแต่จะมีวิธีการป้อนข้อมูลที่ยุ่งยากซับซ้อน โดยเฉพาะโปรแกรม DOE-2 แม้จะเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับว่า ผลที่ได้จากการคำนวณ มีความถูกต้องเป็นอย่างมาก แต่การป้อนข้อมูลของตัวแปรดังกล่าวจะป้อนข้อมูลเป็นข้อความและตัวเลขเท่านั้น ซึ่งจะยากต่อการป้อนข้อมูลเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้ใช้ที่ไม่คุ้นเคยไม่สามารถใช้งานได้ และ หากพิจารณาให้ลึกขึ้น จะพบว่า การคำนวณที่ต้องการความถูกต้อง จะประกอบด้วยข้อมูลที่ต้องการจำนวนมากด้วยเช่นกัน หากเราลดข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณให้น้อยลงมากเกินไป เพื่อให้ง่ายต่อการป้อนข้อมูลนั้นอาจจะทำให้การคำนวณมีความแม่นยำลดลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากจะให้โปรแกรมมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ตัวแปรที่ใช้ป้อนในการคำนวณ จะต้องมีจำนวนที่เหมาะสม ไม่มากและซับซ้อนเกินไป การพิจารณาตัวแปรแต่ละตัวจึงต้องคำนึง ถึงความสำคัญ และเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลอย่างมากในการคำนวณเพื่อให้ผลของการคำนวณมีความถูกต้อง

4.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณและป้อนเข้าสู่โปรแกรม

จะพิจารณาจากความจำเป็น ของตัวแปรต่างๆเป็นสำคัญ มีการเรียงลำดับในการป้อนข้อมูล ซึ่งหากพิจารณาการป้อนข้อมูลของโปรแกรม DOE -2 จะมีการแบ่งการป้อนข้อมูลออกเป็นส่วนต่างๆ ตามความจำเป็นต่อการคำนวณ เช่นหากต้องการคำนวณผลลัทธ์เพียงระดับหนึ่ง การป้อนข้อมูลก็จะจำเป็นเพียงระดับหนึ่งเท่านั้นเช่นกัน ซึ่งเป็นแนวความคิดที่น่าสนใจ และควรที่จะมีการนำแนวความคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในโปรแกรม ดังนั้นการป้อนข้อมูลของโปรแกรมจะมีการจัดแบ่งการป้อนข้อมูลออกเป็นส่วนต่างๆ เพื่อให้ตรงตามความต้องการของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการคำนวณ และไม่เป็นการทำให้โปรแกรม มีการใช้ข้อมูลเกินความจำเป็น การจัดกลุ่มของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ จะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมีระเบียบและง่ายต่อการค้นหา การคำนวณและแสดงผลจะมีความชัดเจน

ข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่โปรแกรม จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบย่อยๆ โดยส่วนประกอบหลักของการป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม จะแบ่งเป็น

1) ส่วนข้อมูลลักษณะของอาคาร และลักษณะของช่องเปิด
2) ส่วนข้อมูลของสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกำหนดปริมาณแสงสว่าง
3) ส่วนข้อมูลในการกำหนดรูปแบบการคำนวณและแสดงผล

รายละเอียดย่อยของส่วนประกอบหลักของข้อมูลในการคำนวณ

1) ส่วนข้อมูลของอาคาร และลักษณะของอาคาร จะเป็นข้อมูล ที่มีความเกี่ยวข้องกับ สถาปนิกหรือผู้ออกแบบโดยตรง จะเป็นการกำหนดรูปแบบ และรายละเอียดของสภาพแวดล้อม ที่เป็นสิ่งที่มนุษย์ประดิษฐ์หรือกำหนดขึ้น เช่นขนาดของอาคาร ขนาดของช่องเปิด หรือรายละเอียดของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในอาคาร รายละเอียดในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย

1.1) ข้อมูลที่เกี่ยวกับโครงการ (Project Information) เพื่อให้ทราบถึงรายละเอียด และลักษณะของโครงการ อย่างคร่าวๆ จะประกอบไปด้วย

- ชื่อโครงการ (Project name)
- สถานที่ตั้งของโครงการ (Project Location)

- ลักษณะของโครงการ (Project Discription)

1.2) ข้อมูลขนาดของอาคารที่ต้องการในการคำนวณ(Size) เพื่อเป็นการกำหนดถึงลักษณะของอาคารในการคำนวณ โดยจะมีการป้อนข้อมูลของ ความกว้าง ความยาว ความสูง ของอาคาร และ ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ภายในอาคาร จะประกอบไปด้วย

- รูปร่างของอาคาร กำหนดโดยขนาด ตาม ความกว้าง ความยาว และความสูง ของอาคาร
- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ภายใน เป็นการกำหนดค่าการสะท้อนแสงที่แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุจากเพดาน, ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุจากผนัง และค่าการสะท้อนแสงของวัสดุจากพื้น

1.3) ข้อมูลลักษณะของช่องเปิด ที่ให้แสงสว่างธรรมชาติผ่านเข้ามาจะเป็นการกำหนดขนาดและรายละเอียดของขนาดช่องเปิด และวัสดุที่ใช้ ประกอบไปด้วย

- ลักษณะของช่องเปิด จะเป็นการกำหนดลักษณะของช่องเปิด ว่าเป็นช่องเปิดด้านข้าง หรือช่องเปิดด้านบนของอาคาร
- ขนาดของช่องเปิด กำหนดด้วย ความกว้าง และความสูงของช่องเปิด
- วัสดุที่ใช้เป็นช่องเปิดจะเป็นการเลือกวัสดุที่ใช้เป็นช่องเปิด เป็นการกำหนดปริมาณค่า การส่องทะลุผ่านของแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิด
- ลักษณะกรอบ ของช่องเปิดว่ามีลักษณะใด แต่ละลักษณะ ที่แตกต่างกันจะมีผลต่อปริมาณแสงที่ส่องผ่าน
- ลักษณะของวัสดุที่ใช้ป้องกันแสงแดดตรงจากดวงอาทิตย์ จะเป็นการกำหนดรูปแบบของอุปกรณ์บังแสงแดดตรง

2) ส่วนข้อมูลของสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีอิทธิพล ต่อการกำหนดปริมาณแสงสว่าง จะเป็นข้อมูลของสภาพแวดล้อม ที่ถูกกำหนดโดยธรรมชาติ เป็นหลัก อาทิ ความสว่าง สภาพความโปร่ง หรือทึบของบรรยากาศ อธิบายเป็นส่วนประกอบย่อยได้ดังนี้

2.1) ข้อมูลปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกอาคาร จะเป็นการกำหนดออกเป็น 2 แบบคือ

- การกำหนดโดยอาศัยการคำนวณจากโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณจากค่ามุม (Solar Altitude and Azimuth) ในทิศทางต่างๆของดวงอาทิตย์
- การกำหนดโดยผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานจะสามารถกำหนดความสว่างได้ตามต้องการ

2.3) ข้อมูลสภาพของท้องฟ้า จะเป็นการกำหนดประเภทของท้องฟ้า ซึ่งจะมีอิทธิพล ต่อปริมาณแสงที่เกิดขึ้น

- ท้องฟ้าโปร่ง
- ท้องฟ้าทึบแสงเป็นบางส่วน
- ท้องฟ้าทึบแสง

2.3) ลักษณะความขุ่นของบรรยากาศ (Air Turbidity)

2.4) ลักษณะสภาพแวดล้อมของบรรยากาศ (Air Moisture) จะเป็นการแบ่งสภาพอากาศออกเป็นส่วนต่างๆ เช่น ภูมิอากาศในเขตหนาว ,เขตร้อนชื้น หรือเขตอบอุ่น

3) ส่วนข้อมูลในการกำหนดรูปแบบการคำนวณ และแสดงผล จะเป็นการให้รายละเอียดของรูปแบบที่ต้องการคำนวณ และรูปแบบของผลลัพธ์ที่ต้องการ

3.1) ลักษณะการคำนวณ ของโปรแกรมจะกำหนดจาก วิธีการคำนวณที่แตกต่างกันของโปรแกรม

- การคำนวณโดยวิธีลูเมน (Lumen Method)
- การคำนวณโดยวิธีสกายแฟกเตอร์ (Sky Factor)

3.2) ประเภทของการคำนวณ จะเป็นการกำหนดให้ โปรแกรมเลือกทำการคำนวณในส่วนของช่องเปิดแนวตั้ง หรือแนวนอน

3.3) กำหนดรูปแบบการแสดงผล จะเป็นการกำหนดรูปแบบการแสดงผลของการคำนวณเพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ รูปแบบของการแสดงผลจะแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

- การแสดงผลในลักษณะสองมิติ ผู้ใช้จะต้องมีการป้อนข้อมูลใน ส่วนการเพิ่มหรือลดความละเอียดของกราฟสองมิติ
- การแสดงผลในลักษณะสามมิติ ผู้ใช้จะต้องกำหนด จำนวนของความละเอียดของข้อมูลที่แสดงในลักษณะจำนวนหน่วยของผลลัพธ์ (Matrix) ที่มีความสัมพันธ์กับขนาดความลึกของอาคาร (Depth)

4.3.2 แนวความคิดในการป้อนข้อมูลของโปรแกรม

แนวทางในการป้อนข้อมูลของโปรแกรมจะยึดแนวความคิด ของการพัฒนาโปรแกรมที่เป็นกรอบหลักของโปรแกรมที่ได้วางแนวทางไว้ คือ จะต้องเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อความเข้าใจ ในการใช้งานของผู้ใช้ (User Friendly) แต่ในทางปฏิบัติจริงนั้น เราจะพบว่าในการวิเคราะห์ของโปรแกรมนั้น จะต้องการข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณเป็นจำ นวนมาก แม้ว่าเราจะมีการเลือกใช้เฉพาะข้อมูล ที่มีความจำเป็นมาก ต่อการคำนวณแล้วก็ตาม เนื่องจากตัวแปรที่มีจำ นวนมากพอสมควร ในการป้อนข้อมูลนั้น จะต้องสร้างความสับสนต่อผู้ใช้งานที่ไม่คุ้นเคยอย่างแน่นอน ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยไม่ก่อให้เกิดความสับสนต่อผู้ใช้งานนั้นในส่วนของโปรแกรม จึงได้มีการนำเทคนิคการป้อนข้อมูล ที่มีการเลือกใช้การแสดงรูปแบบทางคอมพิวเตอร์อย่างชัดเจน มาแบ่งรายละเอียดของข้อมูล เพื่อให้เกิดความชัดเจนของข้อมูล มีการป้อนข้อมูลตามลำดับความสำคัญจากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง จะช่วยลดความสับสน การเรียงลำดับการป้อนข้อมูลของผู้ใช้ลงได้ นอกจากนี้การป้อนข้อมูลของผู้ใช้ในแต่ละส่วน จะมีการผนวกรูปแบบของภาพที่สื่อถึงความหมายของข้อมูลนั้นๆด้วย เพื่อช่วยให้ผู้ใช้เกิดจินตนาการ ที่ถูกต้อง และเพื่อให้เห็นภาพของกรอบของแนวความคิด และเทคนิคในการป้อนข้อมูลของโปรแกรมที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จะขอแยกอธิบายเป็นข้อๆ ดังนี้

1) มีการจัดแบ่งข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่หลัก และกลุ่มย่อยๆ เรียงลำดับตามความสำคัญ

- การป้อนข้อมูลของโปรแกรมจะมีการใช้กราฟิกเมนู(Graphic pull down menu) มาช่วยในการอธิบาย
- การใช้งานโปรแกรมในหัวข้อต่างๆ จะเรียงลำดับการป้อนข้อมูลจากซ้ายไปขวา และ เรียงลำดับความสำคัญในการป้อนข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณจากบนลงล่าง

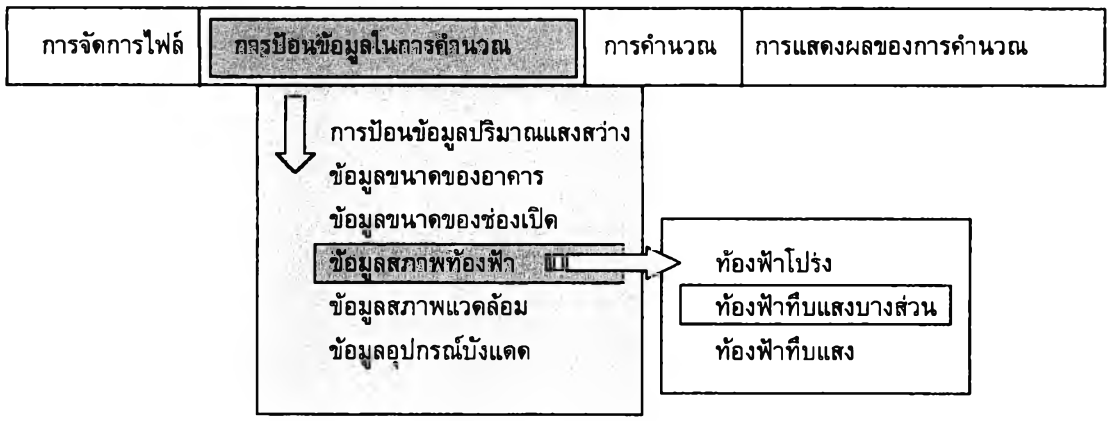
ตัวอย่างเช่น การจัดการไฟล์ ก็จะมีหัวข้อย่อยลงไปเช่น การเปิด หรือบันทึกไฟล์

การป้อนข้อมูลในการคำนวณ ก็จะมีหัวข้อย่อย เช่นรูปแบบของอาคาร ขนาดของช่องเปิด สภาพบรรยากาศ ค่าการสะท้อนแสงต่างๆ ฯลฯ

การคำนวณ ก็จะมีข้อย่อยให้เลือกเช่นการเลือกรูปแบบของการคำนวณ หรือประเภทรูปแบบที่ต้องการ

การแสดงผลการคำนวณของโปรแกรม ก็จะมีรูปแบบย่อยให้ เช่น ต้องการแสดงผลในลักษณะ 2 หรือ 3 มิติ

หากเราต้องการจะเลือกหัวข้อ สภาพท้องฟ้าเพื่อป้อนข้อมูลแก่โปรแกรม เราจะสามารถเลือกได้โดยการเลือกหัวข้อหลัก และหัวข้อย่อยที่เกี่ยวข้องกับสภาพท้องฟ้าที่มีการเรียงลำดับต่อเนื่องกันมา ซึ่งในท้ายสุดจะมีตัวเลือกสภาพท้องฟ้าแสดงให้เห็น และเลือกใช้งานได้



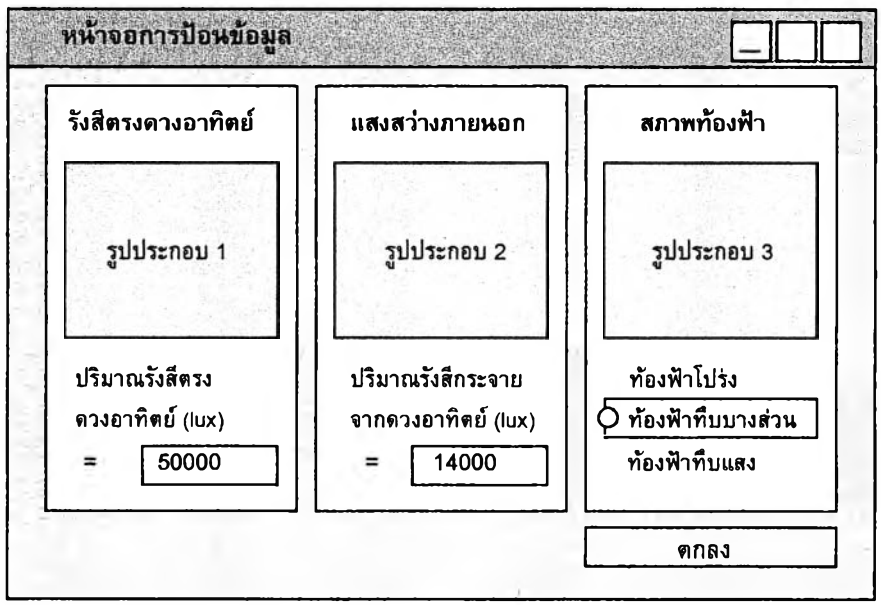
รูป 4.16 ตัวอย่างแสดงการป้อนข้อมูลหลักที่แยกออกเป็นข้อย่อย ตามแต่ประเภทของข้อมูล

2) มีการอธิบายด้วยภาพประกอบในตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้เกิดจินตนาการตามได้อย่างถูกต้อง และจะทำให้โปรแกรมดูเป็นมิตรต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากการสื่อสารกับผู้ใช้งานด้วยรูปภาพ จะสื่อสารให้เกิดความเข้าใจกับผู้ใช้งานได้ง่ายกว่า การสื่อสารด้วยข้อความเพียงอย่างเดียว

ตัวอย่างประกอบ จะมีภาพแสดงอยู่ในบริเวณเดียวกับข้อมูล ที่ต้องการป้อน และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลดังกล่าวภาพประกอบก็จะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่สัมพันธ์กับข้อมูล

รูป 4.17 ภาพแสดงลักษณะของการป้อนข้อมูลที่มีภาพประกอบ โดยภาพแสดงจะแปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

3) มีการจัดองค์ประกอบของหน้าจอที่ใช้ในการติดต่อ (Graphic Interface) ให้เป็นระเบียบ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ และไม่สับสนในการป้อนข้อมูล



รูป 4.18 ภาพแสดงประกอบลักษณะของการป้อนข้อมูลที่มีการจัดองค์ประกอบของหน้าจอเพื่อให้แลดูเป็นระเบียบ และง่ายต่อความเข้าใจ

4) ใช้ถ้อยคำที่เรียบง่ายต่อการสื่อสารและทำความเข้าใจประกอบคำอธิบาย

การใช้ถอยคำประกอบอธิบาย ในการป้อนข้อมูลในแต่ละหัวข้อ นั้น จะใช้ถ้อยคำที่กระชับ และง่ายต่อการทำความเข้าใจ เพื่อให้ผู้ใช้งานไม่สับสน ในการตีความหมาย

4.4 แนวทางและรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม

จากการศึกษาการแสดงผลของ โปรแกรมในลักษณะเดียวกันของต่างประเทศ อาทิ โปรแกรม DOE-2 และ โปรแกรม Superlite 2.0 จะพบว่าโปรแกรมเหล่านี้จะแสดงผลในลักษณะของข้อความ และใช้คำจำกัดความทางวิชาการ (Technical term) เป็นหลักซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจ สำหรับผู้ไม่คุ้นเคย แม้โปรแกรมข้างต้นจะให้ผลของการคำนวณที่แม่นยำ แต่การนิยมใช้งานก็ไม่เป็นที่แพร่หลาย หรือใช้กันในวงกว้างนัก เนื่องจากผู้ใช้งานที่ต่างสาขา ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำความเข้าใจในผลของการคำนวณ จากปัญหาข้างต้นการพัฒนาโปรแกรมในงานวิจัยนี้ จึงมีการใช้การแสดงผลแบบกราฟิก เข้ามาช่วยสร้างความน่าสนใจ และให้ง่าย ต่อการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาข้างต้นได้ในระดับหนึ่ง การพัฒนาโปรแกรมให้มีการแสดงผล ที่มีประสิทธิภาพนั้น หากทำการศึกษาค้นคว้าอย่างละเอียดจะพบว่ามิใช่เรื่องง่ายที่จะสื่อสารให้ผู้คนในทุกระดับ ที่แตกต่างกันสามารถที่จะเข้าใจได้เหมือนกันในเรื่องเดียวกัน งานวิจัยนี้จึงเน้น ในการให้ความสำคัญของการแสดงผล ของข้อมูลที่ถูกต้อง เป็นประการแรกก่อนการประยุกต์ข้อมูลไปแสดงรายละเอียดในรูปแบบอื่น การแสดงผลของโปรแกรมจะต้องตอบสนอง ให้ผู้ใช้ที่มีความชำนาญสามารถเข้าใจผลได้อย่างทันที และผู้ใช้ที่ไม่ชำนาญก็ใช้เวลาในการเรียนรู้ไม่นานนัก

4.4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผลของโปรแกรม

จากการศึกษา ทฤษฎีของแสงธรรมชาติภายในอาคาร จะพบว่า การแสดงผลของปริมาณแสงสว่างในหน่วยของ ลักซ์ (lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc) นั้น จะแสดงความสัมพันธ์กับ ระดับความลึกต่างๆของอาคาร ซึ่งเรียกการแสดงผลดังกล่าวว่า กราฟแสดงระดับความส่องสว่างเดย์ไลท์ (Daylight Curve) โดยกราฟดังกล่าวจะมีความละเอียดของกราฟมากน้อยตามระยะ ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของระยะห่างระหว่างจุดอ้างอิง ที่ต้องการทราบปริมาณแสงสว่าง (Station points) และหากพิจารณาการแสดงผล เมื่อเทียบกับโปรแกรม DOE – 2 ในส่วนของการคำนวณแสงธรรมชาตินั้น การแสดงผลของโปรแกรม DOE-2 จะแสดงผลในลักษณะของข้อความ(Text) เป็นหลัก ซึ่งอยากต่อการทำความเข้าใจและไม่เห็นภาพ เช่นเดียวกับโปรแกรม superlite 2.0 การแสดงผลปริมาณแสงสว่างภายในอาคารก็จะเป็นข้อความ เช่นเดียวกัน แต่ทว่าในโปรแกรมคำนวณปริมาณแสงสว่าง ที่ได้มีการปรับปรุงบางโปรแกรมสามารถ จะสามารถแสดงผลในลักษณะของกราฟิกได้ แต่จำนวนความละเอียดของจุดอ้างอิงที่ต้องการทราบความสว่าง ในแต่ละจุดนั้น จะค่อนข้างน้อย หรือมีการกำหนดจุดตายตัว ผู้ใช้งานไม่สามารถกำหนดจุดดังกล่าวได้เอง ดังนั้นการแสดงผลที่ได้ จึงไม่ละเอียดทำให้ข้อมูลบางช่วงไม่สามารถทราบได้ ต้องอาศัยการประมาณในตรวจสอบข้อมูล การใช้งานผลการคำนวณของโปรแกรม จึงไม่เกิดความยืดหยุ่น ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ใช้งานปฏิเสธการใช้งานได้

จากปัญหาที่พบในการแสดงผลข้อมูลของ โปรแกรมคำนวณปริมาณแสงสว่างภายในอาคาร สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1) จากโปรแกรม DOE-2 ในส่วนของแสงธรรมชาติ (Daylight) นั้น ข้อมูลที่แสดงผล เป็นลักษณะตารางตัวเลข ซึ่งยากแก่ความเข้าใจ ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมต้องอาศัยความชำนาญในการตีความ
2) การแสดงผลปริมาณแสงสว่างในอาคารของโปรแกรม DOE-2 และ Superlite 2.0 อยู่ในรูปแบบของข้อมูลทางวิชาการ (Technical Term) ผู้ออกแบบที่ไม่มีพื้นฐาน ในเรื่องแสงธรรมชาติ จะไม่สามารถใช้ โปรแกรมดังกล่าว ในการพิจารณาออกแบบอาคาร ในขั้นต้นได้ โดยเฉพาะสถาปนิก หรือ ผู้ออกแบบที่ไม่มีความชำนาญทางคณิตศาสตร์
3) ปัญหาจากข้อจำกัดทางคอมพิวเตอร์ ของโปรแกรม DOE- 2 และ Superlite 2.0 ที่แสดงผลบนระบบปฏิบัติการดอส (DOS) ซึ่งยากต่อการพัฒนาโปรแกรมให้นำข้อมูลที่เป็นข้อความมาแสดงผลเป็นกราฟิก
4) การแสดงผลข้อมูลออกทางเครื่องพิมพ์ จะไม่สามารถแสดงผลเป็นกราฟิกได้

จากข้อปัญหาข้างต้น ที่ประเมินได้จากการแสดงผลของ โปรแกรม DOE- 2 และ Superlite 2.0 จะเป็นข้อปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไข และเป็นแนวทางกำหนดรูปแบบของการพัฒนาโปรแกรม ที่จะต้องสอดคล้องกับผู้ใช้งานเป็นหลัก ดังนั้นการแสดงผลของข้อมูลโปรแกรม จะต้องยืดหยุ่นและแก้ปัญหาข้างต้น ได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถสรุปและอธิบายข้อมูลในการแสดงผลของโปรแกรมเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1) การแสดงผลของข้อมูลจะต้องมีความชัดเจน ไม่ก่อให้เกิดความสับสนแก่ผู้ใช้งาน
2) ข้อมูลที่แสดงจะต้อง ไม่เป็นข้อมูลทางวิชาการมากเกินไป สามารถเข้าใจได้ง่าย สำหรับผู้ที่ไม่ชำนาญหรือ เข้าใจผลได้อย่างทันทีสำหรับผู้ที่มีความเข้าใจอยู่แล้ว
3) ข้อมูลที่แสดงผลจะต้องมีจำนวนของข้อมูลยืดหยุ่นตามความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น หากผู้ใช้ต้องการข้อมูลที่มีความละเอียด การแสดงข้อมูลก็จะมีความละเอียดมากขึ้น หรือ หากผู้ใช้ข้อมูลต้องการทราบข้อมูลอย่างคร่าวๆ การแสดงผลก็จะแสดงข้อมูลเพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้น

4) ข้อมูลที่แสดงผลจะต้องประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นข้อความ(Text) และรูปประกอบ(Graphic) ที่สัมพันธ์กัน
5) ข้อมูลที่ได้จะต้องสามารถทำการเก็บบันทึก หรือทำสำเนาออกทางเครื่องพิมพ์ได้
6) ข้อมูลของผลลัพธ์ที่แสดงจะต้องสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้ และง่ายต่อการนำไปประยุกต์ หรือนำไปวิเคราะห์

4.4.2 แนวความคิดในการแสดงผลของโปรแกรม

แนวทางการแสดงผลของโปรแกรม จะยึดกรอบของการพัฒนาโปรแกรมเป็นหลักเช่นกัน โดยแนวทางการแสดงผลจะต้องง่ายต่อการสื่อสารกับผู้ใช้งานเป็นสำคัญ ดังนั้นหากที่จะต้องการอธิบายข้อมูลที่เป็นข้อความให้เข้าใจต่อผู้ใช้งาน การแสดงผลควรจะสามารถที่จะสรุปในรูปของกราฟิกหรือกราฟเป็นสำคัญ เนื่องจากจะทำให้ผู้ใช้งานที่ขาดความชำนาญสามารถที่จะเข้าใจได้ และหากการแสดงผลข้อความในบางส่วนที่เป็นข้อความทางวิชาการ จะต้องมีการขัดเกลาข้อความให้กระชับ และ ง่ายต่อความเข้าใจด้วยเช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติจริง หรือการใช้งานจริงนั้นข้อมูลที่ป้อนให้แก่โปรแกรมจะมีหลายตัวแปร ทำให้การแสดงผลข้อมูลของโปรแกรมที่ได้จะมีความซับซ้อนทั้งในส่วนของ 2 และ 3 มิติ ตามจำนวนของข้อมูลที่ป้อนแก่โปรแกรม อีกทั้งข้อจำกัดบางอย่างทางคอมพิวเตอร์ในเรื่องของหน่วยความจำทางคอมพิวเตอร์ จะเป็นข้อจำกัดประการหนึ่งที่ทำให้จำนวนการแสดงผลของข้อมูล ที่ได้จากการคำนวณ จะต้องถูกจำกัดอยู่ในระดับหนึ่ง การเพิ่มผลลัพธ์ของข้อมูลที่เกินกว่าขีดความสามารถของคอมพิวเตอร์ อาจจะมีผลต่อการคำนวณได้ ผลที่ได้อาจผิดพลาด หรืออาจทำให้ระบบหยุดทำงาน

ดังนั้นเพื่อให้การแสดงผลการคำนวณ มีความยืดหยุ่น และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้มีการนำเสนอรูปแบบของผลการคำนวณ ที่ใช้กราฟิก เป็นสื่อเป็นหลักในการนำเสนอ แต่อาจจะจำกัดขอบเขต ของจำนวนผลลัพธ์ในการคำนวณไว้ที่ระดับหนึ่ง เพื่อให้โปรแกรมยังคงมีความถูกต้อง ในการคำนวณ และเพื่อให้การแสดงผลสามารถที่จะสรุปผลได้ภายในคราวเดียวกันของหน้าจอแสดงผล ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานไม่เกิดความสับสนในการอ่านข้อมูล การนำเสนอรูปแบบการแสดงผลในลักษณะต่างๆสามารถที่อธิบายได้เป็นข้อต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจได้ดังนี้

1) การนำเสนอผลการคำนวณของโปรแกรม ในลักษณะข้อความ หรือตัวเลข

การนำเสนอผลการคำนวณของโปรแกรมในลักษณะข้อความหรือตัวเลข จัดเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานอย่างยิ่งสำหรับโปรแกรมการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ ผลของข้อความที่แสดงออกจะสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูล ได้อย่างชัดเจนแต่การแสดงผลในลักษณะของข้อความนั้น มีข้อด้อยในการสื่อสารกับผู้ใช้งาน โดยเฉพาะผู้ใช้ที่ขาดความชำนาญ ผู้ใช้งานจะต้องตีความหมาย และแนวโน้มของข้อมูลเอง เป็นการเพิ่มภาระแก่ผู้ใช้งาน นอกจากนี้การแสดงผลในลักษณะนี้ไม่ค่อยเป็นที่น่าสนใจของผู้ใช้งานมากนัก เนื่องจากยากต่อการทำความเข้าใจและอาจจะทำให้ผู้ใช้งานเกิดความเบื่อหน่ายได้ด้วย

ดังนั้นการนำเสนอข้อมูลในลักษณะ ที่เป็นข้อความ และตัวเลข นั้นแม้จะเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐาน ในการแสดงผลการคำนวณของโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์ แต่ก็ควรที่จะมีการเรียบเรียงข้อมูล ให้ชัดเจนก่อน นำเสนอเพื่อให้การอ่านข้อมูลมีความสับสนน้อยที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ การพัฒนาโปรแกรมในส่วนของการแสดงผลจะนำเสนอข้อมูลที่เป็นตัวเลข ในลักษณะที่มีการเรียงลำดับอย่างชัดเจน เช่น การเรียงลำดับข้อมูลจากมากไปน้อยในลักษณะด้านบนลงสู่ด้านล่าง หรือจากด้านซ้ายไปด้านขวาอย่างเป็นแถวเป็นแนว หรือการใช้ตารางอธิบายข้อมูล

ที่มีลักษณะที่สัมพันธ์กัน โดยตัวเลขต่างๆ จะเรียงลำดับอย่างต่อเนื่อง และ การจัดข้อมูลให้มีการเรียงลำดับกันอย่างเป็นระเบียบนั้น จะทำให้ผู้ใช้งานไม่เกิดความสับสนในการอ่านข้อมูล ง่ายต่อการทำความเข้าใจ

Matrix width x depth = 8 x 16

2937	1763	1141	715	511	417	333	312	262	262	257	232	231	231	231	228
3352	2122	1362	809	566	421	347	315	265	265	260	235	235	232	232	228
3559	2246	1445	879	586	425	348	324	276	271	271	232	232	232	232	228
3642	2371	1528	920	602	463	352	324	276	265	260	236	232	232	232	228
3642	2371	1528	920	602	463	352	324	276	265	260	236	232	232	232	228
3559	2246	1445	879	586	425	348	324	276	271	271	232	232	232	232	228
3352	2122	1362	809	566	421	347	315	265	265	260	235	235	232	232	228
2937	1763	1141	715	511	417	333	312	262	262	257	232	231	231	231	228

รูป 4.19 ภาพแสดงการนำเสนอผลลัพธ์ของการคำนวณค่าความสว่างภายในอาคาร ที่มีการเรียงลำดับการนำเสนออย่างชัดเจน ซึ่งง่ายต่อการทำความเข้าใจ

2) การนำเสนอผลการคำนวณของโปรแกรม ในลักษณะกราฟ

การนำเสนอผลของการคำนวณในลักษณะนี้ จะมีความน่าสนใจ และง่ายต่อการทำความเข้าใจ ของผู้ใช้งานมากที่สุด การอ่านข้อมูลสามารถที่จะมองเห็นแนวโน้มได้อย่างชัดเจน ผู้ใช้งานไม่เกิดความสับสน แต่การนำเสนอผลลัพธ์ในลักษณะนี้อาจจะมีข้อจำกัดทางคอมพิวเตอร์ เนื่องจากต้องมีการใช้ความสามารถของเครื่องที่สูงขึ้นการแสดงผลจะต้องใช้เวลาประมวลผล นานกว่าเดิม เมื่อเทียบกับการแสดงผล ที่เป็นเพียงข้อความเพียงอย่างเดียว ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่นเก่าบางรุ่น หรือระบบปฏิบัติการบางตัว เช่น ดอส (DOS) ในเครื่องคอมพิวเตอร์บางเครื่องไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นการแสดงผล ที่มีลักษณะกราฟฟิกของโปรแกรม จะมีการกำหนดขอบเขตของการแสดงผลอย่างชัดเจน ผู้ใช้งาน จะไม่สามารถป้อนค่า หรือข้อมูลที่แตกต่างจนทำให้การคำนวณผิดพลาดได้ ซึ่งจะเป็นการป้องการใช้งานที่เกินขีดจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

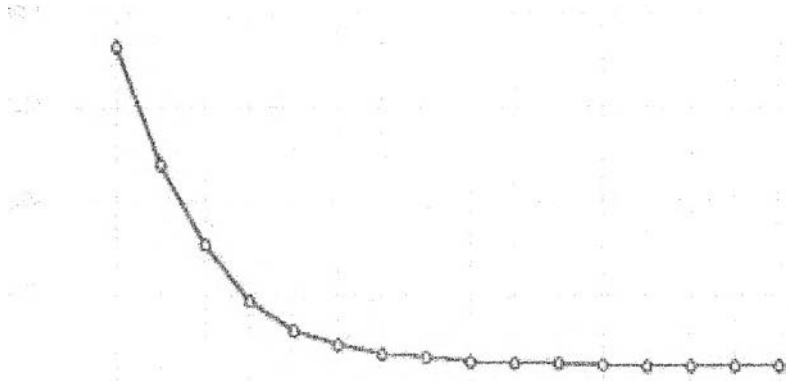
การแสดงผลทางกราฟิกของโปรแกรม ในงานวิจัยนี้ จะมีสองลักษณะ คือ

2.1) การแสดงผลในลักษณะสองมิติ หรือ กราฟสองมิติ

2.2) การแสดงผลในลักษณะสามมิติ หรือ กราฟที่มีการคำนวณแกนความลึกของอาคาร

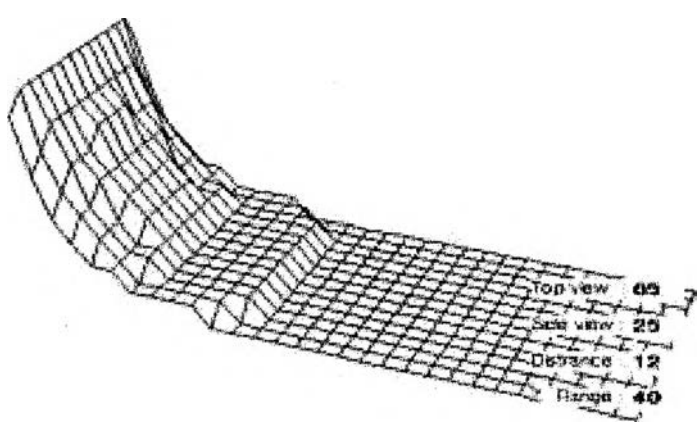
2.3) การแสดงแบบกราฟิกผสม ด้วยข้อความและกราฟ

2.1) การแสดงผลในลักษณะสองมิติ หรือ การแสดงกราฟในลักษณะสองมิตินั้น จะเป็นการแสดงผลกราฟแสดงปริมาณความส่องสว่างภายใน (Daylight curve) ที่ระดับความลึกต่างๆ ของห้อง กราฟในลักษณะนี้จะเป็นกราฟที่ยอมรับและพบเห็นได้ทั่วไปในการแสดงข้อมูลปริมาณแสงสว่าง การอ่านผลของกราฟก็ง่ายต่อการทำความเข้าใจ



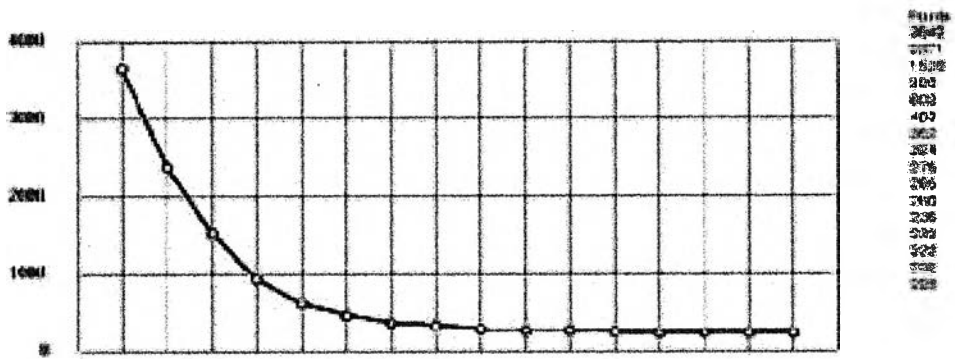
รูป 4.20 กราฟสองมิติ แสดงปริมาณแสงสว่าง ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของห้อง (Daylight curve)

2.2) การแสดงผลในลักษณะของกราฟิกสามมิติ เป็นการแสดงผล ของการคำนวณ ที่ประยุกต์จากการแสดงผลในลักษณะสองมิติ ที่นำกราฟสองมิติมาซ้อนกัน เป็นชั้นๆ (Layers) ในแนวเดียวกัน ซึ่งการซ้อนกันของชั้นกราฟนั้น จะกำหนดให้ถูกแทนที่ด้วยแกนที่มีความลึก เท่ากับความลึก หรือความกว้างของห้อง และนำกราฟที่ซ้อนกันมาจัดมุมมองใหม่ ก็จะได้กราฟสามมิติ ที่แสดงภาพรวม ของปริมาณแสงสว่างภายในห้อง ผู้ใช้งานจะเข้าใจและทราบถึงข้อมูลความสว่างในแต่ละจุดต่างๆของห้อง โดยทันที การแสดงผลลัพธ์ แบบกราฟสามมตินั้น นอกจากจะเห็นภาพรวมได้อย่างชัดเจน และโดยทันทีแล้วนั้น ยังทำให้ผู้ใช้งาน สามารถจิตนาการถึงพฤติกรรมของแสงได้อย่างถูกต้องด้วย



รูป 4.21 กราฟสามมิติ แสดงปริมาณแสงสว่าง ที่ระดับความลึก และระดับความกว้างต่าง ๆ ของห้อง (3 D Daylight curve)

2.3) การแสดงแบบกราฟิกผสม ด้วยข้อความและกราฟ เป็นการนำเสนอผลการคำนวณของโปรแกรมที่นำเอาการแสดงผลทั้งสองแบบข้างต้นมารวมกัน ซึ่งจะเป็นรูปแบบการแสดงผล ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ผู้ใช้งานสามารถที่จะเห็นภาพและปริมาณความสว่าง รวมถึงแนวโน้ม ของข้อมูลได้ทันที ซึ่งผู้ใช้งานโดยส่วนใหญ่จะตอบสนองและพึงพอใจต่อการแสดงผลในลักษณะเช่นนี้



รูป 4.22 การแสดงข้อมูลแบบข้อความและกราฟแสดงปริมาณแสงสว่าง ที่แสดงผลพร้อมกัน