

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีความเกี่ยวข้องกับการได้รับความร้อน แสงธรรมชาติ และการใช้พลังงานจึงสามารถแบ่งเนื้อหาเป็น 3 ส่วน ดังนี้

2.1 ทฤษฎีด้านการถ่ายเทความร้อน

ทฤษฎีและวรรณกรรมด้านการถ่ายเทความร้อนในอาคารสำนักงานซึ่งถือเป็นอาคารปรับอากาศสามารถกล่าวครอบคลุมได้ถึงทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และลักษณะของช่องเปิด ดังนี้

2.1.1 การคำนวณการถ่ายเทความร้อน

การคำนวณด้วยวิธี CLTD/SCL/CLF ซึ่งสามารถกำหนดปัจจัยที่พิจารณาสำหรับการคำนวณภาระการปรับอากาศได้ ดังนี้ (ASHRAE STANDARD 90.1-2004)

1) External Cooling Load คือ การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากอิทธิพลจากภายนอกอาคารผ่านเข้ามาในอาคารทางด้านเปลือกของอาคารซึ่งมีอิทธิพลต่อการวิจัยตัวแปรด้านอื่นจึงให้เป็นตัวแปรคงที่

2) Internal Cooling Load คือ การคำนวณภาระปรับอากาศจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

3) Ventilation and Infiltration คือ ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากการรั่วซึม หรือ การไหลเวียนของอากาศ จากอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิและความชื้นที่สูงกว่าอากาศภายในที่มีการปรับอากาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนเท่านั้น การคำนวณเกี่ยวกับภาระทำความเย็นในด้านอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดถือเป็นตัวแปรคงที่สมการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ภาระการปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านผนัง หลังคา และกระจกช่องแสง สามารถคำนวณได้โดย

$$Q = U \cdot A_1 \cdot \Delta T \quad \text{หรือ}$$

$$Q = U \cdot A_1 \cdot CLTD$$

เมื่อ	Q	=	ภาระการปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)
	U	=	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของเปลือกอาคาร (watt/sq.m ^o C หรือ Btu/h.sq.ft ^o F)
	A ₁	=	พื้นที่เปลือกอาคาร (sq.m หรือ sq.ft) ในงานวิจัยนี้ เทียบได้กับ อัตราส่วนผนังที่บ (1-WWR)
	ΔT	=	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน (°C หรือ °F)
	CLTD	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Differences (°C หรือ °F)

ในการคำนวณสมการที่ 1 เป็นการคำนวณค่าภาระการปรับอากาศที่เมื่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมียุคค่าคงที่ (steady state condition) หรืออิทธิพลจากภายนอกมีค่าไม่รุนแรงมากนัก แต่ในความเป็นจริงที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศ วัน เวลา เดือน และละติจูด ตลอดจนลักษณะของมวลสาร สีของผนัง การหมุนเวียนของผนัง ตลอดจนผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม นั่นคือ ค่า CLTD (cooling load temperature differences) จะเป็นการปรับการคำนวณที่คำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก

กรณีการออกแบบเพื่อลดการได้รับความร้อนผ่านช่องเปิด ใช้การคำนวณเฉพาะส่วนช่องเปิดโปร่งแสง หรือกระจกโปร่งแสงเท่านั้น

2. ภาระการปรับอากาศที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกช่องเปิด ซึ่งสามารถคำนวณได้โดย

$$Q = A_2 \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF$$

เมื่อ	Q	=	ภาระการปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)
	SC	=	ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก
	A ₂	=	พื้นที่ช่องเปิดโปร่งแสงของอาคาร (sq.m หรือ sq.ft) ในงานวิจัยนี้สามารถเทียบได้กับ อัตราส่วนช่องเปิด (WWR)
	SHGF	=	ค่าปัจจัยความร้อนจากรังสีอาทิตย์
	CLF	=	ค่าปัจจัยภาระการทำความเย็น

ในการประเมินศักยภาพของกระจกใด ๆ จะพบว่าค่า SC เป็นค่าหนึ่งที่มีความสำคัญต่อภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากกระจกที่เป็นผนังภายนอกอาคาร กระจกที่มีค่า SC ยิ่งน้อยก็จะทำให้เกิดภาระการทำความเย็นน้อยตามไปด้วย แต่ในระบบหน้าต่างโดยทั่วไปประกอบด้วยกระจกและอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดจึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของตัวกระจกเอง (SC₁) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC₂)

$$\text{โดยที่} \quad \begin{aligned} SC &= (SC_1)(SC_2) \\ SC &= SHGC/0.87 \end{aligned}$$

ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งทดสอบและหาผลของ SC โดยรวมของทั้งกระจกและอุปกรณ์บังแดดทั้งภายในและภายนอก

2.1.2 ช่องเปิด (fenestration)

ช่องเปิดในที่นี้ คือ ช่องเปิดโปร่งแสง ประกอบด้วย (Sangthammarat, 1998, p. 7) ในงานวิจัยนี้ช่องเปิดโปร่งแสงจะไม่มีลักษณะของอุปกรณ์บังแดดภายใน

- (1) วัสดุกระจก เช่น กระจก พลาสติก เป็นต้น
- (2) วัสดุ อุปกรณ์และอุปกรณ์เสริมกรอบกระจก
- (3) อุปกรณ์บังแดดภายนอก
- (4) อุปกรณ์บังแดดภายใน
- (5) ระบบบังแดดและผสมผสาน เช่น ระบบหรีไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ เป็นต้น

ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกช่องเปิดอาคาร คือ

- (1) ด้านสถาปัตยกรรม การใช้แสงธรรมชาติผสมผสานกับแสงประดิษฐ์เพื่อการประหยัดพลังงาน ควรกำหนดให้มีหลากหลายทางเลือกในการออกแบบ
- (2) ด้านอุณหภูมิ ในการออกแบบต้องคำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิพื้นผิว เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย และการอนุรักษ์พลังงาน
- (3) ด้านเศรษฐศาสตร์ ประเมินต้นทุนแรกเริ่มและการบำรุงรักษาเพื่อให้เกิดทางเลือก
- (4) ด้านความต้องการของมนุษย์ มนุษย์มีความต้องการช่องเปิดทั้งทางร่างกาย และจิตใจ คือ สามารถติดต่อสื่อสารกับภายนอกอาคาร และได้รับคุณภาพแสงสว่างที่เหมาะสม

ผลกระทบในการใช้พลังงานจากช่องเปิด สามารถแบ่งเป็น 4 กลไก คือ การส่งผ่านอุณหภูมิจากความร้อน การถ่ายเทความร้อนแสงอาทิตย์ การรั่วไหลของอากาศ และการใช้แสงธรรมชาติ ผลกระทบในด้านพลังงานต่าง ๆ เหล่านี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะและทิศทางการวางตัวของช่องเปิด สภาพอากาศและการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ และระบบการจัดการอุณหภูมิของอาคาร การออกแบบช่องเปิดจึงควรออกแบบการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด (Sangthammarat, 1998, pp. 7-8)

2.2 ทฤษฎีด้านแสงสว่าง

2.2.1 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง

การกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่าง ๆ กันนั้น โดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA) IES (BS) เป็นต้น (ดูตารางที่ 2.1 ประกอบ) ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกันส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่ง ได้แก่ CIE (international commission on illumination) กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่น ๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย หรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่าง ๆ เช่น ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปกติ ให้ใช้ความสว่างมากขึ้น เช่น ถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองอาจทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงหรือเสียหายมากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างในตารางมากขึ้น ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก หรือ ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิลแล้ว การกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ตารางที่ 2.1

เปรียบเทียบมาตรฐานการส่องแสงระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน CIE (ก)	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES (ข)	ค่า Daylight Factor (%) (ค)		
			เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
สำนักงาน พื้นที่ทั่วไป พิมพ์ดีด คอมพิวเตอร์	300 – 500 – 750	500 – 750 – 1000	5.0	2.5	working plane
เขียนแบบ	500 – 750 – 1000	500 – 750 – 1000	5.0	2.5	working plane
ห้องประชุม	300 – 500 – 750	200 – 300 – 500			
โถงทางเข้า		100 – 150 - 200	2.0	0.6	working plane

ที่มา: (ก) IES. Illuminating Engineering Society : Reference Volume, 1983, p. A3.

(ข) BSI Draft for Development, p. 73.

ในการวิจัยนี้ใช้ระดับความเข้มของการส่องสว่างไม่น้อยกว่า 300 ลักซ์ เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำตามตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) และกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดสำหรับสำนักงาน 16 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

2.2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการให้แสงธรรมชาติ

การให้แสงธรรมชาติในอาคารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ในการส่องสว่างอย่างมีคุณภาพ ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว ยังช่วยทำให้เกิดความมีชีวิตชีวา ซึ่งก่อนจะทำการศึกษาด้านเทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจำแนกตาม

ทิศทางได้ 2 รูปแบบ คือ แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร (side lighting) และแสงธรรมชาติจากด้านบน (top lighting) ซึ่งจะศึกษาเฉพาะการให้แสงธรรมชาติจากด้านข้างของอาคาร

1. แสงธรรมชาติจากด้านข้างอาคาร (side lighting)

เป็นแสงที่ผ่านเข้ามาจากแหล่งกำเนิดแสงที่มาได้หลายทาง เช่น แสงจากท้องฟ้า แสงจากพื้นดินภายนอกที่เป็นตัวสะท้อนแสง และการสะท้อนแสงภายในอาคาร จากการศึกษาพบว่า “ข้อดี คือ ช่วยสร้างทัศนวิสัยที่ดีเหมาะสมแก่กับใช้งาน แต่มีข้อเสีย เนื่องจากหน้าต่างหรือช่องเปิดประเภทนี้อยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถทนต่อความจ้าเมื่อมองระดับได้เพียง 170 ฟุตแลมเบิร์ต เท่านั้น” (สุนทร บุญญาธิการ, 2541, หน้า 94) ในการใช้งานจริงจึงจำเป็นต้องใช้กระจกของช่องแสงที่ตัดแสงได้มาก (มีค่า SC ต่ำ) เพื่อให้เกิดความสบายตาในการมองออกสู่ภายนอก แต่จะส่งผลให้มีแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งานในระยะเพียง 2 - 3 เมตร ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่า คือ การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้ลึกมากที่สุด ปริมาณความสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงาน (working plane) จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงกับระนาบนั้น ๆ โดยมุมองศาที่แสงตกกระทบนี้ จะแปรผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ ถ้ามุมยี่งน้อยปริมาณแสงสว่างที่ระนาบของพื้นที่ใช้งานก็จะยิ่งมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางการนำแสงธรรมชาติการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่าที่สุดนั่นเอง

2. ตำแหน่งของหน้าต่างด้านข้าง

มีผลต่อการแสงธรรมชาติ ซึ่งสามารถจำแนกตำแหน่งของช่องเปิด หรือเรียกว่าหน้าต่าง ได้ 3 แบบ ดังนี้

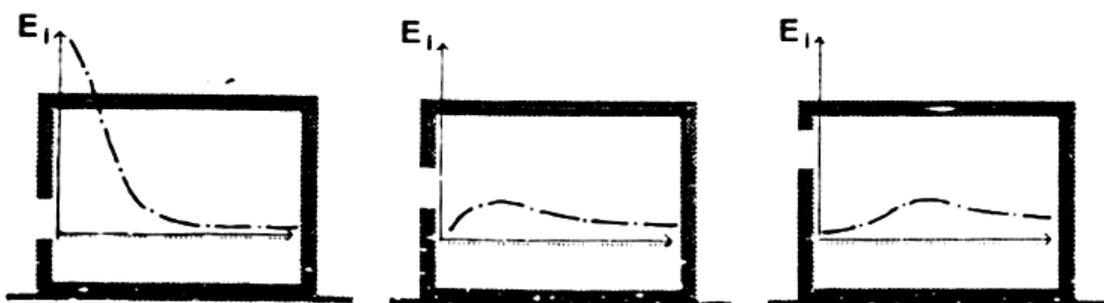
1) หน้าต่างช่วงล่าง (lower windows) มีความสูงจากพื้นประมาณ 0.90 – 1.50 เมตร ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณที่อยู่ใกล้เคียงโดยรอบ หรือบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าระดับสายตา เช่น แสงสะท้อนจากพื้นดิน ผิวสะท้อนแสง หน้าต่างช่วงล่างนี้ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องความจ้า และความร้อนของแสงแดด ข้อเสีย คือจะเกิดลักษณะของความเปรียบต่าง (contrast) ระหว่างแนวผนังช่วงบนเหนือหน้าต่างกับบริเวณฝ้าเพดาน และยังจำกัดทัศนวิสัยอีกด้วย

2) หน้าต่างช่วงกลาง (middle windows) พบเห็นโดยทั่วไป มีความสูงจากระดับพื้นห้องประมาณ 0.90 – 2.00 เมตร ได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณโดยรอบแต่ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงจากพื้นดินเข้ามาภายในจะไม่ดีเท่ากับหน้าต่างช่วงล่าง และประสิทธิภาพในการกระจายแสงไม่เท่ากับหน้าต่างช่วงบนที่มีปริมาณความสว่างที่เพียงพอต่อระดับการใช้งานในช่วงระยะ 2 – 3 เมตร แต่มีลักษณะทัศนวิสัยที่ดีกว่าแบบอื่น เนื่องจากอยู่ในระดับแนวสายตาปัญหาที่

พบส่วนใหญ่ คือ ปริมาณความจ้าของแสงที่ได้รับโดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่างแนวทางการปรับแก้โดยการใช้อุปกรณ์บังแดด หรือการปรับความลาดเอียงของกระจก

ภาพที่ 2.1

เปรียบเทียบปริมาณของค่าความสว่างภายในจากหน้าต่างแบบต่าง ๆ



ก) หน้าต่างช่วงล่าง

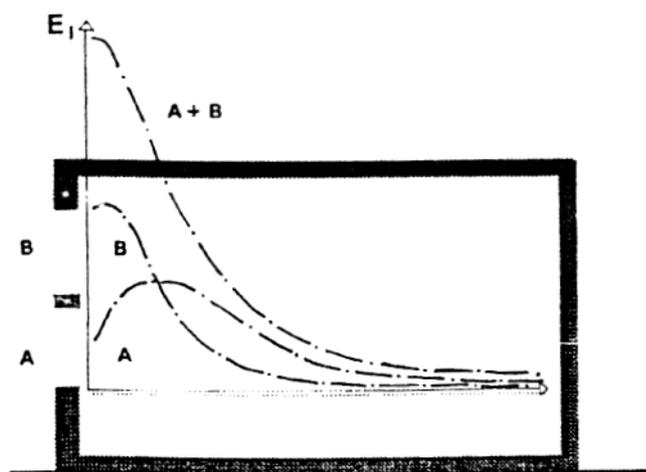
ข) หน้าต่างช่วงกลาง

ค) หน้าต่างช่วงบน

ที่มา: Majoros, 1998, p. 38.

ภาพที่ 2.2

การผสมหน้าต่างช่วงกลาง และช่วงบนเพื่อนำค่าความสว่างภายในได้ดียิ่งขึ้น



ที่มา: Majoros, 1998, p. 38.

3) หน้าต่างช่วงบน (upper windows) สูงจากพื้น 2.0 เมตร ขึ้นไป ให้มีการส่องสว่างผ่านเข้ามาภายในได้ลึกกว่าทุกแบบ ทั้งจากแสงแดดตรง แสงกระจาย ท้องฟ้าปิดแจ่มใส และท้องฟ้ามีเมฆมาก ข้อเสียของหน้าต่างชนิดนี้ คือปริมาณของแสงที่ต้องผ่านเข้ามาภายในระดับของการใช้งานบริเวณที่อยู่ใกล้ช่องแสงจะมีปริมาณแสงที่ไม่เพียงพอ ทศวินัยส์น้อยกว่าช่องแสงชนิดอื่น แต่ไม่มีปัญหาเรื่องความจ้าของแสงเนื่องจากเป็นช่วงที่อยู่เหนือระดับสายตา

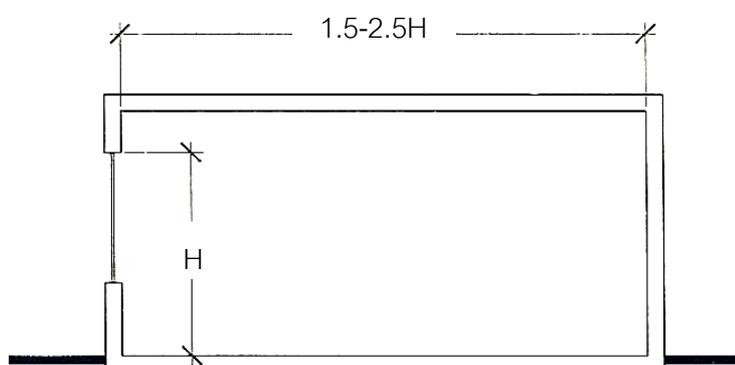
จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งของหน้าต่างที่มีประสิทธิภาพนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในได้ลึกที่สุด ควรใช้หน้าต่างช่วงกลางผสมกับช่วงบน

3. หลักการออกแบบหน้าต่างด้านข้าง

สิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อให้แสงธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม ต้องคำนึงถึงทิศทางหน้าต่าง (orientation) เป็นอันดับแรก ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร แม้จะเป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน แต่ในขณะเดียวกันก็ควรระมัดระวังในเรื่องของความร้อน และผลกระทบทางการมองเห็นที่ตามมา ความสัมพันธ์ของขนาดหน้าต่างมีผลต่อสภาพการส่องสว่างภายใน โดยทั่วไปสัดส่วนของหน้าต่างมีความสัมพันธ์กับลักษณะการส่องสว่าง 2 กรณี คือ กรณีความสัมพันธ์กับปริมาณแสง และกรณีลักษณะการกระจายแสง ที่ส่องผ่านเข้ามายังพื้นที่ภายใน แนวกว้าง แนวยาว และแนวตั้งโดยความลึกของห้องนั้นไม่ควรเกิน $2.5 H$ เมื่อ H คือ ความสูงของช่องแสง โดยทฤษฎี (Stein and Reynolds, 2000: pp. 1151-1155) กล่าวว่า ระยะที่ลึกที่สุดที่สามารถใช้แสงธรรมชาติในอาคารได้ (มีค่าเฉลี่ยไลท์แฟคเตอร์ตั้งแต่ 2-5%) จะมีค่าประมาณ 1.5-2.5 เท่าของความสูงของช่องเปิด ดูภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3

ความสัมพันธ์ของหน้าต่าง ที่มีผลต่อการส่องสว่างภายในห้อง



ที่มา: ดัดแปลงจาก Stein and Reynolds, 2000: p. 1151.

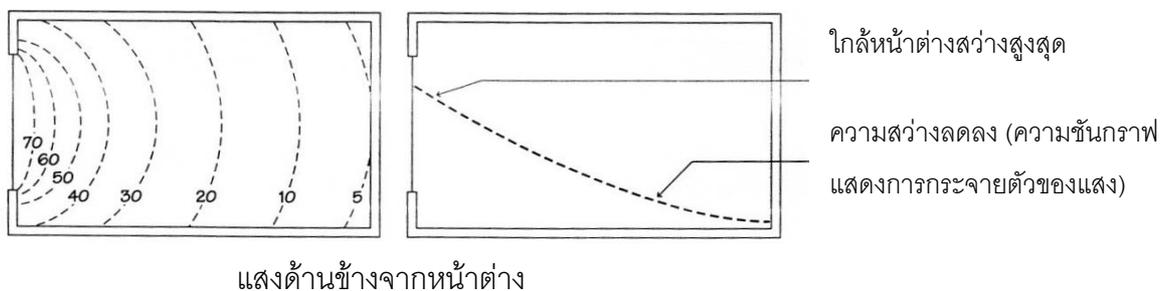
ความสูง และความกว้างของหน้าต่าง หรือช่องแสงจะเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความลึกในการส่องสว่างของแสงที่ผ่านเข้ามาภายใน ส่วนความกว้างจะมีผลต่อปริมาณการส่องสว่างภายใน ตัวอย่างเช่น หน้าต่างที่กว้างและสูง จะมีประสิทธิภาพในการส่องสว่างที่ดีกว่าหน้าต่างที่แคบกว่านั่นเอง

4. ข้อควรพิจารณาในการออกแบบหน้าต่างของอาคาร

1) การเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารนั้น ทำได้โดยการติดตั้งหน้าต่างที่ตำแหน่งสูง และกำหนดระยะฝ้าเพดานที่สูง จะช่วยกระจายแสงไปได้ไกลขึ้น เปรียบเทียบปริมาณของค่าความสว่างภายในจากหน้าต่างแบบต่าง ๆ ประกอบ นอกจากนั้นหน้าต่างแนวนอนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้มากกว่าทางแนวตั้ง ซึ่งพื้นที่ที่หน้าต่างควรมากกว่า 20% ของพื้นที่ห้อง (Lechner, 2000, p. 376) ซึ่งปริมาณแสงสว่างจะมีปริมาณสูงสุดบริเวณหน้าต่าง และลดลงตามระยะที่มากขึ้น

ภาพที่ 2.4

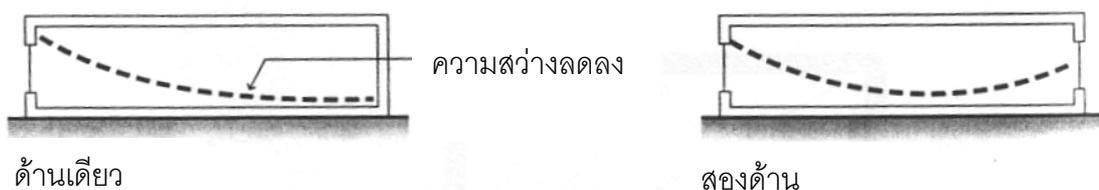
หน้าต่างแนวนอนช่วยให้แสงเข้ามาได้ลึกขึ้น



ที่มา: Egan and Olgyay, 2002, p. 319.

ภาพที่ 2.5

ความส่องสว่างของหน้าต่างด้านเดียวกับสองด้าน



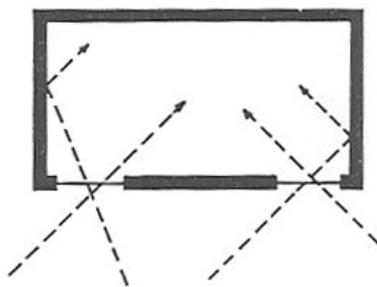
ที่มา: Egan and Olgyay, 2002, p. 112.

2) การนำแสงธรรมชาติเพื่อเพิ่มปริมาณการส่องสว่าง และลดความจ้าภายในอาคารควรติดตั้งหน้าต่างตั้งแต่ 2 ด้านขึ้นไป จะมีประสิทธิภาพดีกว่าหน้าต่างเพียงด้านเดียว

3) ควรติดตั้งหน้าต่างไว้ใกล้กับผนังภายในอาคาร เนื่องจากผนังภายในจะเป็นเสมือนตัวสะท้อนแสงที่ช่วยสะท้อนรังสีตรงของแสงอาทิตย์ให้เป็นแสงกระจายทำให้ห้องนั้นสว่างมากขึ้น และนอกจากนั้นยังช่วยลดอัตราส่วนความสว่างระหว่างหน้าต่างและผนังลง ส่งผลต่อการลดแสงบาดตาที่เกิดขึ้นภายในห้อง

ภาพที่ 2.6

การติดตั้งช่องแสงไว้ใกล้กับผนังภายในอาคาร

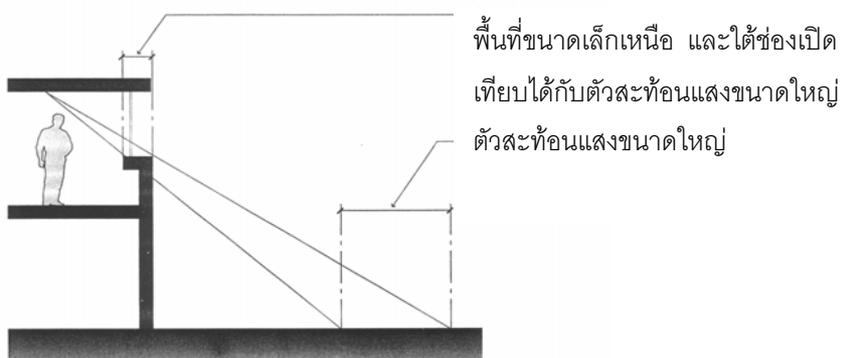


ที่มา: Lechner, 2001, p. 376.

4) ปริมาณแสงสะท้อนจากการขยายขอบหน้าต่างแนวนอนจะเท่ากับแสงสะท้อนจากพื้นดินด้านล่าง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างภายใน

ภาพที่ 2.7

สัดส่วนของแสงสะท้อนจากขอบหน้าต่างจะเท่ากับแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก



ที่มา: Egan and Olgyay, 2002, p. 93.