การใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน

นายศตวรรษ พรหมมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-17-3701-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DAYLIGHT UTILIZATION IN UNDERGROUND SPACES

Mr.Sattawat Promma

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University

Academic Year 2005
ISBN 974-17-3701-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน
โดย	นายศตวรรษ พรหมมา
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ
(นายนิพัทธ์ ซื่อตรง)

นายศตวรรษ พรหมมา : การใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน.
(DAYLIGHT UTILIZATION IN UNDERGROUND SPACES) อ. ที่ปรึกษา: ศ.ดร. สุนทร บุญญาธิการ,
อ. ที่ปรึกษาร่วม: อ.ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, 164 หน้า. ISBN 974-17-3701-7.

ปัญหาของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดิน คือ ข้อจำกัดของจำนวนและตำแหน่งช่องเปิด แสงภายในในอาคารมีความแตกต่างของแสงภายในสูงระหว่างบริเวณที่แสงมากกับบริเวณที่แสงน้อย เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแสงจ้า ทำให้เกิดความไม่สบายตาแก่ผู้ใช้อาคาร วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน โดยพิจารณาถึงการปรับปรุงลักษณะการกระจายแสงภายในอาคารในแต่ละกรณี ทำการประเมินผลข้อมูลที่เกิดจากการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร โดยประเมินผลข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณความส่องสว่าง การกระจายแสง และอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงองค์ประกอบภายในในอาคารตัวอย่าง

ขั้นตอนในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1) ทำการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่าง เพื่อพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงองค์ประกอบภายในในกรณีปรับปรุงต่างๆ 2) นำผลที่ได้จากการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่างในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของแสง นำลักษณะของการปรับปรุงองค์ประกอบภายในดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติในอาคารตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่า 1) การปรับปรุงองค์ประกอบภายใน ทำให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้น โดยใช้การปรับมุมเอียงของผนังภายในและลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุที่แตกต่างกัน ทำการทดลองในขนาดสัดส่วนของช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานใน 3 ขนาด คือ 4% 8% และ 12% ของขนาดพื้นที่ใช้งาน พบว่าในสัดส่วนทั้ง 3 ขนาด จากการพิจารณาค่า Daylight Factor การใช้มุมเอียงของผนังมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณความส่องสว่างภายในมากกว่าในกรณีที่ไม่ใช้มุมเอียงของผนังภายใน 2) เมื่อประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง โดยเปิดช่องเปิดขนาด 4% ของขนาดพื้นที่ใช้งาน ก่อนทำการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน พบว่ามีปัญหาในบริเวณชั้นที่ 1 ปริมาณแสงไม่เพียงพอกับการทำกิจกรรมภายในอาคาร ทำการปรับปรุงโดยในบริเวณชั้นที่ 1 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงน้อย ใช้วัสดุพื้นที่มีค่าการสะท้อนแสงให้มากกว่าบริเวณด้านข้าง ใช้ผนังระเบียงในชั้นที่ 2 ช่วยสะท้อนแสงจากด้านบนลงมายังบริเวณชั้นที่ 1 ให้มีความลึกมากขึ้น โดยใช้ผนังระเบียงทาสีขาวผิวด้าน ปรับมุมเอียง 70° กับระนาบนอน ในบริเวณชั้นที่ 2 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงมากกว่าบริเวณด้านข้าง ใช้วัสดุพื้นที่มีค่าการสะท้อนแสงให้น้อยกว่าบริเวณด้านข้าง โดยใช้วัสดุสีเข้มผิวมัน เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างก่อนและหลังทำการปรับปรุงภายในแล้ว ภายหลังทำการปรับปรุงปริมาณแสงเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับที่เพียงพอแก่การทำกิจกรรมภายในอาคาร

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติ โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดช่องเปิด ทำให้ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารมากขึ้น นอกจากนี้การนำแสงสะท้อนมาใช้ในอาคาร ยังช่วยลดปัญหาแสงจ้าที่เกิดขึ้นในอาคาร ได้ดีกว่าการนำแสงตรงมาใช้ในอาคาร

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์

4774169425 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: / DAYLIGHTING/ UNDERGROUND SPACES / LIGHT DISTRIBUTION

SATTAWAT PROMMA: DAYLIGHT UTILIZATION IN UNDERGROUND SPACES.

THESIS ADVISOR: PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D.

THESIS CO-ADVISOR: VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D, 164 pp. ISBN 974-17-3701-7.

Problems about using daylight in the underground space are the number and the position of the openings. The difference between more light and less light results in glare which upsets visibility. The objective of this research is to enhance the efficiency of daylight utilization in the underground space by considering the distribution of light. After some of the elements of the building have been adjusted, the amount of brightness, the distribution of light and the ratio of differences in the amount of brightness are assessed to be used as guidelines for improving some building elements.

The research is divided into 2 parts: 1. the experiment conducted in the model to assess the result of the improvement and 2. The use of daylight both in terms of quantity and quality based on the results obtained from part 1. After that, the experiment is conducted in the sample building. It is found that the improved elements can increase the amount of brightness. This can be done by adjusting the reclining angle of the interior walls and the surface reflection property of different materials. The experiment is carried out by using 3 sizes of an opening against the functional area. The 3 sizes are 4%, 8% and 12% of the functional area. According to Daylight Factor, the reclining angle helps increase the brightness. Part 2, It is also found that before the adjustment, the light in the first floor is not enough for any activity and on the second floor the central part is brighter than the lateral. The adjustment is done by using an opening which is 4% of the functional area. A material which reflects more light is used in the central part of the first floor and the balcony of the second floor is painted white and is tilted 70° against the plane. As for the second floor, leathery and dark material is used in the central part so that its light reflection is lower than that of another material used in the lateral. After the improvement, the amount of light is enough for an activity.

It can be concluded that the adjustment of interior elements can increase the amount of daylight without enlarging the opening since the bigger the opening, the more the amount of heat can come through. The idea of using light reflection helps reduce glare in the building.

Department Architecture.....Student's signature.....

Field of study Architecture.....Advisor's signature.....

Academic year 2005..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ที่มีส่วนช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงลงไปได้ด้วยดี ดังต่อไปนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ สำหรับคำแนะนำ ข้อคิดและการสร้างแรงขับเคลื่อนในการวิจัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ สำหรับคำแนะนำในรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องแสง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจ์ เศรษฐบุตร ในคำแนะนำเกี่ยวกับอาคารใต้ดินและการเรียนตลอด 2 ปีที่ผ่านมา คณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์สุดา ปทุมานนท์ กรรมการสอบ สำหรับคำแนะนำในการนำไปประยุกต์ใช้ รองศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ สำหรับการบูรณาการองค์ความรู้ในการวิจัย และคุณนิพัทธ์ ซื่อตรง สำหรับคำแนะนำและข้อคิดในการปฏิบัติงานจริงในการประกอบวิชาชีพสถาปัตยกรรม

ขอขอบคุณสาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สำหรับการอำนวยความสะดวกและการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือในการวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สำหรับทุนอุดหนุนในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในกลุ่มวิชาเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม คุณขวัญชัย กาแก้ว คุณการุณย์ ศุภมิตรโยธิน คุณวรสันต์ ชื่นชีพ และคุณวัชระ กาญจนสุต สำหรับความร่วมมือร่วมใจตลอดการเรียนที่ผ่านมา รวมทั้งพี่ๆ ปริญญาเอกและน้องๆ ร่วมสาขาทุกท่าน

ขอขอบคุณ คุณมัลลิยา สุวรรณวัฒน์ สำหรับความช่วยเหลือในการทำการวิจัยและกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้าย ขอขอบพระคุณ พ่อ – แม่ สำหรับทุกๆอย่างที่ผ่านมา จนถึงวันนี้และตลอดไป รวมถึงครอบครัวของผู้วิจัย รวมถึงทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย……	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……	จ
	กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
	สารบัญ……..	ช
	สารบัญตาราง……	ญ
	สารบัญรูปภาพ……..	ฏ
	สารบัญแผนภูมิ……..	ฒ
บทที่ 1	บทนำ……..	1
	1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา……....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย…….....	3
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย…….....	4
	1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย…….....	5
	1.4.1 ทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง…….....	5
	1.4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย…….....	5
	1.4.3 ออกแบบการทดลอง…….....	6
	1.4.4 การเก็บข้อมูล…….....	6
	1.4.5 วิเคราะห์ผลและสรุปการทดลอง…….....	7
	1.4.6 การประยุกต์ใช้…….....	7
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ…….....	9
	1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย…….....	10
บทที่ 2	ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง……..	11
	2.1 การออกแบบและการประเมินการใช้แสงธรรมชาติ…….....	11
	2.1.1 การออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ…….....	11
	2.1.2 การประเมินแสงธรรมชาติ.....	13
	2.1.3 วิธีการและเครื่องมือในการประเมินการใช้แสงธรรมชาติ…….....	14
	2.2 วัตถุประสงค์และเกณฑ์ในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน.....	16
	2.2.1 วัตถุประสงค์ในการใช้แสงธรรมชาติ.....	17
	2.2.2 เกณฑ์ในการใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพ (ด้านปริมาณ).....	20
	2.2.3 เกณฑ์ในการใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพ (ด้านคุณภาพ).....	21

2.3 การใช้แสงธรรมชาติ..... 26
2.3.1 แสงอาทิตย์และแสงจากท้องฟ้า..... 26
2.3.2 สภาพท้องฟ้า..... 28
2.3.3 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์..... 29
2.4 การเลือกประเภทกระจก..... 31
2.4.1 เทคนิคการเลือกใช้กระจก..... 31
2.4.2 หลักการใช้กระจกเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ..... 35
2.5 การเลือกใช้วัสดุ..... 38
2.5.1 พิจารณาลักษณะการสะท้อนแสง..... 38
2.5.2 พิจารณาค่าสะท้อนแสงของวัสดุ..... 41
2.5.3 พิจารณาสีของวัสดุ..... 42
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย..... 45
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 45
3.1.1 อุปกรณ์วัดปริมาณความส่องสว่าง..... 45
3.2.2 อุปกรณ์วัดปริมาณความสว่าง..... 47
3.2 ห้องจำลองสภาพท้องฟ้า..... 47
3.3 หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย..... 48
3.3.1 ตำแหน่งการตั้งหุ่นจำลองในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า..... 50
3.3.2 ตำแหน่งการตั้งหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง..... 50
3.3.3 ตำแหน่งที่ทำการวัด..... 51
3.3.4 เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง..... 51
3.4 ขนาดของหุ่นจำลอง..... 51
3.5 รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่ใช้ในการวิจัย..... 53
3.6 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในงานวิจัย..... 57
3.7 แนวความคิดในการวิจัย..... 58
3.8 ตัวแปรในงานวิจัย..... 60
3.8.1 ตัวแปรตาม..... 60
3.8.2 ตัวแปรต้น..... 61
3.8.3 ตัวแปรต้นที่มีความซับซ้อน..... 61
3.8.4 ค่าคงที่..... 62

บทที่ 4 การพิจารณาการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ..... 64
4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความส่องสว่าง..... 64
4.1.1 การประมาณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารเบื้องต้น..... 65
4.1.2 การวิเคราะห์ค่า DAYLIGHT FACTOR..... 68
4.1.3 ค่า DAYLIGHT FACTOR ของกรณีปรับปรุง..... 73
4.2 การวิเคราะห์ความสว่าง..... 87
4.2.1 ตำแหน่งในการวัดความสว่าง..... 88
4.2.2 ผลการวัดความสว่าง..... 89
4.3 การประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง..... 97
4.3.1 รายละเอียดของอาคาร..... 97
4.3.2 แนวทางในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ..... 114
4.3.3 คุณภาพของแสงธรรมชาติ..... 116
4.3.4 การประยุกต์การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์..... 120
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 121
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 121
5.1.1 แหล่งกำเนิดแสง..... 122
5.1.2 การกระจายแสง..... 123
5.1.3 การพิจารณาด้านปริมาณ..... 124
5.1.4 การพิจารณาด้านคุณภาพ..... 126
5.2 แนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้..... 127
5.2.1 การใช้แสงธรรมชาติ..... 127
5.2.2 การปรับปรุงองค์ประกอบภายใน..... 131
5.2.3 การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงแสงประดิษฐ์..... 132
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 133
5.3.1 ข้อจำกัดของการศึกษา..... 133
5.3.2 แนวทางในการวิจัยในอนาคต..... 134
รายการอ้างอิง..... 135
ภาคผนวก..... 138
ภาคผนวก ก ความหมายศัพท์ทางด้านการออกแบบแสงสว่าง..... 139
ภาคผนวก ข เทคนิคการใช้ช่องเปิดสำหรับอาคารใต้ดิน..... 148
ภาคผนวก ค LIGHTING DESIGN PATTERN IN UNDERGROUND SPACES..... 161
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 164

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงประเภทของการส่องสว่างและปริมาณความส่องสว่างสำหรับกิจกรรมทั่วไปภายในอาคาร	22
ตารางที่ 2.2	ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง CIE และ IESNAและมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)	23
ตารางที่ 2.3	อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ	24
ตารางที่ 2.4	แสดงปริมาณความสว่างที่เหมาะสมและพอยอมรับได้	25
ตารางที่ 2.5	แสดงลักษณะของแสงธรรมชาติ	27
ตารางที่ 2.6	แสดงค่าการส่องผ่านแสง (LIGHT TRANSMITTANCE) ของกระจกและพลาสติก	37
ตารางที่ 2.7	แสดงตัวอย่างของวัสดุที่มีผิวด้านและผิวมัน	40
ตารางที่ 2.8	แสดงตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ	41
ตารางที่ 2.9	แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่แนะนำสำหรับพื้นที่ใช้งานของสำนักงานและส่วนการศึกษา	42
ตารางที่ 2.10	แสดงค่าการสะท้อนแสงของสีต่างๆ	44
ตารางที่ 3.1	ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ของวัสดุที่ใช้เป็นผนังระเบียง	62
ตารางที่ 3.2	ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ของวัสดุพื้นและผนัง	62
ตารางที่ 3.3	ตัวแปรและค่าคงที่ใช้ในการวัดแสง	63
ตารางที่ 4.1	แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุด ในสัดส่วนของพื้นพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่างๆ	71
ตารางที่ 4.2	แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุดในขนาดช่องเปิด 4%	74
ตารางที่ 4.3	แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุดในขนาดช่องเปิด 8%	77
ตารางที่ 4.4	แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุดในขนาดช่องเปิด 12%	79
ตารางที่ 4.5	แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย	89
ตารางที่ 4.6	แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย	90

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย..... 91
ตารางที่ 4.8 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา..... 92
ตารางที่ 4.9 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา..... 93
ตารางที่ 4.10 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา..... 94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปภาพที่ 1.1	แสดงแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน.....	7
รูปภาพที่ 1.2	แสดงแนวความคิดในการศึกษา.....	8
รูปภาพที่ 1.3	แสดงกระบวนการในการวิจัย.....	9
รูปภาพที่ 2.1	แสดงกระบวนการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ.....	12
รูปภาพที่ 2.2	แสดงวัตถุประสงค์ในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ.....	18
รูปภาพที่ 2.3	แสดงการเกิดแสงจ้าในมุมต่างๆ.....	19
รูปภาพที่ 2.4	แสดง RELATION BETWEEN SUBJECTIVE BRIGHTNESS AND MEASURED LUMINANCE LEVELS.....	25
รูปภาพที่ 2.5	แสดงกระจกสะท้อนความร้อนที่ใช้แผ่นฟิล์ม LOW-E.....	33
รูปภาพที่ 2.6	แสดงกระจกสะท้อนความร้อน LOW-E ที่ใส่ก๊าซเฉื่อย.....	33
รูปภาพที่ 2.7	แสดงกระจกฉนวนความร้อน (INSULATING GLASS).....	34
รูปภาพที่ 2.8	แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (SPECULAR REFLECTION).....	38
รูปภาพที่ 2.9	แสดงการสะท้อนแบบกระจาย (DIFFUSE REFLECTION).....	39
รูปภาพที่ 2.10	แสดงลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (SPECULAR REFLECTION) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (DIFFUSE REFLECTION).....	40
รูปภาพที่ 2.11	แสดง PURKINJE SHIFT.....	43
รูปภาพที่ 3.1	แสดงอุปกรณ์วัดแสงที่ใช้ในงานวิจัย.....	46
	(ก) แสดงลักซ์มิเตอร์	
	(ข) แสดงมินอลต้า ลักซ์มิเตอร์	
	(ค) แสดงอุปกรณ์ที่เป็นแถบเงา	
รูปภาพที่ 3.2	แสดง MINALTA, L-S110, 1/3°.....	47
รูปภาพที่ 3.3	แสดงมุมมองภายในของห้องจำลองสภาพท้องฟ้า.....	48
รูปภาพที่ 3.4	แสดงระดับการวางหุ่นจำลองในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า.....	50
รูปภาพที่ 3.5	แสดงสัดส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย.....	52
รูปภาพที่ 3.6	แสดงรายละเอียดของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย.....	52
รูปภาพที่ 3.7	แสดงสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานในขนาดต่างๆ.....	53
รูปภาพที่ 3.8	แสดงการวิเคราะห์มุม PROFILE และการบังแดดของพื้นที่ช่องเปิด 4%.....	54
รูปภาพที่ 3.9	แสดงการวิเคราะห์มุม PROFILE และการบังแดดของพื้นที่ช่องเปิด 8%.....	55
รูปภาพที่ 3.10	แสดงการวิเคราะห์มุม PROFILE และการบังแดดของพื้นที่ช่องเปิด 12%.....	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาพที่ 4.20 แสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย..... 91
รูปภาพที่ 4.21 แสดงแสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา..... 92
รูปภาพที่ 4.22 แสดงแสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา..... 93
รูปภาพที่ 4.23 แสดงแสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา..... 94
รูปภาพที่ 4.24 แสดงมุมของแสงที่เข้าสู่ตา ผลการทดลองจากรูปภาพที่ 4.18..... 95
รูปภาพที่ 4.25 แสดงมุมมองของสายตาที่มองเห็นในมุมต่างๆ..... 96
รูปภาพที่ 4.26 แสดงผังพื้นชั้น 1 ของอาคารตัวอย่าง..... 98
รูปภาพที่ 4.27 แสดงผังพื้นชั้น 2 ของอาคารตัวอย่าง..... 98
รูปภาพที่ 4.28 แสดงผังพื้นชั้น 3 ของอาคารตัวอย่าง..... 99
รูปภาพที่ 4.29 แสดงผังพื้นหลังคาของอาคารตัวอย่าง..... 99
รูปภาพที่ 4.30 แสดงการใช้แสงธรรมชาติในโถงกลางของอาคาร..... 100
รูปภาพที่ 4.31 แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบนโถงกลางของอาคาร..... 101
รูปภาพที่ 4.32 แสดงรายละเอียดของช่องเปิดด้านบนของโถงกลางของอาคาร..... 101
รูปภาพที่ 4.33 แสดงการใช้วัสดุของช่องเปิดด้านบนของโถงกลางของอาคาร..... 102
รูปภาพที่ 4.34 แสดงการให้ความสว่างภายในอาคาร..... 115
(ก) แสดงการใช้แสงธรรมชาติ โดยการนำแสงกระจายจากท้องฟ้าเข้ามาในอาคารด้วยการใช้แสงสะท้อนตกกระทบกับพื้นที่ทาสีขาวบริเวณฝ้าอาคารเพื่อให้เกิดแสงกระจายให้ความสว่างกับพื้นที่โถงด้านล่าง
(ข) แสดงการใช้แสงประดิษฐ์ โดยใช้โคมสปอทไลท์ (SPOT LIGHT) ฉายขึ้นสู่ฝ้าด้านบนเพื่อให้เกิดแสงสว่างภายในอาคารเวลากลางคืน
รูปภาพที่ 4.35 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 1 ของอาคาร..... 116
รูปภาพที่ 4.36 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 2 ของอาคาร..... 116
รูปภาพที่ 4.37 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 2 ของอาคาร..... 117
รูปภาพที่ 4.38 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 2 ของอาคาร..... 117
รูปภาพที่ 4.39 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 3 ของอาคาร..... 118
รูปภาพที่ 4.40 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 3 ของอาคาร..... 118
รูปภาพที่ 4.41 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 3 ของอาคาร..... 119

รูปภาพที่ 3.11 แสดงแนวความคิดเบื้องต้นในการวัดแสงธรรมชาติ..... 59
รูปภาพที่ 4.1 แสดงแนวทางในการวิเคราะห์ปริมาณความส่องสว่าง..... 64
รูปภาพที่ 4.2 แสดงหลักการของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านรูปแบบของช่องเปิดด้านบน
แบบ CLERESTORIES..... 65
รูปภาพที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเบื้องต้น..... 66
รูปภาพที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเบื้องต้น..... 67
รูปภาพที่ 4.5 แสดงอิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิดทางด้านทิศใต้..... 72
รูปภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระนาบของผนังและปริมาณแสงที่ได้รับบนระดับใช้งาน... 80
รูปภาพที่ 4.7 แสดงทิศทางของแสงที่เกิดจากการใช้มุมเอียงของผนังที่แตกต่างกัน..... 81
(ก) ผนังทึบในแนวตั้งฉากกับระนาบนอน
(ข) ผนังทึบในแนวทำมุมเอียงกับระนาบนอน
รูปภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแสงที่ตกกระทบกับเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสง
ของวัสดุกระจก..... 82
รูปภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบมุมที่แสงตกกระทบในผนังระเบียงที่ใช้มุมเอียงต่างกัน..... 82
รูปภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้มุมเอียงของผนังภายในกับมุมของแสง
และระยะความสูงของช่องเปิด..... 83
รูปภาพที่ 4.11 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะ
แบบแสงกระจายโดยใช้มุมเอียงของผนังภายใน..... 84
รูปภาพที่ 4.12 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะ
แบบแสงเสมือนกระจกโดยไม่ใช้มุมเอียงของผนังภายใน..... 84
รูปภาพที่ 4.13 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะ
แบบแสงกระจายโดยใช้มุมเอียงของผนังภายใน..... 85
รูปภาพที่ 4.14 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะ
แบบแสงเสมือนกระจกโดยใช้มุมเอียงของผนังภายใน..... 85
รูปภาพที่ 4.15 แสดงลักษณะของปริมาณแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นโดยไม่ใช้มุมเอียงของผนังภายใน.... 86
รูปภาพที่ 4.16 แสดงลักษณะของปริมาณแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นโดยใช้มุมเอียงของผนังภายใน..... 86
รูปภาพที่ 4.17 แสดงแนวความคิดในการวิเคราะห์คุณภาพของแสง..... 87
รูปภาพที่ 4.18 แสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะ
การสะท้อนแสงแบบกระจาย..... 89
รูปภาพที่ 4.19 แสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะ
การสะท้อนแสงแบบกระจาย..... 90

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่างๆ กับ ค่า DAYLIGHT FACTOR (%) ที่จุดกึ่งกลางพื้นภายใน..... 69

แผนภูมิที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่างๆ กับ ค่า DAYLIGHT FACTOR (%) ในแนวเหนือ – ใต้..... 70

แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของขนาดช่องเปิด 4%..... 75

แผนภูมิที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของขนาดช่องเปิด 8%..... 76

แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของขนาดช่องเปิด 12%..... 78

แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 1 ในแนวเหนือ – ใต้..... 104

แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 2 ในแนวเหนือ – ใต้..... 105

แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 1 ในแนวตะวันออก – ตะวันตก..... 106

แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 2 ในแนวตะวันออก – ตะวันตก..... 107

แผนภูมิที่ 4.10 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 1 ของกรณีอ้างอิง..... 108

แผนภูมิที่ 4.11 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 2 ของกรณีอ้างอิง..... 109

แผนภูมิที่ 4.12 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 3 ของกรณีอ้างอิง..... 110

แผนภูมิที่ 4.13 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 1 ของกรณีปรับปรุง..... 111

แผนภูมิที่ 4.14 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 2 ของกรณีปรับปรุง..... 112

แผนภูมิที่ 4.15 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 3 ของกรณีปรับปรุง..... 113

บทที่ 1

บทนำ

ในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทยต่างประสบปัญหาการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการอยู่อาศัยในอนาคต เกิดปัญหาจากการใช้ระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ การต้องการใช้ที่ดินสูงขึ้นเพื่อการใช้ประโยชน์ต่างๆ โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีประชากรอย่างหนาแน่นไม่ว่าจะเป็นการอยู่อาศัย ทำงาน ประกอบธุรกิจ และทำกิจกรรมประเภทอื่น ทำให้มีการสร้างอาคารเพื่อรองรับประชากรที่เพิ่มขึ้น การที่มีอาคารหนาแน่นในเขตเมืองนี้ย่อมส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้นตามไปด้วย และเนื่องจากราคาที่ดินในเขตเมืองมีราคาสูงกว่าบริเวณอื่นๆ การจัดสรรประโยชน์ในการใช้ที่ดินจึงต้องใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นการสร้างอาคารใต้ดินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งของการแก้ปัญหาพื้นที่ในเขตเมือง การนำส่วนที่เป็นประโยชน์ใช้สอยของอาคารต่างๆไปไว้ใต้ดิน ทำให้พื้นที่เหนือดินสามารถใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ เช่น สวนสาธารณะ สนามกีฬา พื้นที่นันทนาการ หรือแม้แต่การทำเกษตรกรรม เป็นต้น ซึ่งเป็นการลดความหนาแน่นของอาคารในเขตเมือง และทำให้คุณภาพชีวิตของคนเมืองและสภาพแวดล้อมต่างๆ ดีขึ้น การนำแสงธรรมชาติเข้าใช้ในอาคารใต้ดิน นอกจากเป็นการลดพลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่าง แสงธรรมชาติยังเป็นแสงที่มีคุณภาพดีกว่าแสงประดิษฐ์ ทำให้มองเห็นสีของวัตถุไม่ผิดเพี้ยน ยังสร้างบรรยากาศที่ดีภายในอาคาร ผู้ใช้อาคารภายในไม่รู้สึกมืดและถูกตัดขาดจากโลกภายนอก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน โดยทำการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติ เพื่อที่จะต้องไม่เพิ่มขนาดของช่องเปิดอันจะเกี่ยวข้องกับปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร นำเสนอผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่างที่เป็นกรณีศึกษา

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบอาคารใต้ดินนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคาร เนื่องจากการออกแบบที่ดีนั้นสามารถทำให้คุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารใต้ดินนั้นไม่ด้อยไปกว่าการใช้อาคารที่อยู่บนดิน ปัจจัยที่ส่งผลสำคัญต่อคุณภาพชีวิต คือ แสงสว่าง ข้อด้อยประการสำคัญสำหรับอาคารใต้ดินคือ ยิ่งอาคารมีความลึกมากก็ยิ่งใช้แสงสว่างจากธรรมชาติได้น้อยลง ทำให้ต้องใช้แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์เป็นส่วนใหญ่ ถ้าสามารถออกแบบอาคารใต้ดินที่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้

สูงสุด การลดการใช้พลังงานแสงสว่าง จะทำให้อาคารใต้ดินใช้พลังงานได้อย่างประหยัดมากขึ้น รวมทั้งทำให้เกิดทัศนคติที่ดีต่อการใช้อาคารใต้ดิน

การออกแบบระบบแสงสว่างโดยการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารใต้ดิน ควรพิจารณาถึงปัจจัยสำคัญหลายประการ เช่น

- การสร้างสภาพแวดล้อมและคุณภาพแสงที่ดีภายในอาคาร
- ลดปริมาณการใช้แสงประดิษฐ์ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง โดยสามารถนำแสงธรรมชาติมาทดแทนการใช้แสงประดิษฐ์ในเวลากลางวัน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานสูง (peak load) และค่าไฟฟ้ามีราคาแพง
- สร้างความพึงพอใจแก้ผู้ใช้อาคาร โดยรู้สึกถึงโลกภายนอกจากการเปลี่ยนแปลงของแสงตามช่วงเวลาที่เปลี่ยนไป
- เพิ่มความรู้สึกปลอดภัย โดยการแสงธรรมชาติที่มีปริมาณเพียงพอ

นอกจากนั้นสำหรับประเทศไทยที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ได้รับประโยชน์ในด้านปริมาณแสงอาทิตย์ที่เพียงพอตลอดทั้งปี แต่ได้รับผลกระทบที่ตามมาจากการใช้แสงธรรมชาติ คือ ปัญหาด้านความร้อน ปัญหาจากแสงจ้า (glare) ซึ่งเป็นผลกระทบจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct sunlight) ที่เข้ามาในอาคารใน 2 ลักษณะ ดังนี้

- การแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (direct solar radiation) ในรูปของรังสีคลื่นสั้นผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร เมื่อกระทบกับวัตถุทึบแสงจะเปลี่ยนรูปเป็นรังสีคลื่นยาวและปล่อยพลังงานความร้อนสะสมอยู่ในอาคาร
- ความเข้มของการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (direct illumination) ซึ่งจะทำให้เกิดความส่องสว่างที่มากกว่าความต้องการ ส่งผลกระทบทำให้เกิดความไม่สบายตาทั้งทางดานการมองเห็น การปรับสายตา และอื่นๆ

นอกจากนั้นการใช้แสงธรรมชาติในอาคารได้ดินที่ไม่สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้จากทางด้านข้างได้เหมือนกับอาคารอื่นๆ ทั่วไป ทั้งจำนวนและตำแหน่งที่จำกัดของช่องเปิด ทำให้ปริมาณแสงภายในไม่เพียงพอกับการใช้งานส่งผลให้การใช้แสงประดิษฐ์ภายในอาคารมีปริมาณสูง สาเหตุหนึ่งมาจากการที่ไม่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้อย่างทั่วถึง เช่น ในส่วนกลางของอาคารที่มีระยะห่างจากช่องเปิดลึกเข้าไปในอาคารมากๆ เป็นต้น ดังนั้นการแก้ปัญหาที่มักใช้กันทั่วไป คือ รูปแบบการเปิดช่องเปิดเพื่อนำแสงจากธรรมชาติมาใช้จากทางด้านบน (top lighting) โดยให้แสงส่องผ่านลงมายังส่วนของพื้นที่ภายในอาคาร มักจะมีลักษณะเป็น เอเทรียม (atrium) หรือ

คอร์ท (court) ภายในอาคารซึ่งจะสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้กับส่วนต่างๆ ของอาคารได้มากขึ้น

การใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดินผ่านทางช่องเปิดด้านบน (top aperture) คือ ช่องเปิดที่อยู่บริเวณด้านบนสุดของอาคาร เช่น บริเวณดาดฟ้าหรือหลังคาอาคาร เป็นต้น โดยทั่วไปการเปิดช่องเปิดด้านบนเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารโดยตรง (skylight) ในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทยมีปริมาณแสงเพียงพอต่อการใช้งานแต่เนื่องจากสภาพท้องฟ้าในประเทศไทยมีปริมาณแสงภายนอกโดยเฉลี่ยสูงตลอดทั้งปี การเปิดช่องเปิดด้านบนนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้โดยตรงทำให้ได้ปริมาณแสงที่มีความเข้มมากเกินไป ทำให้ผู้ใช้อาคารเกิดความรู้สึกไม่สบายตา (visual discomfort) เนื่องจากต้องมีการปรับสายตา (eye adaptation) มากระหว่างบริเวณที่สว่างกับบริเวณที่ค่อนข้างมืด นอกจากนี้มีปริมาณความร้อนสูงเข้ามาในอาคาร เพราะเป็นการใช้แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct sunlight) นอกจากที่กล่าวมาควรพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้แสงธรรมชาติมีการควบคุมปริมาณและคุณภาพของแสง โดยเกณฑ์เบื้องต้นในการใช้แสงธรรมชาติ คือ มีปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) ที่เพียงพอต่อการใช้งาน การวบคุมคุณภาพแสงโดยกำหนดอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ให้อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เพื่อให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกสบายตา (visual comfort) จากเกณฑ์เบื้องต้นดังกล่าวในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน เพื่อเป็นการนำแสงธรรมชาติมาใช้ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด โดยมีรายละเอียดในการวิจัยในหัวข้อต่างๆ จะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

เป้าหมายของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน โดยพิจารณาถึงการปรับปรุงลักษณะการกระจายแสงภายในอาคารในแต่ละกรณี โดยทุกกรณีมีปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (light source) เท่ากัน แล้วทำการประเมินผลข้อมูลที่เกิดจากการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร อันได้แก่ การเปลี่ยนค่าการสะท้อนแสงและลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุภายใน การใช้มุมเอียงในผนังระเบียงภายใน เป็นต้น โดยประเมินผลข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level) การกระจายแสง (luminance distribution) และอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ในการใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงองค์ประกอบภายในในอาคารตัวอย่าง เพื่อไปถึงเป้าหมายดังกล่าวนี้กำหนดเป็นวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังนี้

1) ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร ที่มีผลกระทบต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดินผ่านทางช่องเปิดด้านบน

2) ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนองค์ประกอบภายในอาคาร โดยพิจารณาปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level) ที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งาน การกระจายแสง (luminance distribution) และอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) เปรียบเทียบกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงกับกรณีที่มีการปรับปรุง

3) นำเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์แสงธรรมชาติสูงสุดจากข้อ 2 ทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพของแสง เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้แสงธรรมชาติในอาคารประเภทเดียวกันหรือใกล้เคียง

1.3 ขอบเขตในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีขอบเขตในการวิจัย ดังนี้

1) สภาพท้องฟ้าที่ใช้ทดสอบเป็นสภาพท้องฟ้าของประเทศไทย สถานที่ตั้งกรุงเทพมหานคร ละติจูดที่ 14°

2) ช่วงวัน เวลา สภาพท้องฟ้าไม่ครอบคลุมตลอดทั้งปี ช่วงเวลาที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์เท่านั้นเพราะข้อจำกัดในระยะเวลาของการวิจัย

3) การเก็บข้อมูล ในด้านปริมาณทำการวัดเฉพาะปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) ในด้านคุณภาพทำการวัดเฉพาะปริมาณความสว่าง (luminance)

4) การปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร ปรังปรุงในส่วนของระเบียง ขอบพื้น โดยการเปลี่ยนลักษณะและค่าการสะท้อนแสง การเปลี่ยนมุมเอียงของระเบียงและขอบพื้น การเปลี่ยนสีของวัสดุภายใน เท่านั้น

5) การพิจารณาปริมาณแสงธรรมชาติที่ตกกระทบพื้นที่ใช้งานพิจารณาเฉพาะในแนวระนาบ ที่ระดับพื้นที่ใช้งานที่กำหนดไว้

6) การวิจัยศึกษาในส่วนของปริมาณความส่องสว่างและปริมาณความสว่างเท่านั้น ไม่รวมการพิจารณาในด้านปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิด

7) การประเมินด้านคุณภาพของแสงธรรมชาติ ทำการประเมินโดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนความเปรียบต่างที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดเท่านั้น ไม่รวมผลกระทบจากกรณีอื่นๆ

8) รูปแบบและลักษณะของช่องเปิด เป็นรูปแบบที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้เท่านั้น โดยใช้ช่องเปิดแบบ clerestories เพื่อเป็นการนำแสงที่สะท้อน (indirect light) จากภายนอกเข้ามาใช้ในอาคาร

9) รูปแบบเอเทรียมแบบ Four Side แบบเดียว

10) หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ มีค่า Well Index ขนาดเดียว คือ 1

11) การนำเสนอการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ เป็นแนวทางเบื้องต้นเท่านั้นไม่ครอบคลุมถึงการใช้แสงประดิษฐ์ทั้งหมด

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนใหญ่ๆ อันได้แก่

1.4.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (literature review)

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและเกณฑ์ที่กำหนดเกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน การศึกษาตัวอย่างออกแบบการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน รวมถึงงานวิจัยและข้อบัญญัติต่างๆที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาวิธีการออกแบบและวิธีการประเมินในการใช้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบน รวมทั้งข้อจำกัดของวิธีการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- ศึกษาวัตถุประสงค์และเกณฑ์ในการใช้แสงธรรมชาติ ข้อกำหนดทั้งด้านระดับปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level) ในการทำกิจกรรมภายในอาคาร และอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้
- ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและมีผลกระทบกับการใช้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดด้านบน ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบรวมถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ

1.4.2 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (instrumentation systems)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

- ห้องจำลองสภาพท้องฟ้า ชั้นที่ 11 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อุปกรณ์เกี่ยวกับการวัดแสง คือ อุปกรณ์วัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) ได้แก่ lux meter และอุปกรณ์ในการวัดปริมาณความสว่าง (luminance) ได้แก่ luminance meter

- หุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบ ใช้ในการวัดแสงภายใต้ห้องจำลองสภาพท้องฟ้าและภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง

1.4.3 **การออกแบบการทดลอง** (experimental design)

- กำหนดแนวทางเบื้องต้นในการวัดแสง สรุปในแนวทางเลือกต่างๆ
- ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการวิจัย โดยอ้างอิงการศึกษาจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ
- ทำการสร้างหุ่นจำลองในกรณีต่างที่จะใช้ทำการทดสอบ
- ปรับปรุงวิธีการวัดแสงในกรณีที่เกิดความผิดพลาด

1.4.4 **การเก็บข้อมูล** (data acquisition)

ในขั้นตอนนี้เป็นการเก็บข้อมูลจากการวัดแสงจากหุ่นจำลองในกรณีต่างๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำหนดไว้

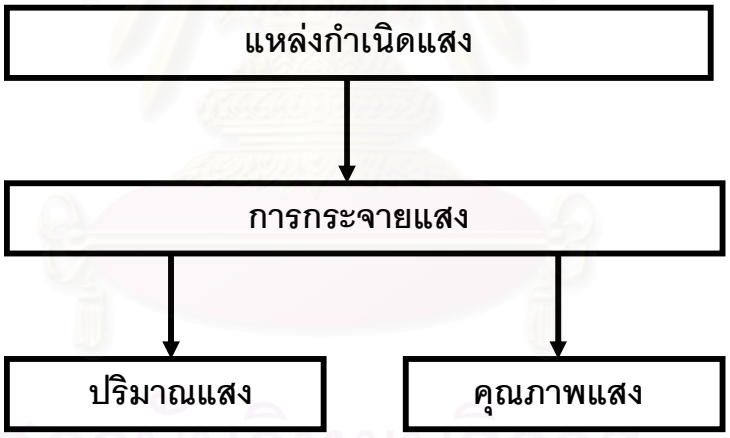
- วัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) แสงจากท้องฟ้าภายนอกและภายในหุ่นจำลองในระนาบนอนในห้องจำลองสภาพท้องฟ้าและในสภาพท้องฟ้าจริง นำปริมาณความส่องสว่างที่วัดได้มาแปลงเป็นค่า daylight factor ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบหาขนาดของช่องเปิดที่เหมาะสมและการกระจายแสงขององค์ประกอบภายในอาคาร ในการปรับปรุงกรณีต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณความส่องสว่างภายใน
- วัดปริมาณความสว่าง (luminance) ภายในหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง โดยกำหนดจุดวัดในตำแหน่งที่กำหนดให้ผู้สังเกตอยู่บริเวณกลางพื้นชั้นล่าง วัดในตำแหน่งต่างๆ ที่มองเห็น เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) เป็นการพิจารณาคุณภาพของแสงในกรณีต่างๆ

1.4.5 **การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง** (data analysis)

ในขั้นตอนนี้นำข้อมูลที่ได้จากการวัดแสงมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลที่ได้ในการศึกษาต่อไป วิเคราะห์ผลที่เกิดจากการวัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level) และปริมาณความสว่าง (luminance) โดยการวิเคราะห์ค่า daylight factor และ อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) เปรียบเทียบในการปรับปรุงกรณีต่างๆ

1.4.6 **การประยุกต์ใช้** (field application)

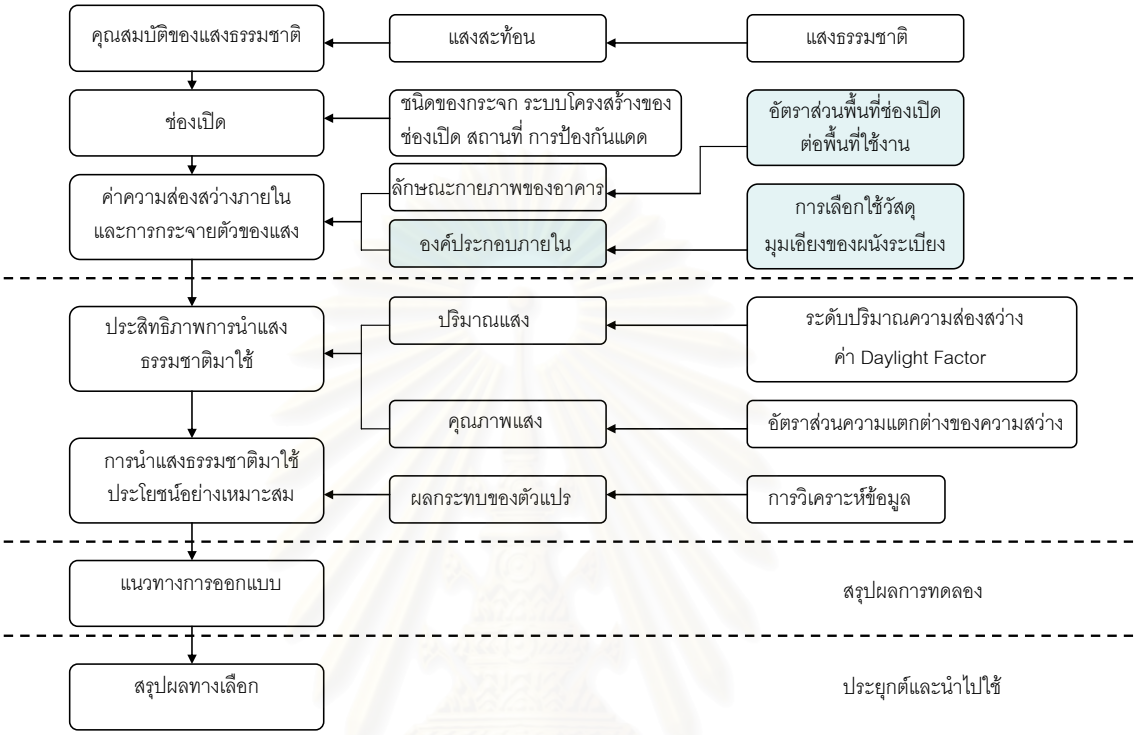
นำผลที่ได้จากการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่างของการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน ในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของแสง นำลักษณะของการปรับปรุงองค์ประกอบภายในดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติในอาคารตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น นำเสนอข้อเสนอแนะในการออกแบบและการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆ ภายในอาคาร



รูปภาพที่ 1.1 แสดงแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน

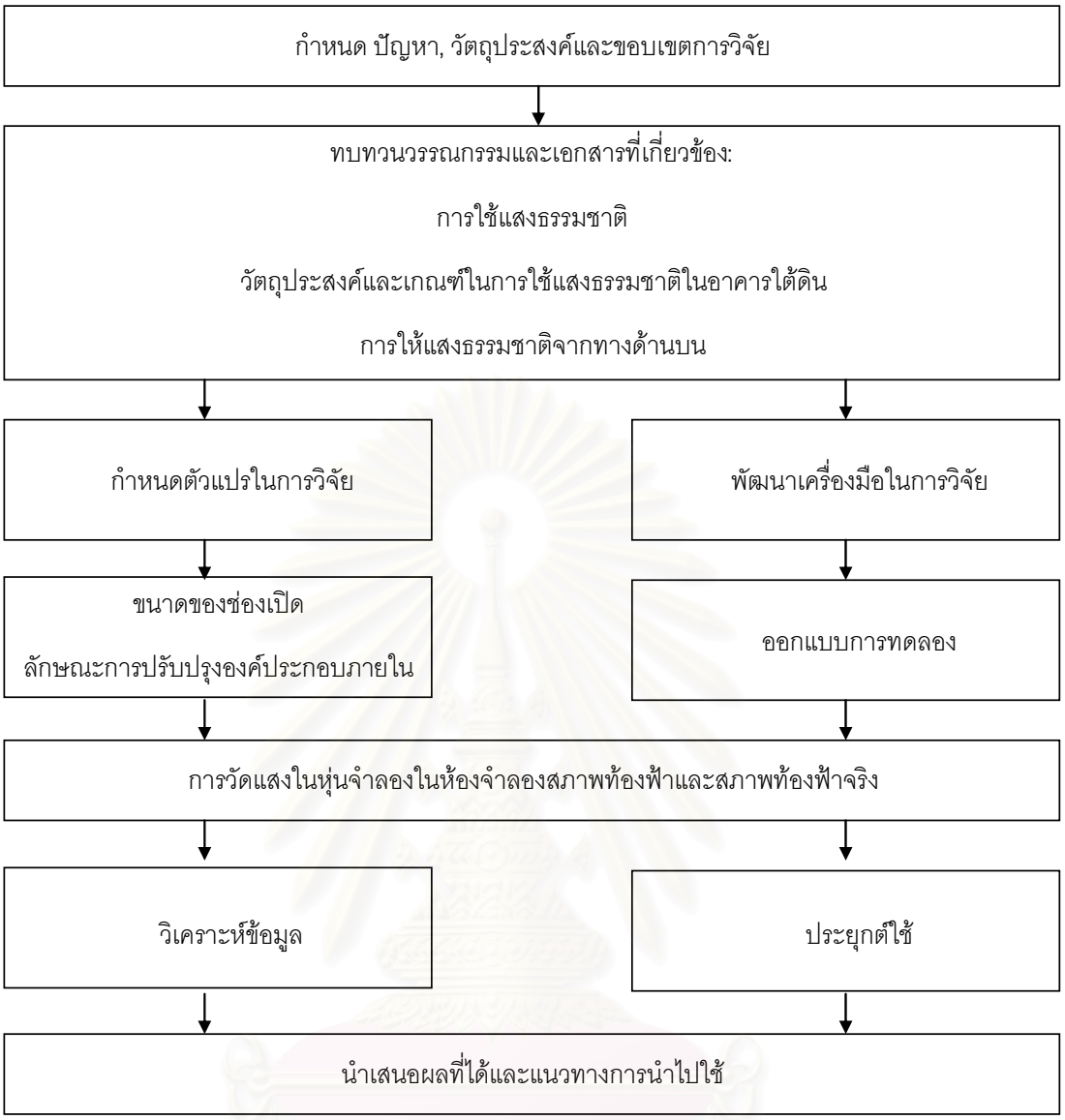
สำหรับรูปภาพที่ 1.1 แนวคิดของการใช้แสงธรรมชาติเมื่อมีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสง (light source) ใช้การกระจายแสง (light distribution) โดยการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร เพื่อกระจายแสงไปยังพื้นที่ที่ต้องการและเพิ่มปริมาณความส่องสว่างภายใน ในด้านคุณภาพของแสง ทำการพิจารณาอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้จากการปรับปรุงดังกล่าว

แนวความคิดในการศึกษา



รูปภาพที่ 1.2 แสดงแนวความคิดในการศึกษา

สำหรับรูปภาพที่ 1.2 แสดงแนวคิดในการศึกษาที่เกี่ยวกับปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร โดยแสดงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนต่างๆ ในการวิจัยนี้ทำการกำหนดขอบเขตของการปรับปรุงเฉพาะการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน ในรูปภาพที่ 1.2 นี้แสดงให้เห็นว่านอกจากการปรับปรุงองค์ประกอบภายในแล้วนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ การปรับปรุงองค์ประกอบภายในเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้แสงเพียงส่วนหนึ่ง



รูปภาพที่ 1.3 แสดงกระบวนการในการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อพัฒนาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดิน อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด
2) เสนอแนวทางการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน ที่สถาปนิกผู้ออกแบบนำไปประยุกต์ใช้
3) ขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดิน
4) ผสมผสานการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในระบบส่องสว่างของอาคาร

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) หมายถึง ปริมาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสง (lumen) ที่ตกกระทบกับผิวของวัตถุ (luminous flux on a surface) มีหน่วยเป็น footcandles (fc) หรือ lux (lx)

ปริมาณความสว่าง (luminance) หมายถึง ปริมาณแสงหลังจากตกกระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนเข้าสู่ตา ปริมาณความสว่างเป็นสิ่งที่ดวงตามองเห็นแตกต่างจากปริมาณความส่องสว่างซึ่งเป็นสิ่งที่ดวงตามองไม่เห็น คำว่า luminance มักใช้ในทางวิทยาศาสตร์ส่วนทางด้านจิตวิทยามักใช้คำว่า brightness มีหน่วยเป็น footlambert (fl) หรือ candela / m^2

แสงธรรมชาติ (daylight) หมายถึง แสงธรรมชาติที่ได้จากแสงที่กระจายจากท้องฟ้านำมาใช้ในการให้แสงสว่างกับอาคาร

พื้นที่ทำงาน (working plane) หมายถึง บริเวณที่ใช้ประกอบกิจกรรมต่างๆ และระดับความสูงของพื้นที่ใช้งานจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมนั้นๆ

แสงจ้า (glare) หมายถึง แสงที่อยู่ในมุมมองของตาที่ทำให้เกิดการระคายเคืองตาและมองเห็นวัตถุได้ยาก หรือมองไม่เห็น

veiling reflection หมายถึง การมองเห็นภาพสะท้อนของแหล่งกำเนิดแสงทับลงบนพื้นที่ทำงานซึ่งทำให้เกิดความยากลำบากในการทำงาน เช่น ภาพสะท้อนของหลอดไฟบนกระดาษผิวมันทำให้เห็นตัวหนังสือยาก เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบและการประเมินแสงธรรมชาติ

การออกแบบการใช้แสงธรรมชาติใน (daylighting design) ในที่นี้หมายถึง กระบวนการทางแนวความคิดเกี่ยวกับ การจัดวางและขนาดของช่องเปิด การจัดวางองค์ประกอบภายใน การประยุกต์กับระบบอาคารส่วนอื่นๆ เช่น ระบบส่องสว่าง (electric lighting) ระบบควบคุมแสงสว่าง (lighting control) และการป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (solar control) ส่วนการประเมินการใช้แสงธรรมชาติ ในที่นี้หมายถึง ประสิทธิภาพของการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานในอาคาร

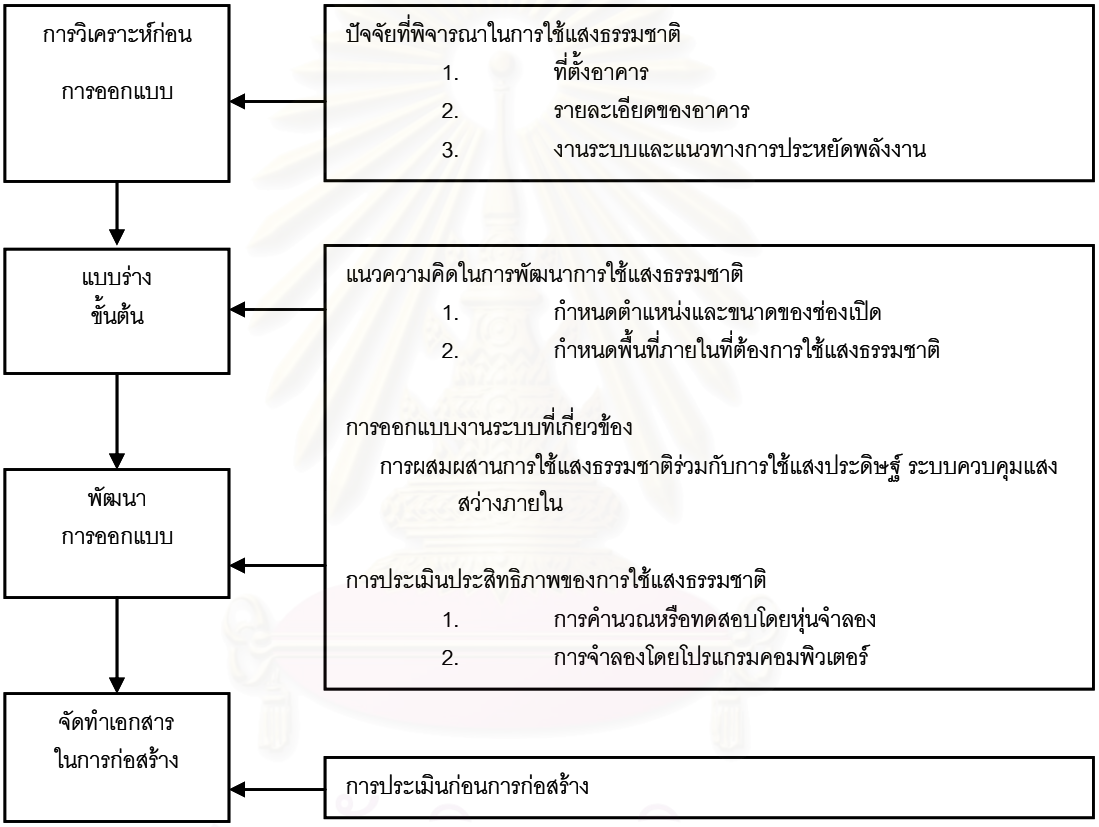
2.1.1 การออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ (daylighting design process)

ในการที่จะนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพอย่างการใช้องค์ประกอบทางการออกแบบ (design element) นั้นมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ รวมถึงสภาพแวดล้อม (environment system) ดังนั้นผู้ออกแบบควรจะต้องคำนึงถึงปัจจัยในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในระหว่างกระบวนการออกแบบด้วย เช่น การกำหนดวัตถุประสงค์ของการใช้แสงธรรมชาติให้ชัดเจนเพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์ในการออกแบบต่อไป ทั้งที่เกี่ยวข้องกับรูปลักษณ์ทางสถาปัตยกรรม ไม่ว่าจะเป็นรูปทรงของอาคาร (form) โครงสร้าง (structure) และส่วนที่เป็นระบบต่างๆของอาคาร สถาปนิกและวิศวกรส่วนใหญ่มักจะมีกระบวนการออกแบบ (design process) อยู่ 5 ขั้นตอนดังนี้

1) แนวความคิดเบื้องต้นในการออกแบบ
2) พัฒนาแบบร่างจนถึงการออกแบบในขั้นตอนสุดท้าย
3) จัดทำแบบก่อสร้างและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
4) การตกลงและหาข้อสรุป
5) การดำเนินการก่อสร้าง

ในกระบวนการเหล่านี้ สามารถที่จะเพิ่มขั้นตอนการวิเคราะห์ก่อนการเริ่มออกแบบในขั้นตอนที่1 (predesign analysis) และการประเมินก่อนการก่อสร้าง (post construction evaluation) ก่อนขั้นตอนที่5 ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.1

เพื่อให้รูปแบบทางสถาปัตยกรรมและงานระบบต่างๆ ผสมผสานกัน ทั้งสถาปนิกและวิศวกรควรกำหนดแนวความคิดให้ชัดเจน ทั้งแนวความคิดในการใช้แสงธรรมชาตินำไปสู่การออกแบบระบบของการใช้แสง(daylighting systems) ในระหว่างก่อนขั้นตอนสุดท้ายในการออกแบบร่าง การคำนึงถึงรายละเอียดต่างๆในความเป็นจริง (actual detail) ที่มีระบบต่างๆ ประกอบกัน ขนาดและคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ในอาคาร งานระบบของอาคารและระบบทางวิศวกรรม เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาที่ทำให้สามารถนำไปการก่อสร้างจริงได้และสอดคล้องกับงบประมาณ



รูปภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ

(Song, 1993: 13)

ในการออกแบบช่องเปิดเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารนั้น ควรพิจารณาในหลายๆ ปัจจัยร่วมกันระหว่างงบประมาณในการก่อสร้าง องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม การควบคุมความร้อนที่เข้าสู่อาคาร (thermal control) การระบายอากาศ (ventilation) ระบบเสียง (acoustic) รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้แสงธรรมชาติ เช่น ปริมาณแสงที่เพียงพอแก่การใช้งาน คุณภาพของแสง การควบคุมปัญหาแสงจ้า (glare) เป็นต้น เมื่อทำการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ผู้ออกแบบ

สามารถทำการผสมผสานการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ในงานระบบอื่นในอาคาร เช่น ระบบหรี่ไฟ (dimmable lighting) เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในส่วนระบบแสงสว่างของอาคาร หรือการเลือกกระจกเพื่อควบคุมแสงจ้า (control glare)

2.1.2 **การประเมินแสงธรรมชาติ** (daylighting evaluation issues)

วิธีการประเมินแสงแสงธรรมชาติมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ในหลักการคล้ายๆกันดังต่อไปนี้ (IESNA, 1993: 368)

1) กำหนดให้แสงตกลงในพื้นที่ที่ต้องการ แล้วทำการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนช่องเปิดหรือการติดแผงควบคุมแสงแบบยึดติดถาวร (fixed) หรือแบบปรับมุมได้ (movable control) จากปริมาณแสงที่น้อยหรือมากเกินความต้องการ

2) กำหนดพื้นที่ที่มีปัญหาแสงจ้าจากท้องฟ้าแล้วปรับเปลี่ยนการออกแบบเพื่อควบคุมแสงจ้า หรือหรือการติดแผงควบคุมแสงแบบยึดติดถาวร (fixed) หรือแบบปรับมุมได้ (movable control)

3) ประเมินประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ โดยใช้อุปกรณ์วัดระดับการส่องสว่างและพลังงานที่ใช้ไป รวมถึงการสังเกตลักษณะของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในพื้นที่ที่ใช้งานว่าเป็นที่น่าพอใจหรือไม่

ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบ ควรคำนึงถึงปัญหาแสงจ้า (glare) ที่เกิดขึ้นโดยการตรวจสอบอย่างละเอียดว่าเกิดขึ้นที่จุดไหนบ้าง เพื่อที่จะได้มีการปรับเปลี่ยนช่องเปิดที่มีแสงอาทิตย์เล็ดลอดเข้ามา โดยการตรวจสอบมุม solar altitudes ในช่วงมุมวิกฤติต่างๆของปี เช่น 21 มิถุนายน เป็น summer solstice 21 ธันวาคม เป็น winter solstice ส่วน วันที่ 21 มีนาคม และ 23 กันยายน เป็น equinoxes (IESNA, 1993: 368) รวมถึงการทดสอบในสภาพท้องฟ้า (sky conditions) ต่างๆ การจัดวางทิศทาง (orientation) ของอาคาร เป็นส่วนสำคัญที่ควรคำนึงในระหว่างขั้นตอนการออกแบบ ในขั้นตอนนี้อาจมีการตรวจสอบมุมของแสงที่ผ่านเข้ามาที่เกิดขึ้นในรูปตัดของอาคาร หรืออาจใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับอาคารที่มีความซับซ้อนมาก การใช้หุ่นจำลองสำหรับทดสอบเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีวิธีใดที่ถูกต้องแม่นยำอย่างสมบูรณ์

ในระหว่างการออกแบบการประมาณปริมาณแสงสว่างที่เกิดขึ้นมีส่วนช่วยในการตรวจสอบการใช้แสงธรรมชาติในด้านการมองเห็น (visual assessment) ด้วย การใช้หุ่นจำลองหรือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถช่วยวิเคราะห์ได้ ส่วนการประมาณระดับปริมาณแสงสว่าง (indoor illuminance level) ที่เกิดขึ้นมีหลายวิธี เช่น โดยการคำนวณด้วยมือ (manual calculation method)

การจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer modeling simulation) หรือ การใช้หุ่นจำลอง (scale model photometry) แล้วใช้อุปกรณ์วัดระดับแสงสว่างที่เกิดขึ้น เป็นต้น

2.1.3 **วิธีการในการประเมินการใช้แสงธรรมชาติ** (daylighting evaluation methods)

การประเมินแสงธรรมชาติแบ่งออกได้เป็นประเด็นต่างๆ ดังนี้

- การคำนวณปริมาณแสงสว่าง (illuminance calculation)
- การวัดระดับปริมาณแสงสว่าง (illuminance measurement)
- การคำนวณแสงจ้า (glare index calculation)
- การเปรียบเทียบค่าส่องสว่าง (luminance ratio : LR) ใช้ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ที่จะทำให้เกิด discomfort glare ตามที่แนะนำไว้ (IESNA, 1993: 518 และ Stein and Reynolds, 1992: 958)

2.1.3.1 **การคำนวณปริมาณแสงสว่าง** สำหรับการเปรียบเทียบในด้านปริมาณแสงของรูปแบบช่องเปิดแต่ละชนิดหรือเพื่อพิจารณาถึงข้อจำกัดของช่องเปิดภายใต้สภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกัน ในการคำนวณมีองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญ คือ สภาพท้องฟ้า ดวงอาทิตย์ และองค์ประกอบที่สะท้อนแสง ระหว่างกัน (interreflected component) สภาพท้องฟ้าและดวงอาทิตย์เป็นองค์ประกอบที่ทำให้เกิดความสว่างโดยตรง ส่วนองค์ประกอบที่สะท้อนแสงระหว่างกันเป็นผลจากการที่แสงอาทิตย์ (sunlight) และแสงจากท้องฟ้า (skylight) ตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุแล้วสะท้อนมายังจุดที่ต้องการ การคำนวณปริมาณการส่องสว่างขององค์ประกอบเหล่านี้ทำได้โดยการคำนวณที่จุด (point) ที่กำหนดหรือค่าเฉลี่ยของทั้งพื้นผิว มีวิธีการในการคำนวณอยู่ 3 วิธี คือ Lumen Method, Daylight Factor Method และ Flux Transfer Method มีรายละเอียดคร่าวๆ ในแต่ละวิธีดังนี้

- ***Lumen Method*** ถูกพัฒนาขึ้นใช้ในปี ค.ศ.1950 โดย Griffith และทีมงาน (Griffith et al., 1957) ผู้ซึ่งพัฒนาค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานของแสง (coefficient of utilization) เป็นค่าการวัดที่ได้จากห้องทดลองและหุ่นจำลอง ต่อมาวิธีการนี้ได้ถูกปรับปรุงโดย Illumination Engineering Society Of North America (IESNA) ในปี ค.ศ. 1962 โดยเริ่มแรกใช้ในอเมริกา โดยพิจารณาในสภาพท้องฟ้าแบบ overcast และ clear sky แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดในระยะของหน้าต่างและการคำนวณที่คำนวณได้เฉพาะแบบจุด มีการใช้คำนวณปริมาณแสงสว่างจากแสงธรรมชาติรวมกับการคำนวณจากแสงประดิษฐ์ โดยวิธีของ IES (IES method) ในการออกแบบหน้าต่างหรือช่องเปิดด้านบนในพื้นที่ขนาดใหญ่ ประยุกต์เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของแสงที่ผ่านช่องเปิด ค่าสัมประสิทธิ์การใช้

งาน (light loss factor) ของแสงประดิษฐ์ และระดับแสงธรรมชาติภายใน ปัจจุบันใน IESNA Lighting Handbook (IESNA 1993) ได้แสดงตารางของค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานและสูตรการคำนวณต่างๆ ทั้งสำหรับช่องเปิดด้านข้างและช่องเปิดด้านบน

- ***Daylight Factor Method*** ถูกพัฒนาขึ้นใช้ในอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1920 เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในยุโรปและโดย The Commission International De L'eclairage (CIE) วิธีการนี้สามารถใช้ได้กับหน้าต่างได้ทุกขนาดและสามารถคำนวณได้ทุกจุดในพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ใช้ได้เฉพาะกับสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky และ Clear Sky เท่านั้น โดยการหาค่า Daylight Factor หมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณความสว่างภายนอกต่อภายในที่จุดใดๆ บนพื้นระนาบนอน โดยเป็นแสงจากท้องฟ้าที่ไม่มีอุปสรรคกีดขวาง (ไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์) แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ปริมาณแสงที่ตกลงบนจุดที่ต้องการหาค่าแบ่งออกได้ 3 ส่วน คือ แสงตรงจากท้องฟ้า (sky component or SC) แสงที่ตกกระทบพื้นผิวภายนอก (externally reflected component or ERC) และแสงที่ตกกระทบพื้นผิวภายใน (internally reflected component or IRC) ผลรวมของทั้ง 3 จะเป็นค่า Daylight Factor (DF = SC + ERC +IRC) The Building Research Establishment (Formerly Building Research Station) ในอังกฤษได้พัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการประมาณค่าขององค์ประกอบทั้ง 3 ได้อย่างรวดเร็วขึ้นสำหรับสภาพท้องฟ้าแบบ Overcast Sky และ Clear Sky อุปกรณ์ประกอบด้วย Protractor, โต๊ะ และ Monogram

- ***Flux Transfer Method*** (finite surface method) ใช้ในปี ค.ศ.1909 เพื่อเป็นวิธีในการวิเคราะห์แสงธรรมชาติ (Jones, 1909) แต่อย่างไรก็ตามเริ่มแรกวิธีการนี้ใช้โดย Higbie, Levine (Higbie and Levine, 1926) และ Randall (Higbie and Randall, 1927) ในอเมริกาและโดย Waldram (Waldram, 1923) ในอังกฤษ เพื่อพัฒนาเป็นเทคนิคหลักในการประเมินการศึกษาแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดและการกระจายของแสงในห้องและในอาคาร สำหรับวิธีนี้สามารถใช้ในสภาพท้องฟ้า CIE Clear Sky หรือ Overcast Sky ที่ไม่มีแสงตรงจากดวงอาทิตย์เข้ามาในอาคาร สามารถใช้หาค่าปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) หรือปริมาณความสว่าง (luminance) ในระนาบของช่องเปิดได้ทุกจุดหรือทุกพื้นผิวที่ต้องการหาค่าในห้อง ใช้การคำนวณโดยการแบ่งพื้นที่ของช่องเปิดและพื้นที่ของเป็นส่วนย่อยเพื่อความแม่นยำในการคำนวณ การคำนวณทั้งแสงตรงและแสงที่สะท้อนระหว่างพื้นผิวในรูปแบบการคำนวณที่เรียกว่า Luminous Transfer Exchange Factor การคำนวณผลรวมของพื้นที่ที่ถูกแบ่งออกเป็นโซนย่อยๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

2.1.3.2 **การวัดปริมาณความสว่าง** ในหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงหรือท้องฟ้าจำลอง ไม่เพียงแต่จะเป็นการพิจารณาแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาและระดับปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น แต่ช่วยในการพิจารณาทางด้านการมองเห็นด้วยตาด้วย การใช้อุปกรณ์ในการวัดแสง

(photometric measurement) วัดค่าในหุ่นจำลองเป็นค่าปริมาณความส่องสว่างที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพราะว่าการใช้วิธีนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่องค์ประกอบต่างๆ อยู่ภายใต้สภาพความจริงและสัดส่วนของหุ่นจำลองก็ใกล้เคียงกับสภาพของอาคารจริง ด้วยเหตุผลเหล่านี้เมื่ออาคารมีความซับซ้อนมากการศึกษาด้วยหุ่นจำลองจะให้ผลของปริมาณค่าความสว่างที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

2.1.3.3 **การคำนวณ** Glare Index จุดประสงค์เพื่อการพิจารณาเกี่ยวกับความสบายในการมองเห็น (visual comfort) ของมนุษย์ การศึกษานี้ต้องการอุปกรณ์ที่ช่วยคำนวณหรืออุปกรณ์สำหรับวัดค่าปริมาณความสว่าง (luminance level) ในมุมมองที่ต้องการศึกษา ถึงแม้ว้าการศึกษาเรื่องแสงจ้าจะเป็นสิ่งที่แตกต่างกันในแต่ละบุคคลและไม่มีค่าที่เป็นตัวเลขที่แน่นอนสำหรับ Glare Index แต่ก็ได้มีตารางข้อกำหนดของอัตราแสงจ้า (Hopkinson et al., 1966: chapter 14) รับรองโดย The International Illumination Commission (CIE)

2.1.3.4 **การคำนวณอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio)** มีวิธีการอยู่หลายวิธีที่จะศึกษาในส่วนของคุณภาพของแสง (visual quality) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของความสว่างในตำแหน่งที่ทำการวัด (visual task area) กับพื้นที่โดยรอบ โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้กับค่าที่แนะนำไว้ จะเป็นประโยชน์สำหรับการพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของแสง

2.2 วัตถุประสงค์และเกณฑ์ในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน

ในการออกแบบเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในอาคารใต้ดีนั้น ปัจจัยเรื่องแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะโดยส่วนใหญ่ความเข้าใจของคนส่วนใหญ่ทั่วไปมักรู้สึกว่าอาคารใต้ดินเป็นสถานที่ที่ค่อนข้างมืด น่ากลัว การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารใต้ดินทำให้เกิดความสว่างไสวใกล้เคียงกับอาคารบนดินเป็นแนวคิดที่ต้องพิจารณา การวิเคราะห์ทั้งตำแหน่งการจัดวางอาคาร รูปทรง ะการใช้รูปแบบช่องเปิดและเทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติ การสร้างความรู้สึกสัมผัสถึงธรรมชาติ เช่น การเปิดพื้นที่ภายในเป็นคอร์ท (courtyards) หรือการใช้เอเทรียม (atrium) เป็นแนวคิดที่นิยมใช้กัน แต่สำหรับบางพื้นที่ที่อยู่ลึกหรือห่างจากช่องเปิดมาก การใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติเป็นประเด็นที่ควรพิจารณาต่อไป ประเด็นสำคัญที่เป็นปัญหาในการออกแบบการใช้แสงในอาคารใต้ดิน สรุปได้ดังต่อไปนี้ (Carmody, 1993: 261)

- การมีช่องเปิดได้น้อยทำให้เกิดความรู้สึกที่ถูกตัดขาดจากโลกภายนอก โดยมุมมองและปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายใน การใช้แสงที่มีความสม่ำเสมอ (uniform light) และการใช้แสงด้านบนสร้างความรู้สึกที่เป็นส่วนเดียวกันของพื้นที่ภายใน

- ในบริเวณที่มีระยะห่างจากช่องเปิดมาก มีปริมาณแสงน้อยทำให้เกิดความแตกต่างของแสงระหว่างบริเวณที่มีความสว่างกับบริเวณที่ค่อนข้างมืด
- การใช้แสงประดิษฐ์ส่วนใหญ่ไม่ทำให้เกิดความรู้สึกเหมือนแสงธรรมชาติ ที่เพิ่มความรู้สึกที่ดีทางด้านจิตวิทยาในพื้นที่ที่ไม่มีแสงธรรมชาติเข้าถึง

2.2.1 วัตถุประสงค์ในการใช้แสงธรรมชาติ

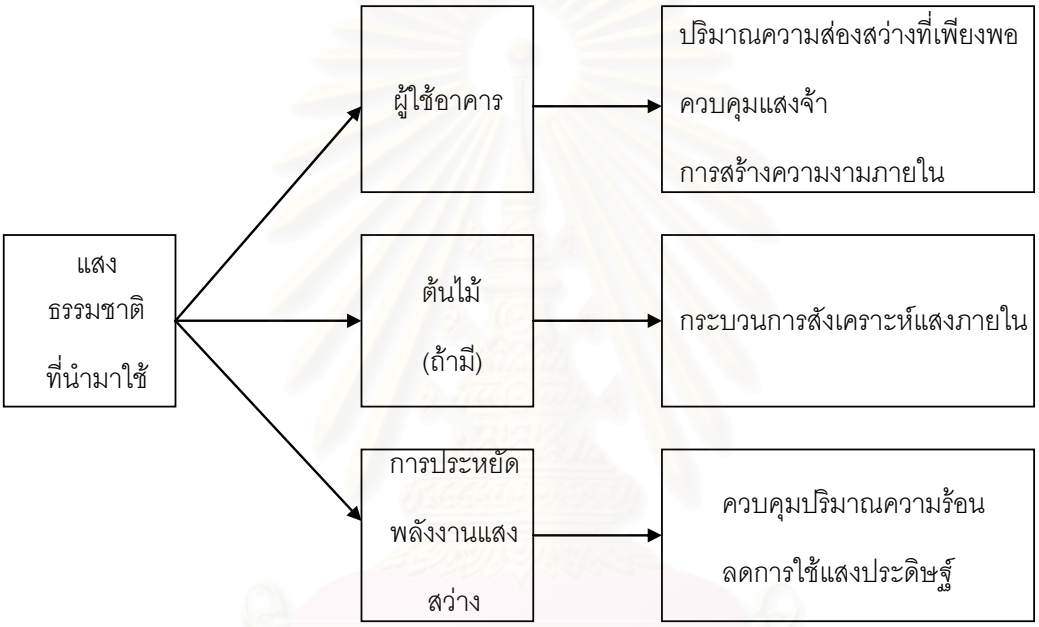
แสงเป็นคลื่นแสงที่อยู่ในช่วงความถี่ที่ตาสามารถมองเห็น เรียกว่าแสงขาว (visible light) แบ่งออกเป็นความยาวคลื่นในช่วงต่างๆ และสามารถกระจายออกเป็นสเปกตรัมของสีต่างๆ ได้ แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์จัดเป็นคลื่นแสงที่อยู่ในความถี่ที่ตามองเห็นเช่นกัน แสงสามารถเพิ่มความพึงพอใจให้แก่ผู้ใช้อาคารได้ สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ ถ้าพิจารณาในเฉพาะประเด็นการออกแบบช่องแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ การควบคุมแสงจ้า ปัจจัยด้านการมองเห็นและการประยุกต์งานระบบของอาคาร ด้วยสภาพโดยรอบที่อยู่ใต้ดินทำให้อาคารใต้ดินมีข้อจำกัดที่ไม่เหมือนกับอาคารอื่นๆทั่วไปคือข้อจำกัดของการเจาะช่องเปิด การเจาะได้เฉพาะช่องเปิดด้านบน เพราะฉะนั้นการใช้ประโยชน์จากการเปิดช่องแสงอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อนำแสงเข้าสู่อาคารจึงเป็นแนวความคิดหลักที่ต้องการศึกษา แนวความคิดของการใช้แสงธรรมชาติขึ้นอยู่กับลักษณะของกิจกรรมการใช้งานภายในที่ต้องการปริมาณระดับความสว่างที่ต่างกันในเวลากลางวัน เมื่อพิจารณาทางด้านการออกแบบสรุปเป็นวัตถุประสงค์ได้ดังนี้ (Carmody, 1993: 268)

- การใช้ปริมาณแสงที่เพียงพอและเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการมองเห็นและรองรับการใช้งานสำหรับทุกกิจกรรม
- ใช้แสงธรรมชาติในทุกกรณีที่เป็นไปได้
- ผสมผสานการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์ ออกแบบการใช้แสงประดิษฐ์ที่ได้ความรู้สึกเหมือนแสงธรรมชาติ
- ใช้แสงเพื่อสร้างบรรยากาศที่สว่างไสวและความรู้สึกปลอดภัยภายในอาคารใต้ดิน
- ใช้แสงสร้างความรู้สึกถึงการเชื่อมต่อกับโลกภายนอก โดยใช้การเปลี่ยนแปลงของแสงที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา

จากการทบทวนวรรณกรรม สามารถกำหนดประเด็นของการออกแบบเพื่อสร้างบรรยากาศที่ดีในอาคารไม่ให้รู้สึกเหมือนอยู่ใต้ดิน แบ่งออกเป็น 3 ประเด็นที่ผู้ออกแบบควรพิจารณาถึงสิ่งที่เกี่ยวข้องภายในอาคาร ได้แก่

- ผู้ใช้อาคาร
- ต้นไม้ที่ปลูกภายในอาคาร (ถ้ามี)
- การประหยัดพลังงานงานแสงสว่าง

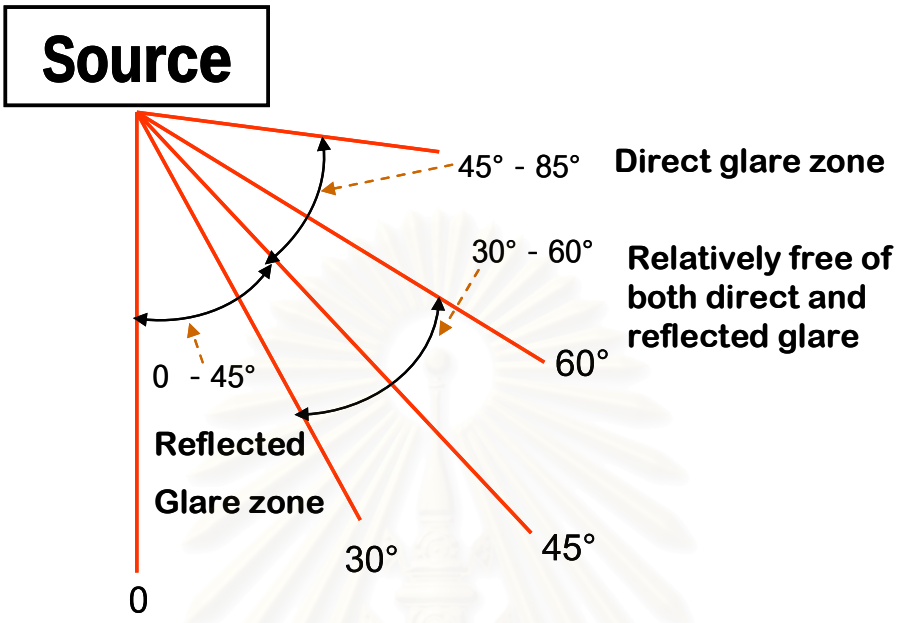
ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.2



รูปภาพที่ 2.2 แสดงประเด็นในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ

ปัญหาเรื่องแสงจ้าที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากมุมมองที่มองเห็นท้องฟ้าโดยตรง แนวคิดของการใช้ช่องเปิดด้านบนมีข้อดีที่สามารถพิจารณาวิธีควบคุมแสงจ้าที่เกิดขึ้นโดยการแยกช่องเปิดจากมุมมอง (direct line of sight) ที่ระดับพื้น แต่สำหรับรูปแบบช่องเปิดบางประเภท เช่น ช่องเปิดที่ใช้กระจกแบบระนาบนอนในช่องเปิดแบบ Skylight ช่องเปิดแบบ Sawtooth ที่หันไปทางทิศใต้ อาจมีปัญหาแสงจ้า (glare) ถ้าแสงอาทิตย์ (sunlight) เล็ดลอดผ่านช่องเปิดเข้ามาและมุมมองของผู้ใช้อาคารมองผ่านช่องเปิดออกไป ส่วนแสงจ้าที่เกิดจากแสงกระทบ (reflected glare) อาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่แสงอาทิตย์สะท้อนกับผิววัตถุแบบมันวาว (specular surface) เช่น กระจกที่อยู่ภายใน สำหรับแสงจ้าที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา (discomfort glare) อาจเกิดมาจากสาเหตุที่

ความแตกต่างระหว่างความสว่างภายในกับช่องเปิด สำหรับอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างคุณภาพแสงที่ดี จะกล่าวในส่วนต่อไป



รูปภาพที่ 2.3 แสดงการเกิดแสงจ้าในมุมต่างๆ

(Stein and Reynolds, 1992: 958)

นอกจากการควบคุมแสงจ้า ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญด้านคุณภาพของการใช้แสงธรรมชาติ มีประเด็นเพิ่มเติม คือ การสร้างความน่าสนใจทางด้านความงามของแสง ในบางครั้งแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคารแล้วตกกระทบวัตถุภายในเกิดเป็นความงามที่เกิดจากปรากฏการณ์ของแสงธรรมชาติ (Lam, 1986: 162) การใช้รูปแบบช่องเปิดด้านบนประเภท Clerestory Side Lighting ที่ยอมให้แสงอาทิตย์เข้ามาในอาคารนอกเหนือจากแสงธรรมชาติแต่ควรมีการควบคุมความเข้มแสง (intensity) และมุมที่ตกกระทบ (incident angle) ที่เข้ามาในอาคารด้วย

ในกรณีที่มีการปลูกต้นไม้ในอาคาร ปริมาณแสงที่ใช้ (Lam, 1986: 162) ต้องพิจารณาความเข้มแสง (intensity) ที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ปริมาณแสงที่เพียงพอไม่เพียงแต่สำหรับต้นไม้เท่านั้นแต่รวมไปถึงหญ้าหรือพืชชนิดอื่นๆที่อยู่ข้างล่างด้วย เพราะกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชต้องได้รับปริมาณแสงที่

ส่วนการควบคุมความร้อน (thermal control) เมื่อมีการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานในอาคารย่อมเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เพราะว่าทั้งแสงและความร้อนมาด้วยกัน การออกแบบช่องเปิดควรมีการพิจารณาทั้งปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดรวมถึงปริมาณความร้อนด้วย สำหรับประเทศไทยที่อยู่ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้น ปริมาณแสงค่อนข้างมากตลอดทั้งปี ลักษณะแสงธรรมชาติที่มีความ

เหมาะสมในการนำมาใช้ในอาคาร คือ การใช้แสงที่สะท้อนเข้ามา i(indirect light) เพราะมีปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารน้อยและมีความสม่ำเสมอของแสงมาก เป็นแสงที่มีคุณภาพดี

2.2.2 เกณฑ์ในการใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพ (ด้านปริมาณ)

จากหัวข้อที่ผ่านมาในการใช้แสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ (K.D.Song, 1993: 22) คือ

- มีปริมาณแสงที่เพียงพอสำหรับการใช้งาน และต้นไม้ที่อยู่ภายใน
- คุณภาพแสงที่ดี ไม่มีปัญหาแสงจ้า
- การสร้างความน่าสนใจด้านความงามของแสง
- การควบคุมแสงที่ผ่านเข้ามาเพื่อประหยัดพลังงาน

ในปี ค.ศ.1979 The Illuminating Engineering Society Of North America ได้คิดวิธีการเลือกใช้ความสว่างบนพื้นฐานของปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวกับประสิทธิการมองเห็น (IESNA, 1993: 459) ได้แก่

1) ชนิดของกิจกรรม (type of activity within space)
2) ลักษณะของการใช้งาน (characteristics of the visual task)
3) อายุของผู้ใช้ (age of occupant)
4) ระยะเวลาและความถูกต้อง (importance of visual performance in term of speed and accuracy)
5) การสะท้อนแสง (reflectance)

การพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1) พิจารณาลักษณะของกิจกรรมที่ทำว่าต้องการปริมาณความสว่างเท่าใด ในขณะเดียวกันระนาบการใช้งาน (working plane) ควรถูกกำหนดขึ้น
2) เลือกประเภทการใช้งานที่ต้องการความสว่างเท่าใด จากตารางที่ 2.2 แบ่งออกเป็น 9 ประเภท (A – I) โดย IESNA ซึ่งในแต่ละประเภทจะกำหนดช่วงปริมาณแสงที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมนั้นๆ ไว้
3) ทุกๆ ประเภทจะกำหนดค่าต่ำสุด กลางและค่าสูงสุดไว้ เลือกว่าจะใช้ค่าไหน
4) กำหนดพื้นที่ใช้งานโดยพิจารณาค่าสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้และอายุของผู้ใช้

ตัวอย่างวิธีการใช้งานนี้สามารถศึกษาได้จาก IESNA Lighting Handbook (IES, 1993: 459-478)

จากตารางปริมาณแสงที่พอเหมาะสำหรับแต่ละกิจกรรมได้แสดงไว้ แต่ปริมาณแสงที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของต้นไม้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้ด้วยเพราะแต่ละชนิดต้องการปริมาณแสงที่ไม่เท่ากัน บางการศึกษา (Saxson, 1987: 150) ได้กำหนดปริมาณแสงไว้ระหว่าง 700 ถึง 1000 Lux สำหรับ 12 ชั่วโมงต่อวัน ส่วน The Illuminating Engineering Society Of North America (IESNA, 1981: 19-32) ได้แนะนำปริมาณแสงไว้ระหว่าง 1000 ถึง 2000 Lux สำหรับ 12 ชั่วโมงต่อวัน แต่สำหรับการปฏิบัติงานจริงเป็นปริมาณแสงที่ค่อนข้างมากเพราะต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นการเลือกชนิดต้นไม้ควรพิจารณาชนิดต้นไม้ที่ไม่ต้องการปริมาณแสงสูงมาก เช่น ต้นไทรใบขาวที่ต้องการปริมาณแสง เพียง 200 – 300 Lux เท่านั้น

สำหรับการมองเห็นของมนุษย์นั้นมีความสามารถในการปรับสายตาในปริมาณแสงที่เปลี่ยนแปลงได้ อีกตารางที่ต้องการนำเสนอคือการเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างตามประเภทการใช้งาน และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor เพื่อเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบพิจารณาในเบื้องต้นของการออกแบบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงธรรมชาติที่นำมาใช้งานกับกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร

2.2.3 เกณฑ์ในการใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพ (ด้านคุณภาพ)

คุณภาพของการใช้แสง ไม่เพียงพิจารณาทางด้านปริมาณของแสงเท่านั้นยังมีปัจจัยด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง (luminous environment) แสงที่สะท้อนเข้าตา (luminance) และอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ในมุมมองของผู้ใช้งาน ปัญหาที่ควรคำนึงคือปัญหาแสงจ้า มีสาเหตุมาจากแหล่งกำเนิดแสง (light source) ในมุมมองที่เห็น (field of vision) อย่างที่ทราบกัน เช่น แสงจ้าโดยตรง (direct glare) หรือ แสงจ้าที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา (discomfort glare) และ แสงจ้าที่เกิดจากการสะท้อน (reflect glare) หรือที่เรียกว่า Veiling Reflection ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงสะท้อนกับผิวของวัตถุที่อยู่ในมุมมอง จากที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ว่าการใช้ glare index และ อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) เพื่อพิจารณาคุณภาพของการใช้แสง ค่าที่เหมาะสมแก่การใช้งานเพื่อสร้างความสบายตาของผู้ใช้งานภายใน แสดงในตารางที่ 2.3

การใช้ช่องเปิดสำหรับอาคารใต้ดิน ปัจจัยอื่นที่ควรพิจารณาได้แก่ ลักษณะกายภาพของอาคาร (ขนาดและตำแหน่งของที่ตั้ง) เมื่อมีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาเพื่อสร้างบรรยากาศที่ดีและสร้างความน่าสนใจ มีการควบคุมความร้อนที่เข้ามาในอาคารและการควบคุมปัญหาแสงจ้าที่เกิดขึ้นในอาคาร จากการศึกษาที่ผ่านมา (Boubekri et al., 1991) ขนาดของช่องเปิดในอัตราส่วน 15 ถึง 25 % ต่อพื้นที่ใช้งาน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อผู้ใช้งานในอาคารและ 40% เป็นอัตราส่วนที่สูงสุด

แต่เป็นการศึกษาในกรณีที่เป็นช่องเปิดด้านข้างถึงปริมาณแสงที่เข้ามาต่อพื้นที่พื้นห้อง แต่ก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้สำหรับช่องเปิดด้านบน โดยพิจารณาอัตราส่วนของช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งาน

ตารางที่ 2.1
แสดงประเภทของการส่องสว่างและ
ปริมาณความส่องสว่างสำหรับกิจกรรมทั่วไปภายในอาคาร
(IESNA, 1993: 460)

Type Of Activity	Illuminance Category	Range of Illuminance [Lux]	Reference Work-Plane
Public spaces with dark surroundings	A	20-30-50	General lighting throughout spaces
Simple orientation for short temporary visits	B	50-75-100	
Working spaces where visual task are only occasionally performed	C	100-150-200	
Performance of visual task of high contrast or large size	D	200-300-500	Illuminance on task
Performance of visual task of medium contrast or small size	E	500-750-1000	
Performance of visual task of low contrast or very small size	F	1000-1500-2000	
Performance of visual task of low contrast or very small size over a prolonged period	G	2000-3000-5000	Illuminance on task, obtained by a combination of general and local supplementary lighting
Performance of very prolonged and exacting visual task	H	5000-7500-10000	
Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size	I	10000-15000-20000	

ตารางที่ 2.2

ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง CIE และ IESNA

และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	**ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน CIE (ก)**	**ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES (ข)**	**ค่า daylight factor (%) (ค)**		
			เฉลี่ย	**ต่ำ**	**จุดที่วัด**
อาคารทั่วไป					
● ทางเดิน	50-75-100	50-75-100	2	0.6	พื้น
● บันได – บันไดเลื่อน	100-150-200	100-150-200	2	0.6	ลูกนอน
● ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	Work Plane
● ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	Work Plane
สำนักงาน					
● พื้นที่ทั่วไป,พิมพ์ดีด ,คอมพิวเตอร์	300-500-750	500-750-1000	5	2.5	Work Plane
● เขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	5	2.5	Work Plane
● ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500			
● โถงทางเข้า		100-150-200	2	0.6	Work Plane
ห้องสมุด					
● หิ้งหนังสือ	150-200-300	200-300-500	5	1.5	Work Plane
● โต๊ะอ่านหนังสือ	300-500-750	200-300-500	5	1.5	Work Plane
● เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	5	2	Work Plane
ห้องประชุม					
● เอนกประสงค์	150-200-300	200-300-500	5	2.5	Work Plane

(ก) : (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2540: 1-6)

(ข) : (IESNA 1983)

(ค) : (BSI Draft For Development : อ้างถึงใน The Chartered Institution Of Building Services Engineers London, 1987: 31)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3

อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่แนะนำ

(Stein and Reynolds, 1992: 958)

1 to 1/3	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบ
1 to 1/10	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่มืดกว่า
1 to 10	ระหว่างตำแหน่งที่มองกับสภาพโดยรอบที่สว่างกว่า
20 to 1	ระหว่างอุปกรณ์โคมไฟ (หรือช่องเปิด) กับพื้นที่โดยรอบ
40 to 1	ทุกตำแหน่งในมุมมองที่มองเห็น

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการใช้แสงให้มีประสิทธิภาพ สิ่งที่ควรพิจารณาเพิ่มเติม คือ ประสิทธิภาพในการมองเห็น ดวงตาของมนุษย์สามารถปรับการมองเห็น (eye adaptation) ได้ตามปริมาณแสงที่เปลี่ยนแปลง แต่การปรับเปลี่ยนที่รวดเร็วเกินไป เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิด ความไม่สบายตาจากแสงจ้า (Hopkinson, 1972: 48) ในตารางที่ 2.5 แสดงปริมาณความสว่างที่เหมาะสมและพอยอมรับได้สำหรับแต่ละพื้นผิว ส่วนรูปภาพที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างที่รับรู้ (subjective brightness) และความสว่างที่วัดได้ (measurement luminance) ต่อการปรับสายตา (eye adaptation) ซึ่งจากที่กล่าวมาเป็นประเด็นที่ผู้ออกแบบควรคำนึงถึงในการออกแบบ โดยเฉพาะสำหรับอาคารใต้ดินที่มีอัตราความเปรียบต่างของแสงสูง (contrast ratio) ระหว่างพื้นที่ที่สว่างกับพื้นที่ที่ค่อนข้างมืด การทำความเข้าในถึงปัจจัยดังที่กล่าวมาจะมีส่วนช่วยในการวิเคราะห์การออกแบบและกาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ในการสร้างสภาพแวดล้อมและคุณภาพแสงที่ดีให้กับอาคาร

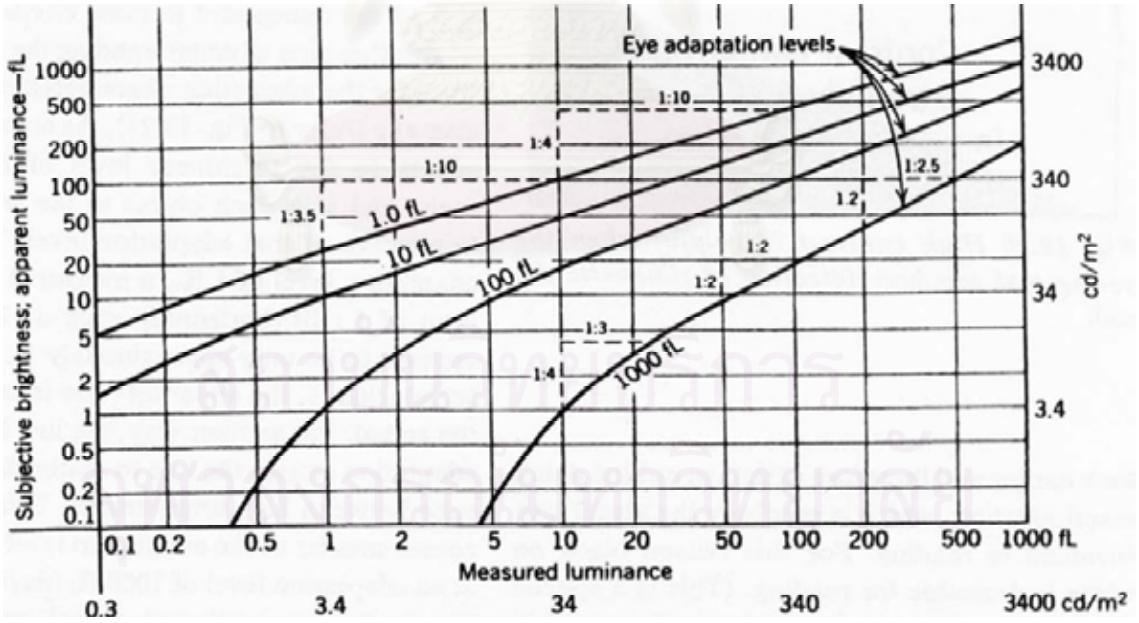
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4

แสดงปริมาณความสว่างที่เหมาะสมและพอยอมรับได้

(Stein and Reynolds, 1992: 932)

ความสว่างที่เหมาะสมสำหรับ	Luminance (cd/m^2)
ถนน	1 – 2
การแยกแยะสี	2 – 3
การแยกแยะระบุหน้าตาของมนุษย์	15 – 20
ผนัง	25 – 150
ฝ้าเพดาน	50 – 250
ตำแหน่งที่มองเห็น	100 – 500
ความสว่างที่พอยอมรับได้สำหรับอุปกรณ์โคมไฟ อุปกรณ์โคมไฟ (ในมุมมองที่มองเห็น)	1000 - 7000



รูปภาพที่ 2.4

Relation between subjective brightness and measured luminance levels

(Adapted from A. Cotton, Principles of Illumination, Wiley, New York, 1960.

อ้างถึงใน Stein and Reynolds, 1992: 934)

2.3 การใช้แสงธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศเขตร้อนชื้น เฉพาะในเวลากลางวันมีค่าประมาณ 30 – 31 ˚C สภาพท้องฟ้ามีเมฆมากมีแดดจัดเกือบตลอดทั้งปี จะเห็นว่าดัชนีเมฆของประเทศไทยมีค่าตั้งแต่ 5.9 ถึง 9.0 (ค่าสูงสุด 10) และค่าระดับความสว่างสำหรับกรุงเทพฯ มีค่าความสว่างในระดับ 10,000 lux ขึ้นไปมีความถี่ถึงกว่า 99% ของเวลากลางวัน

การนำแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา คือ สภาพท้องฟ้า สภาพอากาศ เวลา ฤดูกาล เป็นต้น ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส การนำแสงธรรมชาติย่อมได้ปริมาณแสงสูงสุดแต่ในวันที่ท้องฟ้ามืดครึ้มมีฝนตกปริมาณแสงย่อมลดน้อยลง ในช่วงฤดูหนาวที่มีช่วงเวลากลางวันสั้นจำนวนชั่วโมงที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้อาจมีประมาณ 8 ชั่วโมงหรือน้อยกว่านั้น ส่วนในช่วงฤดูร้อนที่มีช่วงเวลากลางวันยาวการนำแสงธรรมชาติมาใช้อาจใช้ได้ประมาณ 10 ชั่วโมงหรือมากกว่า

แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ แบ่งได้ 2 ส่วน คือ แสงจากดวงอาทิตย์และแสงจากท้องฟ้า เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจถึงความแตกต่างในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 2 นี้ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ที่มีการเปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนไปตามสภาพอากาศและช่วงเวลา

2.3.1 แสงอาทิตย์และแสงจากท้องฟ้า

คนส่วนใหญ่มักเข้าใจกันว่า แสงอาทิตย์และแสงจากท้องฟ้ามีความหมายเดียวกัน แต่ในความเป็นจริงมีความแตกต่างกันทั้งคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความแตกต่างทางด้าน ความเข้มสี (intensity) ลักษณะการกระจาย (scattered or diffused) และความแตกต่างของผลที่เกิดขึ้นในการใช้งาน

เราสามารถพิจารณาแสงอาทิตย์จากแหล่งกำเนิด คือ ดวงอาทิตย์ ที่มีลักษณะเป็นแสงกำเนิดแสงแบบจุด (point source) มักจะนึกถึงในรูปแบบของ “รังสีดวงอาทิตย์ (beam light)” เพราะมองเห็นทิศทางชัดเจน ส่วนแสงจากท้องฟ้า แตกต่างจากแสงอาทิตย์ตรงที่เป็นแสงที่มาจากพื้นที่ขนาดใหญ่และมีการกระจายของแสง เรียกว่า “แสงกระจาย (diffuse light)” ทิศทางของแสงมาจากทุกทิศทาง รังสีดวงอาทิตย์ทำให้เกิดเงาส่วนแสงกระจายไม่ทำให้เกิดเงา ในวันที่ท้องฟ้าสดใสมีเมฆบางส่วน สามารถมองเห็นเงาของก้อนเมฆที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ได้

แสงอาทิตย์เป็นแสงที่มีความเข้มแสงสูง โดยทั่วไปมีปริมาณความส่องสว่างระหว่าง 5,000 – 10,000 ฟุตแคนเดิล ความเข้มของแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนไปตามช่วงวันเวลาในรอบปีและ

ตำแหน่งของที่ตั้ง ในเขตร้อนชื้นส่วนใหญ่ในเวลาช่วงกลางวันดวงอาทิตย์ จะทำมุมสูงสุดกับพื้นโลก แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาในด้านอุณหภูมิสี (color temperature) จัดอยู่ในโทนสีอุ่น (warm color) อุณหภูมิสีหน่วยวัดเป็นองศาเคลวิน (°K) ในช่วงดวงอาทิตย์ขึ้นและตกมีอุณหภูมิสีประมาณ 2,000 °K คล้ายแสงเทียน สำหรับในช่วงกลางวันสีเป็นธรรมชาติมีอุณหภูมิสีประมาณ 5,500 °K

ส่วนแสงจากท้องฟ้า คนส่วนใหญ่มักจะแปลกใจว่าในสภาพที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมจะมีความสว่าง (brightness) กว่าสภาพท้องฟ้าแจ่มใส โดยที่จุดสูงสุดของท้องฟ้าจะสว่างมากกว่า 3 เท่าของพื้นระนาบนอน ความสว่างของแสงจากท้องฟ้าประมาณ 8,000 ฟุตแคนเดิล แสงธรรมชาติมีความสม่ำเสมอของแสง (uniform lighting condition) แสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้าแจ่มใสมีอุณหภูมิสีประมาณ 10,000 °K ส่วนแสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมีอุณหภูมิสีประมาณ 7,500 °K

ตารางที่ 2.5

แสดงลักษณะของแสงธรรมชาติ

	ทิศทางของแสง	ปริมาณความส่องสว่าง (fc)	ความสว่าง cd / m^2	อุณหภูมิสี	ลักษณะของสี
แสงจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน	รังสี	8,000 - 10,000	1,600,000,000	5,500 °K	สีธรรมชาติ
แสงจากดวงอาทิตย์ในเวลาตอนเช้าและเย็น	รังสี	3,000-8,000	6,000,000	<2,000 °K	โทนร้อน
ท้องฟ้าโปร่ง	แสงกระจาย	1,000-2,000	8,000	10,000 °K	bluish
ท้องฟ้ามีเมฆมาก	รังสีและแสงกระจาย	500 - 5,000	2,000	>2,000 °K	โทนเย็น

2.3.2 **สภาพท้องฟ้า** (sky condition)

ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น ควัน หรือไอน้ำ ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละภูมิประเทศ การพิจารณาสภาพของท้องฟ้า สามารถพิจารณาโดยอาศัยข้อมูลที่เก็บเป็นรายชั่วโมง ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 10 (กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา) โดยสภาพของท้องฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

ค่าระหว่าง 0 – 3จัดเป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (clear sky)
ค่าระหว่าง 3 - 7 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky)
ค่าระหว่าง 7 – 10 จัดเป็นสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก (overcast sky)

1) **สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสง หรือดวงอาทิตย์ได้** (overcast sky) ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (non uniform brightness) ซึ่งมีความสว่างในระดับสูงสุด (zenith – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ (horizon – brightness) มากกว่าในตำแหน่งที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่ามีผลให้พื้นผิวในระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง ทั้งนี้เนื่องด้วยค่าความสว่างของท้องฟ้าที่จุดใดๆ จะพิจารณาจากมุมเงย (altitude) ของดวงอาทิตย์เหนือระดับแนวระนาบ

สภาพท้องฟ้าแบบนี้ในอีกกรณี คือมีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอกัน (uniform brightness) ความสว่างในระดับสูงสุด (zenith – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ (horizon – brightness) ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง แต่ก็มีผลให้พื้นผิวในแนวระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง จากการวิจัย (Krochman, 1963) พบว่า ค่าความสว่างภายนอกที่ระดับแนวระนาบภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุม (overcast sky) จะแปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (solar altitude)

2) **สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม** (clear sky) ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบ คือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light) และ แสงจากดวงอาทิตย์ (direct sunlight) ซึ่งปริมาณความสว่างของทั้ง 2 องค์ประกอบขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (solar altitude) เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความสว่างของพื้นผิวแนวระนาบจากแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนของท้องฟ้า (half sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแคนเดิล ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับมุมอะซิมุท (azimuth) และมุมเงย (altitude) ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้จะมีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์และลดลงต่ำเมื่ออยู่ห่างหรือด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุมเงย (altitude) มีค่ามากกว่า 90 ° (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งด้านหลังของช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึงวัตถุ หรือพื้นผิวใดๆที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย

3) **สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน** (partly cloudy sky) การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆตลอดเวลา โดยทั่วไปการพิจารณาค่าความส่องสว่างของท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วนนี้ หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบาง ไม่หนาทึบ (น้อย) ค่าความสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่ามากกว่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการสะท้อนของเมฆ (Nadamura and Oki, 1983)

อย่างไรก็ตามหากเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามีลักษณะเป็นกลุ่มหนาทึบหรือมีสีดำ เช่น เมฆฝน ก็อาจทำให้แสงกระจายที่สะท้อนจากท้องฟ้าและปริมาณแสงตรงจากดวงอาทิตย์ถูกกั้น นั่นคือ แสงจะถูกดูดกลืนมากกว่าสะท้อนอันเป็นผลให้ค่าความส่องสว่างจากท้องฟ้ามีค่าลดลง หากพิจารณาค่าความส่องสว่างในระนาบแนวนอนและระนาบแนวตั้ง ซึ่งมีอิทธิพลในการพิจารณานำแสงธรรมชาติมาใช้ จากการศึกษา (The Gillete Prediction Model, 1985) อาศัยดรรชนีเมฆ (cloud ratio) มาหาความสัมพันธ์ของความส่องสว่างของท้องฟ้าอันเกิดจากแสงตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้า

2.3.3 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

เป็นการถ่ายเทพลังงานผ่านบรรยากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) **การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก** (solar radiation) เกิดจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแลกเปลี่ยนกับผิวโลกที่มีระยะห่างจากกัน 93 ล้านไมล์ เป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้น (short-wave radiation) ในช่วงคลื่นรังสีอุลตราไวโอเลต (ultraviolet region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.29 – 0.40 นาโนเมตร ช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.4 – 0.7 นาโนเมตร และช่วงใกล้อินฟราเรด (the near infrared region) ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่น 0.7 – 3.5 นาโนเมตร โดยมีสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 7%, 39%,

และ 52% ตามลำดับ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่นอกบรรยากาศโลกมีค่าแตกต่างกันอันเนื่องมาจากแกนโลกที่เอียง และวงโคจรของโลกที่มีลักษณะเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อโลกอยู่ห่างดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม (ASHRAE, 1993)

2) **การแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก** (terrestrial radiation) เป็นการแผ่รังสีที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกและวัตถุบนพื้นผิวโลกเป็นการแผ่รังสีคลื่นยาว (long – wave radiation) ในช่วงคลื่นเหนืออินฟราเรด (the far infrared region) ในการพิจารณาการแผ่รังสีสามารถพิจารณาออกได้เป็น

- ***รังสีตรงของดวงอาทิตย์*** (direct solar radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกโดยไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางและพลังงาน
- ***รังสีกระจายของดวงอาทิตย์*** (diffuse solar radiation) เป็นพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นรังสีดวงอาทิตย์ไว้ หรือเป็นพลังงานที่ได้รับจากท้องฟ้าทั้งหมด
- ***รังสีสะท้อนของดวงอาทิตย์*** (reflected solar radiation) เป็นพลังงานที่ได้รับจากพื้นที่ผิวที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแล้วสะท้อนกลับ
- ***รังสีรวมของดวงอาทิตย์*** (total or global solar radiation) คือพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจาย ที่ได้รับในแนวระนาบ โดยทั่วไปจะวัดพลังงานรังสีรวมของดวงอาทิตย์บนระนาบระดับต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่

3) **ความสัมพันธ์ระหว่างแสงธรรมชาติกับปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์** (the relationship between daylight and solar radiation) จากการวิจัย (Hopkinson, 1966) พบว่าปริมาณแสงสว่างที่ได้รับจากดวงอาทิตย์จะเท่ากับ 117 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์มากกว่าหรือเท่ากับ 25° และจะเท่ากับ 90 ลูเมนต่อวัตต์ ที่มุมของดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 7.5° ถึง 25° ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วยังต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ อีกเช่น ลักษณะของท้องฟ้าและสภาพบรรยากาศเป็นต้น

2.4 การเลือกประเภทกระจก (glazing material)

2.4.1 เทคนิคการเลือกใช้กระจก

"กระจก" นั้นนับได้ว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งของช่องแสงที่ขาดไม่ได้เพราะนอกจากจะช่วยในการกันมลภาวะจากภายนอกเข้าสู่อาคารแล้วยังให้ประโยชน์ทางด้านมุมมองอีกด้วย โดยเฉพาะอาคารปัจจุบันที่มีความต้องการทางด้านความสบายทางสายตาประกอบกับการเปิดทัศนียภาพที่ดีให้แก่ผู้ใช้อาคารรวมทั้งต้องการสื่อถึงความทันสมัยของอาคารโดยผ่านทางกระจกที่ใช้ กระจกที่ใช้ในอาคารสำนักงานพอสรุปได้สังเขปดังนี้

1) **กระจกใส** มีอยู่ 2 แบบคือกระจกโฟลตและกระจกชีต สำหรับกระจกโฟลตใส คือกระจกโปร่งแสงซึ่งสามารถมองผ่านได้อย่างชัดเจน ให้ภาพสะท้อนที่สมบูรณ์ไม่บิดเบี้ยวหลอกตา และสามารถทนการขูดขีดเป็นรอยได้ดีกว่า ความหนาของกระจกจะเป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณแสงที่ส่งผ่านกระจก ถ้ากระจกมีความหนาน้อย แสงจะสามารถส่องผ่านเข้ามาในอาคารได้มาก ส่วนใหญ่แสงสามารถส่องผ่านได้ประมาณ 75-92% ซึ่งความหนาของกระจกมีตั้งแต่ 2-19 มิลลิเมตร ความกว้างถึง 144 นิ้ว ส่วนกระจกชีตนั้นส่วนใหญ่ใช้ในการทำงานเล็กๆ เช่น ลูกฟักประตู

2) **กระจกโฟลตสีตัดแสง** หมายถึง กระจกที่ผลิตขึ้น โดยการผสมออกไซด์ของโลหะเข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตกระจก ทำให้กระจกมีสีสันหลายหลากสี รวมทั้งมีคุณสมบัติในการกักเก็บความร้อนและลดปริมาณแสงที่สามารถส่องผ่านกระจก ปริมาณแสงที่สามารถส่องผ่านนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาของกระจกรวมทั้งความเข้มของสีด้วย ซึ่งความเข้มของสีนั้นเป็นตัวการสำคัญในการกักเก็บความร้อน เมื่อความร้อนที่กักเก็บแผ่เข้าไปภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงกลายเป็นภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศและเนื่องจากกระจกโฟลตสีตัดแสงมีปริมาณแสงผ่านกระจกเข้ามาได้น้อยความร้อนจึงผ่านเข้ามาน้อยลงด้วย โดยสามารถกักเก็บความร้อนได้ประมาณ 35-50% ของความร้อนทั้งหมด สามารถลดความจ้าของแสงที่ส่องผ่านกระจก ทำให้ได้แสงที่สบายตาและนุ่มนวลมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาแดดเลียสีของวัตถุที่อยู่ด้านหลังของกระจกด้วย

3) **กระจกสะท้อนแสง** (reflective glass) เกิดจากการเคลือบออกไซด์ของโลหะซึ่งมีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงอาทิตย์ได้บางส่วน ซึ่งกรรมวิธีในการเคลือบออกไซด์ของโลหะไว้ว่าสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี ดังนี้

- การเคลือบแบบไพโรลิทิก (pyrolitic deposition) หรือ ออนไลน์โคดติ้ง(on-line coating) หรือ ฮาร์ดโคดติ้ง (hard coating) เป็นการเคลือบโลหะลงบนผิวกระจกที่อุณหภูมิสูงโดยเคลือบไปพร้อมกับกระบวนการผลิตกระจกแผ่น เพราะขณะที่กระจกยังมีลักษณะที่เป็นน้ำ ความร้อนในกระบวนการผลิตจะช่วยให้สารออกไซด์ยึดเกาะกับผิวกระจกได้เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถ

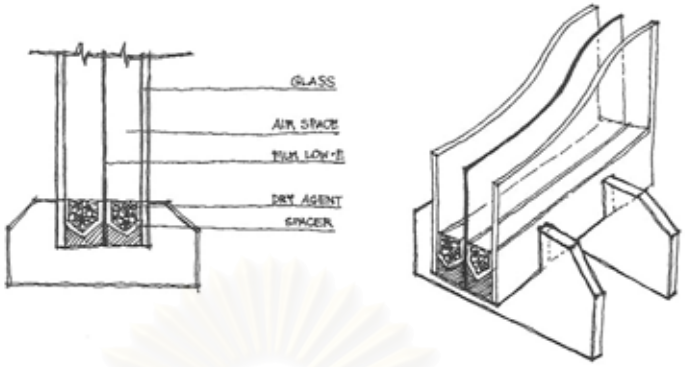
กระจายไปทั่วทั้งแผ่นได้ จึงมีคุณสมบัติการสะท้อนที่ไม่ดีเท่าที่ควร แต่มีความทนทานมากกว่า นอกจากนั้นสีของของกระจกที่ได้จากการเคลือบวิธีนี้มีให้เลือกน้อยเนื่องจากโลหะออกไซด์ที่ใช้ได้มีจำกัด สำหรับการติดตั้งกระจกนั้นสามารถนำด้านที่เคลือบหันออกสู่ภายนอกอาคารหรือหันเข้าภายในอาคารก็ได้

- การเคลือบแบบสุญญากาศ (vacuum deposition) หรือ แบบแมกเนติกสพัตเตอริ่ง (magnetic sputtering) หรือออฟไลน์โคดติ้ง (off-line coating) หรือ ซอฟต์โคดติ้ง(soft coating) เป็นการเคลือบกระจกภายในห้องสุญญากาศขนาดใหญ่ที่ภายในบรรจุก๊าซบางประเภทอาศัยพลังงานไฟฟ้าเพื่อช่วยในการทำปฏิกิริยาให้ออกไซด์ของโลหะแทรกตัวลงไปในเนื้อกระจกจนกระทั่งได้ความหนาของผิวเคลือบตามต้องการ ซึ่งสามารถขูดขีดออกไซด์ให้หลุดออกได้ และอาจทำปฏิกิริยากับอากาศจนเกิดสนิมบนผิวกระจกได้ แต่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่า คุณสมบัติเด่นของกระจกสะท้อนแสง คือ สามารถมองทะลุผ่านได้ยากกว่ากระจกโฟลตใส จึงให้ความเป็นส่วนตัวแก่ผู้ที่อยู่ในอาคารและยังทำให้แสงอาทิตย์และรังสีความร้อนผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย ช่วยลดความจ้าของแสงให้แสงนุ่มนวล เกิดความสบายตา แต่สำหรับผู้อยู่ภายนอกอาคารอาจจะได้รับผลกระทบทางสายตาจากแสงที่สะท้อนจากกระจก

4) **กระจกสะท้อนความร้อน** Low-E (low emissivity glass) เกิดจากการเคลือบโลหะหรือออกไซด์ของโลหะที่บางใส ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และมีสภาพการแผ่รังสีต่ำลงบนผิวกระจก จึงมีคุณสมบัติสะท้อนรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟาเรดจากดวงอาทิตย์ได้ดี เพื่อสะท้อนความร้อนและลดการสะสมความร้อนภายในอาคารที่มีระบบปรับอากาศได้ ลดความเสียหายที่อาจเกิดกับเฟอร์นิเจอร์ต่างๆและลดความจ้าของแสงที่ผ่านกระจก ข้อควรระวังสำหรับกระจกชนิดนี้ คือ สาร Low-E ที่ใช้เคลือบจะต้องเคลือบที่ผิวภายในของกระจกด้านที่รับแสงอาทิตย์ ส่วนด้านในอาคารเป็นกระจกใส หรือใช้ในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มที่อยู่ในช่องว่างระหว่างกระจกเท่านั้น เพราะสาร Low-E อาจทำปฏิกิริยากับอากาศจนเกิดความเสียหายได้ และหากบรรจุก๊าซเฉื่อยไว้ในช่องว่างกระจกแทนอากาศแห้ง จะทำให้มีค่าการกันความร้อนดีกว่ากระจกฉนวนทั่วไป

5) **กระจกสะท้อนความร้อนที่ใช้แผ่นฟิล์ม** Low-E เป็นกระจก 2 ชั้นคล้ายกระจกฉนวนความร้อน ภายในช่องว่างมีแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยสาร low-e เพื่อป้องกันรังสีอินฟาเรด ช่องอากาศแห้งนั้นจึงกลายเป็นช่องสะท้อนความร้อน มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ต่ำ ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี กระจกที่นำมาใช้ประกอบเป็นกระจกชนิดนี้ควรจะเป็นกระจกใสเพื่อจะได้นำแสงจากภายนอกเข้ามาใช้ได้มากที่สุด แต่ควรระวัง คือ ไม่ควรให้มีไอน้ำเข้าไปในช่องว่างภายในกระจกเพราะแผ่นฟิล์มที่อยู่ในช่องว่างนั้นจะเกิดเป็นรอยด่างสีน้ำตาล ทำให้คุณสมบัติของกระจกเปลี่ยนไปและมีอายุการใช้งานลดลง ซึ่งป้องกันได้โดยการใช้วัสดุยาแนวประเภทโพลียูรีเทน

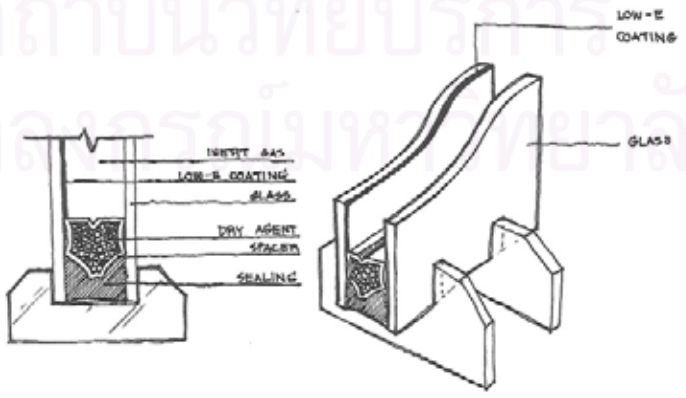
(polyurethane)แต่ก็ไม่สามารถทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตที่ทำให้วัสดุยาแนวแห้งกรอบ และไม่ควรติดตั้งในที่ที่มีอุณหภูมิสูงมากๆเพราะแผ่นฟิล์มจะเกิดการยืดหดทำให้คุณภาพเปลี่ยนไป



ภาพที่ 2.5 แสดงกระจกสะท้อนความร้อนที่ใช้แผ่นฟิล์ม Low-E

(พรรณชลัท สุริโยธิน, 2543: 38)

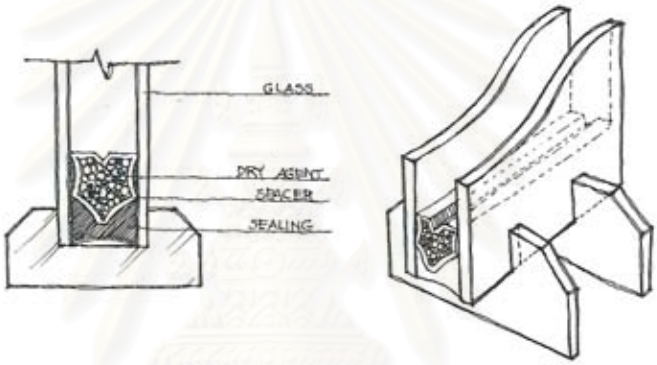
6) **กระจกสะท้อนความร้อน** Low-E **ที่ใส่ก๊าซเฉื่อย** กระจกชนิดนี้ผลิตขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการบำรุงรักษายากของกระจก Low-E ชนิดที่มีแผ่นฟิล์มอยู่กลางช่องอากาศสามารถป้องกันรังสีคลื่นยาวหรือรังสีอินฟราเรดได้ดีขึ้น มีลักษณะเป็นกระจกสองชั้น(double glazing) ประกอบขึ้นจากกระจกสะท้อนความร้อนที่เคลือบสาร Low-E เป็นกระจกด้านนอก ส่วนด้านในเป็นกระจกใสช่องว่างตรงกลางใส่ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซอาร์กอน คริปตอน หรือซีนอน ที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ ทำให้กระจกชนิดนี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมต่ำด้วยแสงธรรมชาติสามารถผ่านกระจกชนิดนี้เข้ามาได้ประมาณ 60% ข้อควรระวังในการใช้กระจกชนิดนี้ คือในการติดตั้งจะต้องคำนึงถึงการป้องกันความชื้น และอย่าหันกระจกผิดด้านเพราะจะทำให้คุณสมบัติที่ได้จากกระจกนี้ผิดเพี้ยนไป และไม่สามารถปรับแต่งขนาดของกระจกหลังจากการประกอบได้ จึงจำเป็นที่จะต้องวัดขนาดให้แน่นอน



รูปภาพที่ 2.6 แสดงกระจกสะท้อนความร้อน Low-E ที่ใส่ก๊าซเฉื่อย

(พรรณชลัท สุริโยธิน, 2543: 40)

7) **กระจกฉนวนความร้อน** (insulating glass) คือ การนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาประกอบกันโดยมีระยะห่างพอสมควร มีเฟรมอลูมิเนียมคั่นกลาง ที่ขอบกระจกทุกด้านโดยรอบเชื่อมไว้ด้วยสารจำพวกกาวที่มีสารดูดความชื้นบรรจุอยู่ เพื่อให้ช่องว่างระหว่างแผ่นกระจกที่นำมาประกอบกันเป็นอากาศแห้งส่วนกาวที่เคลือบรอบแผ่นกระจกจะช่วยให้กระจกทั้งหมดคงรูปและป้องกันไม่ให้ความชื้นจากภายนอกรั่วซึมเข้าไปในช่องว่างนี้ จึงมีคุณสมบัติที่ช่วยป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร นอกจากนี้จะไม่เกิดฝ้าหรือหยดน้ำ อีกทั้งยังช่วยป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกอาคาร และสามารถรับแรงดันลมได้เพิ่มขึ้นด้วย กระจกด้านนอกมักใช้เป็นกระจกสะท้อนแสง กระจกสีตัดแสงหรือกระจกนิรภัยเทมเปอร์ กระจกด้านในอาคารมักใช้เป็นกระจกใส นิยมใช้กระจกชนิดนี้กับอาคารในประเทศหนาว อาคารปรับอากาศที่ต้องการควบคุมสภาพแวดล้อมในด้านเสียง



รูปภาพที่ 2.7 แสดงกระจกฉนวนความร้อน (Insulating Glass)

(พรรณชลัท สุริโยธิน, 2543: 42)

8) **กระจกที่เปลี่ยนคุณสมบัติของตัวเองได้** กระจกชนิดนี้เคลือบด้วยสารที่เรียกว่าอิเล็กโตรโครมิค (electrocromic) หลายชั้น ซึ่งคุณสมบัติทางด้านความร้อนและแสงของมันสามารถควบคุมได้ตามความต้องการใช้งาน เมื่อตัวแปรต่างๆมีการเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายนอก ภาระการปรับอากาศในชั่วโมงที่ผ่านมาและระดับของแสงธรรมชาติภายในอาคาร การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของกระจกดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการป้อนไฟฟ้าเข้าไประหว่างสารอิเล็กโตรโครมิค ซึ่งถ้ามีการนำมาใช้ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยในการปรับหรี่แสงได้ ก็จะช่วยประหยัดไฟฟ้าในระบบแสงสว่างได้เป็นอย่างมาก แม่แบบของกระจกดังกล่าวได้รับการพัฒนาให้มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด(shading coefficient) อยู่ในช่วง 0.98-0.36 และค่าการส่องผ่านของแสง(visible light transmittance)อยู่ในช่วง 0.85-0.13

2.4.2 หลักการใช้กระจกเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

สุนทร บุญญาธิการ (2546) ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการออกแบบกระจกยุคใหม่เพื่อหาวิธีการกำจัดความร้อนส่วนเกินเป็นรูปแบบต่างๆ ดังนี้

1) **การลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์** คือ การกำจัดช่วงคลื่นของรังสีดวงอาทิตย์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นของมนุษย์ ได้แก่ รังสีอินฟาเรด รังสีอัลตาไวโอเลต รังสีที่ผ่านเข้ามาในอาคารจึงเป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นที่มีความจำเป็นต่อการมองเห็นของมนุษย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด(shading coefficience: SC) หากกระจกมีค่า SC ต่ำจะยอมให้มีรังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารได้น้อย และค่าอัตราส่วนการทะลุผ่านของแสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็น(light transmission : LT) ถ้าการที่ค่า LT สูงจะยอมให้แสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็นผ่านได้มา ดังนั้นการพิจารณากระจกนั้นจะต้องทำการพิจารณาอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราส่วนการทะลุผ่านของแสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็น และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดเพื่อให้ปริมาณแสงภายในอาคารไม่ต่ำมากเกินไป

การพิจารณาการใช้กระจก	=	LT / SC

ส่วนการลดสัมประสิทธิ์การบังแดดด้วยการใช้สีกระจกที่เข้มขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ของผิวกระจกภายนอกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกจึงสูงขึ้นและส่งผลให้ความร้อนส่วนเกินถูกกักเก็บไว้ในมวลสารของกระจก เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในห้องโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสี

2) **การเพิ่มความเป็นฉนวนของกระจก** กระจกเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง การลดการนำความร้อนจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร โดยการเพิ่มช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้กับกระจก เป็นลักษณะกระจก 2 ชั้น (double glazing) และกระจก 3 ชั้น (triple glazing) ทำให้กระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U-value) ต่ำ สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนได้ดีกว่ากระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U-value) สูง นอกจากนั้นวิธีการลดค่าการนำความร้อนของกระจกอีกวิธีหนึ่งคือ การใช้กระจกติดฟิล์ม Low -E และมีการเคลือบสารป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ (sun protection) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่ต่ำเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

3) **การลดความร้อนที่ผิวกระจกภายในอาคาร** จากการที่กระจกนั้นสามารถเก็บสะสมความร้อนแล้วแผ่รังสีและพาความร้อนมาสู่พื้นที่ใกล้เคียงได้ ดังนั้นการแก้ปัญหานี้จึงต้องใช้ลักษณะ

ของ Air-Flow Window มีหลักการอยู่ที่การเปิดช่องด้านในอาคาร เพื่อนำอากาศเย็นภายในอาคารไหลผ่านช่องว่างระหว่างกระจก 2 ชั้น เพื่อใช้อากาศที่เย็นลดอุณหภูมิผิวกระจกและระบายอากาศร้อนที่อยู่ระหว่างช่องว่างอากาศทิ้งไปทำให้เนื้อกระจกมีอุณหภูมิที่ต่ำลงจึงไม่เกิดการแผ่รังสีความร้อนให้กับภายในอาคาร

การพัฒนากระจกไม่ใช่เพียงแค่การปรับปรุงในด้านภาระการทำความเย็นหรือสภาวะน่าสบายเพียงอย่างเดียวแต่ได้มีการผนวกเทคโนโลยีต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระจกในยุคอนาคต เช่น

- การผลิตกระจกในลักษณะลามิเนตเข้ากับฟิล์มชนิดต่างๆเพื่อประโยชน์ในการใช้งาน เช่น การผนวกกระจกหลายชั้นเข้ากับฟิล์มโพลีไวนิลบิวทิเรต (polyvinyl butyrate: PVB) หลายชั้นเพื่อเพิ่มความทนทานให้กับเนื้อกระจก จนสร้างกระจกที่สามารถรับแรงกระแทกในระดับสูงได้มากยิ่งขึ้น เช่น กระจกกันกระสุน กระจกนิรภัย เป็นต้น
- การเคลือบผิวกระจกใสสามารถสะท้อนรังสีในช่วงคลื่นที่ไม่จำเป็นต่อการมองเห็นจะทำให้สามารถสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงดังกล่าวทิ้งโดยไม่ทำให้เกิดความระคายเคืองสายตาต่อผู้ที่พบเห็นอาคาร
- การผลิตกระจกในลักษณะกระจก 2 ชั้น และกระจก 3 ชั้น สามารถเพิ่มความสามารถในการป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกอาคารได้
- การใช้วัสดุพิเศษแทนฟิล์มโพลีไวนิลบิวทิเรต ที่ใช้ในการลามิเนตกระจกเพื่อใช้เป็นแผงรับพลังงานจากดวงอาทิตย์สำหรับผลิตไฟฟ้าในอนาคต.
- กระจกพิเศษที่สามารถปรับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของตนเองอัตโนมัติตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6

แสดงค่าการส่องผ่านแสง (light transmittance) ของกระจกและพลาสติก

(IESNA, 1993: 371)

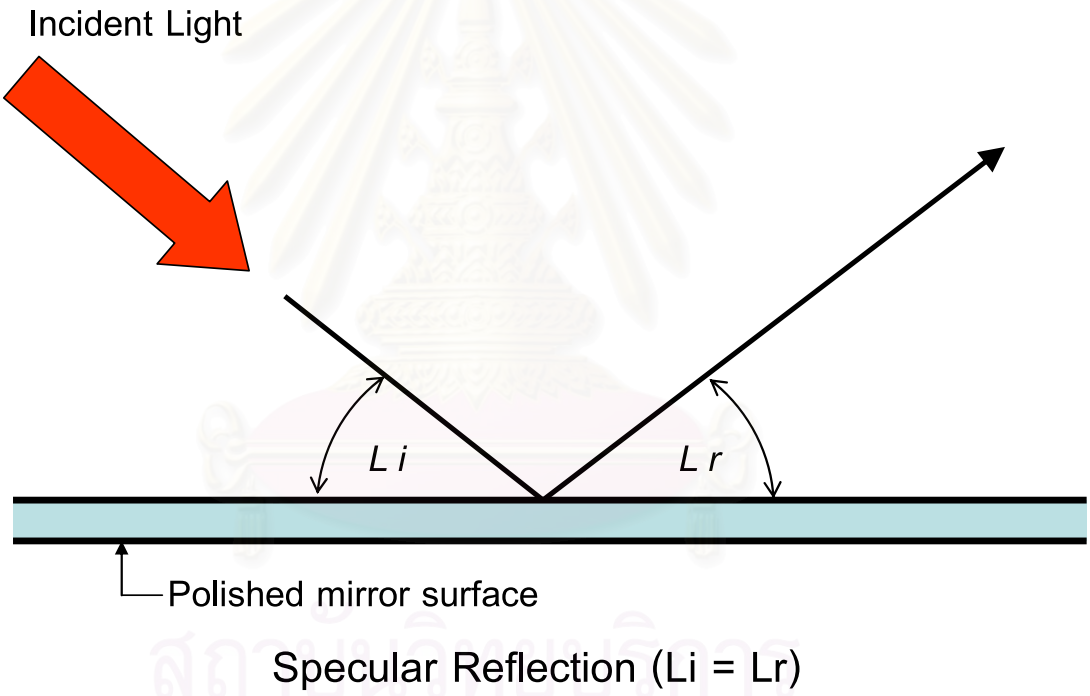
Material	Light Transmission [%]
Polished plate / float glass	80 – 90
Sheet glass	85 – 91
Heat absorbing plate glass	70 – 80
Heat absorbing sheet glass	70 – 85
Tinted polished plate	40 – 50
Figure glass	70 – 90
Corrugated glass	80 – 85
Glass block	60 – 80
Clear plastic sheet	80 – 92
Tinted plastic sheet	42 – 92
Colorless patterned plastic	80 – 90
White translucent plastic	10 – 80
Glass fiber reinforced plastic	5 – 80
Translucent sandwich panels	2 – 67
Double glazed – 2 light clear glass	77
Tinted plus clear	37 – 45
Reflective glass	5 – 60

2.5 การเลือกใช้วัสดุ

2.5.1 พิจารณาลักษณะการสะท้อนแสง (reflectance of materials) ของวัสดุ

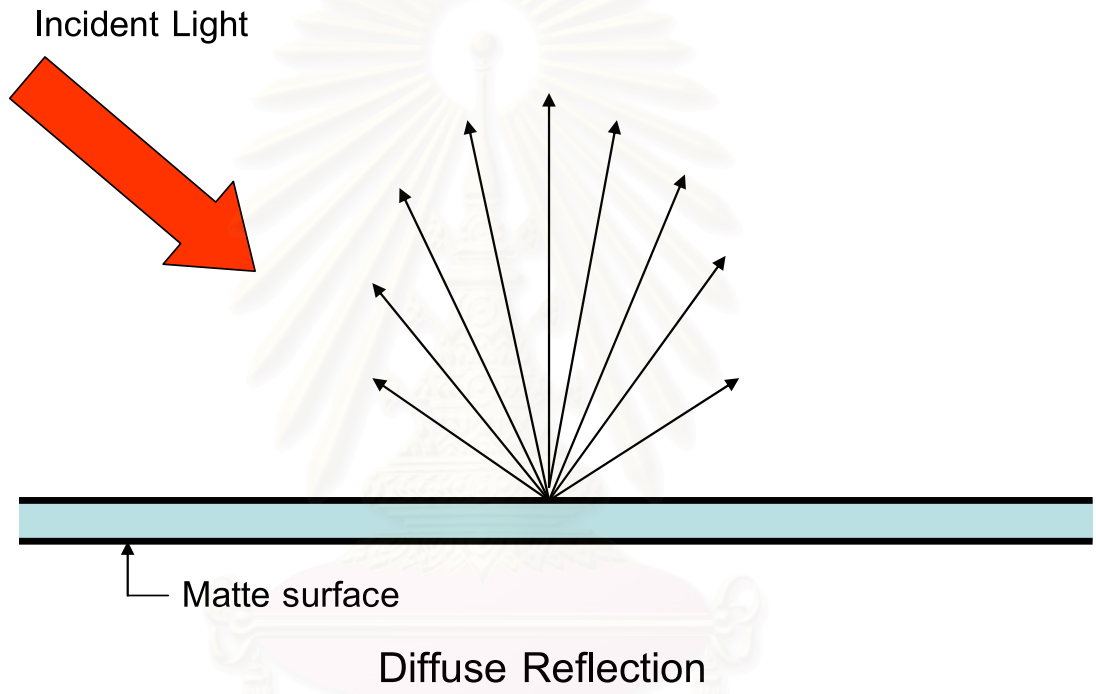
วัสดุแต่ละชนิดมีลักษณะกาสะท้อนแสงของพื้นผิว (surface) ที่ต่างกัน คุณสมบัติดังกล่าวแบ่งเป็นประเภทของการสะท้อนแสง ดังนี้

1) **การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา** (specular reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (polish surface) การสะท้อนจะมีลักษณะของมุมแสงที่ตกกระทบ (angle of incident: Li) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน (angle of reflection: Lr) แสดงในรูปภาพที่ 2.8



รูปภาพที่ 2.8 แสดงการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection)

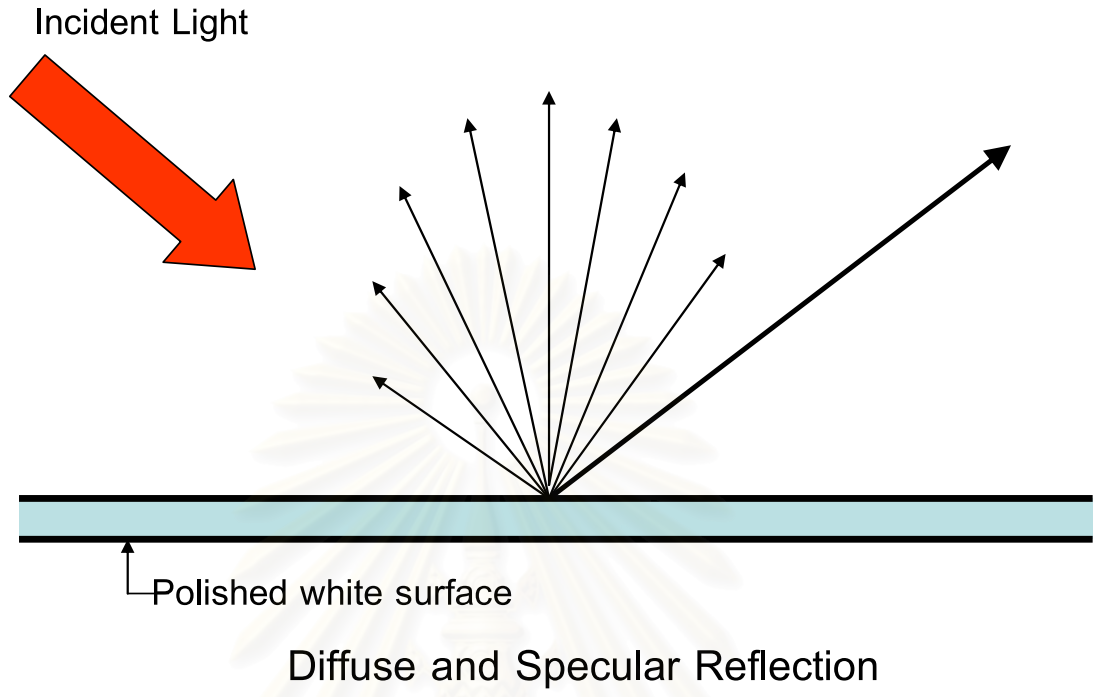
2) **การสะท้อนแบบกระจาย** (diffuse reflection) เป็นลักษณะที่เกิดเมื่อแสงตกกระทบวัตถุทึบแสงที่มีผิวหยาบไม่เรียบสม่ำเสมอ แสงที่สะท้อนออกมาจะถูกสะท้อนออกไปในหลายๆทิศทาง ซึ่งส่วนมากมุมของแสงที่สะท้อนที่กระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมของแสงที่ตกกระทบ หากผิววัตถุที่ไม่เรียบนั้นจะมีลักษณะไม่เรียบสม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (perfectly diffusing surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการกระจายแสงแบบสมบูรณ์เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่าๆกันในทุกมุมสะท้อน แต่หากผิววัตถุไม่เรียบไม่สม่ำเสมอ (semi diffuse surface) แสงสะท้อนที่ได้จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจัดกระจาย แสดงในรูปภาพที่ 2.9



รูปภาพที่ 2.9 แสดงการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่โดยทั่วไปแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุจะมีลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflection)



รูปภาพที่ 2.10 แสดงลักษณะผสมกันระหว่าง การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) และการสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflection)

ตารางที่ 2.7
แสดงตัวอย่างของวัสดุที่มีผิวด้านและผิวมัน
(Egan, 1983: 29)

Matte (or diffuse)	Glossy (or specular)
Brick, rough	Aluminum, polished
Concrete	Enamel paint
Flat paint, low gross	Glass
Limestone	Marble, polished
Plaster, white	Plastics, polished
Plastics, low gloss (abs, mf, pvc)	Stainless steel
Sandstone	Terrazzo
Wood, unfinished	Tin
	Wood, oiled

2.5.2 พิจารณาค่าสะท้อนแสงของวัสดุ

ค่าการสะท้อนแสงเป็นเปอร์เซ็นต์ของแสงที่สะท้อนจากผิวของวัสดุเมื่อแสงตกกระทบ พื้นที่ใช้งานที่มีการใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงมากจะสว่างกว่าพื้นที่ที่ใช้วัสดุที่มีค่าสะท้อนแสงน้อยกว่า ตารางที่ 2.8 เป็นตัวอย่างของค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ

ตารางที่ 2.8
แสดงตัวอย่างค่าการสะท้อนแสงของวัสดุ
(Egan, 1983: 27)

Material	Reflectance (%)	Material	Reflectance (%)
Metal:		Glass:	
Aluminum, brushed	55-58	Clear or tinted	5-10
Aluminum, etched	70-85	Reflective	20-30
Aluminum, polished	60-70	Ground cover:	
Stainless steel	50-60	Asphalt	5-10
Tin	67-72	Concrete	40
Masonry:		Grass and other	5-30
Brick, dark buff	35-40	vegetation	60-75
Brick, light buff	40-45	Snow	
Brick, red	10-20	Paint:	70-90
Cement, gray	20-30	White	60-83
Granite	20-25	White porcelain enamel	
Limestone	35-60	Wood:	35-50
Marble, polished	30-70	Light birch	6-12
Plaster, white	90-92	Mahogany	10-15
Sandstone	20-40	Oak, dark	25-35
Terra-cotta, white	65-80	Oak, light	5-10
		Walnut	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่แนะนำโดย The Illuminating Engineering Society Of North America (IESNA) ที่ใช้สำหรับพื้นที่ใช้งานของสำนักงานและส่วนการศึกษา

ตารางที่ 2.9
แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่แนะนำ
สำหรับพื้นที่ใช้งานของสำนักงานและส่วนการศึกษา
(Egan, 1983:28)

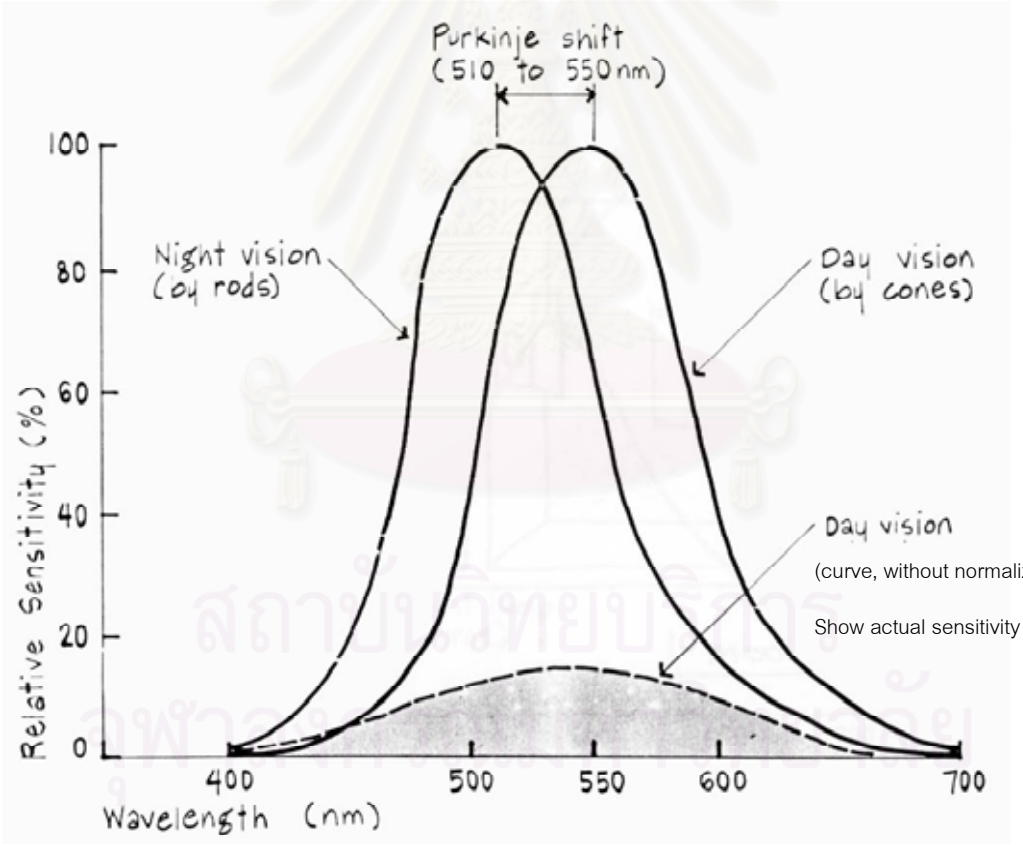
	Reflectance (%)	
	Classroom	Office
Ceilings	70-90	> 80
Walls	40-60	50-70
Partitions	-	40-70
Floors	30-50	20-40
Furniture and machines	-	25-45
Desk and bench tops	35-50	35-50

2.5.3 **พิจารณาสีของวัสดุ** (color of objects)

การรับรู้สีของวัตถุเป็นสิ่งที่แตกต่างกันในแต่ละบุคคล ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ การคาดการณ์และธรรมชาติของวัตถุในมุมที่มองเห็น เช่น พรมปูพื้นสีเขียวเป็นสีที่ยอมรับได้แต่เนื้อแฮมเบอร์เกอร์ที่มีสีเขียวเกิดความรู้สึกที่ตรงกันข้าม (Egan, 1983: 12) ภายใต้สภาพปกติของการปรับสายตา สีของวัตถุจะสัมพันธ์กับสเปกตรัม (spectrum) หรือการกระจายของแสงสี (color distribution) ของแสงที่สะท้อนเข้าสู่ตา

Night Vision Condition เกิดขึ้นในกรณีที่มีระดับของความสว่าง ต่ำ (น้อยกว่า 0.01 fL) ในสภาพที่แสงน้อยเซลล์รับแสง รอท (rods) ในเรตินา (retina) จะเพิ่มระดับความไวต่อการรับรู้ (sensitivity) กระบวนการนี้เรียกว่า การปรับสายตาในความมืด (dark adaptation) การปรับสายตาจากภายในโรงภาพยนตร์ที่มืดสู่สภาพภายนอกอาจใช้เวลาในการปรับสายตาประมาณ 2 นาทีหรือมากกว่านั้น ถ้าปรับสายตาโดยสมบูรณ์ใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง การปรับสายตาอย่างรวดเร็ว เช่น เดินบริเวณชายหาดในตอนกลางวันที่มีแสงจ้า ทำให้เกิดความรู้สึกแสบตาเป็นสาเหตุให้หรี่ตาลงและดวงตามีน้ำตาไหล

ในปี ค.ศ. 1800 Johannes Purkinje ได้สังเกตพบว่าในเวลากลางวันจะมองเห็นดอกไม้สีแดงจะมองดูสว่างกว่าดอกไม้สีน้ำเงิน ส่วนในเวลาเช้าตรู่และตอนพลบค่ำเกิดปรากฏการณ์ที่ตรงข้ามกัน คือ มองเห็นดอกไม้สีน้ำเงินสว่างกว่าสีแดง เรียกปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงการรับรู้สี (color sensitivity) ของดวงตาว่า ***Purkinje Shift*** ที่มีการปรับระดับของการรับรู้โดยโคน (cones) ไปสู่การรับรู้โดยรอท (rods) ของดวงตาโคน (cones) เป็นส่วนของการรับรู้ในสภาพที่แสงสว่างมากและไวต่อการรับรู้แสงในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง-เขียว (ดอกไม้สีแดง) ส่วนรอท (rods) เป็นส่วนของการรับรู้ในสภาพที่แสงสว่างน้อยและไวต่อการรับรู้แสงในช่วงความยาวคลื่นสีฟ้า-เขียว (ดอกไม้สีน้ำเงิน) กราฟที่แสดงในรูปภาพที่ 2.11 แสดง Purkinje Shift ระหว่างการมองเห็นในกลางวันกับกลางคืน การมองเห็นในเวลากลางวันแสดงการมองเห็นของรอท (rods) ที่ไวต่อการมองเห็นแสงมากกว่าโคน (cones) ทำให้ใช้พลังงานน้อยกว่า การเลือกใช้สีที่อยู่ในช่วง Warm Tone ทำให้การใช้แสงธรรมชาติในเวลากลางวันใช้แสงปริมาณน้อยกว่า



รูปภาพที่ 2.11 Purkinje Shift

(Egan, 1983: 16)

ส่วนตารางที่ 2.11 แสดงตัวอย่างของค่าสะท้อนแสงของแต่ละสีที่มีค่าการสะท้อนแสงที่ต่างกัน

ตารางที่ 2.10

แสดงค่าการสะท้อนแสงของสีต่างๆ

(Stein and Reynolds, 1992: 1066)

Medium Value Colors	
White	80-85
Light gray	45-70
Dark gray	20-25
Ivory white	70-80
Ivory	60-70
Pearl gray	70-75
Buff	40-70
Tan	30-50
Brown	20-40
Green	25-50
Olive	20-30
Azure blue	50-60
Sky blue	35-40
Pink	50-70
Cardinal red	20-25
Red	20-40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์วัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance meter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance measurement instruments) หน่วยที่วัดได้ทั้ง ฟุตแคนเดิล (footcandle) และหน่วยลักซ์ (lux) ใช้ในการอ่านค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างแบบ daylight factor ค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุที่ต้องการทดสอบ เครื่องมือวัดแสงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

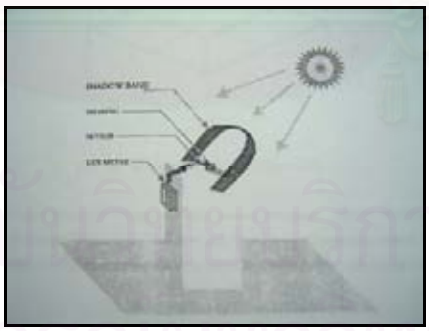
- ลักซ์มิเตอร์ (lux meter) แสดงในรูปภาพที่ 3.1ก
- มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ (minolta lux meter) แสดงในรูปภาพที่ 3.1ข

ในการวัดค่า Daylight Factor ทำโดยการนำเครื่องมือทั้ง 2 มาใช้วัดค่าความสว่างภายนอกและภายในพร้อมกัน ในเวลาเดียวกัน ส่วนการหาค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องผ่านของแสงของวัสดุใช้ค่าที่วัดได้จากทั้ง 2 ตัวในเวลาเดียวกันและจุดที่วัดใกล้เคียงกัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

การวัดค่าความสว่างภายในใช้มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ ที่มีช่วงการวัดตั้งแต่ 5 – 50,000 lux และใช้ลักซ์มิเตอร์ที่มีช่วงการวัดตั้งแต่ 10 – 200,000 lux ในการวัดค่าระดับความส่องสว่างภายนอกที่ตกกระทบลงบนแนวระนาบนอน ไม่รวมรังสีตรงของดวงอาทิตย์ (exterior illumination horizontal exclude direct sun) ในการวัดค่าความส่องสว่างภายนอกโดยไม่รวมรังสีตรงของดวงอาทิตย์อาศัยอุปกรณ์ที่เป็นแถบเงา (รูปภาพที่ 3.1ค) ที่เป็นอุปกรณ์ที่มีความทึบแสงเพื่อป้องกันไม่ให้ตัววัด (sensor) ได้รับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ความกว้างของแถบเงากำหนดให้มีความกว้างน้อยที่สุดเพื่อให้ตัววัดสามารถรับค่ารังสีกระจายดวงอาทิตย์มากที่สุด แถบเงานี้มีลักษณะเป็นแถบโค้งพาดไปตามวงโคจรของดวงอาทิตย์ โดยอาศัยตารางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ปรับตั้งแถบเงาให้สามารถบังดวงอาทิตย์ได้ในวันและเวลาที่ต้องการ ซึ่งหากมีการคลาดเคลื่อนในการปรับมุมของแถบเงาก็สามารถปรับได้ด้วยมือ โดยการสังเกตเงาที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ทำการวัดเก็บข้อมูล

รูปภาพที่ 3.1ก

รูปภาพที่ 3.1ข



รูปภาพที่ 3.1ค

รูปภาพที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์วัดแสงที่ใช้ในงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 อุปกรณ์วัดปริมาณความสว่าง (luminance meter)

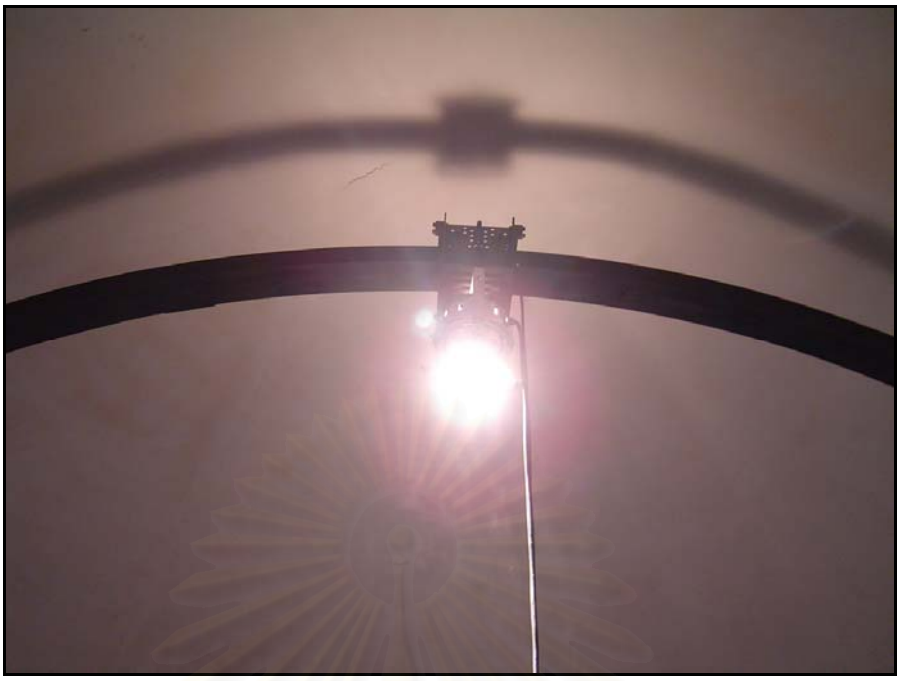
เป็นอุปกรณ์ที่วัดปริมาณความสว่าง (luminance measurement instruments) อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ Minalta, L-S110, 1/3° (แสดงในรูปภาพที่ 3.2) หน่วยที่วัดได้เป็น แคนเดลล่าต่อตารางเมตร (cd/m^2) การวัดเป็นการวัดแบบจุด (spot) ที่ต้องการหาค่า การวัดการแสดงผลเป็นแบบดิจิตอล มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0.01 – 999,900 cd/m^2 ความแม่นยำ ± 2%

รูปภาพที่ 3.2 Minalta, l-s110, 1/3°

3.2 ห้องจำลองสภาพท้องฟ้า (sky simulator and artificial sun)

ห้องจำลองสภาพท้องฟ้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.4 เมตรและความสูง 3.6 เมตร พร้อมด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นระบบรางและหลอดไฟดวงอาทิตย์จำลอง โครงสร้างเป็นโครงสร้างเหล็กผิวหน้าภายในพ่นด้วยสีขาวผิวด้านบนวัสดุที่เป็นฉนวน รูปภาพที่ 3.3 แสดงมุมมองภายในของห้องจำลองสภาพท้องฟ้า

อุปกรณ์หลอดไฟภายในแยกออกเป็น 2 ระบบ คือระบบหลอดไพสร้างแสงของท้องฟ้า (skylight) ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด High-Intensity-Discharge (HID) ส่วนหลอดไฟที่สร้างแสงดวงอาทิตย์ (sunlight) ใช้หลอด Cool-Beam PAR Lamp (GE Model: Q650 PAR36, ANSI: FBE 650 W 120 V) ขนาด 650 วัตต์ ที่มีระบบควบคุมการเคลื่อนที่ตั้งโปรแกรมตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ติดตั้งใช้ขนาด 110 วัตต์ จำนวน 8 หลอด และหลอด High Pressure Sodium (HID) ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 8 หลอด การวัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) ของหุ่นจำลองจะเปิดหลอดไฟทั้งหมดยกเว้นหลอดไฟจำลองดวงอาทิตย์ วัดได้ 5,300 lux และ 575 lux เฉพาะหลอดฟลูออเรสเซนต์ การควบคุมความร้อน (thermal control) ใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 3 ตัน



รูปภาพที่ 3.3 แสดงมุมมองภายในของห้องจำลองสภาพท้องฟ้า

3.3 หุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย

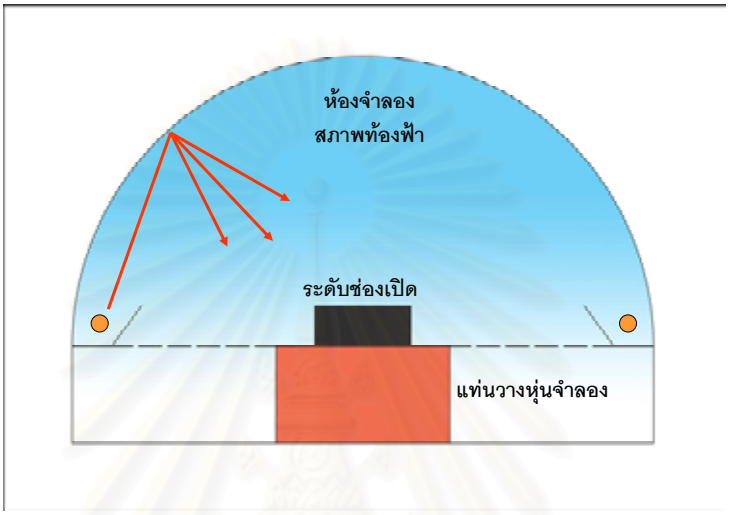
ในการทดสอบความส่องสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารใต้ดิน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบนั้น หากเลือกทดสอบกับอาคารที่มีการใช้งานอยู่จริงย่อมได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบอื่นที่มีอยู่แล้วซึ่งไม่ได้กำหนดให้เป็นตัวแปรในการศึกษา และย่อมมีความแตกต่างทางกายภาพของแต่ละอาคาร ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้กับอาคารอื่นๆ ได้ การพิจารณาปรับเปลี่ยนองค์ประกอบใดๆ ภายในอาคารมีความสะดวกในการทำการวิจัยหรือในบางกรณีไม่สามารถทำได้ การใช้หุ่นจำลองจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทำการวิจัย

ในการใช้หุ่นจำลองเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อหาผลที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของลักษณะของการสะท้อนแสงขององค์ประกอบที่อยู่ภายในอาคาร โดยสร้างหุ่นจำลองที่มีลักษณะของการสะท้อนแสง การกระจายแสงและมุมเอียงของวัสดุภายในที่แตกต่างกันออกไป โดยเปรียบเทียบในแต่ละกรณีถึงปริมาณแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาว่ากรณีใดมีการนำแสงธรรมชาติไปใช้ได้มากกว่ากัน ทางด้านปริมาณแสงเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) ความลึกของการกระจายแสง ส่วนทางด้านคุณภาพของแสง เปรียบเทียบปริมาณความสว่าง (luminance) ในแต่ละจุดเปรียบเทียบอัตราส่วนว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ โดยมีหลักเกณฑ์พิจารณาในการทำหุ่นจำลอง ดังนี้

- หุ่นจำลองที่สร้างขึ้นสามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบภายในได้ เพื่อพิจารณาผลที่เกิดขึ้นในแต่ละแนวทาง
- มาตราส่วนของหุ่นจำลอง ควรมีขนาดที่เหมาะสมกับการทดสอบซึ่งถ้าหากมีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่า คือ ตำแหน่งที่ต้องการอ่านค่าอาจคลาดเคลื่อนและเครื่องมือที่ใช้ในการวัดไม่อาจใช้งานได้ ขณะเดียวกันหากหุ่นจำลองมีขนาดใหญ่เกินไป ความแข็งแรงของหุ่นจำลอง การเคลื่อนย้ายและความสะดวกในการปรับเปลี่ยนรูปแบบของหุ่นจำลองก็ไม่สามารถทำได้ใน เวลาและงบประมาณที่จำกัด สำหรับการวิจัยนี้กำหนดมาตราส่วนของหุ่นจำลอง คือ มาตราส่วน 1:25 ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้ ความสะดวกในการปรับเปลี่ยนรูปแบบและการเคลื่อนย้ายหุ่นจำลอง
- การทดสอบหุ่นจำลอง ทำการทดสอบในห้องจำลองสภาพท้องฟ้าเพื่อให้สามารถควบคุมตัวแปร เช่น ความสว่างของท้องฟ้า และภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ทำให้ผลการทดสอบองค์ประกอบภายในที่ทำการศึกษาที่ได้จากหุ่นจำลองสามารถเปรียบเทียบกันได้
- วัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลอง คือ กระดาษที่มีค่าการสะท้อนแสงตามที่กำหนด การประกอบโครงจากภายในสู่ภายนอกตามลำดับ กระดาษอาร์ตการ์ด กระดาษชานอ้อยหนา 2 มม. กระดาษลัง 2 ชั้นประกบในแนวตั้งและแนวนอนของแกนกระดาษ และภายนอกสุดเป็นแผ่นพลาสติกบอร์ด ประกอบขึ้นด้วยกันเพื่อให้ผนังของหุ่นจำลองมีความทึบแสงและแข็งแรงเพียงพอต่อการเคลื่อนย้าย การประกบด้วยกระดาษหลายชั้นทำให้สามารถซ้อนทับรอยต่อกระดาษอย่างมิดชิด สำหรับการใช้แผ่นพลาสติกบอร์ดอยู่ชั้นนอกสุดเพื่อป้องกันความชื้นที่จะทำให้กระดาษบิดงอและป้องกันการกระแทกที่จะทำให้หุ่นจำลองเสียรูปทรงไป เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดของค่าตัวเลขที่วัดเก็บข้อมูล
- วัสดุที่เป็นช่องเปิด คือ กระจกใส ในหุ่นจำลองจะใช้เป็นช่องเปิดโล่งโดยถือว่ามีการส่องผ่านแสง (daylight transmission) แบบสมบูรณ์ คือ 100% เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเมื่อวัสดุที่ใช้เป็นช่องเปิดเปลี่ยนเป็นวัสดุอื่นที่มีค่าการส่องผ่านแสงแตกต่างไป โดยใช้ค่าการส่องผ่านแสงของวัสดุที่เลือกใช้จริงในแต่ละอาคารเป็นคัวคูณปรับค่าปริมาณการส่องสว่างที่วัดได้จากหุ่นจำลอง

3.3.1 ตำแหน่งการตั้งหุ่นจำลองในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า

ตำแหน่งการตั้งหุ่นจำลองในห้องทดสอบแสง กำหนดระดับความสูงช่องเปิดของหุ่นจำลองอยู่เหนือเส้นของฟ้าของห้องทดสอบแสง (รูปภาพที่ 3.4) เพื่อให้ได้รับแสงกระจายอย่างสม่ำเสมอและไม่ถูกบังเงาโดยผนังของห้องทดสอบแสง



รูปภาพที่ 3.4 แสดงระดับการวางหุ่นจำลองในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า

3.3.2 ตำแหน่งการตั้งหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง

การตั้งหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริงทำการทดสอบกลางที่โล่งแจ้งที่ไม่ถูกอิทธิพลการบังเงาจากต้นไม้ อาคารข้างเคียง รวมทั้งหลีกเลี่ยงการได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนแสงจากสภาพแวดล้อมอื่นที่จะทำให้ทิศทางของแสงเปลี่ยนแปลงไป เช่น การสะท้อนแสงจากอาคารยานพาหนะ เป็นต้น

การเปรียบเทียบตำแหน่งของทิศกับการวางตำแหน่งของหุ่นจำลอง ใช้เข็มทิศเป็นอุปกรณ์ในการปรับตำแหน่งเพื่อให้ทิศทางของช่องแสง หุ่นจำลอง และตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีความถูกต้องแม่นยำ

3.3.3 ตำแหน่งที่ทำการวัด

กำหนดให้จุดที่วัดความส่องสว่างอยู่ในระนาบนอน ทำการวัดทั่วผังพื้นโดยใช้ระบบ Grid System มีระยะห่างแต่ละจุดเท่ากับ 2.00 เมตร จุดที่อยู่ติดผนังอยู่ห่างจากผนัง 0.50 เมตร เนื่องจากจะได้รับผลจากการสะท้อนของผนัง เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างที่ระยะต่างๆ ส่วนระดับความสูงที่วัดทำการวัดที่ระดับพื้น ความสูง 0.00 เมตร (ระดับ working plane)

3.3.4 เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง

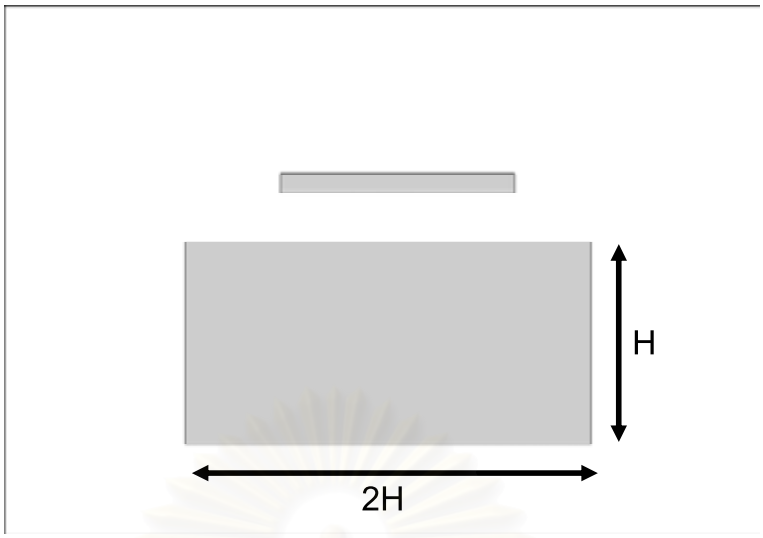
ใช้เครื่องมือวัดแสง มินอลต้า ลักซ์มิเตอร์ โดยติดตั้งตัวรับแสง (sensor) ไว้ภายในหุ่นจำลอง ส่วนที่แสดงผลอยู่ภายนอก ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อค่าความส่องสว่างและการกระจายแสงภายในหุ่นจำลองและติดตั้งตัวรับแสงไว้ที่ระดับพื้นของหุ่นจำลอง

การเก็บข้อมูลความสว่างที่จุดต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ภายในหุ่นจำลอง เพื่อให้ตำแหน่งที่วัดเก็บข้อมูลมีความเที่ยงตรงและความสะดวก จึงได้ทำการติดยึดตัวรับแสงและสายของตัวรับแสงบนก้านกระดาษแข็งที่มีตำแหน่งพอดี พร้อมทั้งทำเครื่องหมายบอกตำแหน่งของตัวรับแสงที่ระยะต่างๆ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากภายนอกหุ่นจำลอง

3.4 ขนาดของหุ่นจำลอง

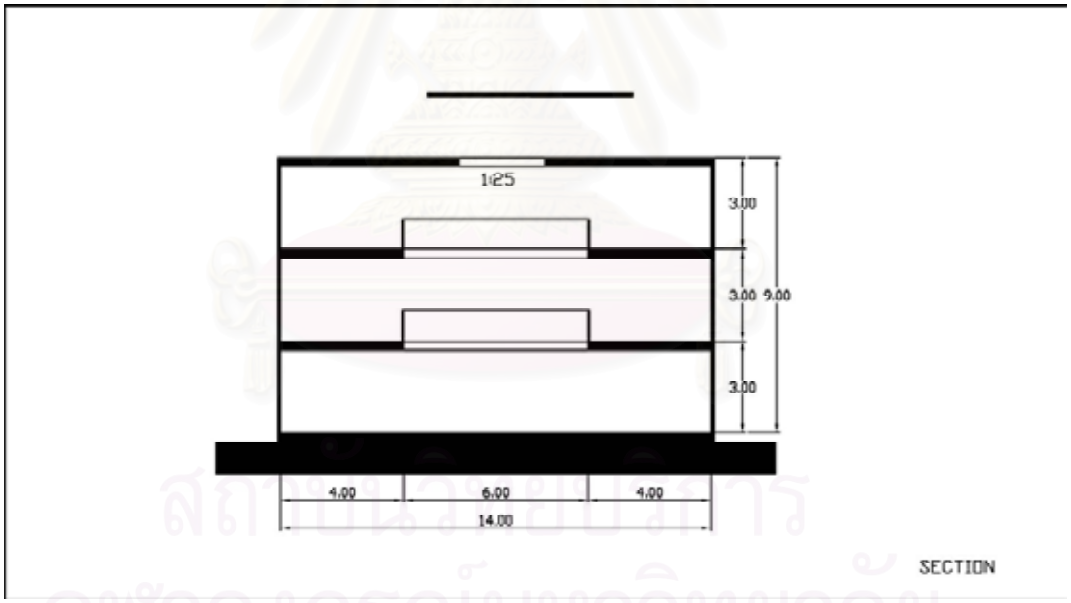
เนื่องจากในการทำการวิจัยครั้งนี้ มีจุดประสงค์ให้สามารถนำรูปแบบการควบคุมการใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดินที่มีรูปแบบการให้แสงธรรมชาติจากทางด้านบนและสามารถนำไปใช้กับกิจกรรมที่หลากหลายขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของอาคารนั้นๆ ในการออกแบบลักษณะหุ่นจำลองเลือกใช้รูปร่างผังพื้นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ใช้ระบบสัดส่วนในการกำหนดมาตรฐานของหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดลองแทนการกำหนดความกว้าง : ยาว: สูง โดยใช้สัดส่วน ความกว้าง: ความสูง = 2: 1

จากการศึกษาการเปรียบเทียบรูปแบบผังพื้นอาคารแบบต่างๆ ที่ขนาดพื้นที่ใช้งานเท่ากัน พบว่าอาคารที่มีผังพื้นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด สาเหตุเพราะเป็นรูปร่างที่มีพื้นที่กรอบอาคารโดยรอบน้อยที่สุด ดังนั้นรูปร่างผังพื้นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจึงเหมาะสมที่จะนำมาทำการวิจัยเพื่อหาเทคนิคการนำแสงธรรมชาติมาใช้ผ่านช่องเปิดด้านบน รูปทรงสี่เหลี่ยมยังเป็นรูปแบบที่เอื้ออำนวยต่อการทดสอบการให้แสงธรรมชาติผ่านทางช่องเปิดในทิศเหนือ ใต้ ตะวันออกและตะวันตกได้อย่างชัดเจน ซึ่งง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับอาคาร



รูปภาพที่ 3.5 แสดงสัดส่วนของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย

ส่วนขนาดของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัยในมาตราส่วน 1: 25 แสดงในรูปภาพที่ 3.6



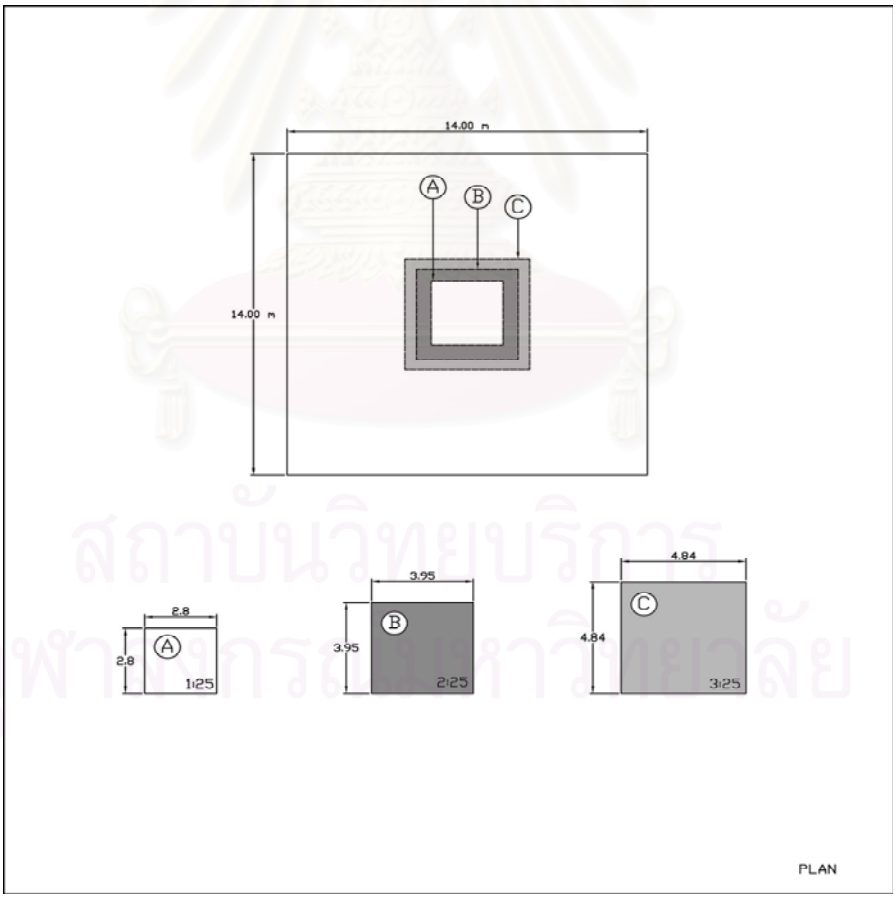
รูปภาพที่ 3.6 แสดงรายละเอียดของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัย

3.5 รูปแบบช่องเปิดด้านบนที่ใช้ในการวิจัย

จากรูปแบบของช่องเปิดด้านบนที่หลากหลายในการแสงธรรมชาติมาใช้จากทางข้างบน การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกนำรูปแบบช่องเปิดด้านบนแบบ Clerestories เป็นรูปแบบหลักในการวิจัยเพราะเป็นรูปแบบที่สามารถป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์เข้ามาในอาคารได้และเป็นรูปแบบที่สามารถเปิดรับแสงธรรมชาติได้โดยรอบ จึงเป็นรูปแบบพื้นฐานที่มีความเหมาะสมในการทำการวิจัย

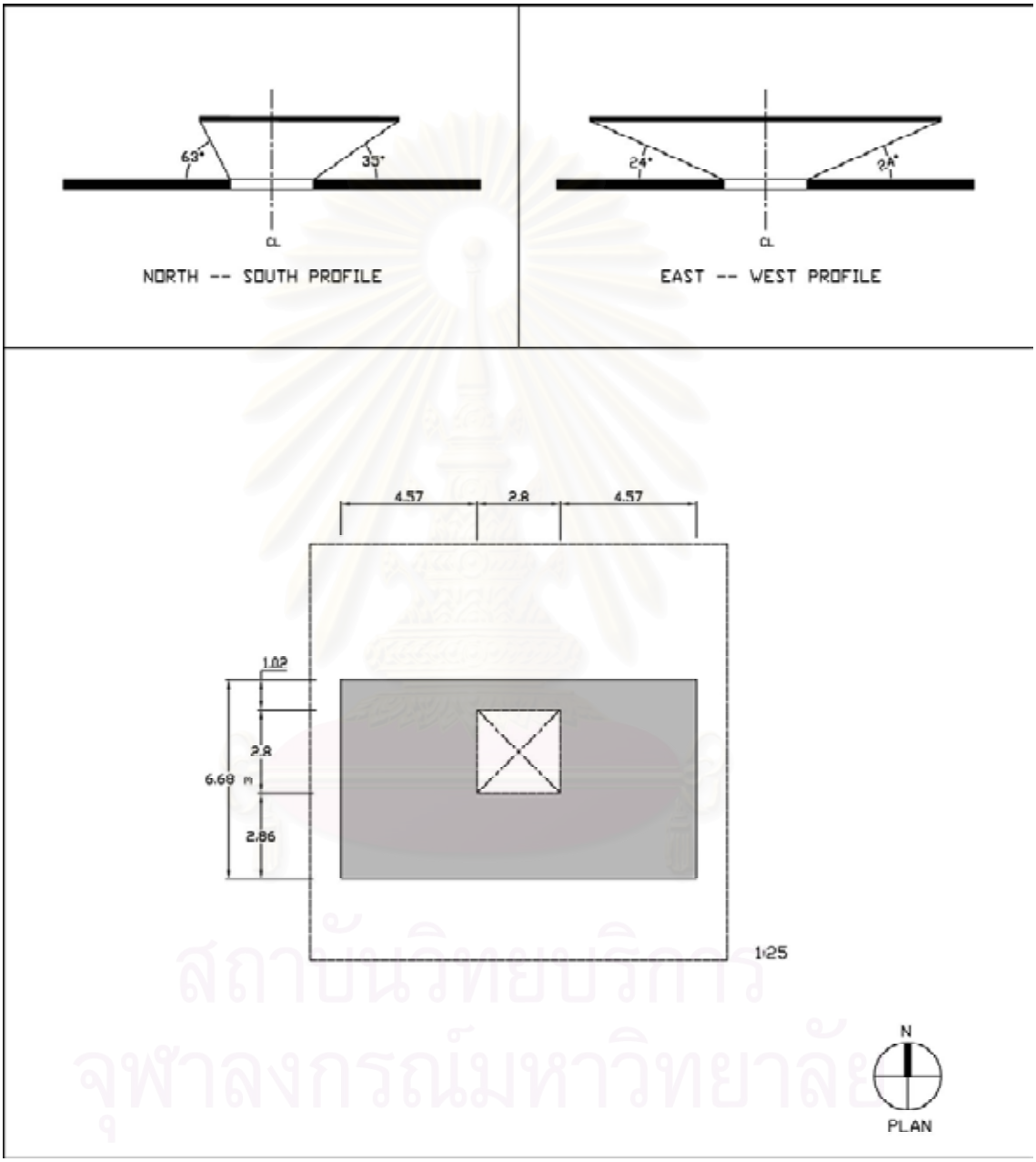
โดยกำหนดขนาดของช่องเปิดด้านบนตามสัดส่วนของขนาดช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานภายในมีสัดส่วน 3 ขนาด ดังนี้

- พื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้งาน (ตำแหน่ง A ในรูปภาพที่ 3.8)
- พื้นที่ช่องเปิด 8% ของพื้นที่ใช้งาน (ตำแหน่ง B ในรูปภาพที่ 3.8)
- พื้นที่ช่องเปิด 12% ของพื้นที่ใช้งาน (ตำแหน่ง C ในรูปภาพที่ 3.8)

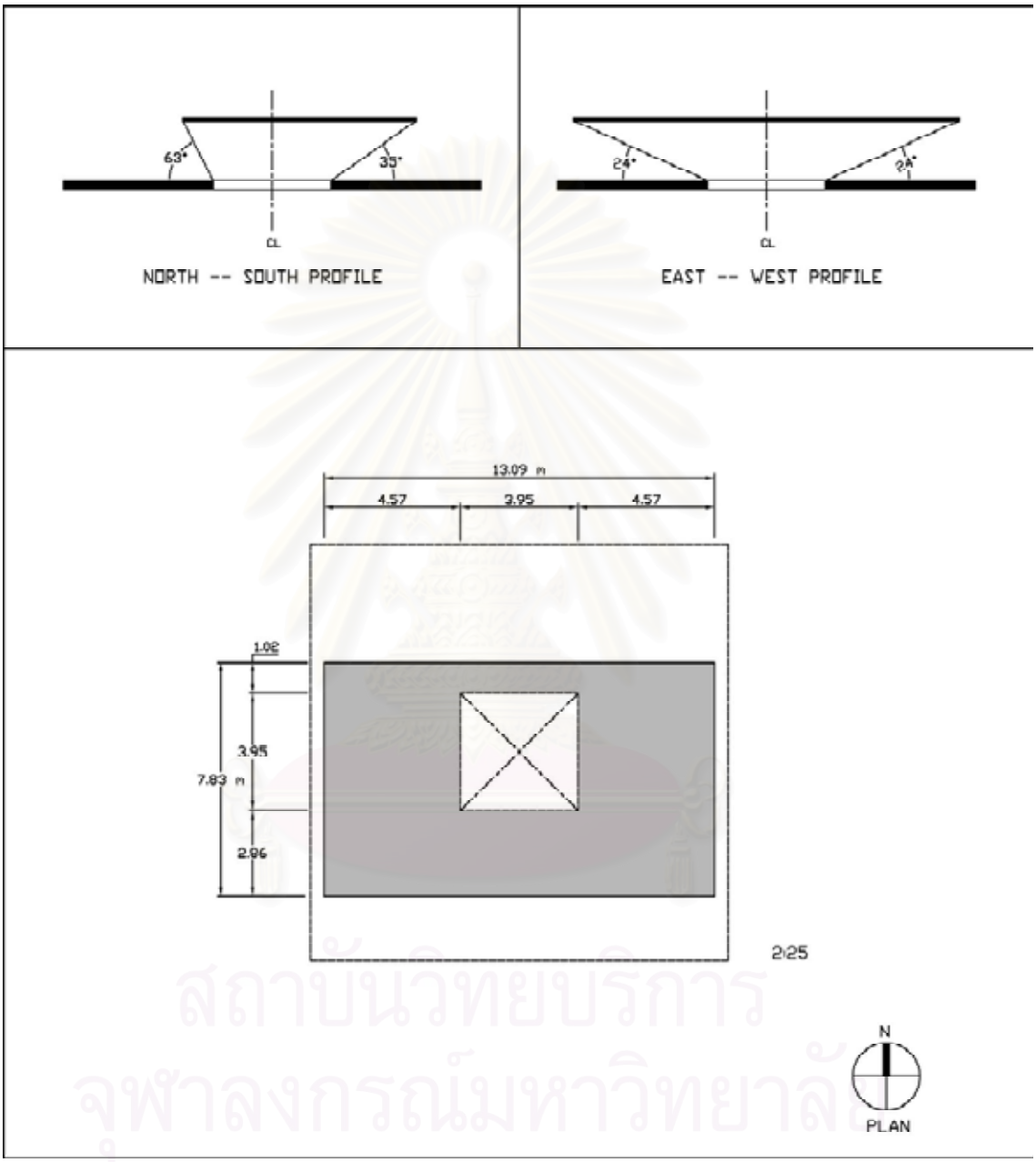


รูปภาพที่ 3.7 แสดงสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานในขนาดต่างๆ

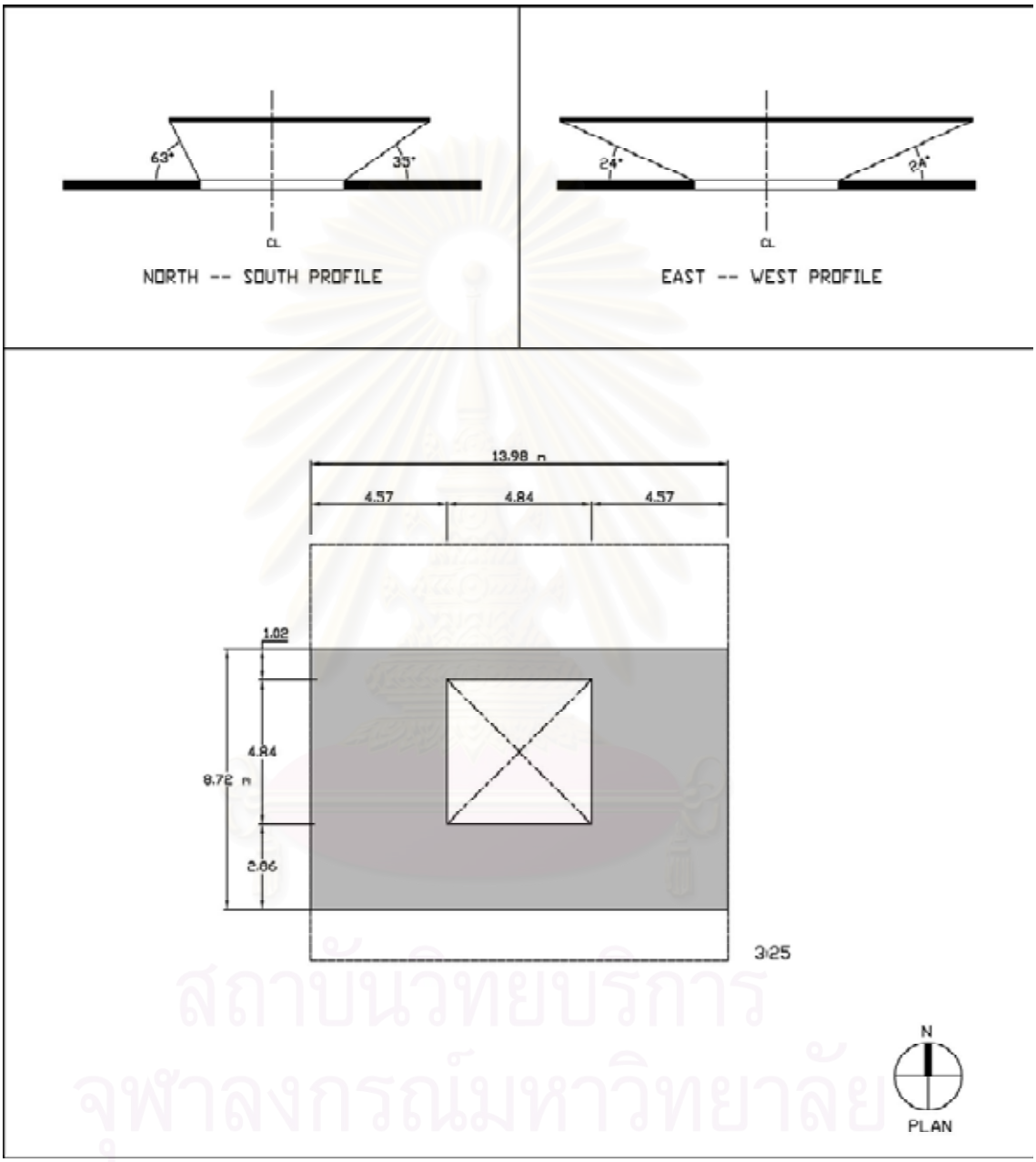
การป้องกันแสงอาทิตย์เข้าสู่ภายในนั้น กำหนดระยะของส่วนยื่น (overhang) กันแดดในทิศต่างๆ ของหุ่นจำลอง โดยสามารถควบคุมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ได้ตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น.



รูปภาพที่ 3.8 แสดงการวิเคราะห์มุม Profile และการบังแดด
ของพื้นที่ช่องเปิด 4%



รูปที่ 3.9 แสดงการวิเคราะห์มุม Profile และการบังแดด
ของพื้นที่ช่องเปิด 8%



รูปที่ 3.10 แสดงการวิเคราะห์มุม Profile และการบังแดด
ของพื้นที่ช่องเปิด 12%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

การวัดหรือการอ่านค่าต่างๆ ในการวิจัยมักมีการคลาดเคลื่อนต่างๆ เกิดขึ้นเสมอ สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ความคลาดเคลื่อนที่เป็นประเด็นหลัก คือ ความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากเครื่องมือวัดแสงและวิธีการใช้เครื่องมือเหล่านี้ วิธีการปรับเครื่องมือให้มีความถูกต้องในการอ่านค่าเปรียบเทียบเครื่องมือวัดแสง เป็นขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนแต่มีความน่าเชื่อถือ ปัญหาที่เกี่ยวกับขั้นตอนเฉพาะที่ใช้ในงานวิจัย ปัญหาเกี่ยวกับการวัดค่าสะท้อนแสงและปัญหาเกี่ยวกับหุ่นจำลองที่ใช้ทดสอบจะถูกนำมากล่าวถึงตามลำดับ

หากจะแบ่งประเภทของความคลาดเคลื่อนที่เกิดสำหรับงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic error หรือ fixed error) และความคลาดเคลื่อนเชิงการสุ่ม (random error หรือ precision error)

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic error) คือ ความคลาดเคลื่อนที่ผิดพลาดไปจากค่าจริง อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าจริงแต่เป็นไปอย่างคงที่สม่ำเสมอในขั้นตอนการวัดและเกิดขึ้นกับกรณีต่างๆ ทั้งหมดจึงถือว่ามีผลต่อกลุ่มตัวอย่างเท่าเทียมกัน สาเหตุของความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้ขึ้นกับวิธีการปรับความเที่ยงตรงในการอ่านค่าของเครื่องมือ ความคงที่ของสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ เป็นต้น

ความคลาดเคลื่อนเชิงการสุ่ม (random error) คือ ตัวแทนของความคลาดเคลื่อนอย่างไม่คงที่ บางครั้งมากกว่าค่าจริงบางครั้งน้อยกว่าค่าจริงคละกัน ต่างจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ความคลาดเคลื่อนเชิงการสุ่มจะเกิดขึ้นกับกรณีการศึกษาเพียงบางกลุ่ม แต่ละกรณีศึกษาได้รับผลกระทบไม่เท่ากันและไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันด้วย สาเหตุของความคลาดเคลื่อนเชิงการสุ่มยากที่จะชี้เฉพาะลงไป บางครั้งอาจมาจากผู้ดำเนินการทดลองในการวัด การวิเคราะห์ข้อมูลหรือมาจากสาเหตุอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 แนวความคิดในการวิจัย

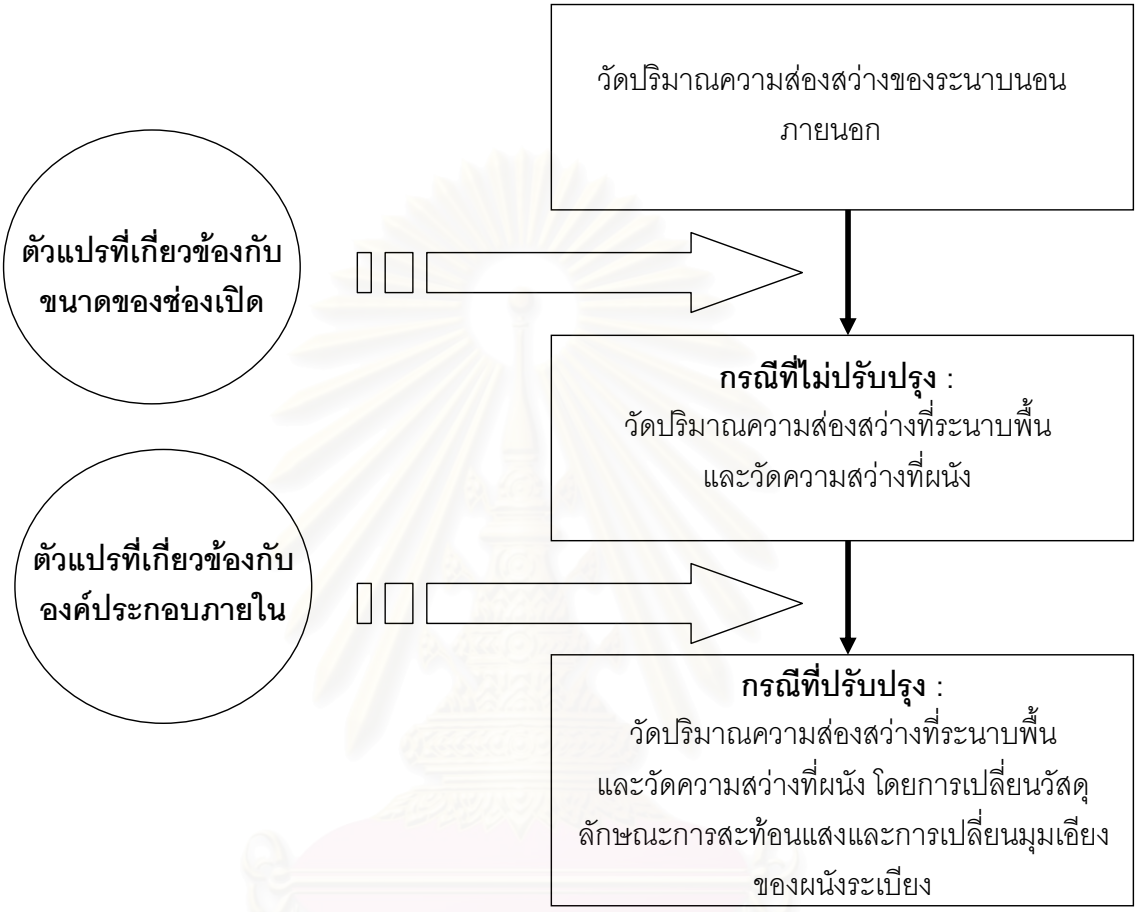
จุดประสงค์หลักในการวิจัยครั้งนี้ คือ การศึกษาปัจจัยในการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคารที่มีผลกระทบต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดินผ่านทางช่องเปิดด้านบนและสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนองค์ประกอบภายในอาคาร โดยการพิจารณาปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level) ที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งานและการกระจายแสง (luminance distribution) เปรียบเทียบกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงกับกรณีที่มีการปรับปรุง ดังนั้นแนวความคิดในการศึกษาถึงผลกระทบจากปัจจัยที่กล่าวมานั้น จากการทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาปริมาณของแสงเริ่มแรก (light source) ที่เข้าสู่อาคารผ่านช่องเปิดและการกระจายแสง (light distribution) ภายในอาคาร ที่กำหนดแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดิน ดังนี้

1) เริ่มแรกโดยการพิจารณาขนาดของอาคาร (ขนาดผังพื้นและความสูง) พิจารณาจากที่ตั้งของอาคาร ความต้องการการใช้งานภายในอาคาร ปัจจัยทางการลงทุนและสภาพแวดล้อมข้างเคียง เป็นต้น

2) ต่อมาผู้วิจัยแบบพิจารณาในการจัดวางพื้นที่ภายใน ตำแหน่งและพื้นที่ของหน้าต่าง ผนังภายใน วัสดุตกแต่งต่างๆ เป็นต้น

3) ลำดับสุดท้ายคือการตัดสินใจเลือกรูปแบบและลักษณะของช่องเปิด โดยพิจารณาสภาพอากาศ ลักษณะของแสงที่ต้องการเข้ามาในอาคารและรายละเอียดอื่นๆ ในขั้นตอนนี้ต้องการการประเมินเกณฑ์การใช้แสงเบื้องต้น เครื่องมือในการประเมิน ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะและประสิทธิภาพของแสงที่ผ่านช่องเปิดเข้ามา ด้วยการใช้เครื่องมือและข้อมูลในการประเมินเบื้องต้น ผู้ออกแบบสามารถคาดการณ์ลักษณะและสภาพของแสงได้จากสภาพภายนอกอาคารและลักษณะภายในอาคารเบื้องต้นได้ ต่อจากนั้นผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจเลือกรูปแบบของช่องเปิดตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ เพื่อได้ลักษณะของแสงที่ต้องการโดยการปรุงปรุงตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในรูปภาพที่ 3.11 แสดงแนวความคิดเบื้องต้นในการวัดแสงธรรมชาติ ดังที่แสดงในแผนผังเริ่มแรกทำการวัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) บนระนาบนอนภายนอกอาคาร จากนั้นทำการวัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) บนระนาบพื้นภายในอาคารและการกระจายแสง (luminance distribution) ขององค์ประกอบภายในอาคาร ข้อมูลที่วัดได้ใช้เป็นกรณีอ้างอิง (base case) จากนั้นเปรียบเทียบข้อมูลจากการวัดแสงในลักษณะเดียวกันนี้กับกรณีที่มีการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการใช้แสงธรรมชาติทั้งด้านปริมาณและคุณภาพว่าในกรณีใดเกิดประโยชน์สูงสุด



รูปภาพที่ 3.11 แสดงแนวความคิดเบื้องต้นในการวัดแสงธรรมชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.8 ตัวแปรในงานวิจัย (research variables)

3.8.1 ตัวแปรตาม (dependent variables)

ตัวแปรตามที่ศึกษาด้านปริมาณของแสง คือ ปริมาณความส่องสว่าง (illumination level) ที่ใช้ในงานวิจัย คือ Daylight Factor (DF) เป็นปริมาณความส่องสว่างภายในเปรียบเทียบกับภายนอกในสภาพแสง diffuse sky และ direct sun แสดงในสมการที่ 3.1

$$DF = \frac{E_{di}}{E_{do}} \qquad (3.1)$$

โดยที่ E_{di} = ปริมาณความส่องสว่างระนาบนอนภายใน

E_{do} = ปริมาณความส่องสว่างระนาบนอนภายนอก

ตัวแปรตามที่ศึกษาด้านคุณภาพของแสงธรรมชาติ คือ อัตราส่วนความสว่าง (luminance ratio) เป็นอัตราส่วนของความส่องสว่างบนพื้นที่รับแสง (task area) และความสว่างของมุมมองที่มองเห็น (the field of vision) แสดงในสมการที่ 3.2 ในการวิจัยครั้งนี้การเปรียบเทียบอัตราส่วนกำหนดให้พื้นที่รับแสง คือ ส่วนของผนัง เปรียบเทียบกับพื้นที่กำหนดเป็นมุมมอง คือ พื้นที่ระเบียงเป็นสิ่งที่ทำการพิจารณาในด้านคุณภาพของแสง

$$LR = \frac{L_v}{L_s} \qquad (3.2)$$

โดยที่ L_V = ความสว่างของพื้นที่รับแสง

L_S = ความสว่างของมุมมองที่มองเห็นโดยรอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.8.2 **ตัวแปรต้น** (independent variables)

ในการวิจัยครั้งนี้ตัวแปรต้นเริ่มแรกที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งาน (ratio of aperture area to floor area) แสดงในสมการที่ 3.3

$$AF = \frac{A_a}{A_f} \qquad (3.3)$$

โดยที่ A_a = ขนาดของช่องเปิด

A_f = ขนาดของพื้นที่ใช้งาน

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานที่ใช้ในงานวิจัยมี 3 ขนาด คือ

- สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้งาน
- สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด 8% ของพื้นที่ใช้งาน
- สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด 12% ของพื้นที่ใช้งาน

3.8.3 **ตัวแปรต้นที่มีความซับซ้อน** (confounding independent variables)

ปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level) และ การกระจายแสง (luminance distribution) ที่ทำการศึกษาเป็นผลที่เกิดระหว่างสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานกับสภาพภายนอกที่เป็นตัวกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร และลักษณะของแสงที่กระจายไปยังส่วนต่างๆในอาคารขึ้นอยู่กับการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เหล่านี้นิยามความหมายโดยรวมว่า ตัวแปรต้นที่มีความซับซ้อน (confounding independent variables) รายละเอียดของการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน (interior components) ทำการปรุงปรุงเปรียบเทียบการใช้มุมเอียงของระเบียงโดยรอบโถงอาคาร โดยใช้มุมเอียง 70°จากระนาบนอนกับระเบียงที่ไม่ใช้มุมเอียง และการใช้วัสดุที่มีลักษณะการสะท้อนแสงที่ต่างกัน รายละเอียดที่เป็นคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1
ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ของวัสดุที่ใช้เป็นผนังระเบียง

วัสดุ	ปริมาณความส่องสว่าง	ปริมาณความสว่าง	ค่าการสะท้อนแสง
ผนังสีขาวด้าน	480lux	130 cd/m^2	85 %
ผนังกระจกสะท้อนแสง	480 lux	53.5 cd/m^2	35 %

3.8.4 **ค่าคงที่** (constants)

ในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดินผ่านทางช่องเปิดด้านบนของตัวอาคาร ยังมีตัวแปรอย่างอื่นนอกเหนือจากที่ทำการศึกษาได้กำหนดให้เป็นค่าคงที่ คือ ค่าการสะท้อนแสงของพื้นและผนังได้พิจารณากำหนดให้เป็นค่าคงที่ตามสภาพการใช้งานในความเป็นจริง

ในการหาค่าการสะท้อนแสง (reflectance) ของวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุพื้นและผนัง ทั้งปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) และความสว่าง (luminance) โดยการวัดในสภาพแสงกระจาย (diffuse light) ในห้องจำลองสภาพท้องฟ้า การหาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุจากสมการที่ 3.4

$$\rho = \frac{\pi L}{E} * 100(\%) \qquad (3.4)$$

เมื่อ ρ = ค่าการสะท้อนแสง [%]

L = ปริมาณความสว่าง [cd/m^2]

E = ปริมาณความส่องสว่าง [lux]

การวัดปริมาณแสงและการคำนวณค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ในการทำหุ่นจำลองแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2
ค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ของวัสดุพื้นและผนัง

วัสดุ	ปริมาณความส่องสว่าง	ปริมาณความสว่าง	ค่าการสะท้อนแสง
กระดาษสีเทาสำหรับพื้น	480lux	46 cd/m^2	30 %
กระดาษสีขาวสำหรับผนัง	480 lux	130 cd/m^2	85 %

จากสมการที่ 3.4 สามารถหาค่าปริมาณความสว่าง (luminance) ได้จากสมการที่ 3.5

$$L = \frac{(E * \rho)}{\pi} \qquad (3.5)$$

เมื่อ L = ปริมาณความสว่าง [cd/m^2]

E = ปริมาณความส่องสว่าง [lux]

ρ = ค่าการสะท้อนแสง [%]

ส่วนตารางที่ 3.3 สรุปตัวแปรและค่าคงที่ใช้ในการวัดแสงของหุ่นจำลองที่ใช้ในการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์จากการนำแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดินผ่านทางช่องเปิดด้านบน

ตารางที่ 3.3
ตัวแปรและค่าคงที่ใช้ในการวัดแสง

องค์ประกอบในการออกแบบ	ตัวแปร	ชนิดของตัวแปร
สภาพแสงภายใน	Daylight Factor (DF%)	ตัวแปรตาม
	Luminance Ratio	ตัวแปรตาม
สภาพแสงภายนอก	Clear Sky	ตัวแปรต้น
	Overcast Sky	ตัวแปรต้น
	Sun Altitude Angle	ตัวแปรต้น
องค์ประกอบภายใน	ค่าการสะท้อนแสงของผนังและฝ้าเพดาน	ค่าคงที่ (85%)
	ค่าการสะท้อนแสงของพื้น	ค่าคงที่ (30%)
ผนังระเบียงภายใน มุม 90°	ผนังทาสีขาวด้าน	ตัวแปรต้น
และ 70 ° ทำมุมกับระนาบนอน	ผนังกระจกสะท้อนแสง	ตัวแปรต้น
ขนาดพื้นที่ช่องเปิด	4%	ตัวแปรต้น
	8%	ตัวแปรต้น
	12%	ตัวแปรต้น

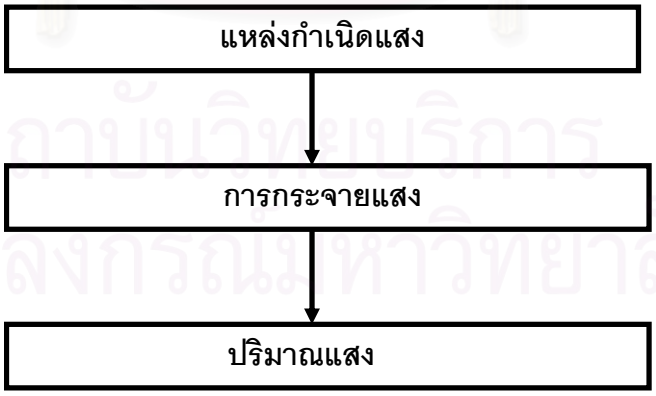
บทที่ 4

การพิจารณาการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

การศึกษาในบทนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำการศึกษาในหุ่นจำลองตัวอย่าง เพื่อหาปัจจัยในการปรับปรุงองค์ประกอบภายในที่มีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติ ผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนองค์ประกอบภายใน โดยพิจารณาปริมาณความส่องสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่ใช้งาน การกระจายแสงขององค์ประกอบภายในและอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น ส่วนที่สอง นำผลการทดลองที่ได้จากหุ่นจำลองตัวอย่างไปประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกับการศึกษาในส่วนแรก โดยทำการเปรียบเทียบในกรณีที่ไม่ทำการปรับปรุงและในกรณีที่มีการปรับปรุงองค์ประกอบภายในแล้ว

4.1 การวิเคราะห์ปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level)

จากรูปภาพที่ 1.2 ในบทที่ 1 ที่แสดงแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน การวิเคราะห์ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้น เริ่มแรกวิเคราะห์ปริมาณความส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง (light source) การกระจายแสง (light distribution) ไปยังทิศทางที่ต้องการแล้วทำการพิจารณาปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานว่าในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกันอย่างไร



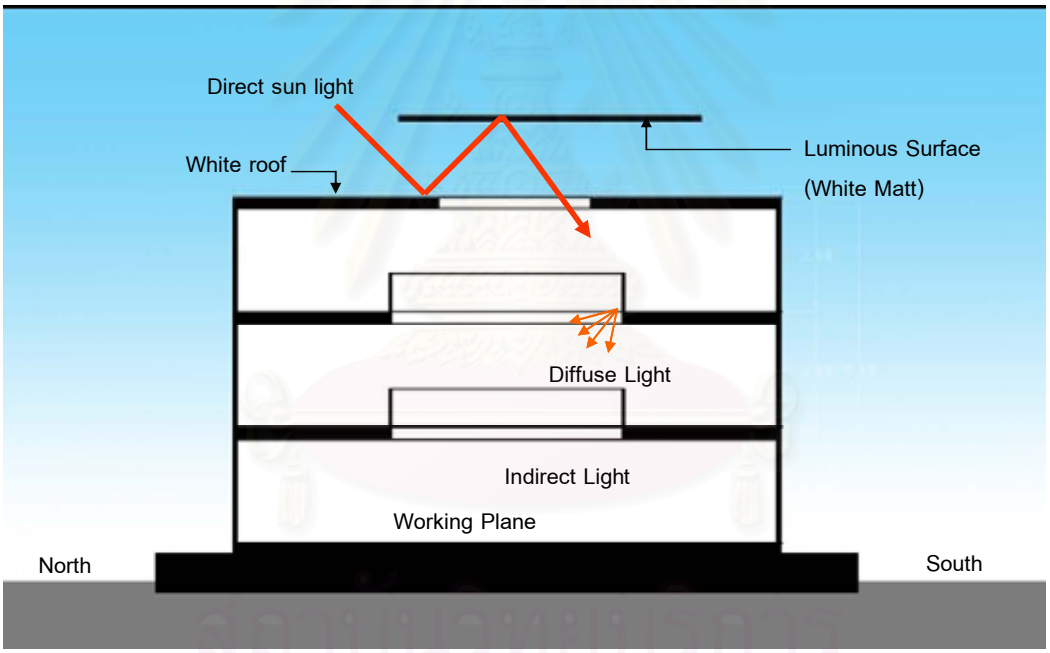
รูปภาพที่ 4.1 แสดงแนวทางในการวิเคราะห์ปริมาณความส่องสว่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 การประมาณปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารเบื้องต้น

จากการใช้รูปแบบของช่องเปิดด้านบนแบบ Clerestories เป็นรูปแบบหลักในการวิจัย ในเบื้องต้นสามารถประมาณปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในอาคารอย่างคร่าวๆ ได้จากการคำนวณดังตัวอย่าง

โดยหลักการของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านรูปแบบของช่องเปิดด้านบนแบบ Clerestories อาศัยแสงสะท้อนแบบ indirect light ที่ผ่านช่องเปิดด้านข้างสะท้อนกับฝ้าเพดานแล้วกระจายแสงลงสู่ภายในอาคาร โดยพื้นผิวของฝ้าเพดานที่สะท้อนแสงทำหน้าที่เสมือนแหล่งกำเนิดแสงภายใน (luminous surface) ที่กระจายแสงลงสู่ภายในอาคาร แสดงดังรูปภาพที่ 4.2



รูปภาพที่ 4.2 แสดงหลักการของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านรูปแบบของช่องเปิดด้านบนแบบ Clerestories

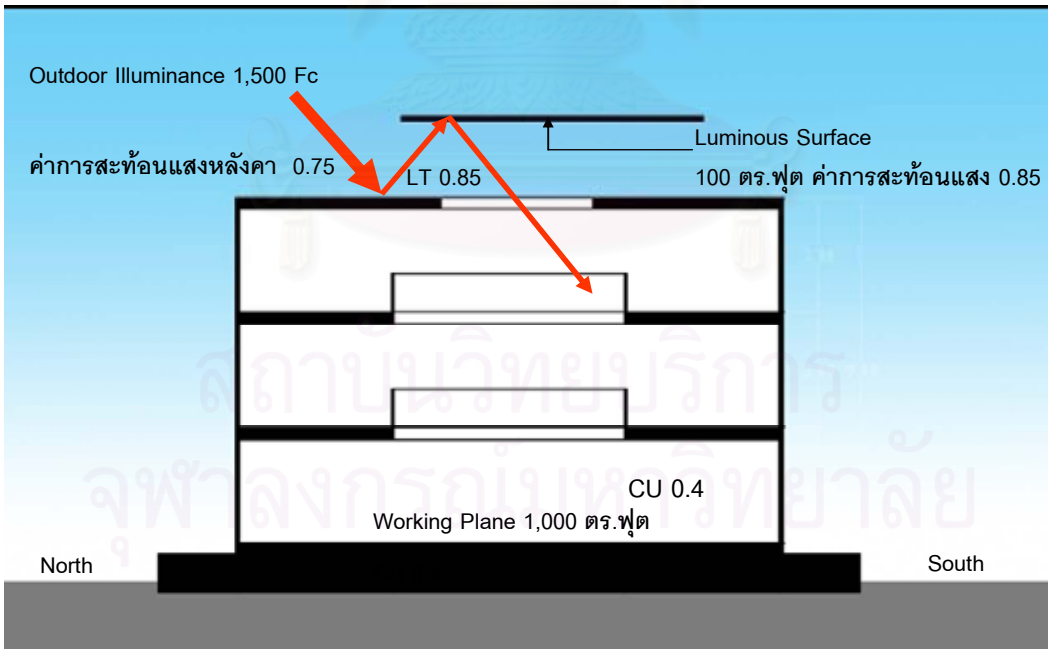
โดยลักษณะของการสะท้อนแสงของฝ้าเพดานที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงภายใน (luminous surface) ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวว่ามีลักษณะการสะท้อนแสงแบบใด อย่างในรูปภาพที่ 4.2 ฝ้าเพดานทาสีขาวผิวด้านด้าน (white matte) ลักษณะแสงที่สะท้อนเป็นแบบแสงกระจาย (diffuse light) ประสิทธิภาพของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ขึ้นอยู่กับ

- แหล่งกำเนิดแสง (light source) ได้แก่ สภาพของท้องฟ้า ค่าสะท้อนแสงภายนอก
- luminous surface ได้แก่ ค่าการสะท้อนแสง ลักษณะของพื้นผิว ขนาดพื้นที่
- คุณสมบัติของกระจก ได้แก่ ค่าการส่องผ่านแสง (light transmittance)

ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้

รูปแบบของช่องเปิดด้านบนแบบ Clerestories มีความสูงของช่องเปิด เท่ากับ 2 เมตร ค่าการส่องผ่านของกระจกที่ใช้เป็นช่องเปิด เท่ากับ 0.85 ความส่องสว่างของท้องฟ้าภายนอก 1,500 ฟุตแคนเดิล ค่าสะท้อนแสงของผิวหลังคาภายนอก 0.75 ค่าสะท้อนแสงของฝ้าเพดานภายใน 0.85 มีพื้นที่ของฝ้าเพดาน เท่ากับ 100 ตารางฟุต มีพื้นที่ใช้งานภายในเท่ากับ 1,000 ตารางฟุต มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน (coefficient of utillization) 0.4 (ในระดับทั่วไป) แสดงดังรูปภาพที่ 4.3



รูปภาพที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเบื้องต้น

1. ความส่องสว่างภายนอก x ค่าการสะท้อนแสงของหลังคา

   1,500 x 0.75 = 1,125 fc (แสง indirect ที่สะท้อน)

2. ความส่องสว่างที่สะท้อนจากหลังคา x ค่าการส่องผ่านของกระจก

   1,125 x 0.85 = 956.25 fc (แสงที่ผ่านกระจก)

3. ความส่องสว่างที่ผ่านกระจก x ค่าการสะท้อนแสงของฝ้าเพดาน

   956.25 x 0.85 = 820.46 fl (ความสว่างที่สะท้อนจากฝ้าเพดาน)

4. ความสว่างที่สะท้อนจากฝ้าเพดาน x พื้นที่ของฝ้าเพดาน

   820.46 x 100 = 82,046 lumen (ความส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง)

5. ความส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง / พื้นที่รับแสง

   82,046 /1,000 = 82.04 fc (ความส่องสว่างที่พื้นที่รับแสง)

6. ความส่องสว่างที่พื้นที่รับแสง x ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน

   82.04 x 0.4 = 32.81 fc (ความส่องสว่างที่พื้นที่รับแสง)

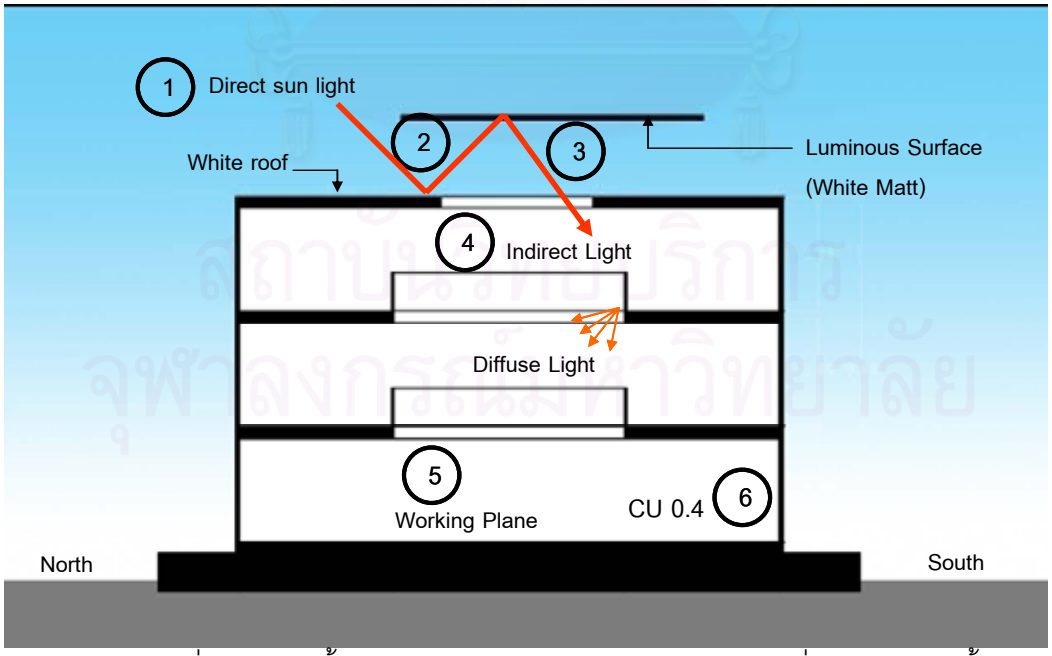
   = 328 lux (ความส่องสว่างที่พื้นที่รับแสง)

7. เนื่องจากมีช่องเปิด 2 ด้าน

   32.81 x 2 = 65.62 fc (ความส่องสว่างที่พื้นที่รับแสง)

   = 656.2 lux (ความส่องสว่างที่พื้นที่รับแสง)

ขั้นตอนการคำนวณ แสดงในรูปภาพที่ 4.4



รูปภาพที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องเปิดเบื้องต้น

จากตัวอย่างการคำนวณ แสดงว่าในการวิเคราะห์ปริมารความส่องสว่างในเบื้องต้นการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานในขนาดต่างๆ นั้น

- สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด 4% ของพื้นที่ใช้งาน
- สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด 8% ของพื้นที่ใช้งาน
- สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด 12% ของพื้นที่ใช้งาน

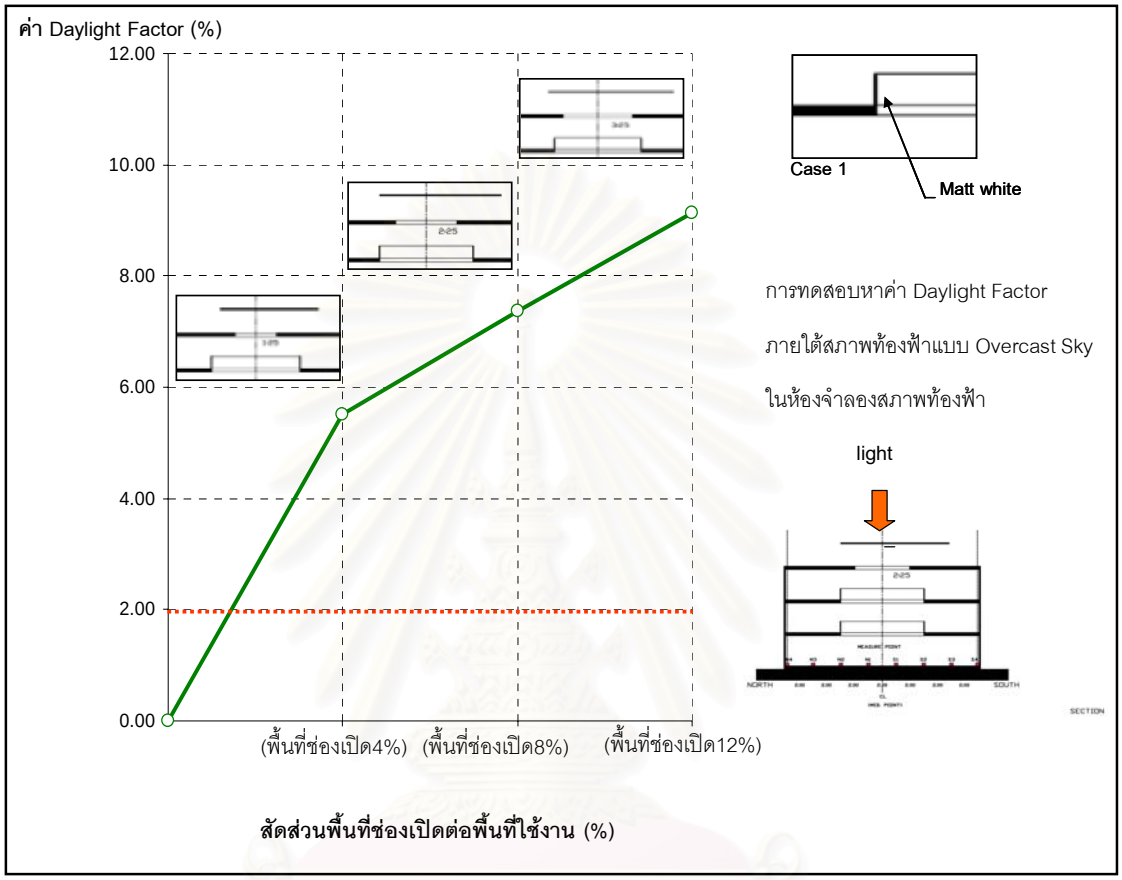
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดมากที่สุด คือ 12% ของพื้นที่ใช้งาน ย่อมมีปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นมากที่สุดเพราะมีปริมาณความส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดมากที่สุดนั่นเอง

ผู้ออกแบบสามารถประมาณปริมาณความส่องสว่างในเบื้องต้นที่เกิดขึ้นในอาคารได้ จากการคำนวณนี้ผู้ออกแบบสามารถคำนวณหาสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานได้ว่าควรมีสัดส่วนเท่าไร การพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆ ย่อมมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้น เช่น การเพิ่มพื้นที่ของช่องเปิด การเพิ่มค่าการสะท้อนแสง ย่อมทำให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในความจริงปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ใช้งานย่อมมีปริมาณความส่องสว่างไม่เท่ากัน ตามลักษณะของการกระจายแสงไปยังส่วนต่างๆ การทดสอบโดยการใช้หุ่นจำลองเป็นการวิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไป ค่าการค่าปริมาณความส่องสว่างสูงสุด – ต่ำสุด การพิจารณาความสม่ำเสมอของแสง เป็นต้น ในส่วนที่กล่าวถึงต่อไปเป็นการวัดปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในหุ่นจำลอง ในสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานในขนาดต่างๆ เพื่อวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ต่อไป

4.1.2 **การวิเคราะห์ค่า** Daylight Factor

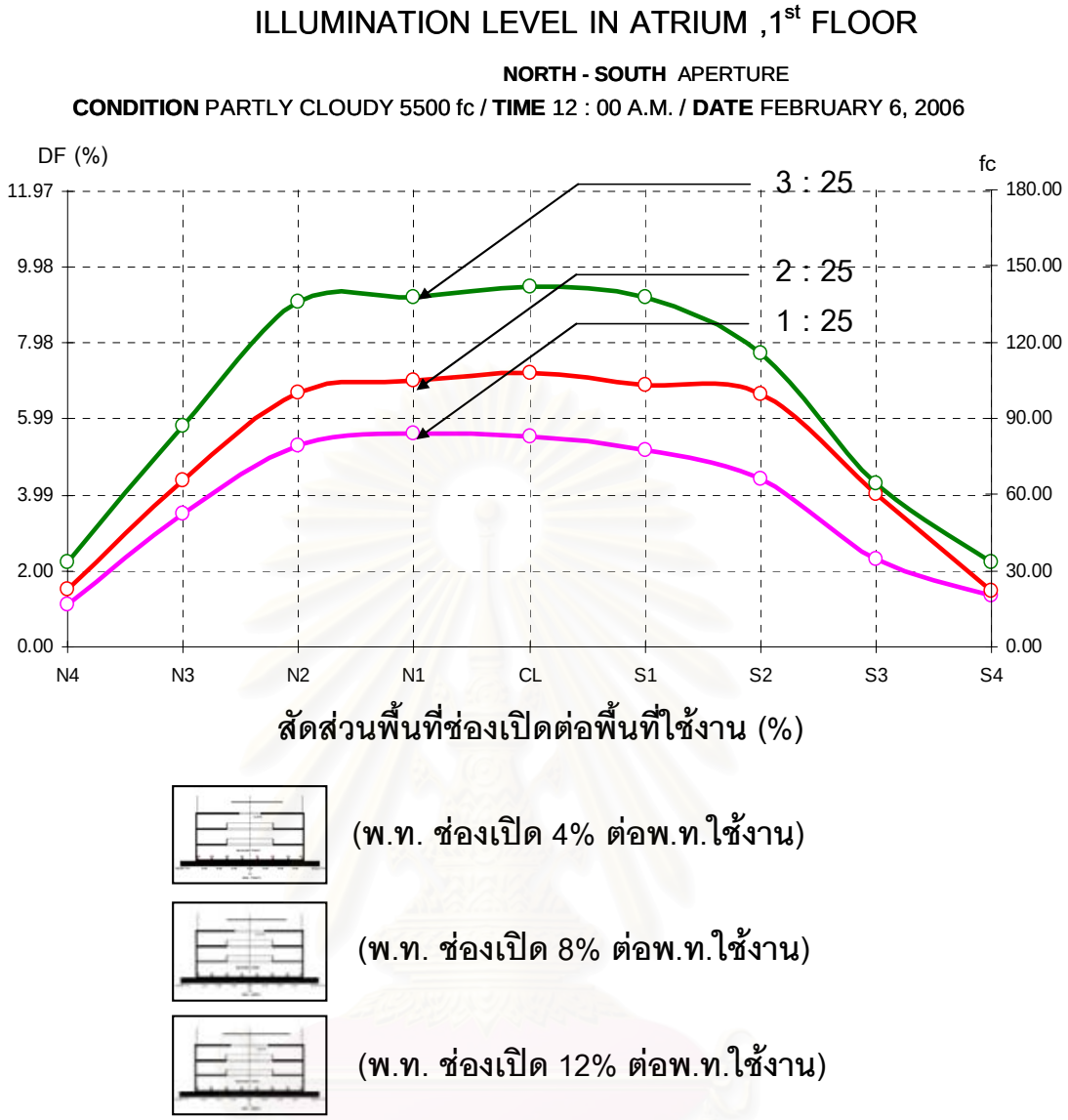
ค่า Daylight Factor เป็นข้อมูลที่คำนวณจากการวัดปริมาณความส่องสว่าง (illuminance) เพื่อวิเคราะห์หาสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งาน (ratio of aperture area to floor area) ที่น้อยที่สุดในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ พิจารณาจากค่า Daylight Factor จากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ค่า Daylight Factor โดยเฉลี่ยที่นำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร คือ 2% (จากตารางที่ 2.3)

จากแผนภูมิที่ 4.1 พบว่าสัดส่วนของพื้นพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานที่จุดกึ่งกลางพื้นชั้นล่าง ขนาดช่องเปิด 4% มีค่า Daylight Factor เท่ากับ 5.50% ในขนาดช่องเปิด 8% มีค่า Daylight Factor เท่ากับ 7.37% และในขนาดช่องเปิด 12% มีค่า Daylight Factor เท่ากับ 9.12% พบว่าสัดส่วนของพื้นพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งาน 4% เป็นสัดส่วนของพื้นพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานที่น้อยที่สุดที่ ค่า Daylight Factor ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (จากตารางที่ 2.2)



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่างๆ กับค่า Daylight Factor (%) ที่จุดกึ่งกลางพื้นภายใน

จากนั้นทำการทดลองวัดแสงภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง เพื่อศึกษาผลกระทบถึงปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในขนาดช่องเปิดแต่ละขนาด นำเสนอผลการทดลองในแผนภูมิที่ 4.2



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่างๆ กับค่า Daylight Factor (%) ในแนวเหนือ – ใต้

ในการทดลองวัดแสงในหุ่นจำลอง เพื่อพิจารณาปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นเป็นค่า Daylight Factor (%) และคำนวณย้อนกลับเป็นปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้น ทำการวัดในแนวทิศเหนือ-ใต้ ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน เวลา 12:00 น. วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2549 ผลการทดลองที่ได้จากแผนภูมิที่ 4.2 ผลการทดสอบระดับความส่องสว่างเป็นค่า Daylight Factor (%) ในแนวระนาบ ที่ระดับพื้นใช้งาน การใช้ช่องเปิดด้านบนแบบ Clearstories จะมีรูปแบบการกระจายตัวของแสงเป็นรูประฆังคว่ำ มีลักษณะยอดระฆังเบี่ยงไปทางด้านเหนือ สาเหตุจากการได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่มีวงโคจรอ้อมไปทางด้านใต้ในวันที่ทำการทดสอบ มีค่าความแตกต่าง

ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุด ในสัดส่วนของพื้นพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุด ในสัดส่วนของพื้นพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานขนาดต่างๆ

สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด / พื้นที่ใช้งาน	ค่า Daylight Factor ต่ำสุด (%)	ค่า Daylight Factor สูงสุด (%)	ค่าความแตกต่าง
4%	1.11	5.61	4.50
8%	1.52	7.37	5.85
12%	2.15	10.29	8.14

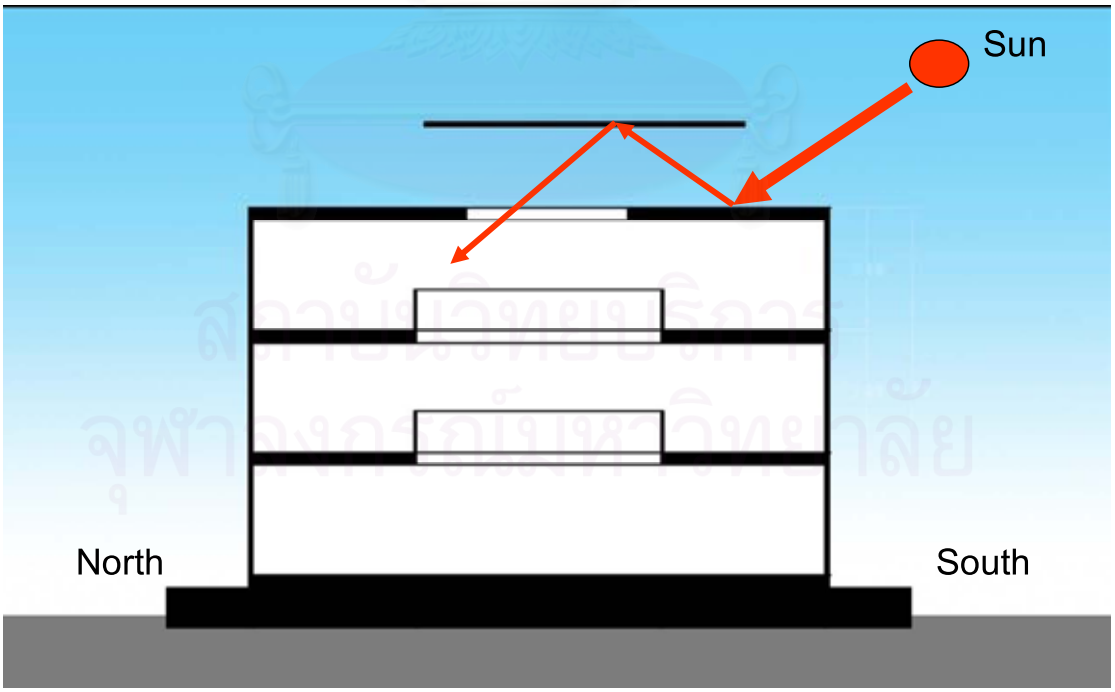
จากตารางที่ 4.1 พบว่าพื้นที่ช่องเปิด 12% มีความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุด – ต่ำสุด (8.14%) มากที่สุด ทำให้แสงภายในไม่มีความสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับของพื้นพื้นที่ช่องเปิด 4% ที่มีความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุด – ต่ำสุด (4.50%) น้อยที่สุด ทำให้มีความสม่ำเสมอของแสง (uniform light) มากกว่า

จากแผนภูมิที่ 4.2 พบว่าค่า Daylight Factor บริเวณตำแหน่งที่ N4 และ S4 ซึ่งเป็นบริเวณริมผนังจะมีค่า Daylight Factor ที่น้อยกว่าเกณฑ์เล็กน้อย ซึ่งเป็นบริเวณริมผนังมีค่า Daylight Factor น้อยกว่าบริเวณตรงกลางที่เป็นช่องเปิดโล่ง เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของ Daylight Curve จะสังเกตคล้ายรูประฆังคว่ำ ซึ่งเป็นลักษณะของ Daylight Curve ปริมาณความส่องสว่าง ที่ได้จากการใช้ช่องเปิดด้านบนที่จะมีปริมาณความส่องสว่างมากกว่าบริเวณด้านข้าง ในการออกแบบรูปแบบช่องเปิดเพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้จากด้านบน ควรพิจารณาสังเกตได้จากลักษณะของ Daylight Curve บริเวณตำแหน่งที่มีปริมาณความส่องสว่างมากที่สุดกับปริมาณความส่องสว่างน้อยที่สุดไม่ควรแตกต่างกันมาก เพราะจะทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าและความไม่สม่ำเสมอของแสงภายใน

จากผลการทดสอบดังกล่าว เห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างภายในอาคารนอกจากจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารยังขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าภายนอกที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง (light source) ถึงแม้ว่าการปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแต่ความสว่างภายนอกอาคาร นอกจากดวงอาทิตย์แล้วยังมีท้องฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สำคัญ คือ ค่าความส่องสว่างของรังสีกระจายของท้องฟ้าภายนอก ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงหลักที่ถูกนำเข้ามาใช้ในอาคารโดยผ่านช่องเปิดแบบต่างๆ ดังนั้นในกรณีที่ท้องฟ้ามีอิทธิพลของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

(direct beam) สูง ในสภาพท้องฟ้าแบบ Clear Sky พบว่าปริมาณความส่องสว่างภายในสูงขึ้นอันเนื่องมาจากอิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสงตรง โดยผ่านการสะท้อนจากช่องเปิดและเช่นเดียวกับแสงกระจายจากท้องฟ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปริมาณแสงตรง (direct light) ต่อแสงกระจาย (diffuse light) ซึ่งจะมีสัดส่วนเปลี่ยนไปตามลักษณะของท้องฟ้า (จากบทที่ 2)

จากแผนภูมิที่ 4.2 เป็นการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของแสงธรรมชาติในแนวระนาบ (horizontal plane) ที่เข้าสู่อาคารจากทางด้านบนในช่วงเวลา 12.00 น. ในสภาพท้องฟ้าจริง โดยแสดงผลการทดลองค่าระดับความส่องสว่างเป็นค่า Daylight Factor (DF%) พบว่าการกระจายของแสงภายในมีค่าระดับความส่องสว่างสูงสุดบริเวณกลางห้องและมีระดับความส่องสว่างลดลงตามลำดับไปสู่บริเวณที่ใกล้กับผนังห้องทั้ง 4 ด้าน สังเกตได้จากแผนภูมิที่ 4.2 ที่มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ สาเหตุจากอิทธิพลของปริมาณแสงภายนอกที่เกิดจากสภาพท้องฟ้าและทิศทางของดวงอาทิตย์ มีลักษณะสมมาตรจากการทดลองวัดแสงในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่งตำแหน่งดวงอาทิตย์โคจรอยู่ตรงจุดกึ่งกลางเหนือศีรษะ เมื่อมองผ่านรูปตัดทางทิศตะวันออก – ตะวันตก อย่างไรก็ตามในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการทดสอบหุ่นจำลองในช่วงเดือนกันยายน – มกราคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว (winter solstice) เป็นช่วงที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์อยู่ทางทิศใต้ ทำให้ลักษณะของการกระจายแสงมีปริมาณความส่องสว่างภายในห้องทางด้านทิศเหนือมีปริมาณค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับด้านอื่นๆ ของห้อง แสดงในรูปภาพที่ 4.4



รูปภาพที่ 4.5 แสดงอิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อช่องเปิดทางด้านทิศใต้

ดังนั้นจากการพิจารณาอิทธิพลของแสงภายนอก พบว่าแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารนั้นได้รับอิทธิพลมาจากแสงภายนอก 2 ลักษณะ คือ รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (direct sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light) จากการวิเคราะห์ พบว่าลักษณะการกระจายของแสงและระดับความส่องสว่างภายในอาคารขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีตรงของดวงอาทิตย์และรังสีกระจายจากท้องฟ้า ค่าของปริมาณรังสีทั้ง 2 แบบนั้นขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าและมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อพื้นโลกในแนวระนาบซึ่งเปลี่ยนไปตามช่วงเวลา จากผลที่ได้ การทดลองในส่วนต่อไปได้มีการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคารในส่วนต่างๆ เพื่อเพิ่มปริมาณความส่องสว่างให้สูงขึ้น ทำการกระจายแสงในบริเวณที่มีแสงมากไปยังบริเวณที่มีแสงน้อย แสดงผลที่ได้ในการศึกษาในกรณีปรับปรุงต่อไป

4.1.3 ค่า Daylight Factor ของกรณีปรับปรุง (modified case)

แนวความคิดเบื้องต้นในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติ คือ จากแหล่งกำเนิดแสง (light source) เดียวกันของแต่ละกรณีมีคำถาม คือ ทำอย่างไรถึงจะใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้มากที่สุด แบ่งการพิจารณาได้ 2 ประเด็น

- การเพิ่มปริมาณความส่องสว่างในพื้นที่ใช้งาน
- การกระจายแสงโดยเพิ่มปริมาณความส่องสว่างในบริเวณด้านข้างให้มากขึ้นและลดความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุด – ต่ำสุด เพื่อความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น

ในการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน

1. การใช้มุมเอียงของผนังภายใน เป็นการลดจำนวนครั้งในการสะท้อนแสงภายในเพื่อเพิ่มปริมาณความส่องสว่างบริเวณพื้นที่ใช้งานในชั้นล่างสุด โดยมุมเอียงที่ใช้ คือ มุม 70° ทำมุมกับระนาบนอน เช่น white matte 70° หมายถึง ผนังระเบียงสีขาวด้าน มุมเอียง 70°
2. การเปลี่ยนวัสดุที่มีลักษณะการสะท้อนแสงจากแบบผิวด้านเป็นแบบผิวมัน เพื่อสะท้อนแสงไปยังบริเวณด้านข้างของพื้นที่ใช้งาน โดยวัสดุที่ใช้เปรียบเทียบกัน คือ วัสดุทาสีขาวด้าน (white matte) ที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflection) และกระจกสะท้อนแสง (reflective glass) ที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสือนกระจก (specular reflection) เช่น reflect 70° หมายถึง ผนังระเบียงกระจกสะท้อนแสงผิวมัน มุมเอียง 70° ทำมุมกับระนาบนอน

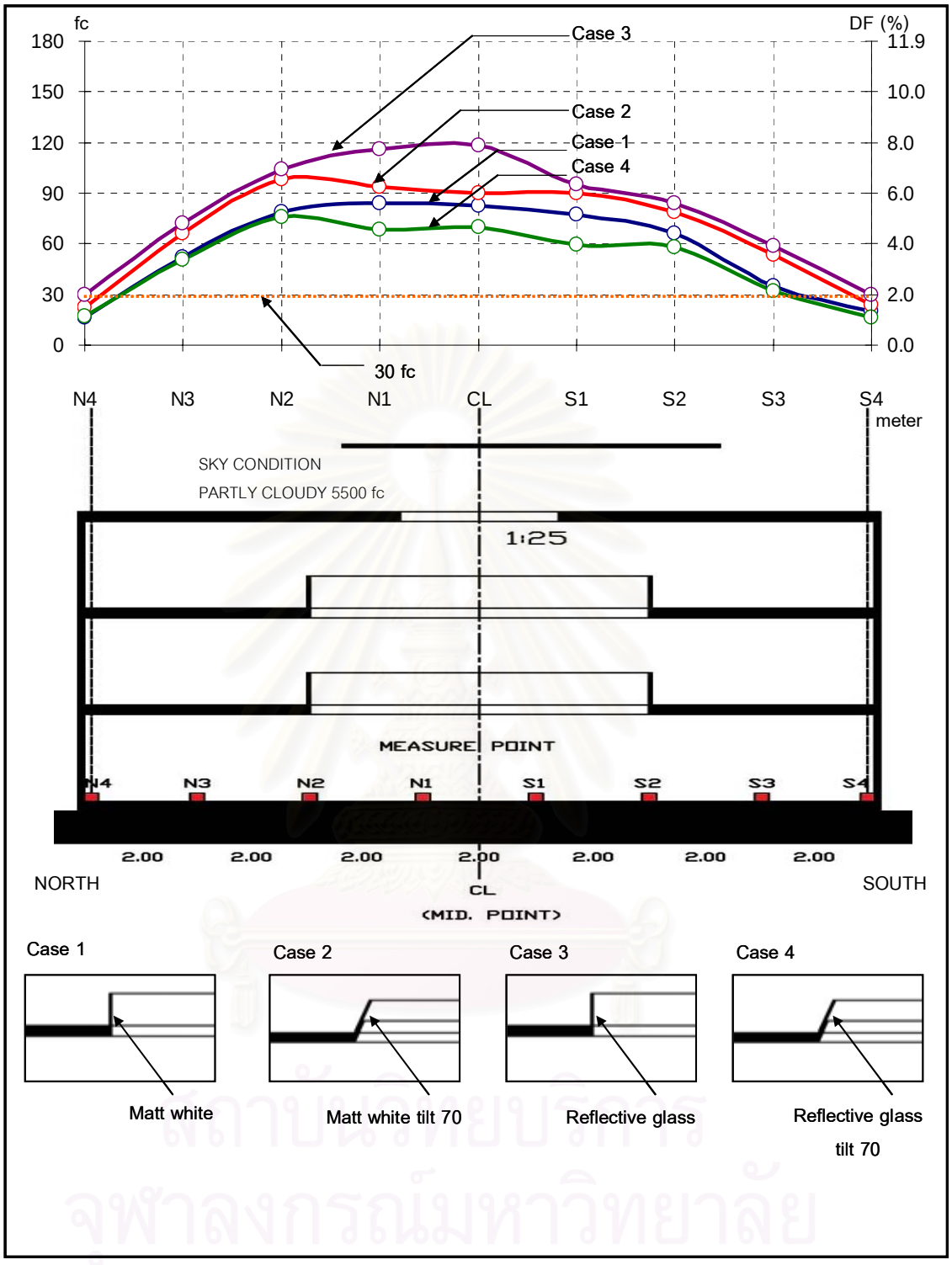
ดังนั้นในการพิจารณาการปรับปรุงในแต่ละกรณีว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น คือ การพิจาณาค่า Daylight Factor ค่าปริมาณความส่องสว่าง และลักษณะการกระจายตัวของแสงในกรณีต่างๆ ซึ่งการพิจารณาตัวแปรเหล่านี้ได้พิจาณาร่วมกับความสัมพันธ์ของสัดส่วนของพื้นพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานในขนาดต่างๆ ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดของช่องเปิด จะได้ผลของการทดลองไปในลักษณะเดียวกันหรือไม่

จากแผนภูมิที่ 4.3 พบว่าในขนาดช่องเปิด 4% เท่ากัน เมื่อทำการเปลี่ยนวัสดุและใช้มุมเอียงของผนังภายใน ปริมาณความส่องสว่างภายในเปลี่ยนแปลงไป โดยการใช้กระจกสะท้อนแสงไม่ปรับมุมเอียงมีปริมาณความส่องสว่างสูงสุด ค่า Daylight Factor 5.73% อันดับสอง คือ การใช้ผนังทาสีขาว ปรับมุมเอียง 70° ค่า Daylight Factor 5.04% อันดับสาม คือ การใช้ผนังทาสีขาว ไม่ปรับมุมเอียง ค่า Daylight Factor 5.04% ส่วนกรณีที่มีปริมาณความส่องสว่างน้อยที่สุด คือ กรณีที่ใช้ผนังกระจกสะท้อนแสง ปรับมุมเอียง 70° ค่า Daylight Factor 3.95% ค่าสูงสุด – ต่ำสุดของค่า Daylight Factor การปรับปรุงในแต่ละกรณี แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุด ในขนาดช่องเปิด 4%

กรณี	ค่า Daylight Factor ต่ำสุด (%)	ค่า Daylight Factor สูงสุด (%)	ค่าความแตกต่าง
reflect 90°	2.00	7.73	5.73
white matte70°	1.49	6.53	5.04
white matte 90°	1.11	5.61	4.50
reflect 70°	1.08	5.03	3.95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

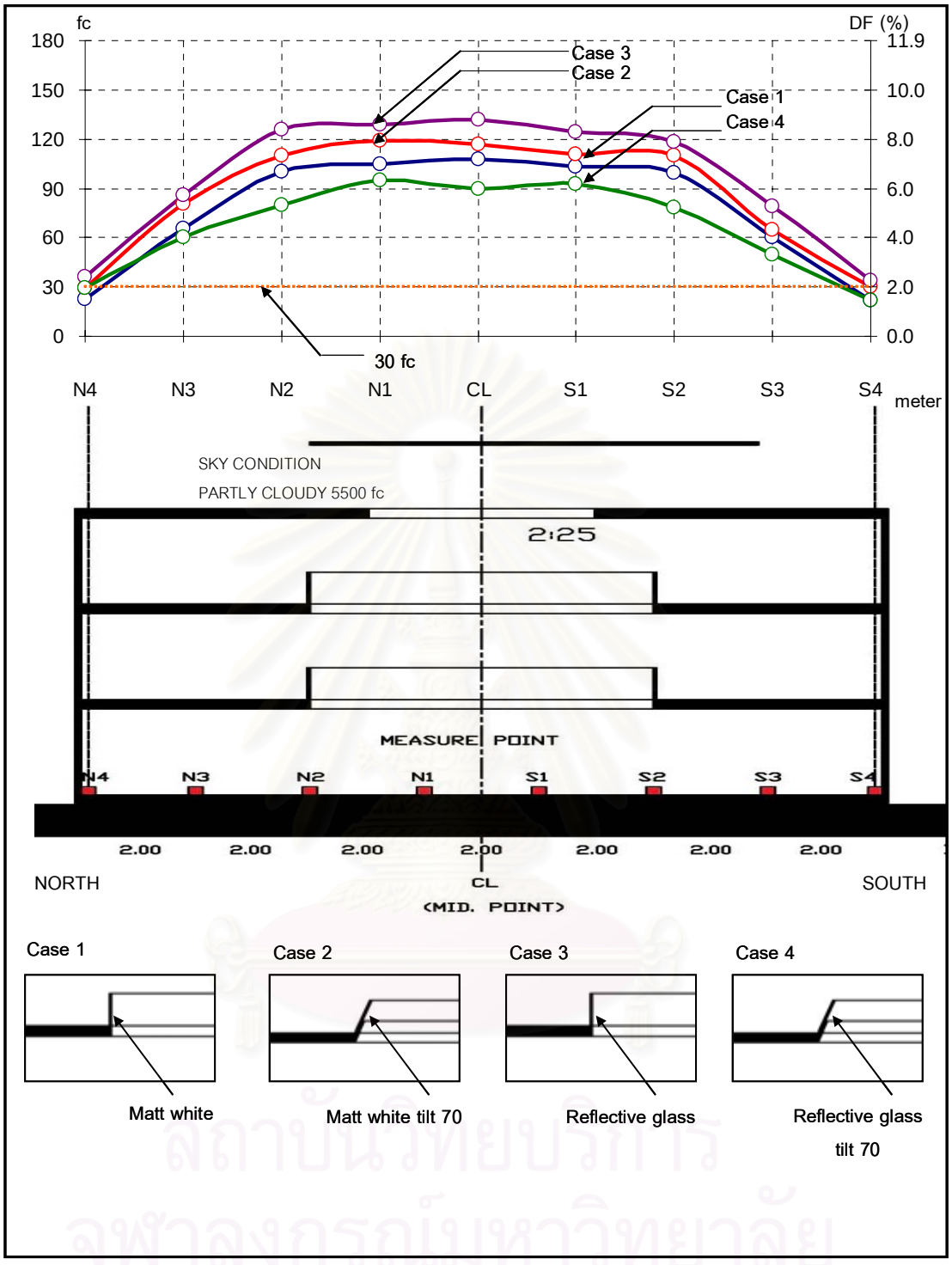


ILLUMINATION LEVEL IN ATRIUM / ALL CASE

NORTH – SOUTH APERTURE

CONDITION PARTLY CLOUDY SKY 5500 fc. / **TIME** 12.00 AM. / **DATE** FEBRUARY 20, 2006

แผนภูมิที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของขนาดช่องเปิด 4%



ILLUMINATION LEVEL IN ATRIUM / ALL CASE

NORTH – SOUTH APERTURE

CONDITION PARTLY CLOUDY SKY 5500 fc. / **TIME** 12.00 AM. / **DATE** FEBRUARY 20, 2006

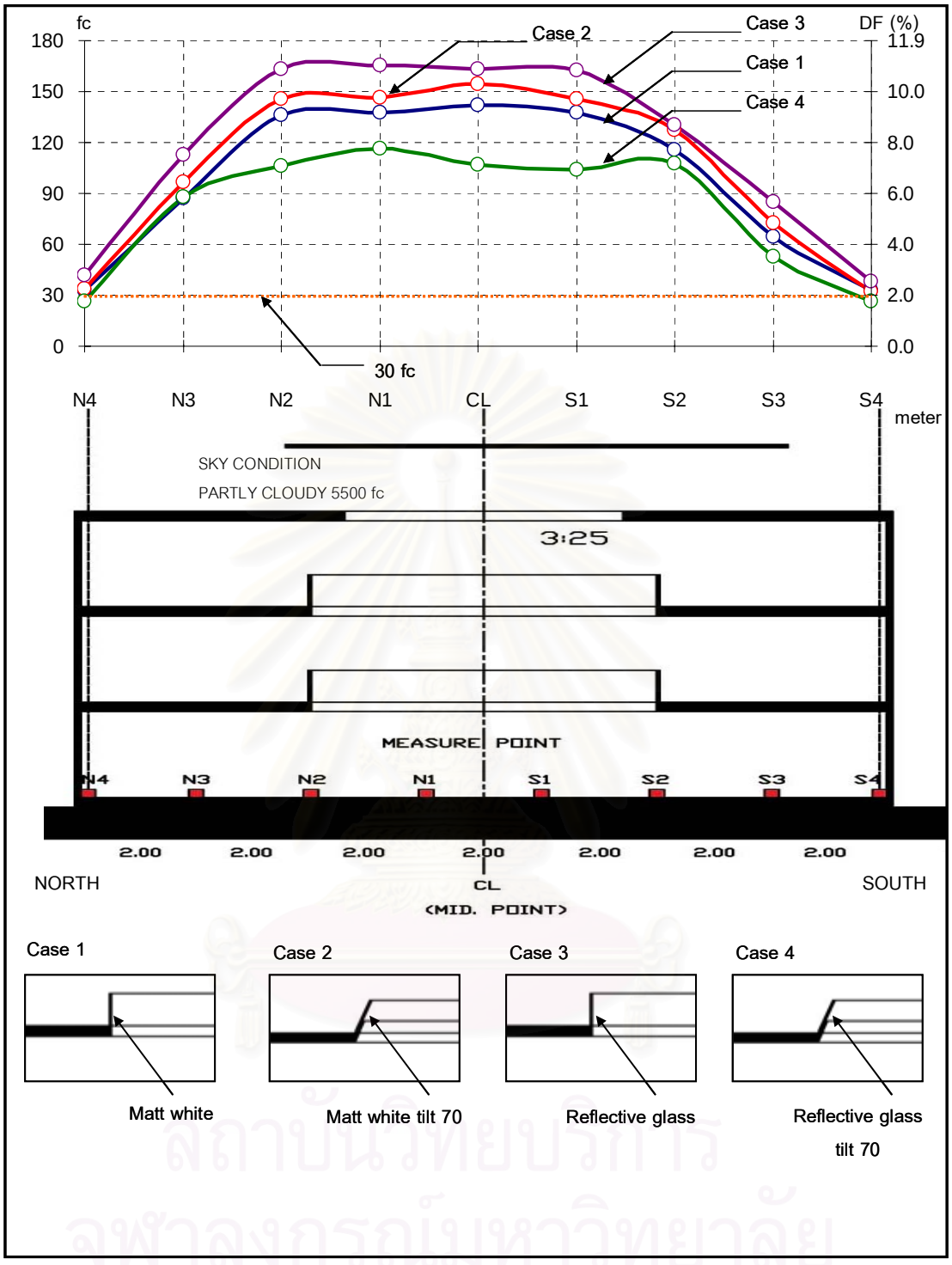
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของขนาดช่องเปิด 8%

จากแผนภูมิที่ 4.4 พบว่าในขนาดช่องเปิด 8% เท่ากัน เมื่อทำการเปลี่ยนวัสดุและใช้มุมเอียงของผนังภายใน ปริมาณความส่องสว่างภายในเปลี่ยนแปลงไป โดย การใช้กระจกสะท้อนแสงไม่ปรับมุมเอียง ค่า Daylight Factor 8.80% อันดับสอง คือ การใช้ผนังทาสีขาว ปรับมุมเอียง 70° ค่า Daylight Factor 7.93% อันดับสาม คือ การใช้ผนังทาสีขาว ไม่ปรับมุมเอียง ค่า Daylight Factor 7.20% ส่วนกรณีที่มีปริมาณความส่องสว่างน้อยที่สุด คือ กรณีที่ใช้ผนังกระจกสะท้อนแสง ปรับมุมเอียง 70" กรณี ค่า Daylight Factor 6.33% ค่าสูงสุด – ต่ำสุดของค่า Daylight Factor การปรับปรุงในแต่ละกรณี แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุด ในขนาดช่องเปิด 8%

กรณี	ค่า Daylight Factor ต่ำสุด (%)	ค่า Daylight Factor สูงสุด (%)	ค่าความแตกต่าง
reflect 90°	2.27	8.80	6.53
white matte 70°	1.95	7.93	5.98
white matte 90°	1.47	7.20	5.73
reflect 70°	1.46	6.33	4.87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ILLUMINATION LEVEL IN ATRIUM / ALL CASE

NORTH – SOUTH APERTURE

CONDITION PARTLY CLOUDY SKY 5500 fc. / **TIME** 12.00 AM. / **DATE** FEBRUARY 20, 2006

แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของขนาดช่องเปิด 12%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากแผนภูมิที่ 4.5 พบว่าในขนาดช่องเปิด 12% เท่ากัน เมื่อทำการเปลี่ยนวัสดุและใช้มุมเอียงของผนังภายใน ปริมาณความส่องสว่างภายในเปลี่ยนแปลงไป โดย กรณีที่ใช้ผนังกระจกสะท้อนแสงไม่ปรับมุมเอียง ค่า Daylight Factor 11.02% อันดับสอง คือ การใช้ผนังทาสีขาว ปรับมุมเอียง 70° ค่า Daylight Factor 10.29% อันดับสาม คือ การใช้ผนังทาสีขาว ไม่ปรับมุมเอียง ค่า Daylight Factor 9.47% ส่วนกรณีที่มีปริมาณความส่องสว่างน้อยที่สุด คือ การใช้กระจกสะท้อนแสงปรับมุมเอียง 70°ค่า Daylight Factor 7.78% ค่าสูงสุด – ต่ำสุดของค่า Daylight Factor การปรับปรุงในแต่ละกรณี แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงความแตกต่างของค่า Daylight Factor ระหว่างค่าสูงสุด - ต่ำสุด ในขนาดช่องเปิด 12%

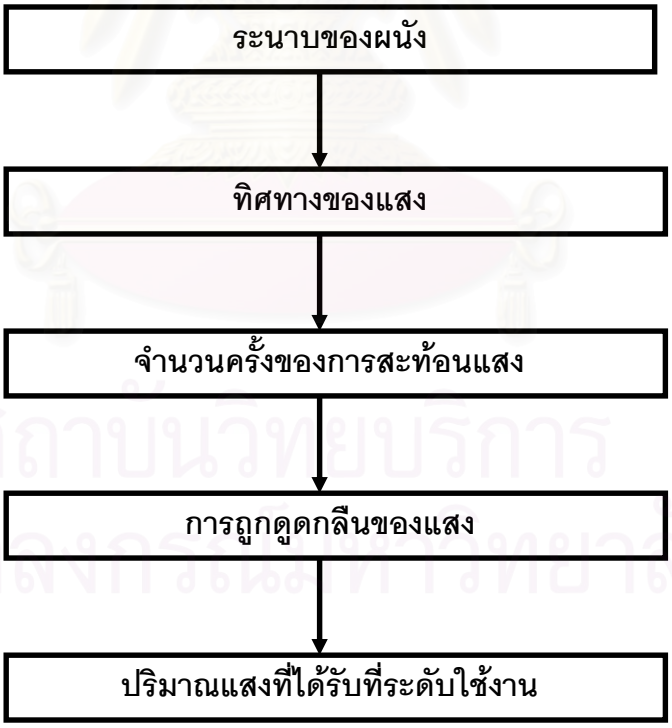
กรณี	ค่า Daylight Factor ต่ำสุด (%)	ค่า Daylight Factor สูงสุด (%)	ค่าความแตกต่าง
reflect 90°	2.53	11.02	8.49
white matte 70°	2.22	10.29	8.07
white matte 90°	2.15	9.47	7.32
reflect 90°	1.73	7.78	6.05

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าปริมาณความส่องสว่างที่วัดได้ในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานทั้ง 3 ขนาดนั้น พบว่าปริมาณความส่องสว่างในกรณีต่างๆ ดังนี้

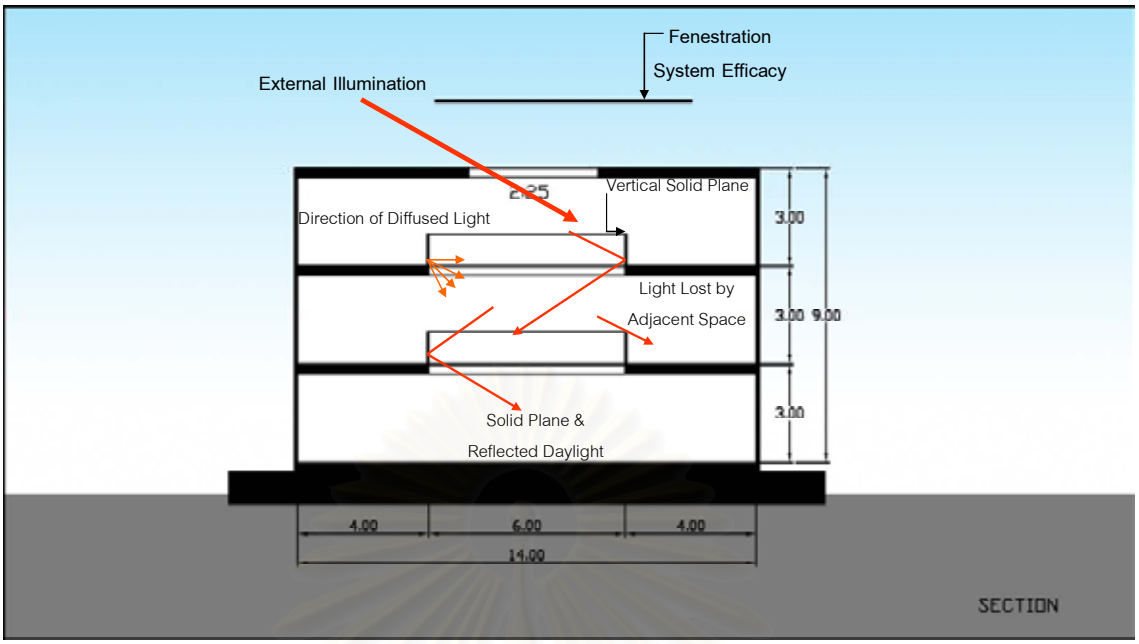
- กรณีที่ใช้ผนังกระจกสะท้อนแสงไม่ปรับมุมเอียง มีปริมาณความส่องสว่างมากที่สุด
- การใช้ผนังทาสีขาว ปรับมุมเอียง 70° มีปริมาณความส่องสว่างเป็นอันดับสอง
- การใช้ผนังทาสีขาว ไม่ปรับมุมเอียง มีปริมาณความส่องสว่างเป็นอันดับสาม
- การใช้กระจกสะท้อนแสงปรับมุมเอียง 70° มีปริมาณความส่องสว่างเป็นอันดับสุดท้าย

จากปริมาณความส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่เท่ากัน ผลการปรับปรุงภายในอาคารทำให้การกระจายแสง (light distribution) และการนำแสงธรรมชาติไปใช้ในการพิจารณาด้านปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นทำให้เกิดผลที่แตกต่างกัน โดยการใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสง ลักษณะของการสะท้อนแสงและการใช้มุมเอียงที่แตกต่างกัน

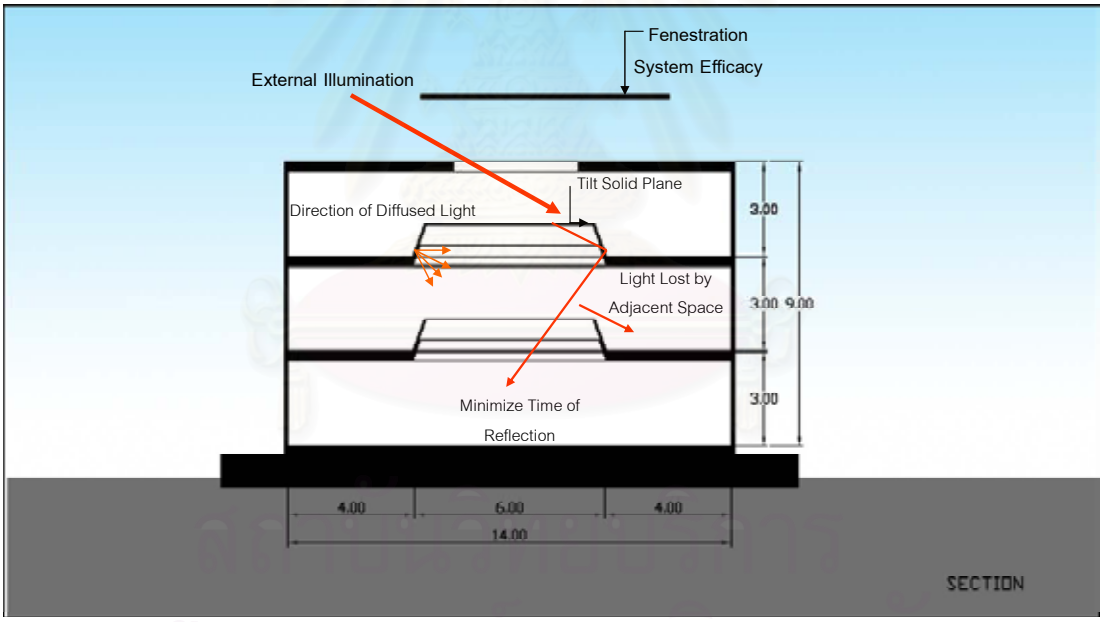
การพิจารณาค่าสะท้อนแสงของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงมากย่อมมีการสะท้อนแสงมากกว่าวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อย โดยค่าการสะท้อนแสงของวัสดุดูได้จากตารางที่ 2.10 ในบทที่ 2 การใช้ลักษณะการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน โดยใช้การสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse light)ของวัสดุที่ทาสีขาวด้าน (matte white) และการสะท้อนแสงเสมือนกระจก (specular reflection) ของกระจกสะท้อนแสง (glass reflective) วัสดุที่ทาสีขาวด้านลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจายจะกระจายแสงแบบไม่มีทิศทางคือกระจายไปทั่วบริเวณ ลักษณะของแสงที่กระจายมีความสม่ำเสมอมากกว่าการใช้วัสดุที่เป็นกระจกสะท้อนแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงเสมือนกระจก ที่กระจายแสงตามมุมที่สะท้อนแสงออกไป ส่วนการใช้มุมเอียงของผนังเป็นการบังคับมุมของแสงที่สะท้อนออกไปในทิศทางที่ต้องการ การใช้มุมเอียงทำให้จำนวนครั้งของการสะท้อนน้อยลงทำให้ปริมาณความส่องสว่างมากขึ้น หากระนาบของผนังอยู่ในแนวที่ทำมุม 90 องศากับระนาบนอน จำนวนครั้งของการสะท้อนที่เกิดขึ้นจนถึงระดับพื้นจะมีจำนวนมากครั้ง การสูญเสียจะมากขึ้นหากแสงไปตกกระทบส่วนที่เป็นผนังโล่ง แต่หากระนาบของผนังทำมุมแคบลงอย่างการใช้ผนังอยู่ในแนวที่ทำมุม 70 องศากับระนาบนอน การบังคับทิศทางของแสงให้ลงมาที่ระดับพื้นโดยตรง ขณะเดียวกันจำนวนครั้งของการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นจนถึงระดับพื้นน้อยลง แสดงในรูปภาพที่ 4.7



รูปภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระนาบของผนังและปริมาณแสงที่ได้รับบนระดับใช้งาน



(ก)



Receive Primary Reflected Daylight at Working Plane = Minimize Light Lost by Absorption = Maximize Illumination Level

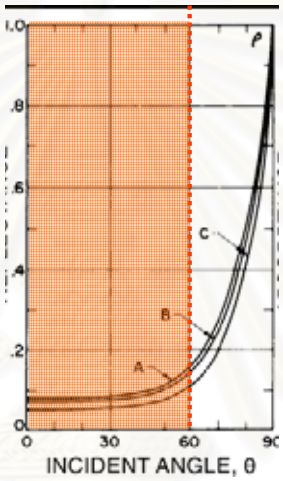
(ข)

รูปภาพที่ 4.7 แสดงทิศทางของแสงที่เกิดจากการใช้มุมเอียงของผนังที่แตกต่างกัน

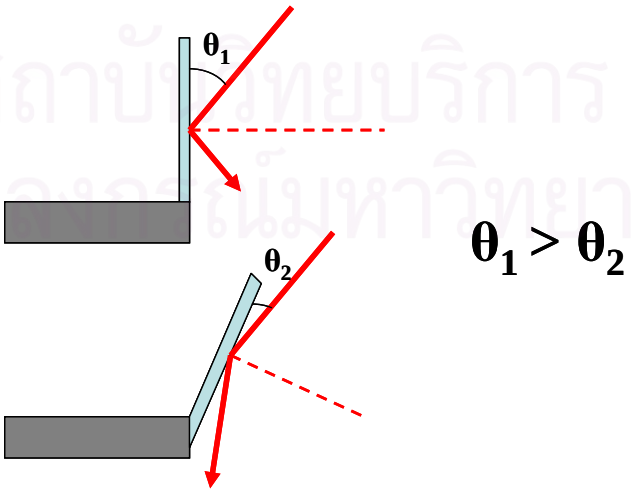
(ก) ผนังทึบในแนวตั้งฉากกับระนาบนอน

(ข) ผนังทึบในแนวทำมุมเอียงกับระนาบนอน

แต่จากการทดลองพบว่า การใช้มุมเอียงของผนังภายในได้ผลในการเพิ่มปริมาณความส่องสว่างกับการใช้วัสดุที่มีการสะท้อนในลักษณะแบบกระจายแสงเท่านั้น สาเหตุที่วัสดุที่เป็นกระจกสะท้อนแสงที่มีการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจก (specular reflection) มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมแสงสะท้อน ในรูปภาพที่ 4.8 แสดงมุมของแสงที่ตกกระทบกับเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงของวัสดุกระจก จะเห็นว่ายิ่งมุมที่แสงตกกระทบน้อยลงเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงจะลดลง การใช้มุมเอียงของผนังภายในทำให้มุมที่ตกกระทบของแสงน้อยลงเพราะเป็นมุม 70" กับระนาบนอน ทำให้ลักษณะของผนังอยู่ในลักษณะคว่ำหน้า แสดงในรูปภาพที่ 4.9 ทำให้ผนังที่ไม่ใช้มุมเอียงมีเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสง เพราะมีมุมตกกระทบที่มากกว่า

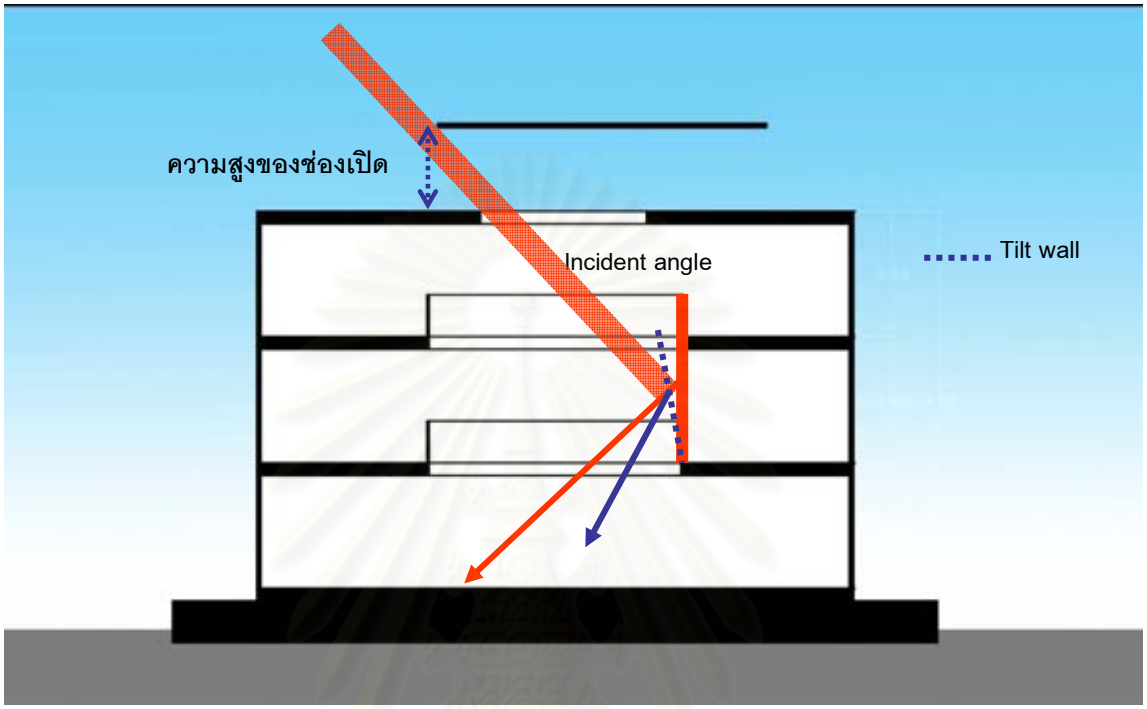


รูปภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแสงที่ตกกระทบกับเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงของวัสดุกระจก (ASHRAE, 1997)



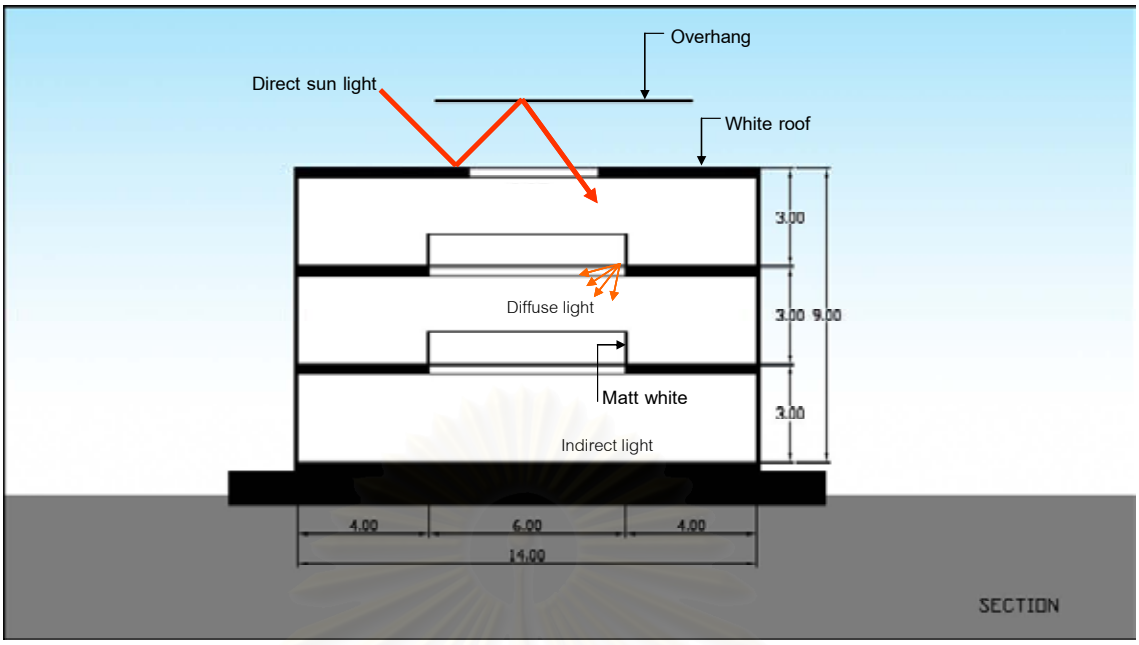
รูปภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบมุมที่แสงตกกระทบในผนังระเบียงที่ใช้มุมเอียงต่างกัน

ส่วนการพิจารณาว่าควรใช้มุมเอียงของผนังระเบียงภายในว่าควรมีมุมเอียงเท่าใด ขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่เข้าสู่ภายในและระยะของความสูงช่องเปิด ซึ่งในการวิจัยนี้ คือ ระยะความสูงด้านข้างของช่องเปิดแบบ Clerestories นั่นเอง แสดงในรูปภาพที่ 4.10

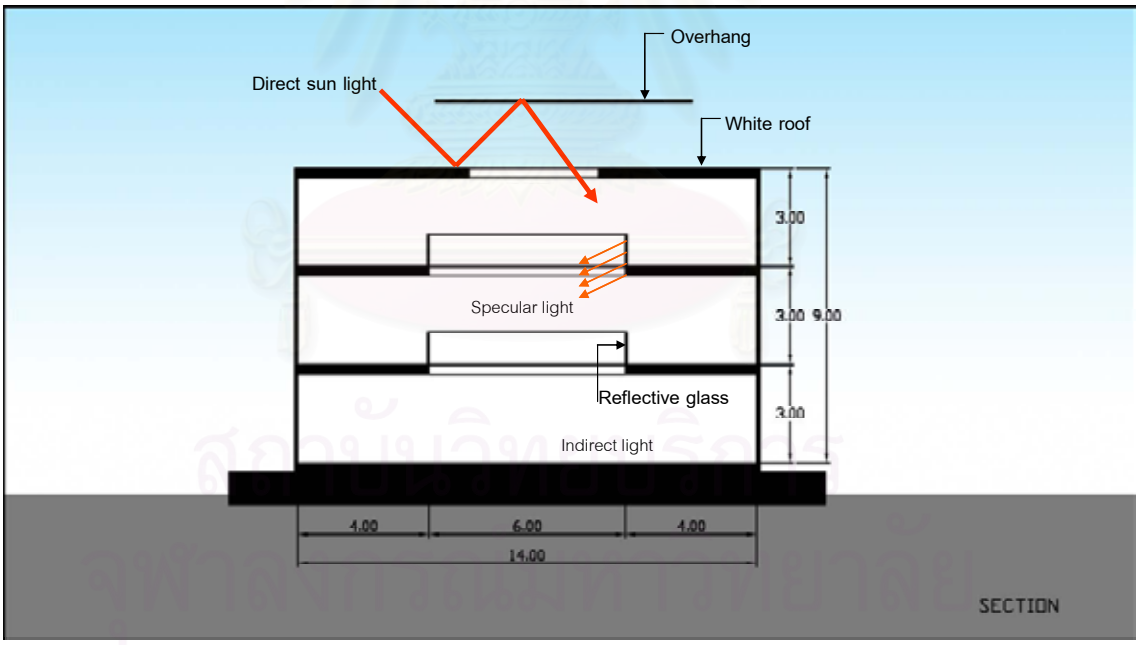


รูปภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้มุมเอียงของผนังภายใน
กับมุมของแสงและระยะความสูงของช่องเปิด

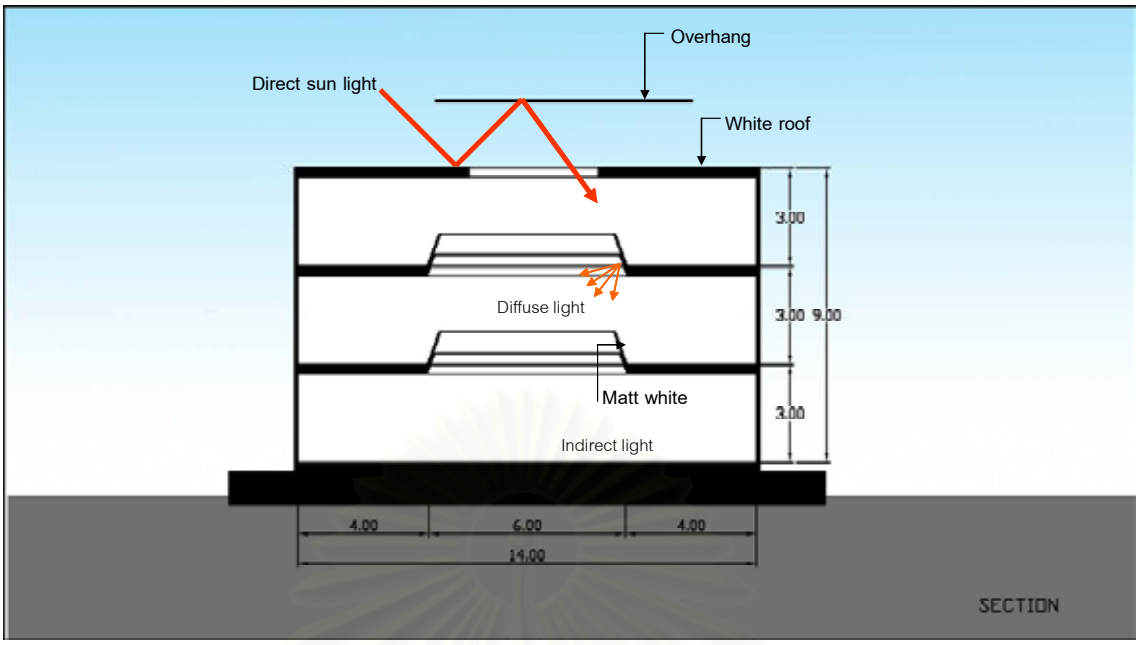
ความสูงของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับมุมของแสงที่ตกกระทบกับผนังภายใน ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่าต้องการให้มุมของแสงที่สะท้อนไปในทิศทางใด จึงสามารถกำหนดมุมเอียงของผนังได้ว่าควรมีมุมเท่าใด และเนื่องจากมุมของแสงที่เข้าสู่ภายในในแต่ละทิศของช่องเปิดมีมุมที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นมุมของผนังที่สะท้อนแสงในทิศนั้นๆ ย่อมจะมีมุมที่ไม่เท่ากัน นอกจากนั้นควรพิจารณาลักษณะการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้น เพราะเป็นการกำหนดว่าควรใช้วัสดุชนิดใดในการออกแบบ



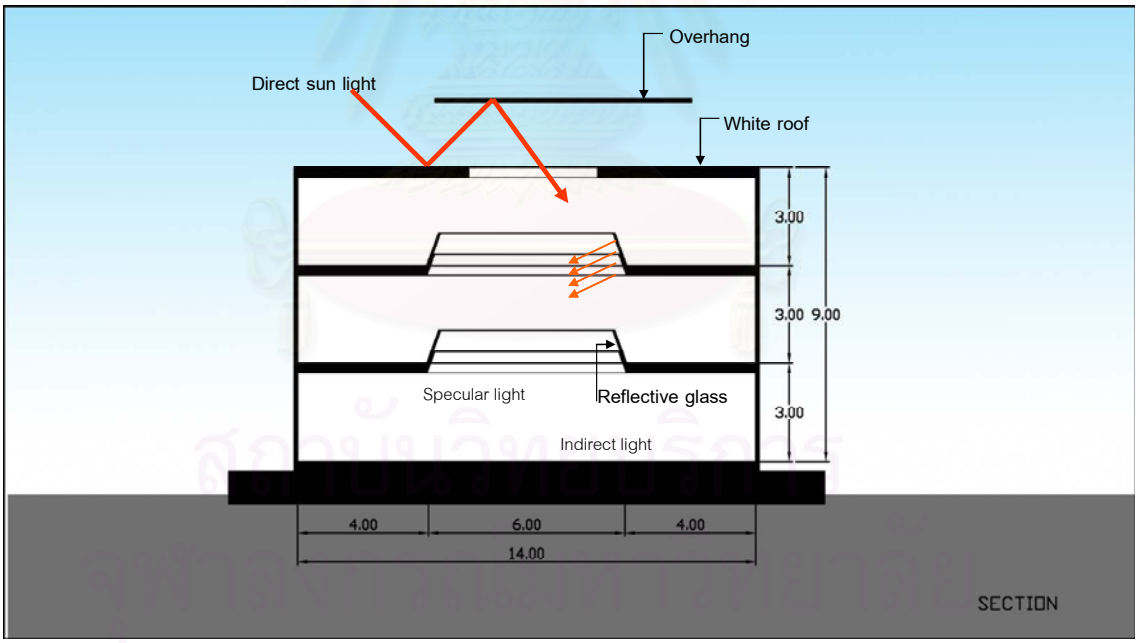
รูปภาพที่ 4.11 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน
โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะแบบแสงกระจายโดยไม่ใช้มุมเอียงของผนังภายใน



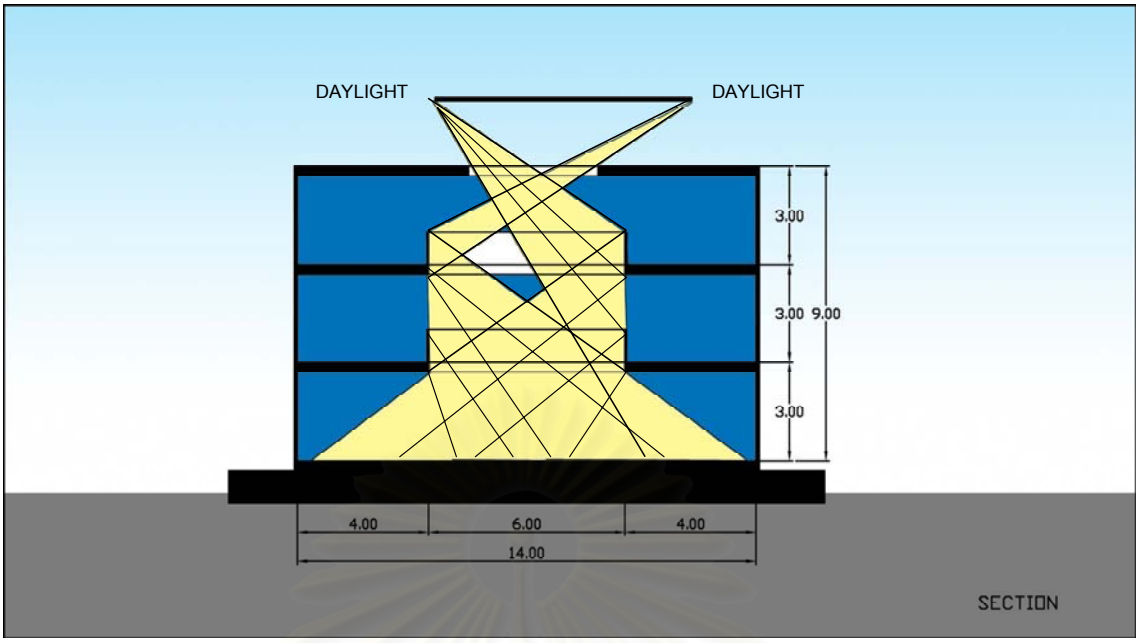
รูปภาพที่ 4.12 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน
โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะแบบแสงเสมือนกระจกโดยไม่ใช้มุมเอียงของผนังภายใน



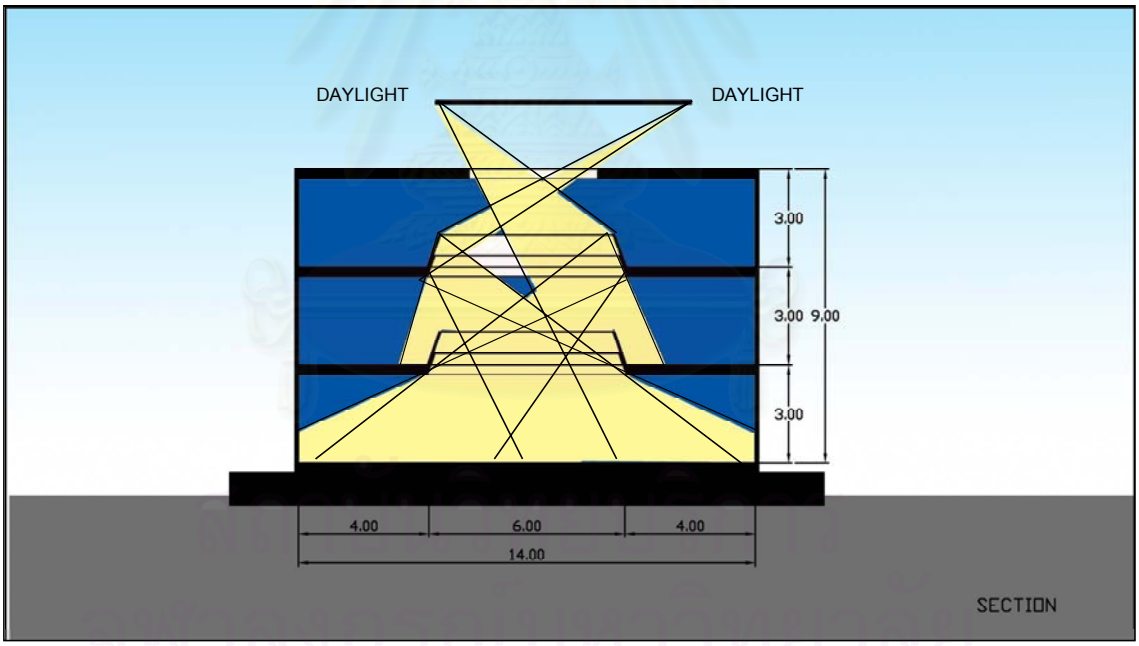
รูปภาพที่ 4.13 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน
โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะแบบแสงกระจายโดยใช้มุมเอียงของผนังภายใน



รูปภาพที่ 4.14 แสดงการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายใน
โดยการเลือกใช้การกระจายแสงลักษณะแบบแสงกระจายโดยใช้มุมเอียงของผนังภายใน



รูปภาพที่ 4.15 แสดงลักษณะของปริมาณแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นโดยไม่ใช้มุมเอียงของผนังภายใน



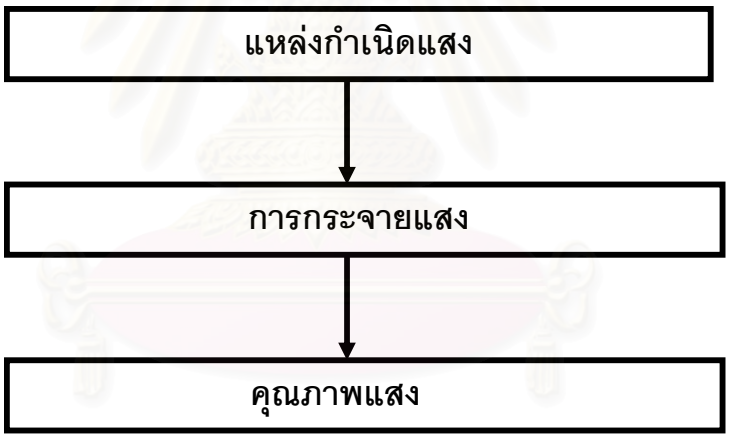
รูปภาพที่ 4.16 แสดงลักษณะของปริมาณแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นโดยใช้มุมเอียงของผนังภายใน

จากรูปภาพที่ 4.15 และ 4.16 แสดงให้เห็นว่าในการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน สามารถเพิ่มปริมาณความส่องสว่างที่ระนาบการใช้งานให้เพิ่มขึ้น ช่วยกระจายแสงให้มีความลึกมากขึ้น ในการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคารนั้น ผู้ออกแบบควรพิจารณาถึงลักษณะของแสงและคุณสมบัติของวัสดุประกอบด้วย เพราะสัมพันธ์กับผลที่ได้ ในแนวคิดของการใช้แสงธรรมชาติในส่วน

ของการศึกษาต่อไปเป็นการวิเคราะห์ด้านคุณภาพของแสงที่เกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์อัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ที่เกิดขึ้น

4.2 การวิเคราะห์ความสว่าง (luminance ratio)

จากรูปภาพที่ 1.1 ในบทที่ 1 ที่แสดงแนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน หลังจากวิเคราะห์ปริมาณความส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง (light source) การกระจายแสง (light distribution) ไปยังทิศทางที่ต้องการแล้ว ทำการพิจารณาปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานว่าในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกันอย่างไร ในหัวข้อที่ 4.1 ในหัวข้อนี้เมื่อมีการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารได้ปริมาณความส่องสว่างในระดับที่ต้องการในส่วนการศึกษาที่ผ่านมา ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ปริมาณความสว่างเป็นการพิจารณาด้านคุณภาพของแสงธรรมชาติที่ใช้ โดยพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่2.3 (ในบทที่ 2) โดยแสดงแนวความคิดในการวิเคราะห์คุณภาพของแสงในรูปภาพที่ 4.17



รูปภาพที่ 4.17 แสดงแนวความคิดในการวิเคราะห์คุณภาพของแสง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 ตำแหน่งในการวัดความสว่าง

การวัดความสว่าง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติด้านคุณภาพ โดยการพิจารณาอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างในแต่ละจุด ตามเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 2.3 (ในบทที่ 2) ตำแหน่งในการวัดความสว่างภายในอาคารได้กำหนด ดังนี้

กำหนดให้มุมมองของผู้สังเกตอยู่บริเวณกลางพื้นชั้นที่ 1 แล้วมองไปยังตำแหน่งที่กำหนด โดยเป็นตำแหน่งในระนาบที่มองเห็น โดยมีตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

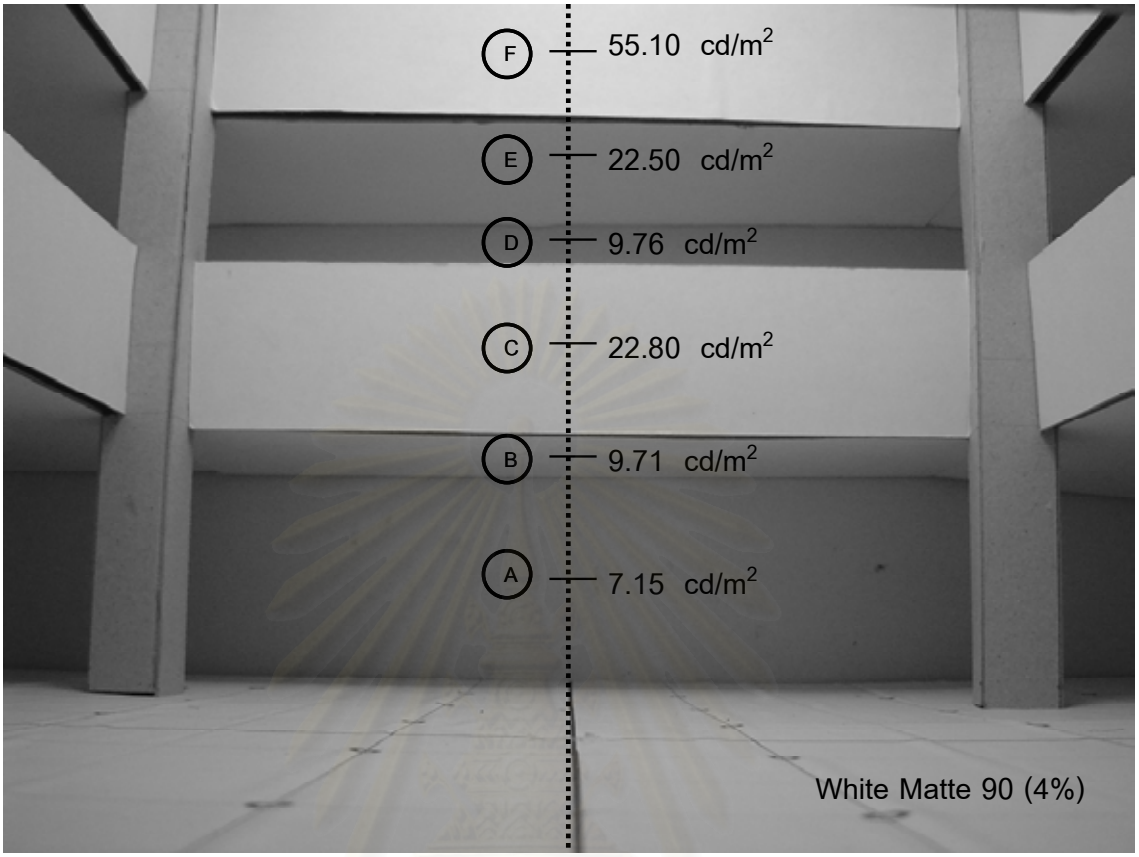
- ตำแหน่ง A คือ จุดกึ่งกลางผนังชั้นล่าง
- ตำแหน่ง B คือ จุดกึ่งกลางฝ้าเพดานชั้นล่าง
- ตำแหน่ง C คือ จุดกึ่งกลางผนังระเบียงชั้นสอง
- ตำแหน่ง D คือ จุดกึ่งกลางผนังชั้นสอง
- ตำแหน่ง E คือ จุดกึ่งกลางฝ้าเพดานชั้นสอง
- ตำแหน่ง F คือ จุดกึ่งกลางผนังระเบียงชั้นสาม

โดยมุมมอง กำหนดมุมมองไปทางผนังด้านทิศเหนือ ทำการเปรียบเทียบความสว่างในแต่ละจุดเปรียบเทียบกัน โดยทำการเปรียบเทียบ 2 แบบ

1. แบบที่ 1 คือ กำหนดตำแหน่ง A เปรียบเทียบกับจุดอื่นๆ เช่น A : B, A : C , A : D ,....., A : F เป็นต้น
2. แบบที่ 2 คือ กำหนดตำแหน่งเปรียบเทียบต่อเนื่องกันไป เช่น A : B , B : C , C : D ,....., E : F เป็นต้น

โดยทำการวัดความสว่างจากหุ่นจำลองทดสอบในสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน เวลา 12:00 น. วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2549 โดยทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ที่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุที่เป็นผนังระเบียงที่มีลักษณะการสะท้อนแสงต่างๆ กัน คือ การสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflection) และการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) โดยแสดงผลของการทดลองในรูปภาพและตาราง

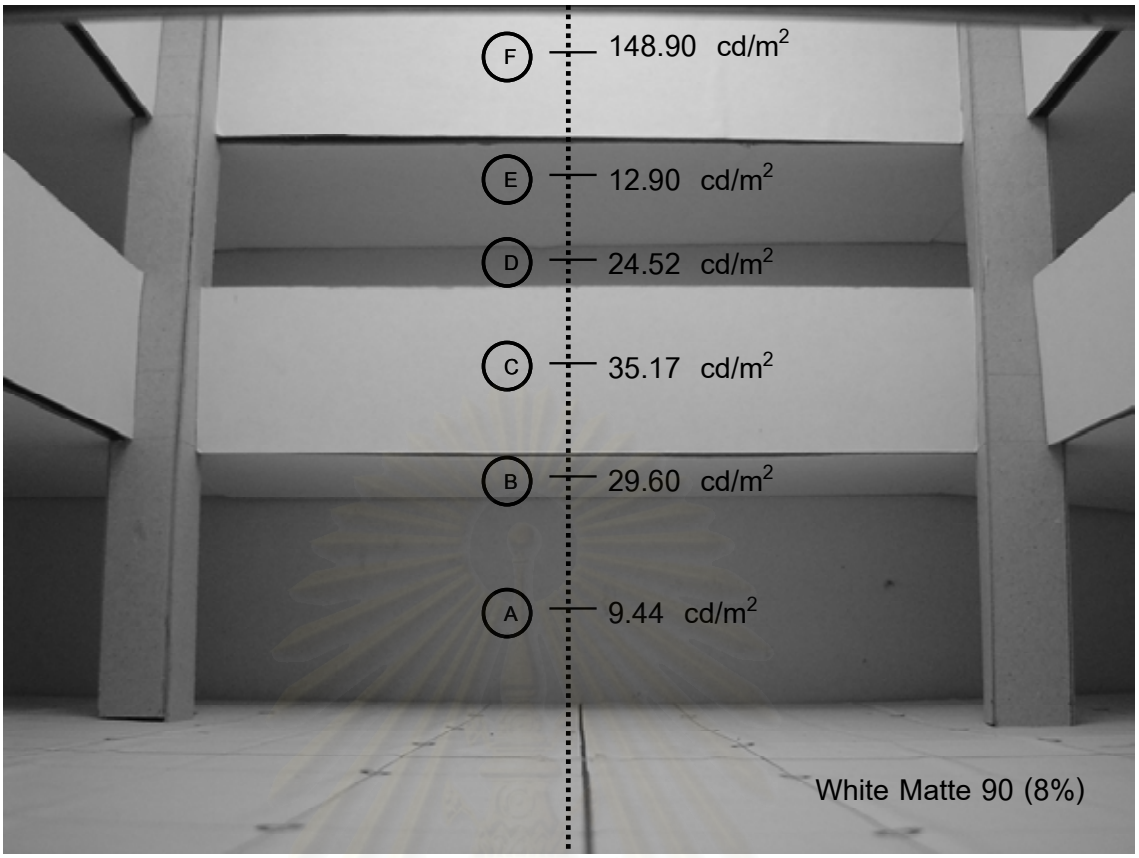
4.2.2 ผลการวัดความสว่าง



รูปภาพที่ 4.18 แสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย

ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่าง
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย

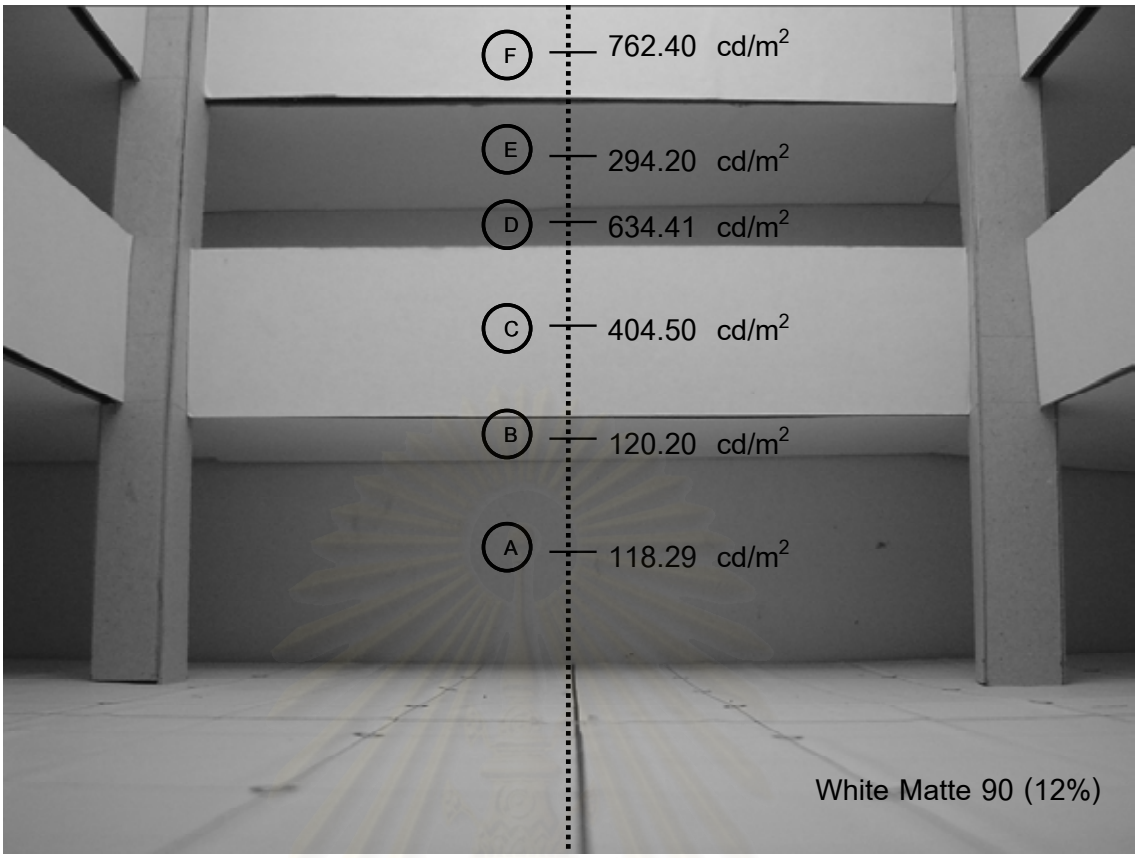
Area Code	Luminance Ratio	Area Code	Luminance Ratio
A : B	1.77 : 1	A : B	1 : 1.35
A : C	1 : 1.31	B : C	1 : 2.34
A : D	1.77 : 1	C : D	2.33 : 1
A : E	1 : 1.30	D : E	1 : 2.30
A : F	1 : 3.1	E : F	1 : 2.44



รูปภาพที่ 4.19 แสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย

ตารางที่ 4.6 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย

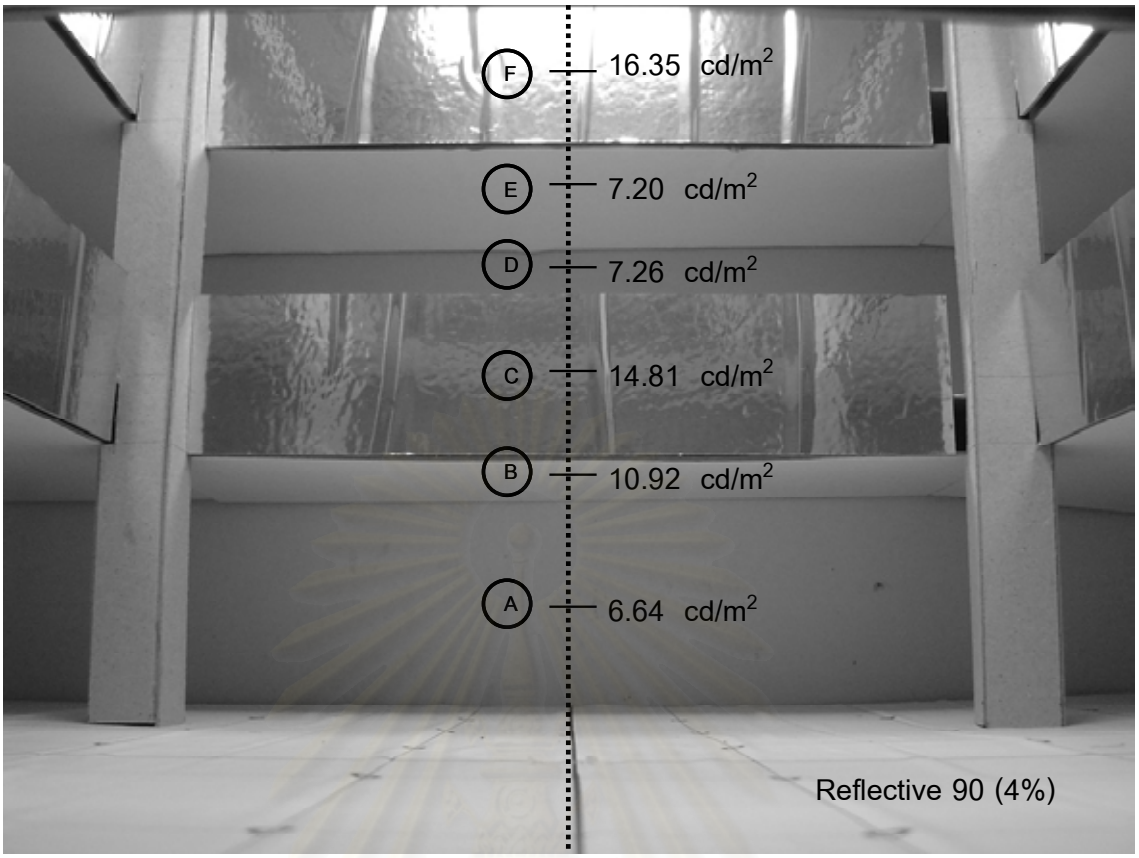
Area Code	Luminance Ratio	Area Code	Luminance Ratio
A : B	2.06 : 1	A : B	1 : 3.13
A : C	1.71 : 1	B : C	1 : 1.18
A : D	2.5 : 1	C : D	1.45 : 1
A : E	4.61 : 1	D : E	1.89 : 1
A : F	1 : 2.48	E : F	1 : 11.54



รูปภาพที่ 4.20 แสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างของ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย

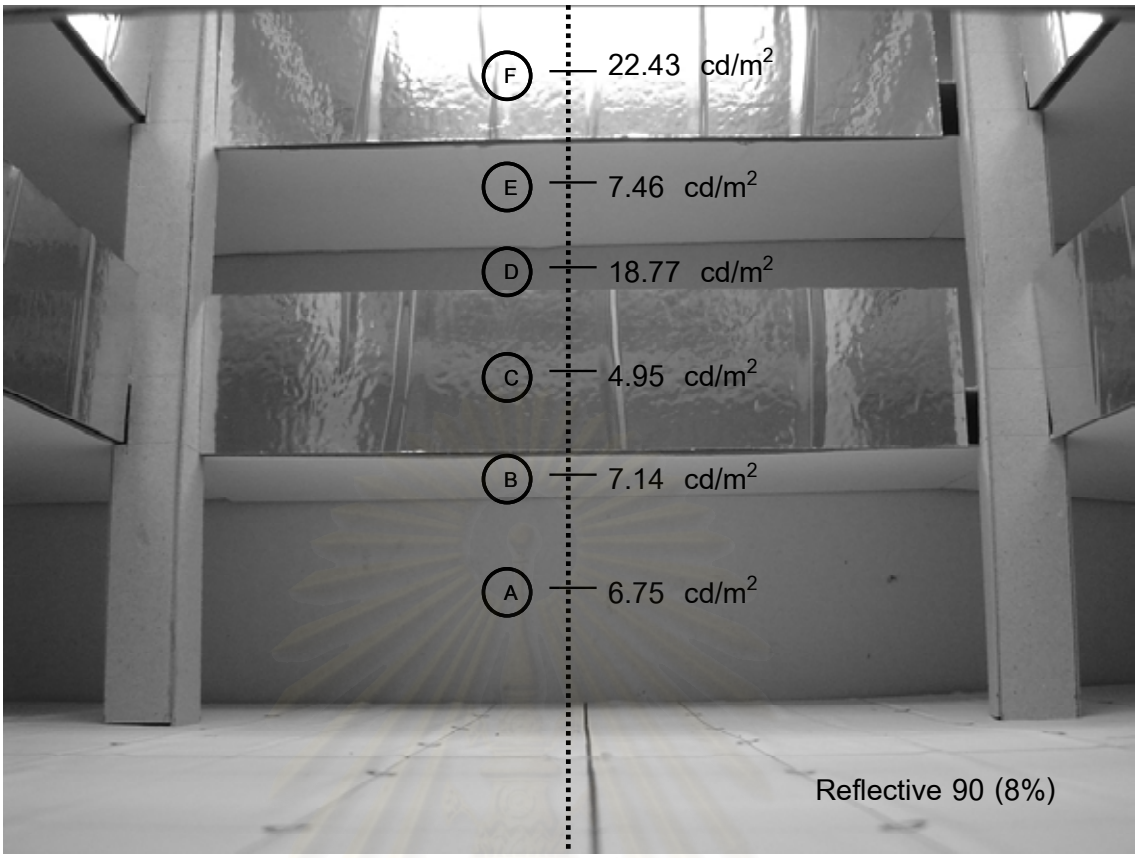
Area Code	Luminance Ratio	Area Code	Luminance Ratio
A : B	5.21 : 1	A : B	1 : 1.01
A : C	1.54 : 1	B : C	1 : 3.36
A : D	1 : 1.01	C : D	1 : 1.56
A : E	2.12 : 1	D : E	2.15 : 1
A : F	1 : 1.15	E : F	1 : 2.59



รูปภาพที่ 4.21 แสดงแสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

ตารางที่ 4.8 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่าง
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 4% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

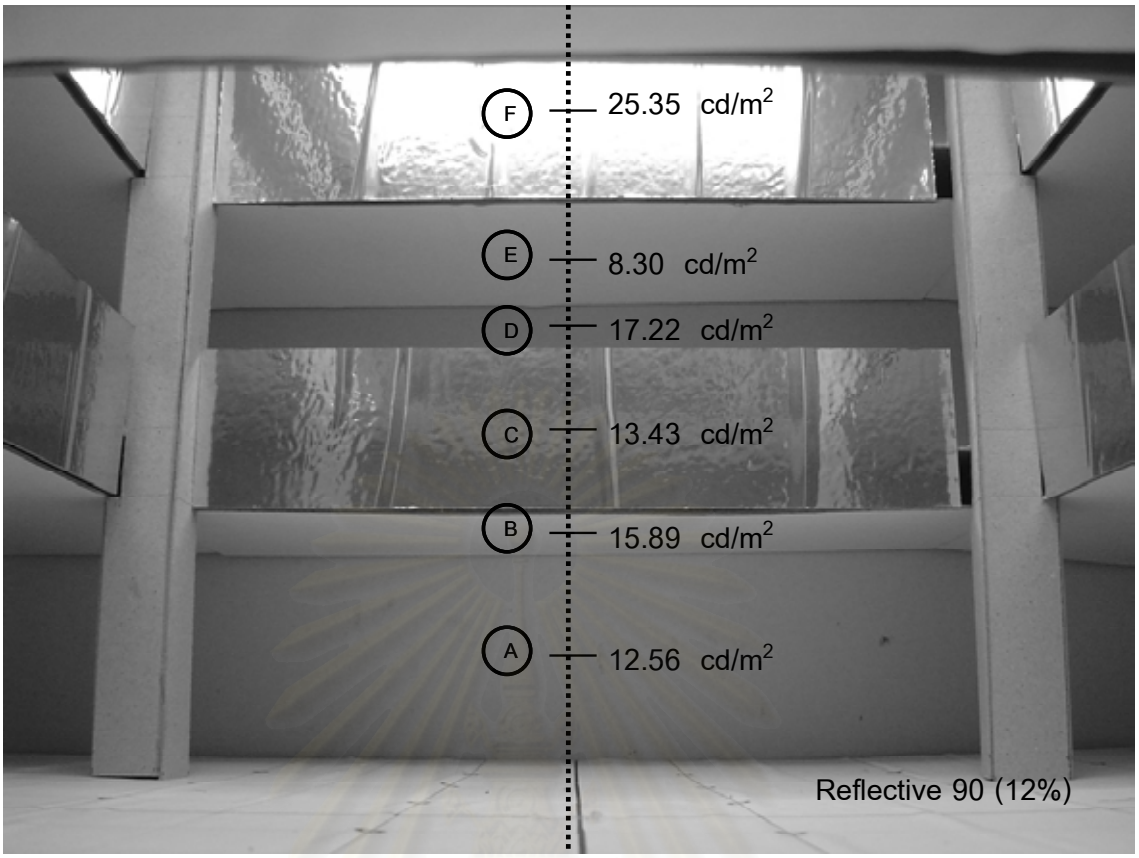
Area Code	Luminance Ratio	Area Code	Luminance Ratio
A : B	1.72 : 1	A : B	1 : 1.64
A : C	1.27 : 1	B : C	1 : 1.35
A : D	2.59 : 1	C : D	2 : 1
A : E	2.61 : 1	D : E	1 : 1
A : F	1.15 : 1	E : F	1 : 2.27



รูปภาพที่ 4.22 แสดงแสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

ตารางที่ 4.9 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่าง
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 8% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

Area Code	Luminance Ratio	Area Code	Luminance Ratio
A : B	3.05 : 1	A : B	1 : 1.05
A : C	4.4 : 1	B : C	1.49 : 1
A : D	1.16 : 1	C : D	1 : 3.79
A : E	2.91 : 1	D : E	2.51 : 1
A : F	1 : 1.02	E : F	1 :3

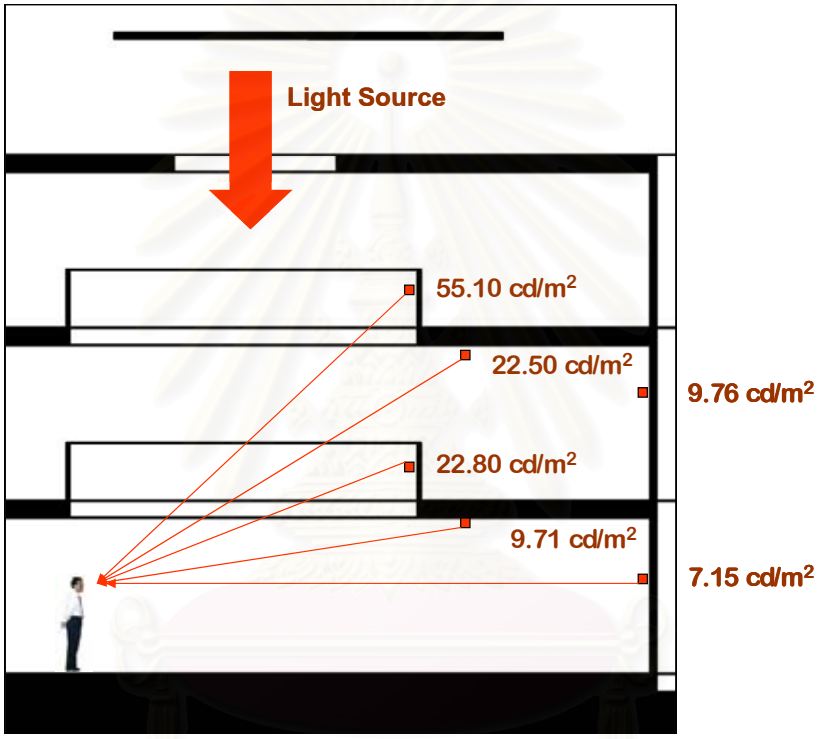


รูปภาพที่ 4.23 แสดงแสดงความสว่างในตำแหน่งต่างๆ
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

ตารางที่ 4.10 แสดงอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่าง
ของพื้นที่ช่องเปิดขนาด 12% ผนังระเบียงมีลักษณะการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา

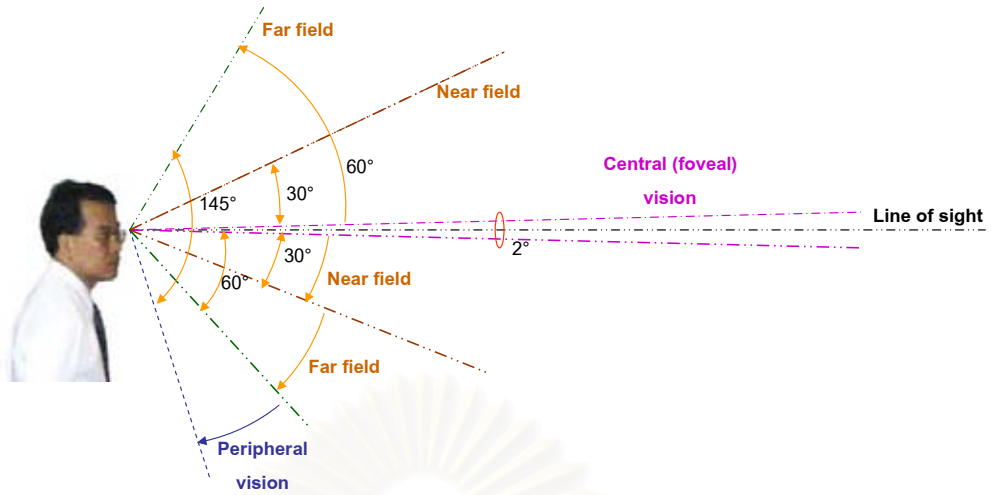
Area Code	Luminance Ratio	Area Code	Luminance Ratio
A : B	1.4 : 1	A : B	1 : 1.26
A : C	1.66 : 1	B : C	1.18 : 1
A : D	1.29 : 1	C : D	1 : 1.28
A : E	2.69 : 1	D : E	2..07 : 1
A : F	1 : 1.13	E : F	1 : 3.05

จากการพิจารณาปริมาณความสว่างในกรณีต่างๆ พบว่าในทุกกรณีความแตกต่างของความสว่างในตำแหน่งที่ศึกษาไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารแบบแสงสะท้อนเข้ามาในอาคาร (indirect light) ส่วนการเลือกใช้วัสดุภายในการใช้วัสดุที่มีการสะท้อนแสงแบบกระจายจะมีความสม่ำเสมอและความนุ่มนวลของแสงมากกว่า การใช้วัสดุที่มีความมันวาวภายในอาคารควรมีการบังคับมุมแสงสะท้อนไม่ให้เข้าตาเพื่อป้องกันปัญหาแสงจ้าเข้าตา โดยพิจารณามุมแสงที่สะท้อนเข้าตาในมุมต่างๆ แสดงในรูปภาพที่ 4.24 ข้อดีของช่องเปิดด้านบน คือ มุมของแสงมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิดแสงจ้าน้อยกว่ามุมแสงที่มาจากด้านข้าง



รูปภาพที่ 4.24 แสดงมุมของแสงที่เข้าสู่ตา ผลการทดลองจากรูปภาพที่ 4.18

ซึ่งควรหลีกเลี่ยงมุมมองที่จะเห็นแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง โดยการพิจารณาในมุมมองที่สายตามองเห็น แสดงในรูปภาพที่ 4.25



รูปภาพที่ 4.25 แสดงมุมมองของสายตาที่มองเห็นในมุมต่างๆ

(Stein and Reynolds, 1992: 929)

การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารนั้น หากทำการแบ่งตามลักษณะการทำงานประกอบด้วยระบบต่างๆ 3 ระบบ ดังต่อไปนี้ คือ

- ระบบที่เป็นส่วนนำแสงธรรมชาติภายนอกเข้ามาสู่อาคาร (collecting system)
- ระบบที่ทำหน้าที่นำแสงธรรมชาติที่ผ่านช่องแสงเข้ามาไปยังพื้นที่ใช้งาน (delivery system)
- ระบบที่ทำหน้าที่กระจายแสง (distribution system)

โดยแนวความคิดในการใช้แสงธรรมชาติตามมีการพิจารณาตามลำดับ ดังนี้

- แหล่งกำเนิดแสง (light source)
- การกระจายแสงไปยังพื้นที่ที่ต้องการ (light distribution)
- ปริมาณความส่องสว่าง (illuminance level) ที่เพียงพอกับความต้องการ
- ปริมาณความสว่าง (luminance) ที่เหมาะสม

ในส่วนต่อไปเป็นการนำเสนอผลการนำผลการทดลองที่ได้จากการปรับปรุงองค์ประกอบภายในไปประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง

4.3 การประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง

4.3.1 รายละเอียดของอาคาร

อาคาร *สปอร์ตคอมเพล็กแอนด์กอล์ฟคลับ*

ชนิดของอาคาร : คลับเฮาส์

ที่ตั้ง : คลองหก จ.ปทุมธานี

พื้นที่ของอาคารส่วนที่ทำการศึกษา : ชั้น1 1,225 ตารางเมตร
ชั้น2 821 ตารางเมตร
ชั้น3 462 ตารางเมตร
ช่องเปิดด้านบนหลังคา 262 ตารางเมตร

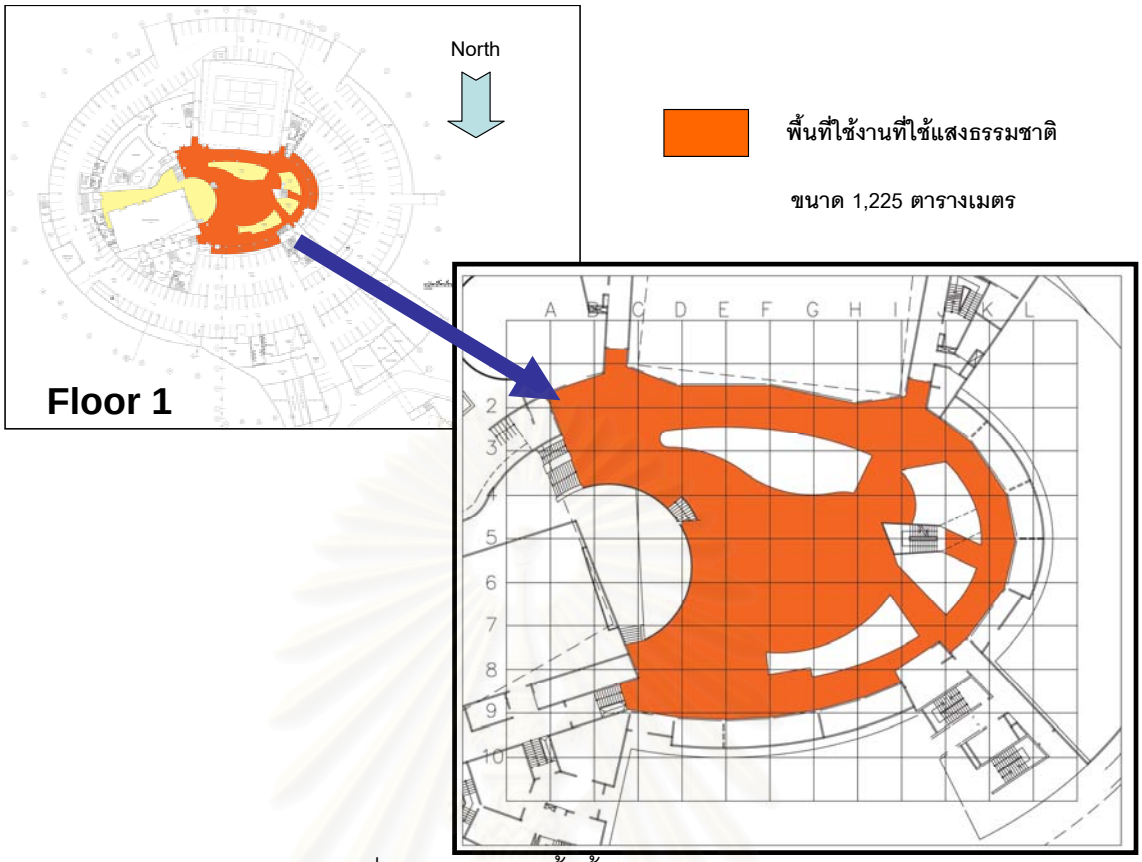
แนวความคิดในการออกแบบอาคาร : เนื่องจากเป็นอาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณสนามกอลฟ์ ต้องการให้ตัวอาคารมีความกลมกลืนกับสภาพแวดล้อม จึงออกแบบอาคารเป็นอาคารใต้ดิน โดยด้านบนมีลักษณะเป็นเนินดิน การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยเจาะเป็นช่องเปิดบริเวณโถงกลางของอาคาร

ลักษณะการใช้แสงธรรมชาติ : อาคารอยู่ใต้ดินรูปทรงอาคารเป็นรูปวงรี, โถงกลางเป็นเอเทรียม 3 ชั้น, ช่องเปิดด้านแบบ Clerestories เปิดด้านเดียวหันหน้าสู่ทิศเหนือ

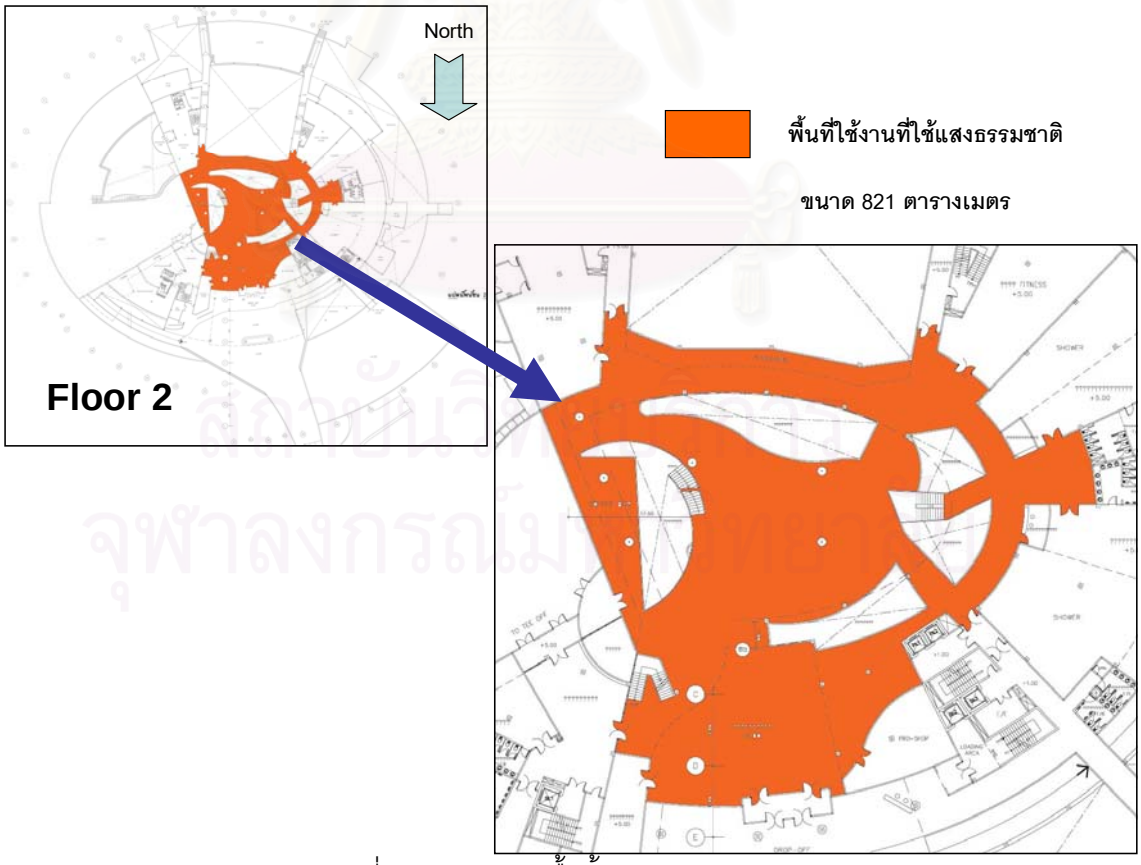
ระดับแสงที่ต้องการ : กิจกรรมแบบลำลอง 20-30 fc

อุปกรณ์ควบคุมแสงสว่าง : ระบบหรี่ไฟอัตโนมัติ อุปกรณ์ตรวจวัดระดับความส่องสว่างโดยปรับระดับความส่องสว่างที่เกิดขึ้นควบคุมโดยตัวตรวจจับที่ระดับพื้นผิว กำหนดเป็นช่วงเวลาที่ต้องการ

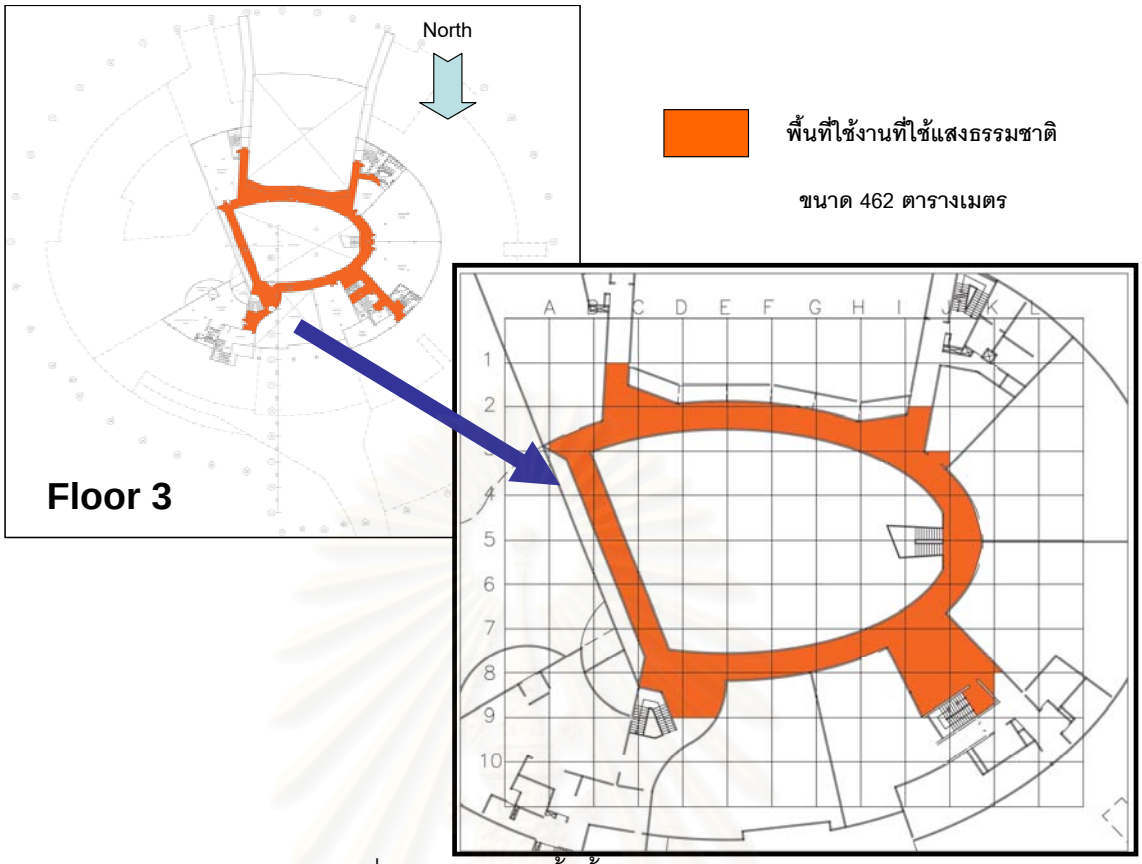
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



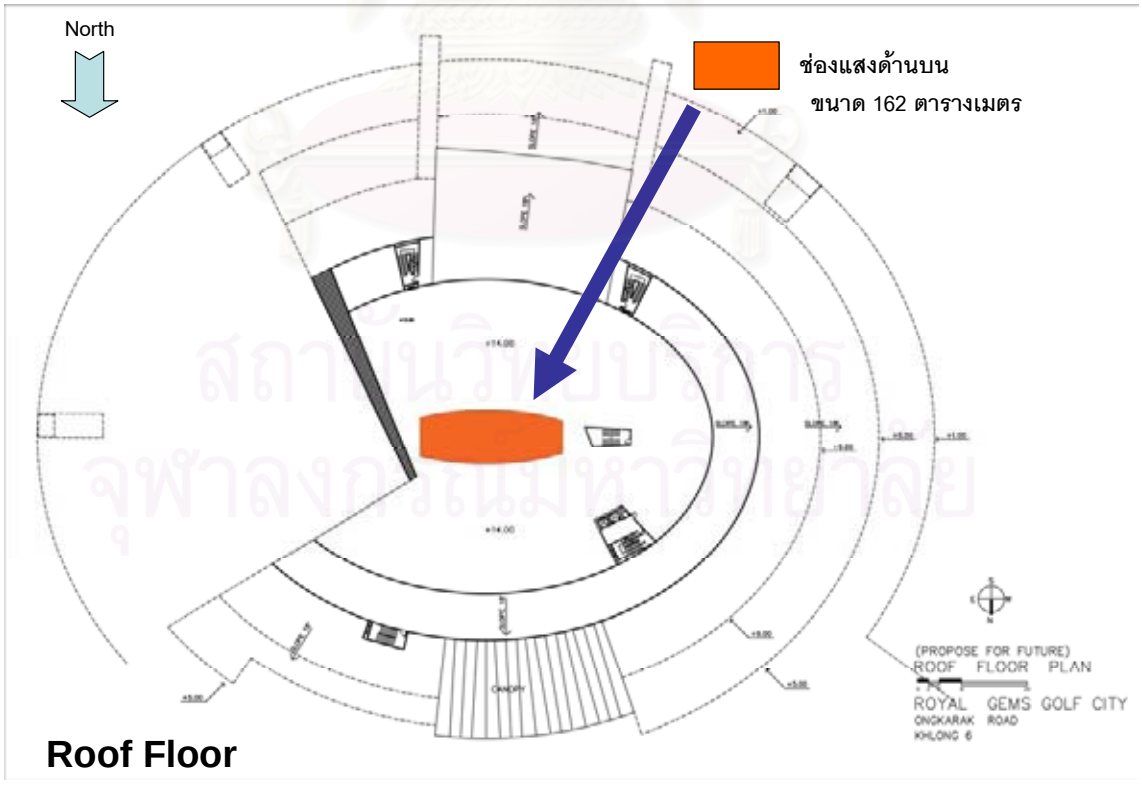
รูปภาพที่ 4.26 แสดงผังพื้นชั้น 1 ของอาคารตัวอย่าง



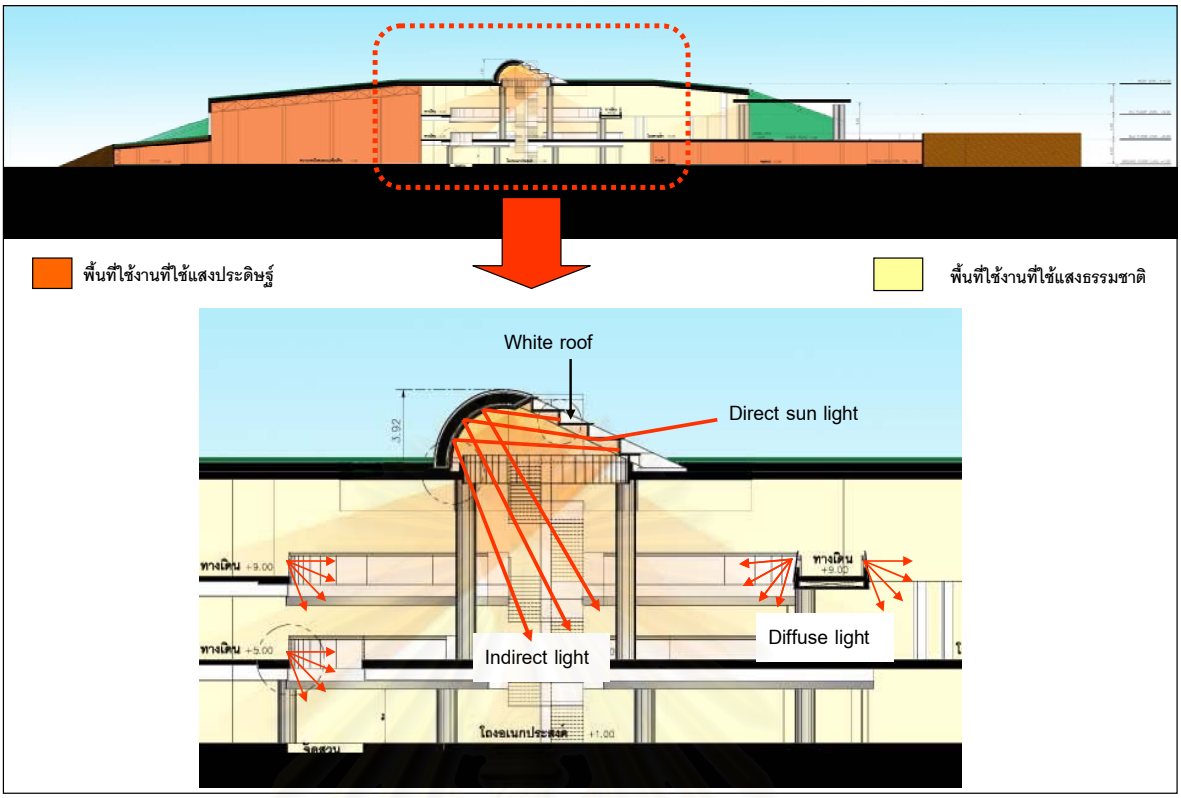
รูปภาพที่ 4.27 แสดงผังพื้นชั้น 2 ของอาคารตัวอย่าง



รูปภาพที่ 4.28 แสดงผังพื้นชั้น 3 ของอาคารตัวอย่าง

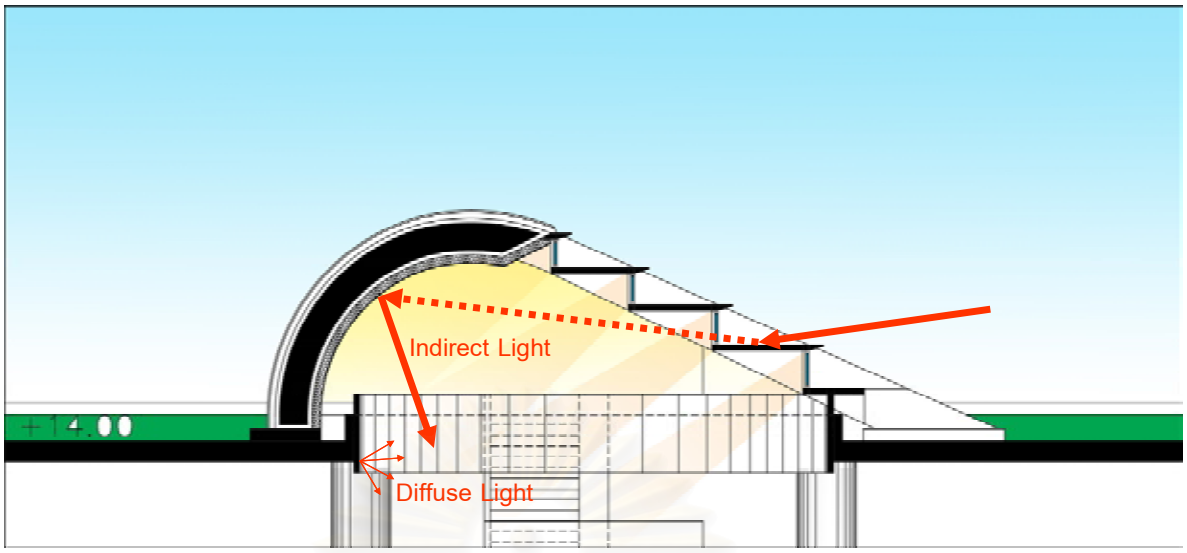


รูปภาพที่ 4.29 แสดงผังพื้นหลังคาของอาคารตัวอย่าง



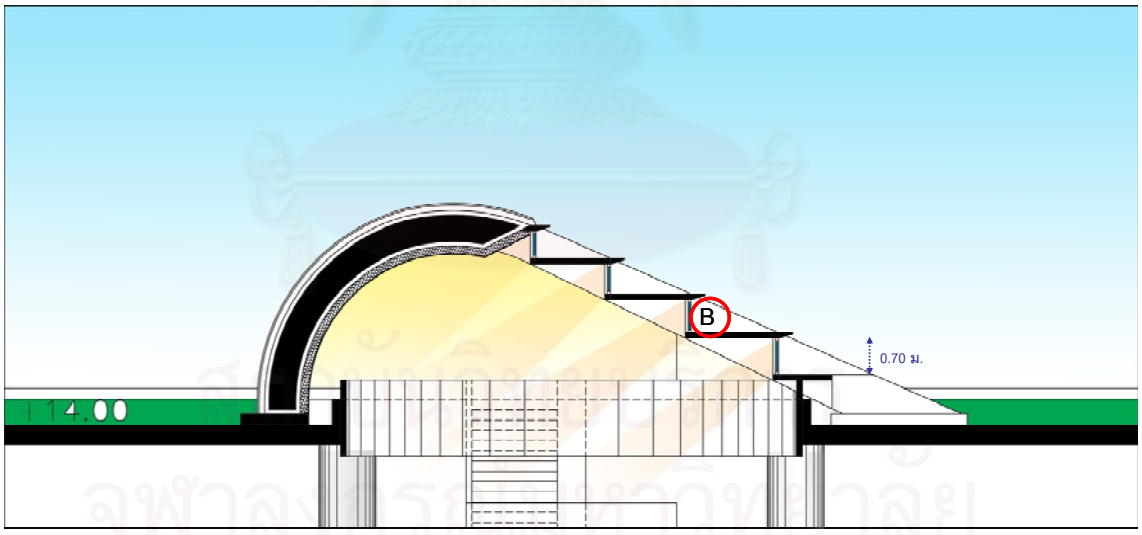
รูปภาพที่ 4.30 แสดงการใช้แสงธรรมชาติในโถงกลางของอาคาร

แนวความคิดในการใช้แสงธรรมชาติ โดยการใช้แสงสะท้อน (indirect light) ผ่านช่องเปิดแบบ Clerestories ที่เปิดหันหน้าสู่ทิศเหนือ เพื่อนำแสงจากเหนือเข้ามาใช้ในอาคารเพราะได้รับอิทธิพลจากความร้อนน้อยที่สุด โดยแบ่งช่องเปิดเป็น 4 ระดับในลักษณะคล้ายขั้นบันได ในแต่ละระดับมีระยะยื่นสำหรับกันแดดเข้าสู่อาคาร แสงที่สะท้อนจากหลังค่าภายนอกเมื่อเข้าสู่ภายในจะสะท้อนกับฝ้าเพดานโค้งทาสีขาวที่ทำหน้าที่เหมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงภายในอาคาร การใช้ฝ้าเพดานโค้งเพื่อที่จะสะท้อนแสงได้ทุกมุมที่ตกกระทบบังคับทิศทางให้แสงสะท้อนลงไปยังพื้นที่ใช้งานบริเวณด้านล่างและกระจายแสงในลักษณะแสงกระจายเป็นวงกว้าง ใช้องค์ประกอบภายในอาคารเพื่อสะท้อนแสงให้ได้ทิศทางที่ต้องการและระยะที่มีความลึกมากขึ้น



รูปภาพที่ 4.31 แสดงรูปแบบของช่องเปิดด้านบนโถงกลางของอาคาร

พื้นที่ช่องเปิด B = 84 **ตร.ม.** **รวม พื้นที่ช่องเปิดทั้งหมด 84 ตร.ม.**

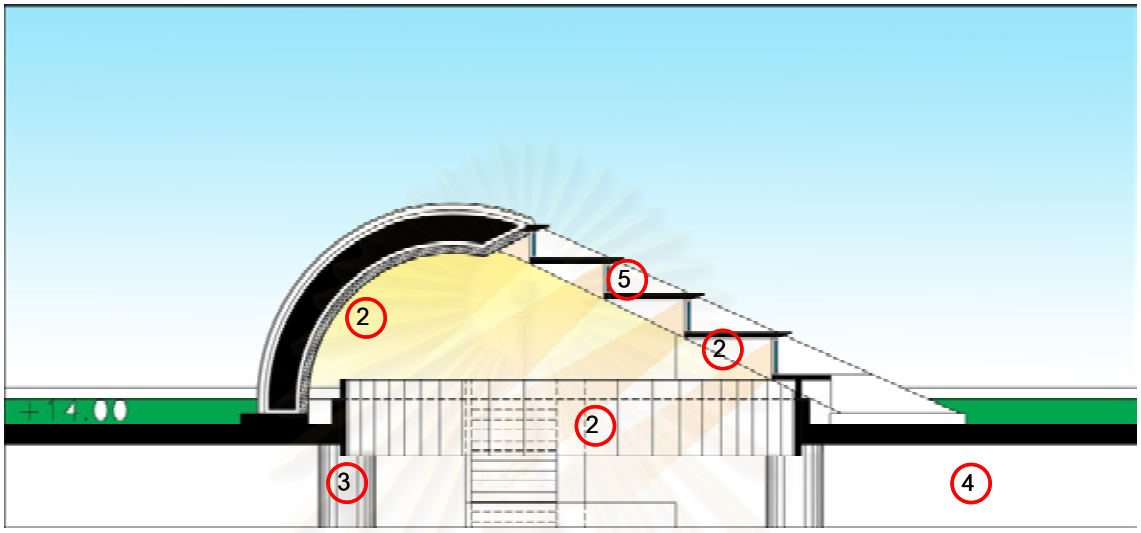


พื้นที่ใช้งาน 1225 ตร.ม. **ขนาดช่องเปิดคิดเป็น 4% ของพื้นที่ใช้งาน**

รูปภาพที่ 4.32 แสดงรายละเอียดของช่องเปิดด้านบนของโถงกลางของอาคาร

Materials

วัสดุ (Material)	ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance)	ค่าการส่องผ่าน (Transmittance)	ลักษณะการสะท้อนแสง
1. Marble , Polish	40%		Semi specular
2. Paint White	70%,80%,90%		Diffuse
3. Sand stone	30%		Diffuse
4. Paint Cream	70%		Diffuse
5. Clear glass	10%	0.80	Specular
6. Laminate glass	5%	0.65	Specular



รูปภาพที่ 4.33 แสดงการใช้วัสดุของช่องเปิดด้านบนของโถงกลางของอาคาร

การกำหนดขนาดของช่องเปิด ขนาด 4% ของพื้นที่ใช้งาน โดยใช้ผลการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่างที่ผ่านมา การใช้ช่องเปิดที่มีพื้นที่น้อยเพื่อลดปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดเข้าสู่อาคาร แต่ต้องเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงให้มากขึ้น โดยการใช้องค์ประกอบภายในทำการกระจายแสง (light distribution) ไปยังพื้นที่ที่ต้องการ โดยในอาคารตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้นในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร พบว่าในบริเวณชั้นที่ 1 มีปริมาณความส่องสว่างก่อนทำการปรับปรุงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ปริมาณแสงไม่เพียงพอกับการทำกิจกรรมภายในอาคาร จึงได้ทำการปรับปรุง โดย

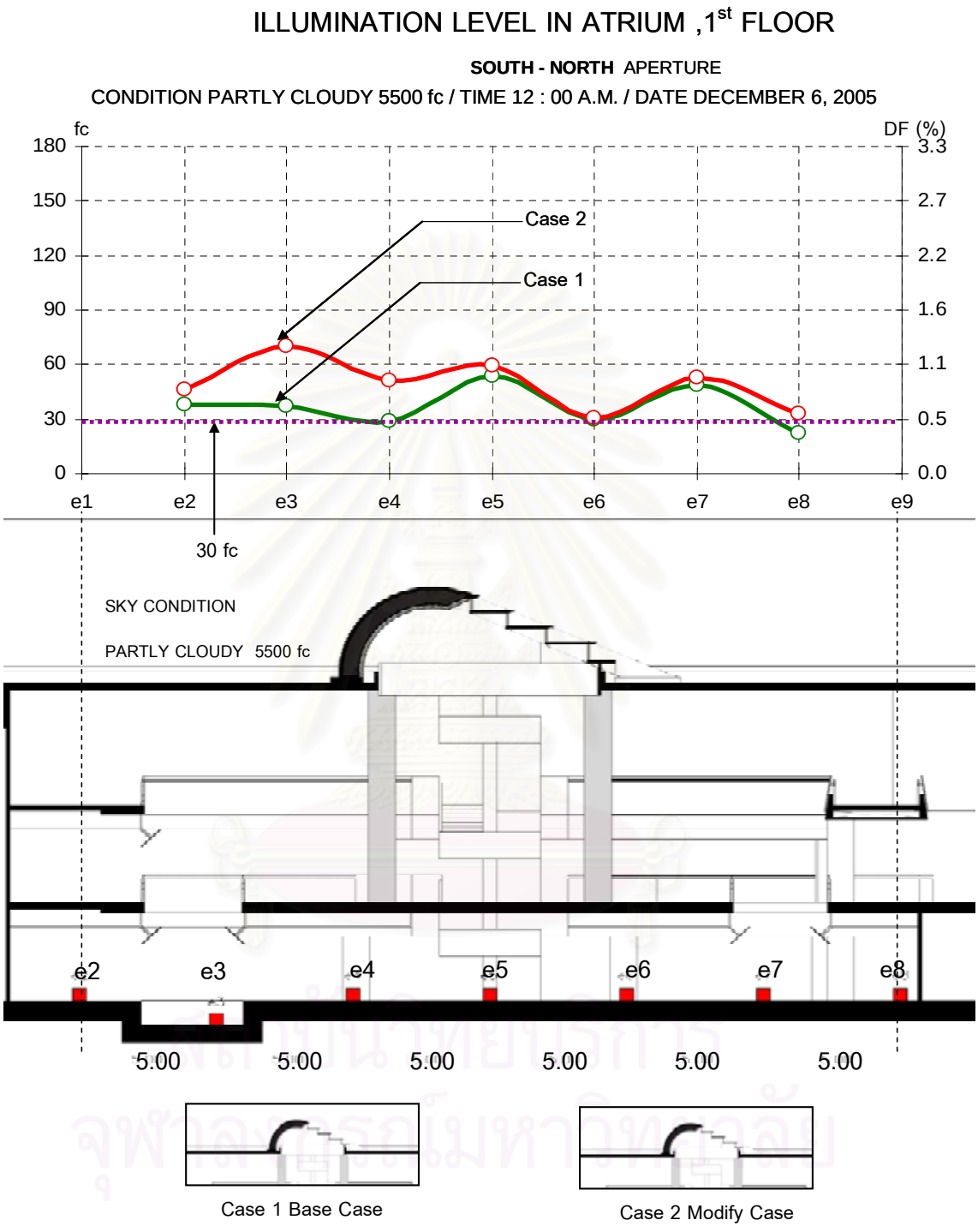
- ในบริเวณชั้นที่ 1 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงน้อย ใช้วัสดุพื้นที่มีค่าการสะท้อนแสงให้มากกว่าบริเวณด้านข้าง โดยใช้วัสดุสีขาวผิวมัน
- ใช้ผนังระเบียงในชั้นที่ 2 ช่วยสะท้อนแสงจากด้านบนลงมายังบริเวณชั้นที่ 1 ให้มีความลึกมากขึ้น โดยใช้ผนังระเบียงทาสีขาวผิวด้าน ปรับมุมเอียง 70" กับระนาบนอน

- ในบริเวณชั้นที่ 2 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงมากกว่าบริเวณด้านข้าง ใช้วัสดุพื้นที่มีค่าการสะท้อนแสงให้น้อยกว่าบริเวณด้านข้าง โดยใช้วัสดุสีเข้มผิวมัน
- ในบริเวณชั้นที่ 3 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงมากกว่าบริเวณด้านข้าง เลือกใช้วัสดุเช่นเดียวกับในบริเวณชั้นที่ 2

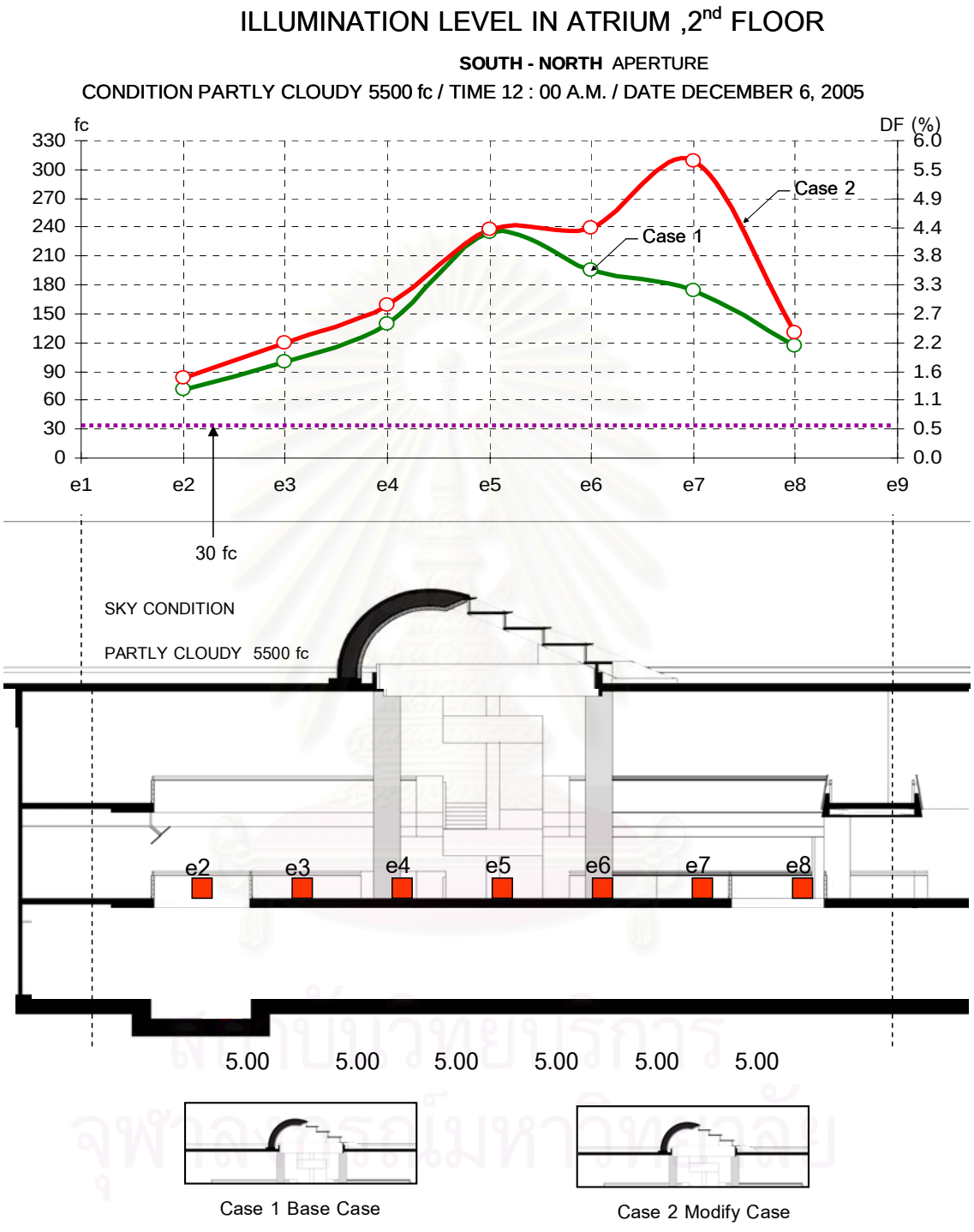
ทำการทดลองโดยเปรียบเทียบในกรณีที่ไม่ปรับปรุงกับกรณีที่มีการปรับปรุง เพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้น

ส่วนในรายละเอียดของช่องเปิดด้านบนและการกำหนดวัสดุที่ใช้ ในการเลือกใช้วัสดุทำการพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุ โดยไม่ได้เลือกใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงและลักษณะการสะท้อนแสงเพียงแบบใดแบบหนึ่ง แต่คำนึงถึงลักษณะของแสงที่ต้องการให้เกิดขึ้น เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้วัสดุและลักษณะของแสงที่สะท้อนแบบผสมผสานกัน ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.32 และ 4.33

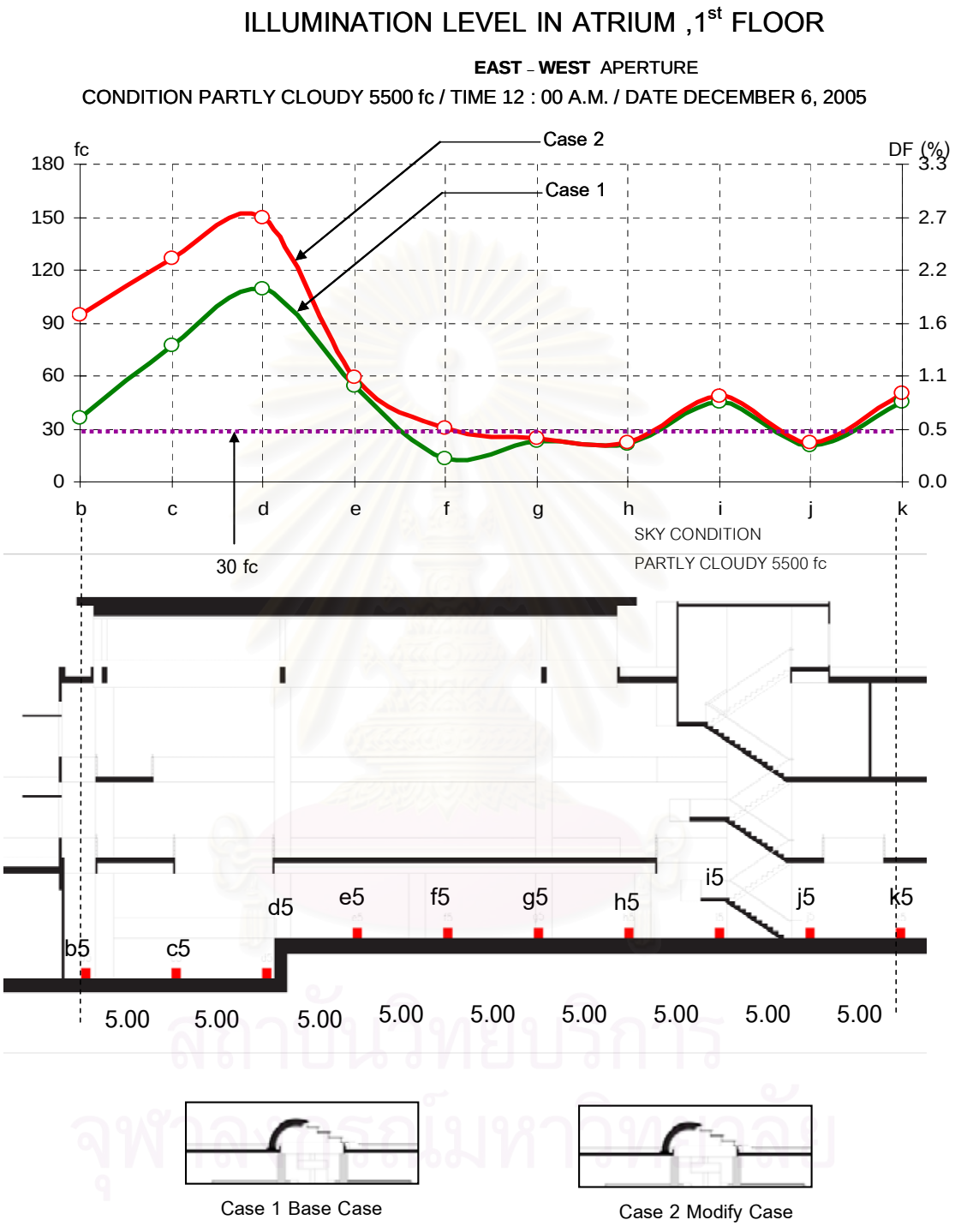
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



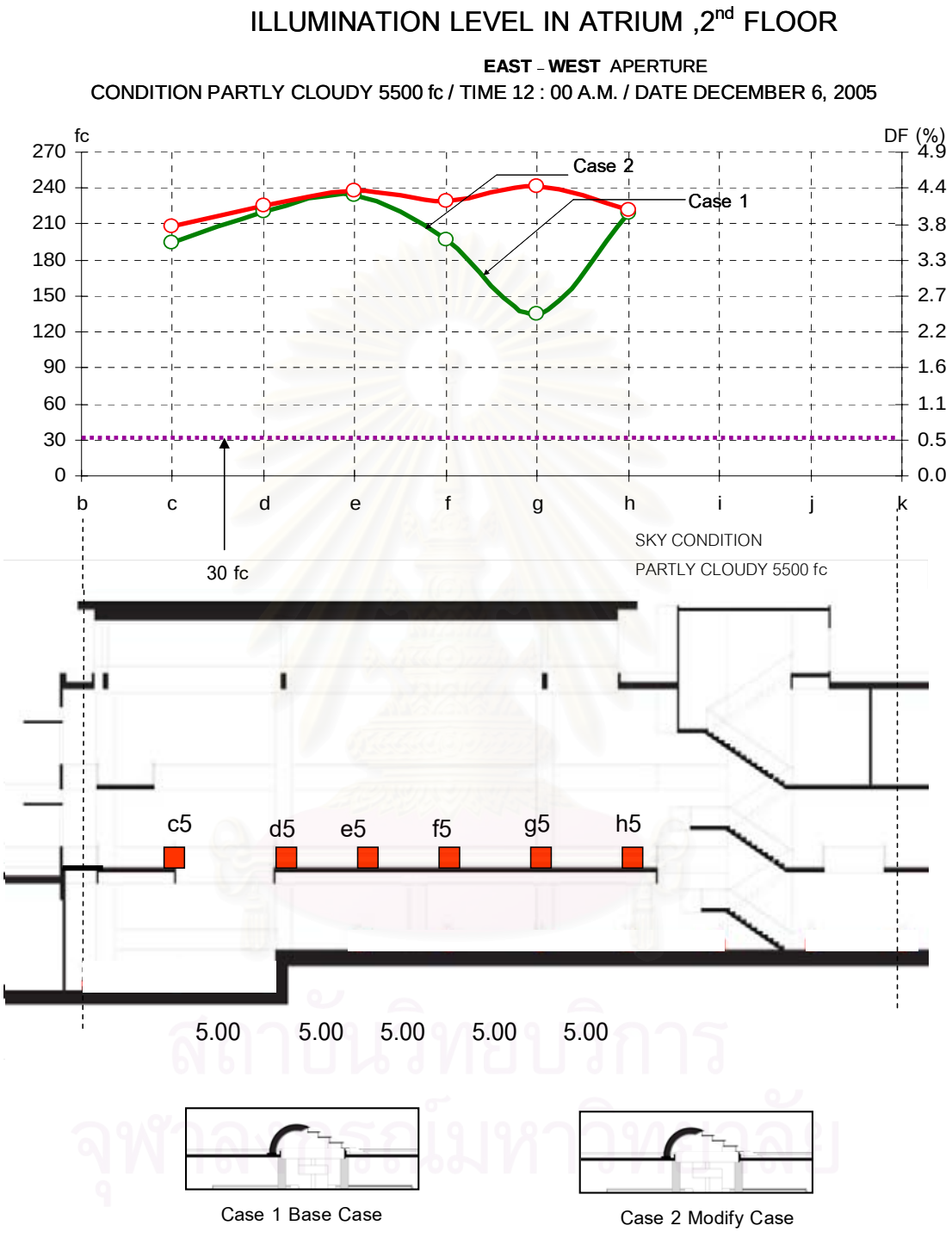
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 1 ในแนวเหนือ - ใต้



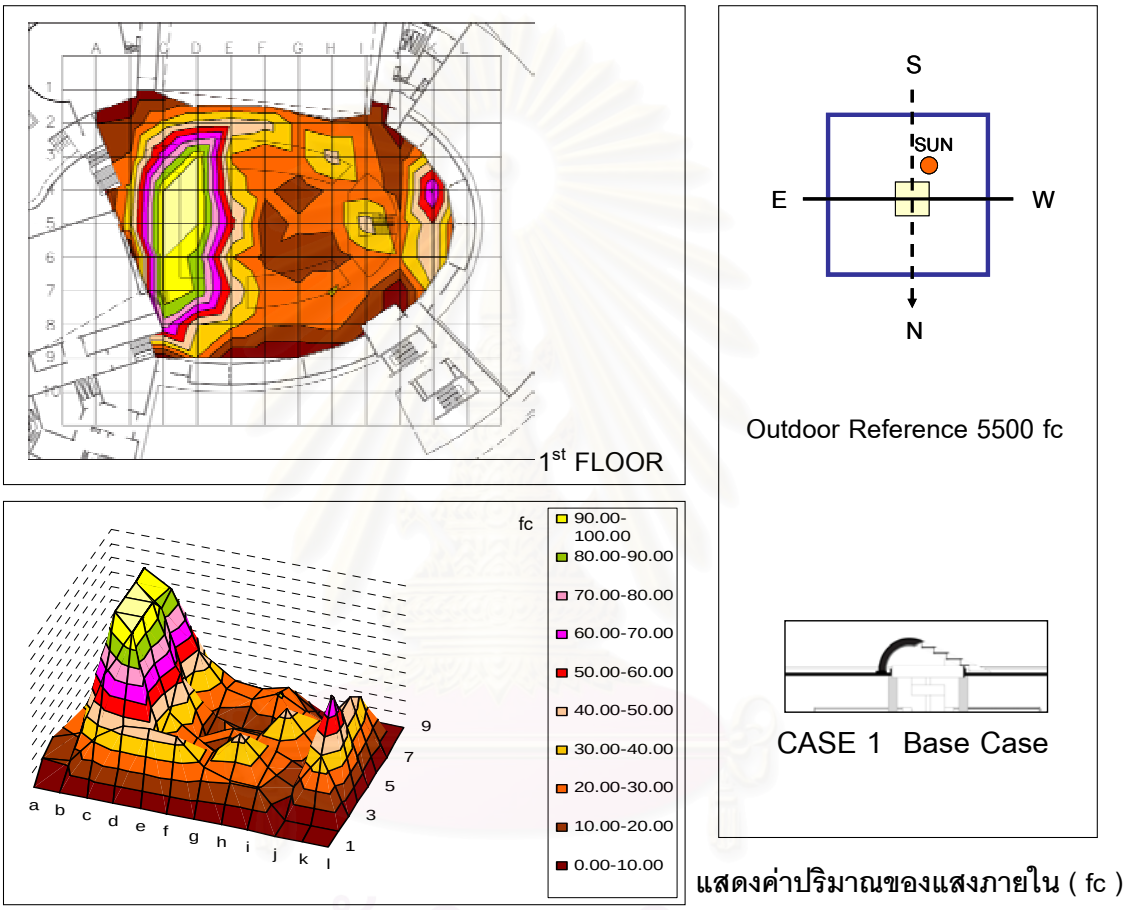
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 2 ในแนวเหนือ - ใต้



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 1 ในแนวตะวันออก - ตะวันตก



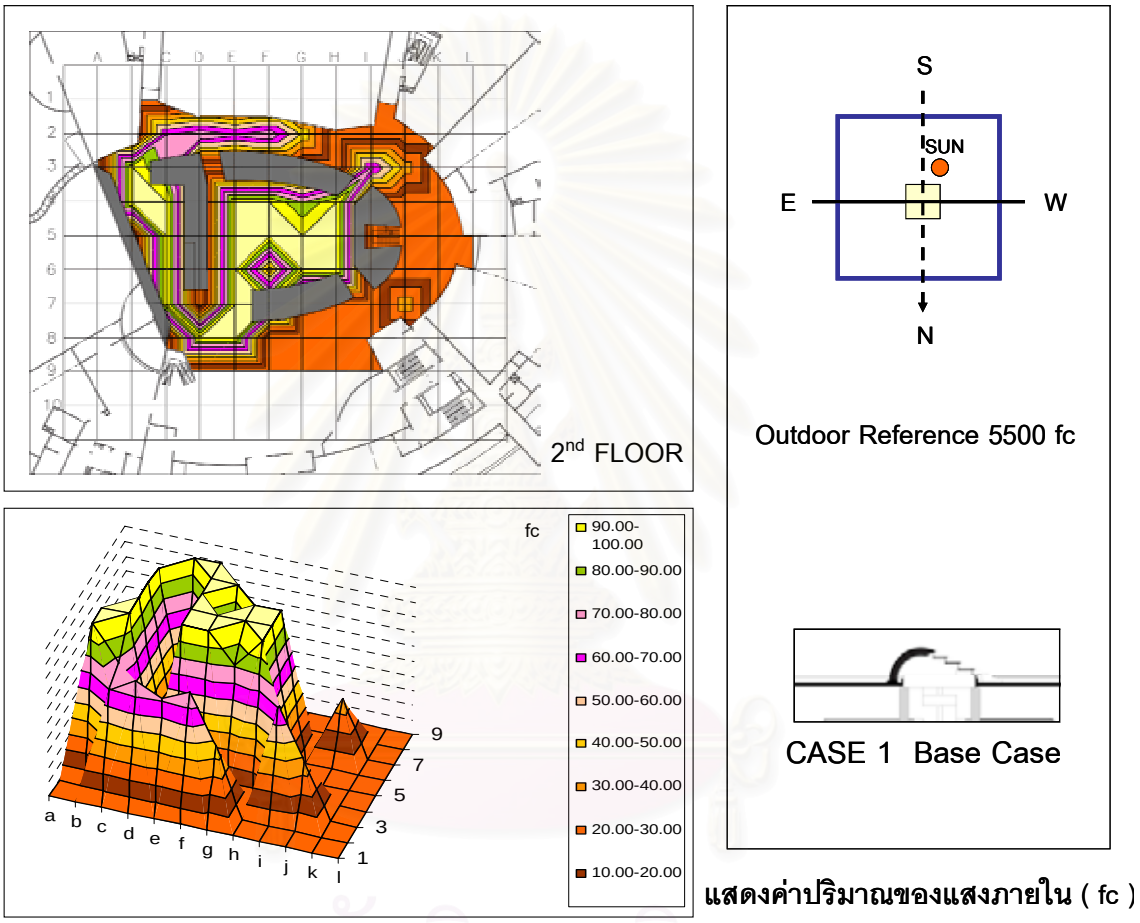
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีการปรับปรุงต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในชั้นที่ 2 ในแนวตะวันออก - ตะวันตก



แสดงค่าปริมาณของแสงภายใน (fc)

แผนภูมิที่ 4.10 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 1 ของกรณีอ้างอิง

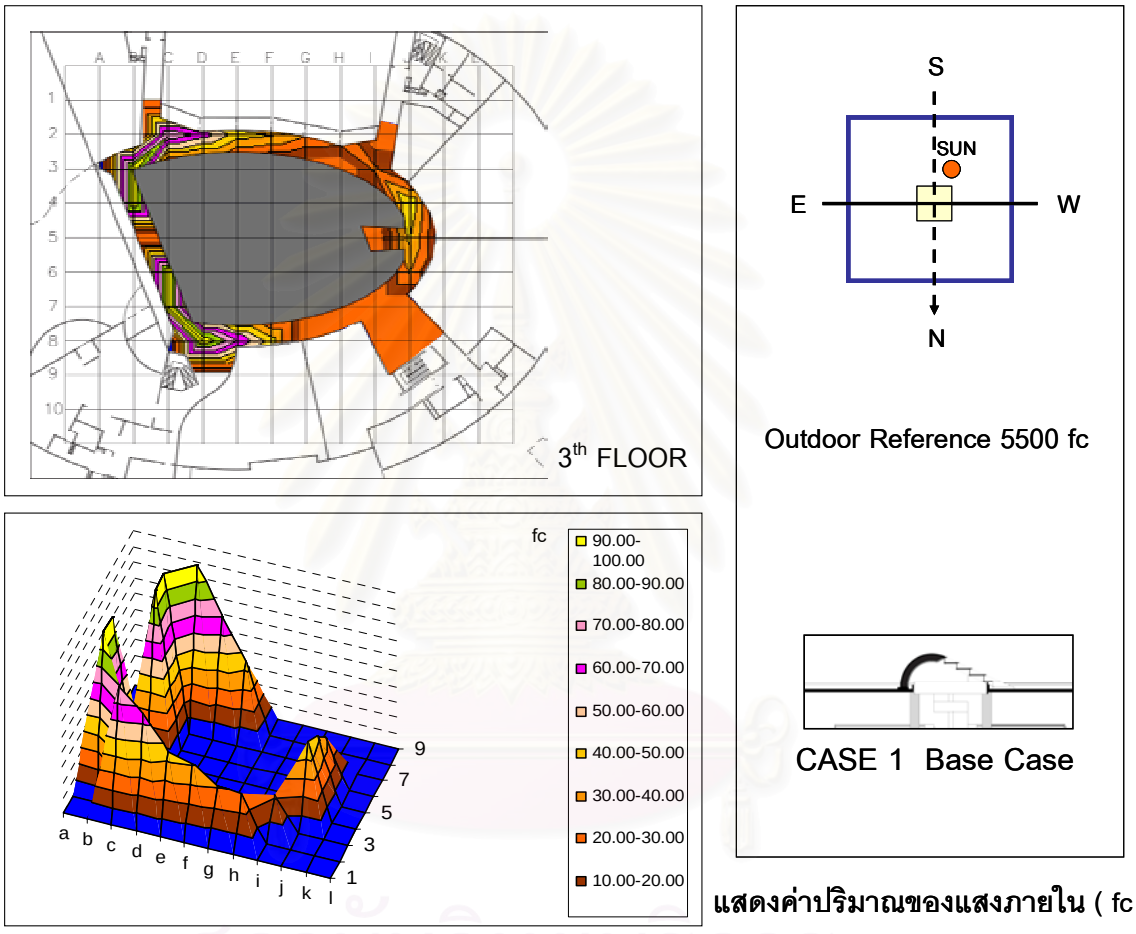
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แสดงค่าปริมาณของแสงภายใน (fc)

แผนภูมิที่ 4.11 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 2 ของกรณีอ้างอิง

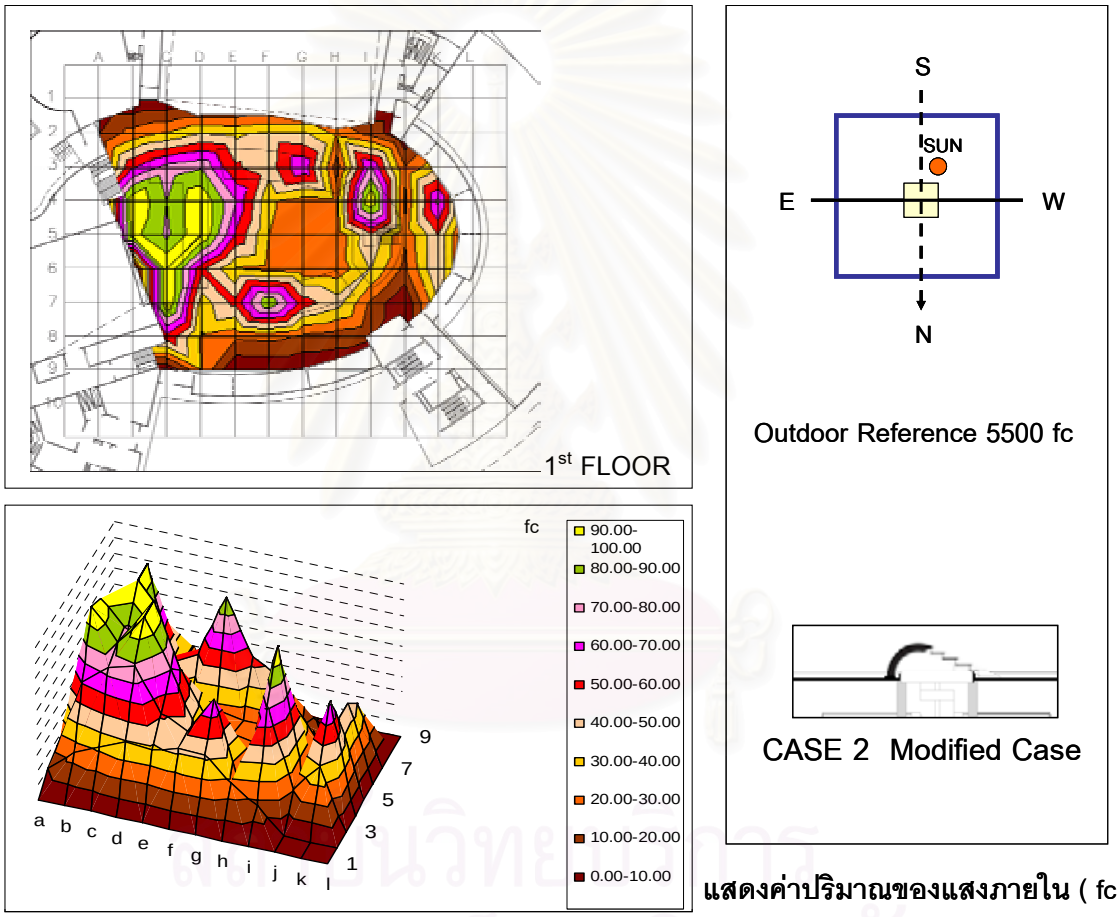
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แสดงค่าปริมาณของแสงภายใน (fc)

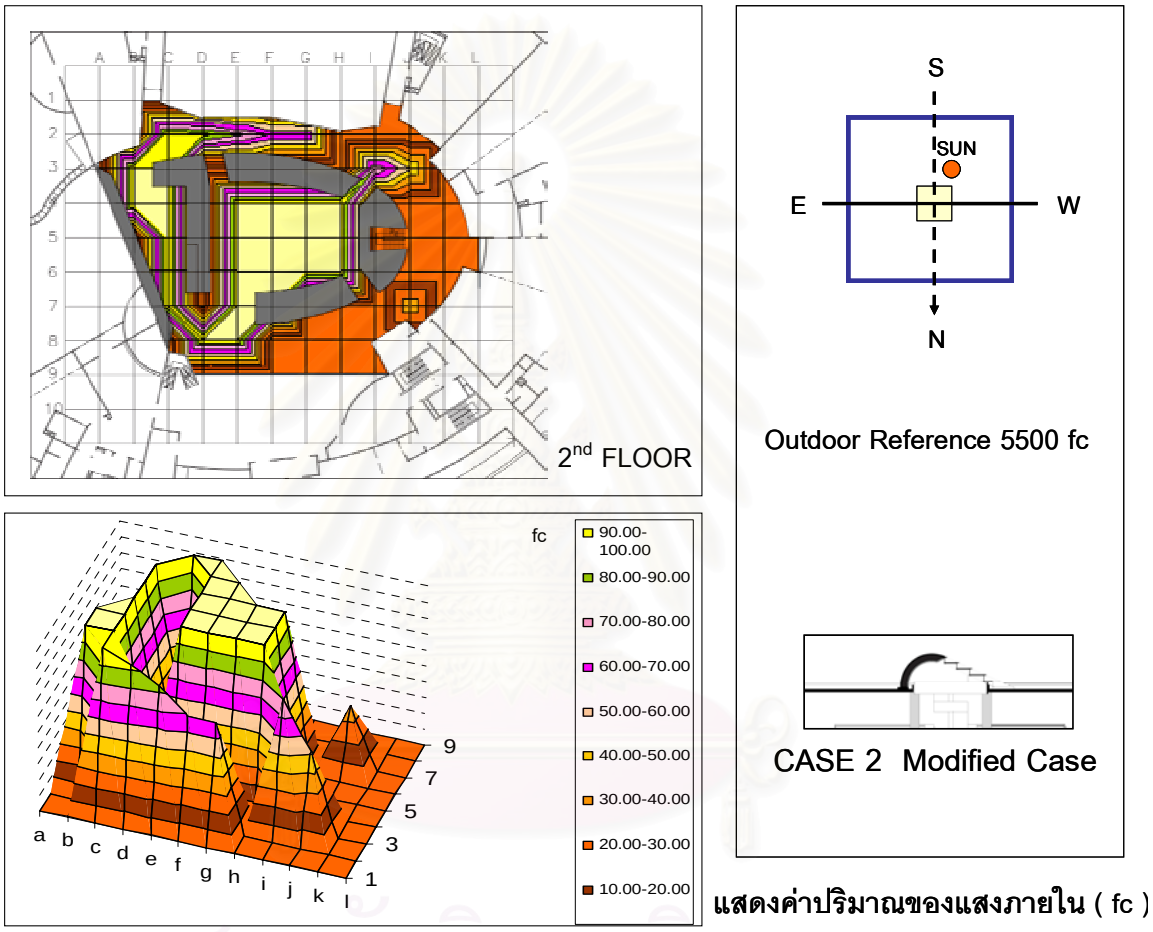
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 3 ของกรณีอ้างอิง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แสดงค่าปริมาณของแสงภายใน (fc)

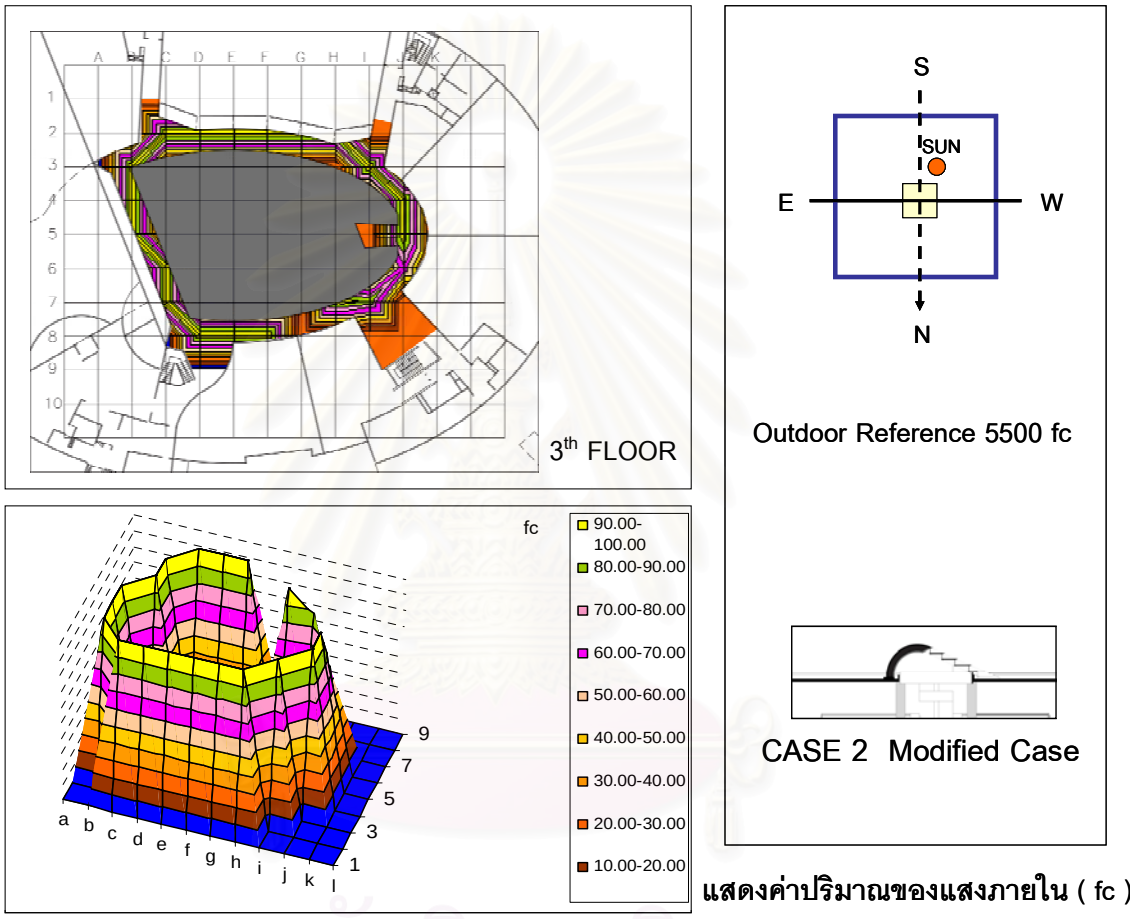
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 1 ของกรณีปรับปรุง



แสดงค่าปริมาณของแสงภายใน (fc)

แผนภูมิที่ 4.14 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 2 ของกรณีปรับปรุง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แสดงค่าปริมาณของแสงภายใน (fc)

แผนภูมิที่ 4.15 แสดงลักษณะการกระจายแสงในผังพื้นชั้นที่ 3 ของกรณีปรับปรุง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

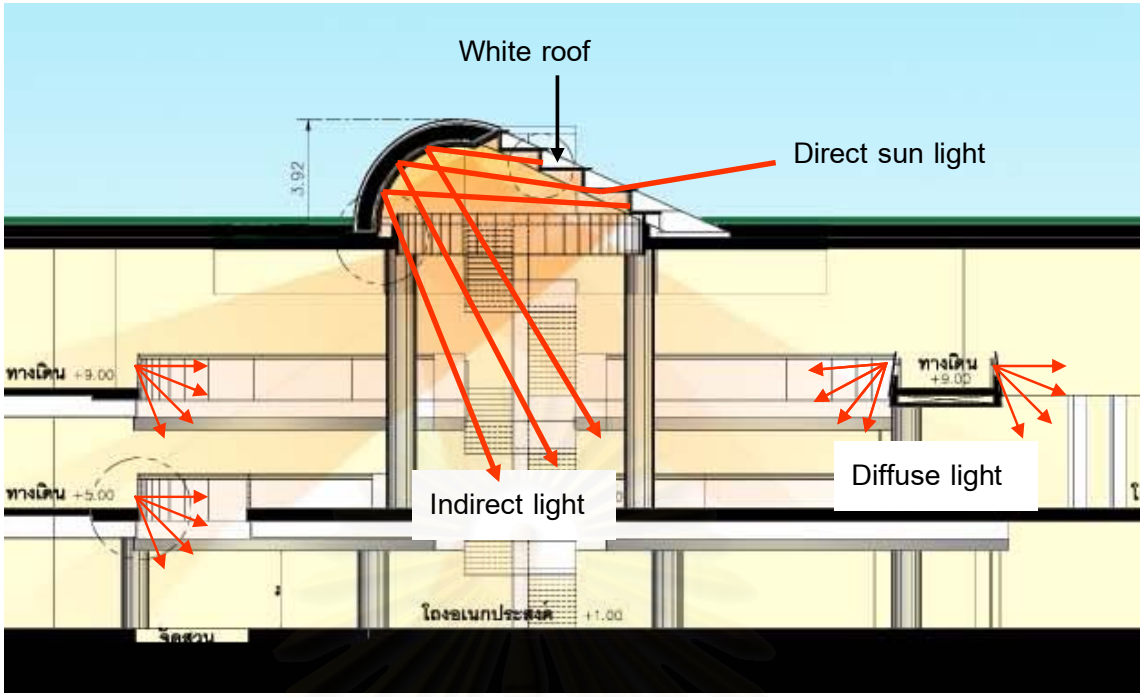
4.3.2 แนวทางในการออกแบบการใช้แสงธรรมชาติ

แนวคิดในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุดเป็นอันดับแรกก่อนการพิจารณาใช้ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ ภายในโถงกลางของอาคารที่มีผังพื้นเป็นรูปวงรีความสูง 3 ชั้น อยู่บริเวณใจกลางของอาคาร เนื่องจากพื้นที่มีขนาดใหญ่จึงเน้นการใช้แสงธรรมชาติเพื่อการประหยัดพลังงานในระยะยาวมากกว่าการเลือกใช้ระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ เนื่องจากเป็นพื้นที่สำหรับทำกิจกรรมแบบลำลอง (casual activity) จึงไม่จำเป็นต้องให้ระดับของแสงสว่างมีค่าคงที่ หรือมีปริมาณสูงมากนัก การใช้แสงธรรมชาติภายในพื้นที่ส่วนนี้จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่ง การออกแบบแสงสว่างในพื้นที่นี้นำเอาแสงธรรมชาติในลักษณะแสงกระจาย (diffuse light) เข้ามาใช้ในอาคารอย่างเต็มที่และมีการป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (sun path) ทำให้ป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารในช่วงกลางวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบแสงธรรมชาติในพื้นที่โถงอาคารได้มีการทดสอบสภาพแสงจากหุ่นจำลองเปรียบเทียบสภาพโถงและช่องเปิดในลักษณะต่างๆ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาถึงองค์ประกอบดังนี้

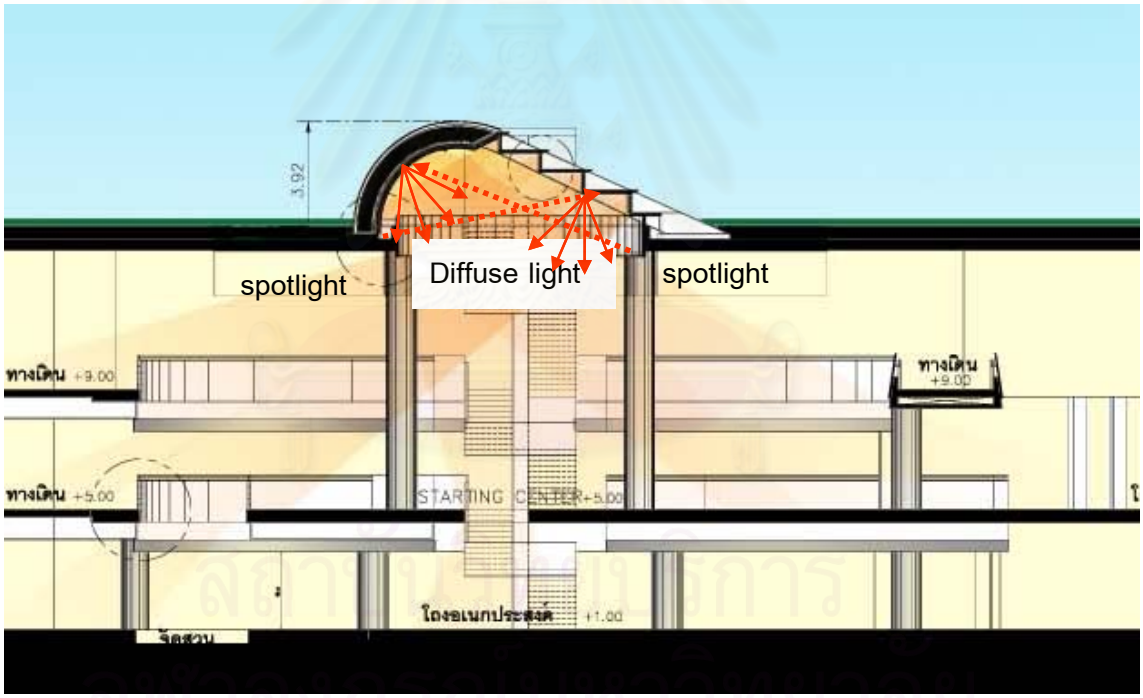
- การใช้สีภายในอาคาร
- การเลือกลักษณะของช่องเปิด
- การเลือกวัสดุที่สามารถสะท้อนแสงลงสู่พื้นที่โถงชั้นล่าง

ผลการทดสอบพบว่าการใช้ช่องเปิดด้านบนเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในโถงกลางของอาคาร การกำหนดให้ตำแหน่งของช่องเปิดหันสู่ด้านทิศเหนือทำให้ได้รับอิทธิพลจากแสงตรงของดวงอาทิตย์น้อยกว่าด้านอื่นๆ เป็นการลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านทางช่องเปิด แสงที่สะท้อนเข้าจากทางด้านข้างของช่องเปิดช่วยนำแสงธรรมชาติสะท้อนเข้าสู่พื้นผิวภายในของหลังคาครึ่งวงกลมและสะท้อนกลับลงสู่พื้นที่โถงด้านล่างเพื่อเพิ่มความสว่างให้กับบริเวณพื้นที่ใช้งาน จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างในกรณีที่ไม่ปรับปรุงและกรณีที่ทำการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร จากเดิมที่บริเวณชั้นที่ 1 ที่มีปัญหาปริมาณความส่องสว่างไม่เพียงพอกับการใช้งาน การปรับปรุงองค์ประกอบภายในทำให้ระดับของปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้นจนอยู่ในระดับที่เพียงพอแก่การใช้งานที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติได้ผลตามที่ต้องการ

ในรูปภาพที่ 4.34ก และ 4.34ข เป็นการแสดงการใช้แสงประดิษฐ์ในเวลากลางคืน ในลักษณะแสงสะท้อนลงมาจากฝ้าเพดานในลักษณะเดียวกับแสงธรรมชาติที่ใช้ในเวลากลางวัน



(ก) Daylight



(ข) Artificial light

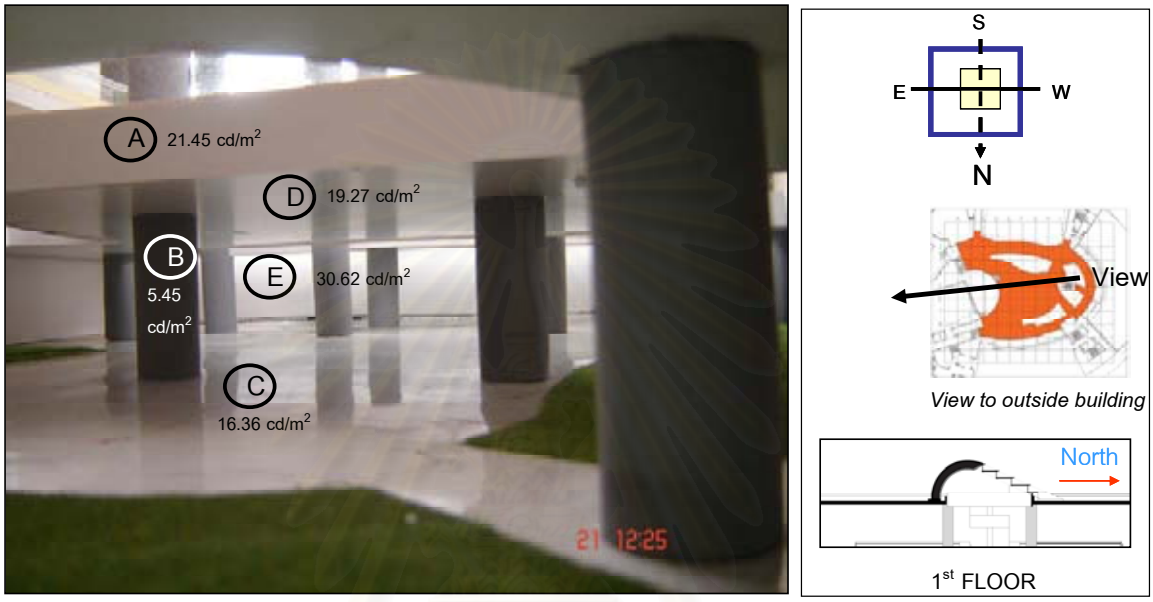
รูปภาพที่ 4.34 แสดงการให้ความสว่างภายในอาคาร

(ก) แสดงการใช้แสงธรรมชาติ โดยการนำแสงกระจายจากท้องฟ้าเข้ามาในอาคารด้วยการใช้แสงสะท้อนตกกระทบกับพื้นที่ทาสีขาวบริเวณฝ้าอาคารเพื่อให้เกิดแสงกระจายให้ความสว่างกับพื้นที่โถงด้านล่าง

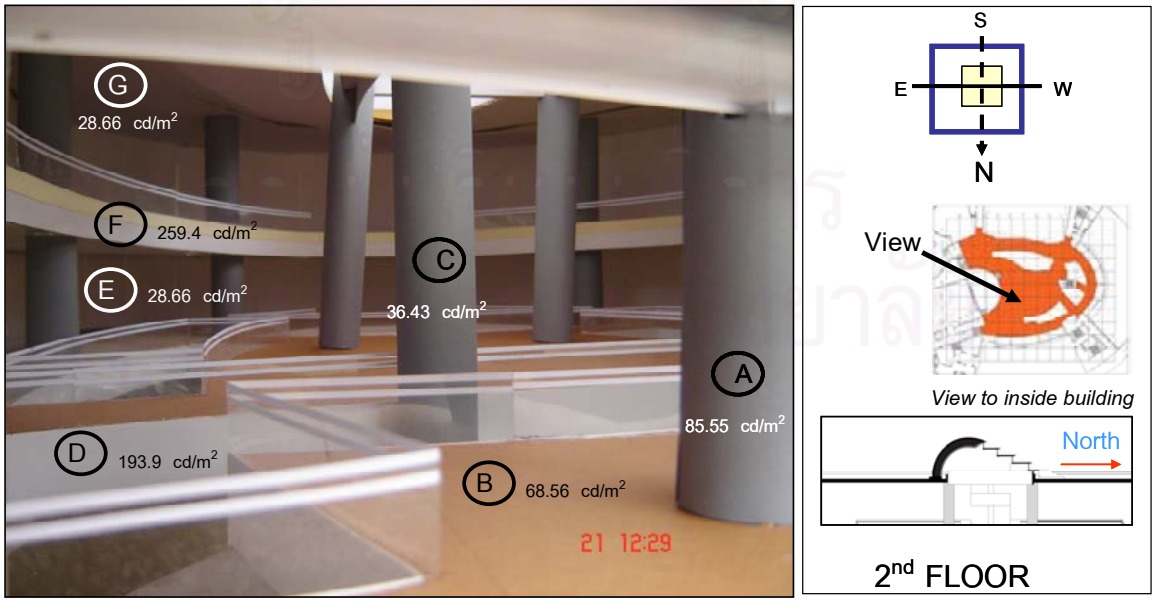
(ข) แสดงการใช้แสงประดิษฐ์ โดยใช้โคมสปอทไลท์ (Spot Light) ฉายขึ้นสู่ฝ้าด้านบนเพื่อให้เกิดแสงสว่างภายในอาคารเวลากลางคืน

4.3.3 คุณภาพของแสงธรรมชาติ

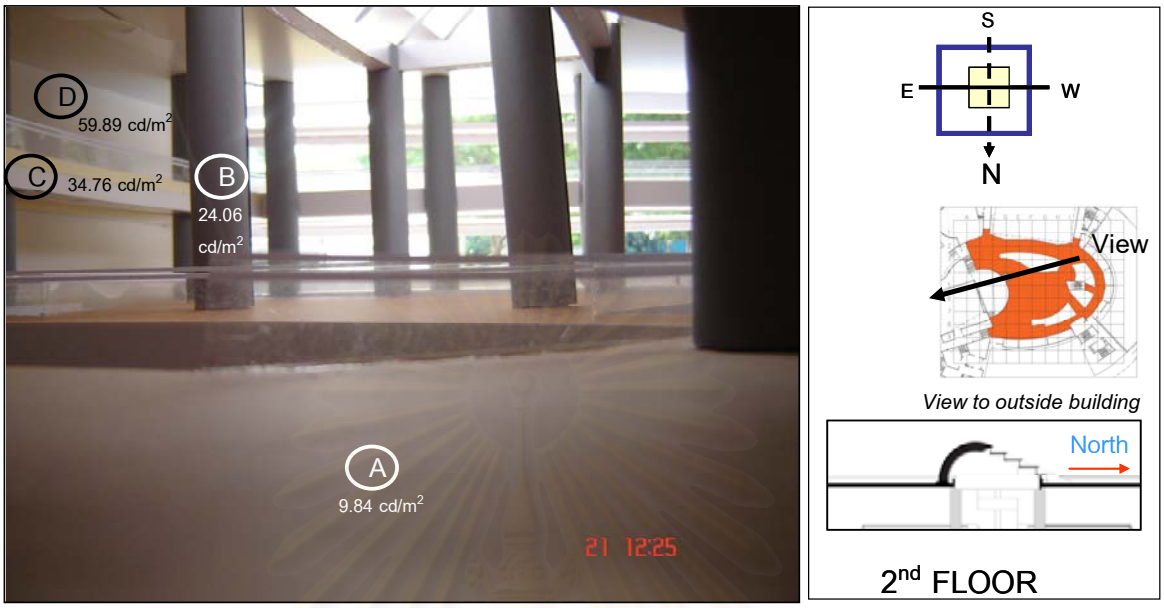
ในการศึกษาในส่วนนี้ เป็นการวิเคราะห์คุณภาพแสงที่เกิดขึ้น โดยการพิจารณาอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น (luminance ratio) แสดงผลที่เกิดขึ้นตามตำแหน่งต่างๆ ในภาพถ่าย



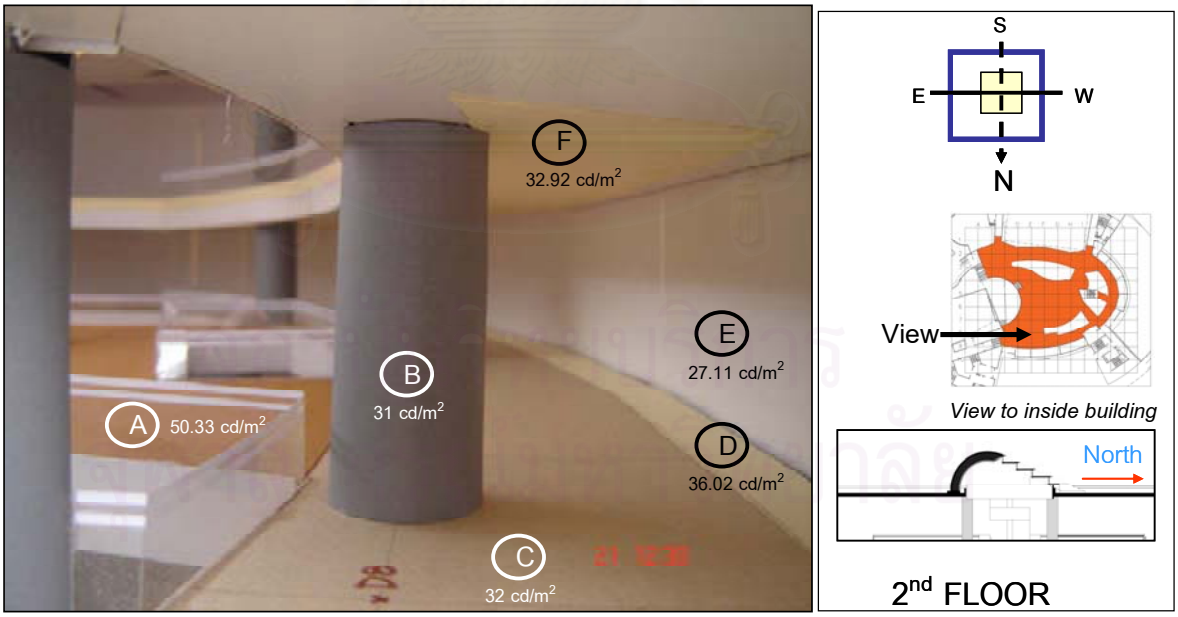
รูปภาพที่ 4.35 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 1 ของอาคาร



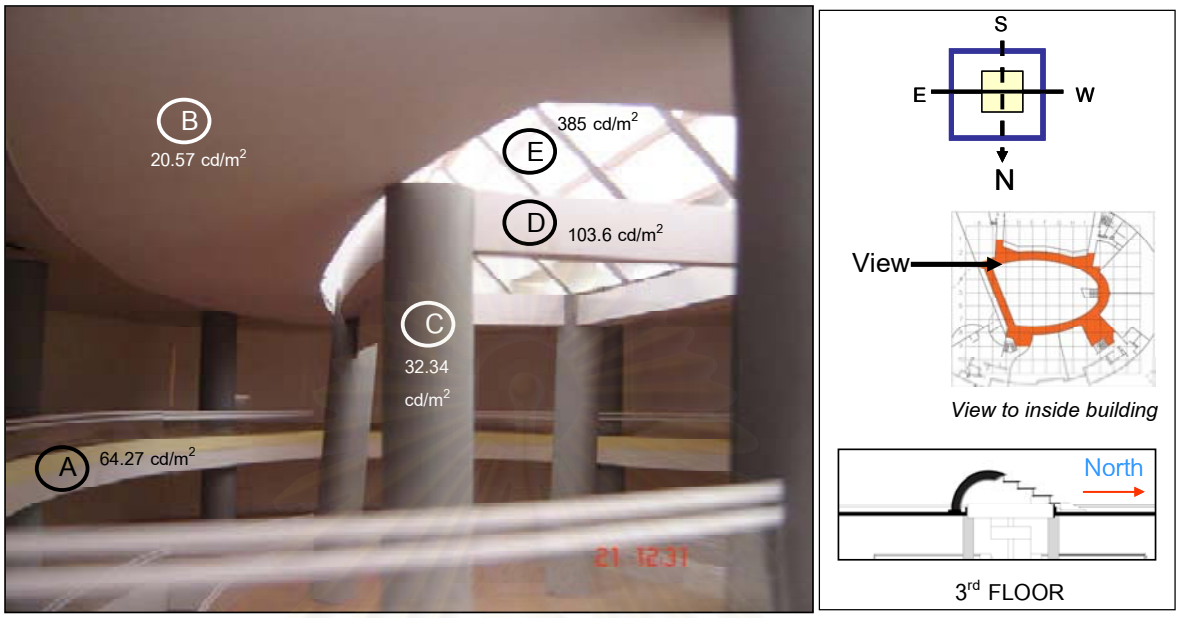
รูปภาพที่ 4.36 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 2 ของอาคาร



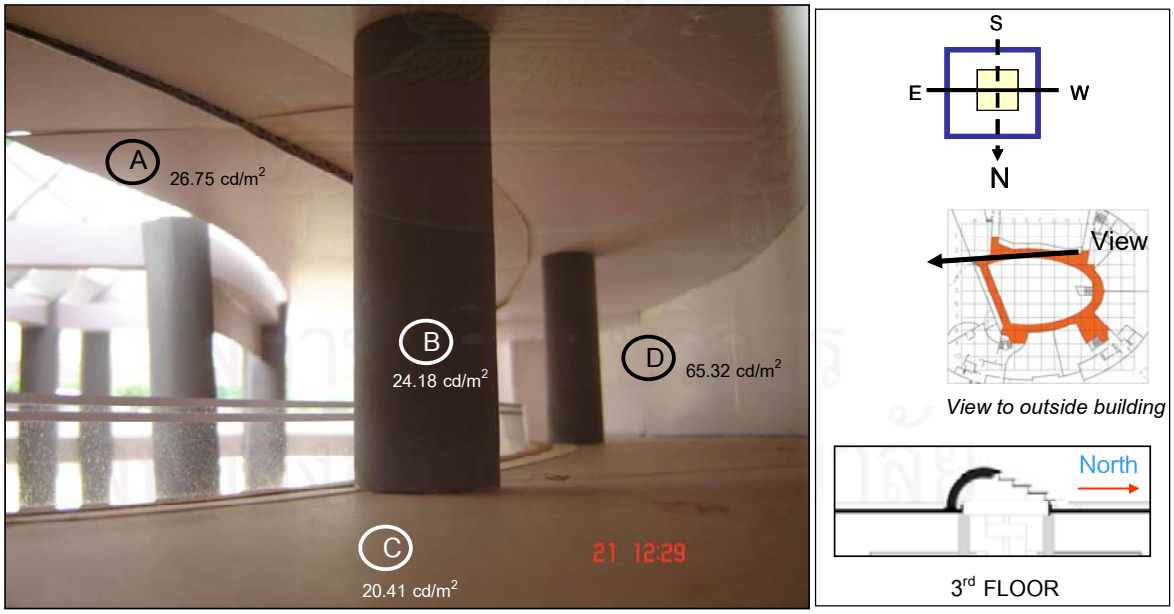
รูปภาพที่ 4.37 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 2 ของอาคาร



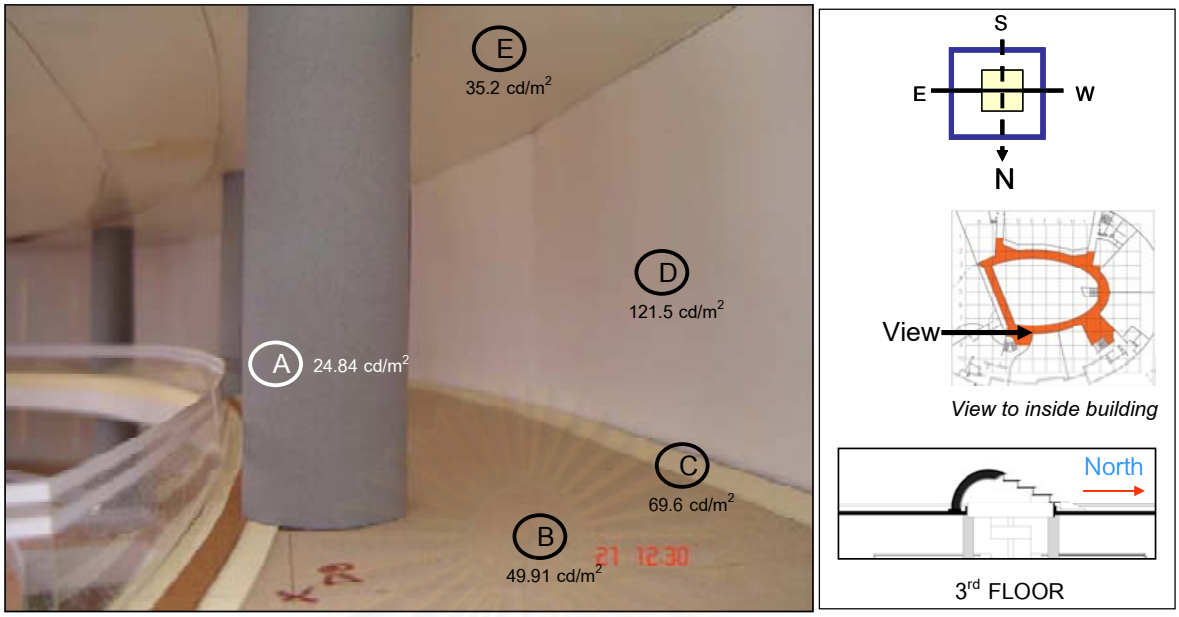
รูปภาพที่ 4.38 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 2 ของอาคาร



รูปภาพที่ 4.39 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 3 ของอาคาร



รูปภาพที่ 4.40 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 3 ของอาคาร



รูปภาพที่ 4.41 แสดงปริมาณความสว่างภายในบริเวณชั้นที่ 3 ของอาคาร

จากการทดลองพบว่า ความแตกต่างของความสว่างในตำแหน่งที่ศึกษาไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารแบบแสงสะท้อนเข้ามาในอาคาร (indirect light) นอกจากปริมาณแสงที่เพียงพอต่อความต้องการแล้ว การใช้แสงธรรมชาติที่มีคุณภาพของแสง ควรคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุภายในอาคารโดยการการพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุดังนี้

- ค่าการสะท้อนแสง นอกจากจะช่วยเพิ่มปริมารความส่องสว่างภายในอาคารแล้ว การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสะท้อนแสงมากหรือน้อยนั้น ควรพิจารณาตำแหน่งของพื้นผิวหรือองค์ประกอบภายในอาคารด้วย ยกตัวอย่างจากรูปภาพที่ 4.41 โดยปกติถ้าใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากัน ในตำแหน่ง C จะมีความสว่างน้อยกว่าตำแหน่ง B และตำแหน่ง A ตามลำดับ แต่ถ้าต้องการให้มีความรู้สึกว่าภายในส่วนที่ลึกไปจากบริเวณโถงกลางมีความสว่างมากกว่า ควรใช้วัสดุให้มีค่าการสะท้อนแสงที่มากกว่าบริเวณโถงกลาง
- การเลือกใช้สี สีแต่ละสีมีค่าการสะท้อนแสงที่ไม่เท่ากัน (ตารางที่ 2.1 และ 2.12 ในบทที่ 2) สีที่มีค่าการสะท้อนแสงมากย่อมมีค่าความสว่างมากกว่าสีที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อยกว่า จากสมการที่ 5.1 และการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร การใช้สีควรเลือกใช้สี Warm Tone เพราะดวงตาของมนุษย์จะมองเห็นสีในช่วงความยาวคลื่นได้ดีกว่า ทำให้รู้สึกสว่างกว่า (หัวข้อที่ 2.7.1 ในบทที่ 2)

4.3.4 การประยุกต์การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์

- **ระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง** ใช้ระบบควบคุมในการตั้งเวลาเปิด-ปิดโคมไฟจากห้องควบคุมส่วนกลาง เพื่อให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งระบบอัตโนมัติในการปรับหรี่แสง (dimmer) ของโคมไฟ โดยในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงธรรมชาติเข้ามาเพียงพอ ระบบก็จะปรับหรี่แสงลงและควบคุมให้มีระดับความสว่างพอดีกับการใช้งาน ส่วนในช่วงที่มีปริมาณแสงธรรมชาติไม่เพียงพอระบบก็จะค่อยๆ ปรับปริมาณแสงให้เพิ่มมากขึ้นในปริมาณที่สม่ำเสมอตามความต้องการ
- **โคมไฟประสิทธิภาพสูง** ใช้โคมไฟที่การกระจายแสงสูง ทำให้แสงสว่างกระจายออกมาได้มาก โดยลักษณะโคมจะเป็นชนิดที่มีแผ่นกระจายแสงที่มีค่าการสะท้อนแสงได้ดี และใช้เกล็ดบังตาในการควบคุมความจ้าของแสง (glare) แทนการใช้ฝาครอบดวงโคมที่เป็นกระจกฝ้าหรือพลาสติกขุ่น ทำให้ลดจำนวนหลอดไฟที่จำเป็นต้องใช้ลง
- **หลอดไฟประสิทธิภาพสูง** ใช้หลอดที่มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างหรือค่าลูเมนต่อวัตต์สูง คือ ใช้พลังงานน้อยแต่ให้แสงสว่างมาก
- **บัลลาสต์อิเลคทรอนิคส์** ใช้บัลลาสต์อิเลคทรอนิคส์กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทำให้สามารถปรับหรี่แสงโคมไฟได้ตามแสงธรรมชาติและลดการใช้พลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์และบัลลาสต์ลงได้ชุดละ 9 วัตต์ หรือลดลงประมาณ 20% เมื่อเทียบกับการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กทั่วไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการวิจัยมาประมวลเป็นข้อสรุป แล้วนำเสนอแนวทางที่สามารถนำไปใช้ได้โดยอาศัยการอ้างอิงจากผลการทดลอง การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารนั้น โดยทั่วไปมี 2 แนวทาง คือ การให้แสงจากทางด้านข้าง (side lighting) และการให้แสงจากทางด้านบน (top lighting) ขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ และความเหมาะสม โดยลักษณะของอาคารใต้ดินซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากอาคารบนดินในด้านข้อจำกัดและตำแหน่งของช่องเปิด ทำให้รูปแบบการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจะเป็นแบบ การให้แสงจากทางด้านบน ข้อดีของการให้แสงจากทางด้านบน คือ มุมของแสงจากด้านบนทำให้เกิดปัญหาแสงจ้าน้อยกว้าการให้แสงจากทางด้านข้าง

ดังนั้นในการนำแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน สิ่งที่ควรพิจารณาตามลำดับจากการศึกษา คือ

- แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)
- การกระจายแสงในทิศทางที่ต้องการ (Light Distribution)
- ด้านปริมาณ คือ ปริมาณความส่องสว่าง (Illuminance) ที่เพียงพอกับการใช้งาน
- ด้านคุณภาพ คือ ปริมาณความสว่าง (Luminance) มีความเปรียบต่างตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติ ทั้งการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่างในการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน จากนั้นนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง พบว่าเมื่อมีการปรับปรุงองค์ประกอบภายในที่ช่วยในการกระจายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังทิศทางที่ต้องการ เพื่อเพิ่มปริมาณความส่องสว่างในบริเวณที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์การใช้งานที่กำหนดไว้ ผลที่ได้ในด้านปริมาณของแสง คือ มีปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้น เมื่อปรับปรุงโดยการเปลี่ยนค่าการสะท้อนแสงและลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุที่ทำหน้าที่กระจายแสง การปรับมุมของผนังระเบียงภายในให้มีจำนวนครั้งของการสะท้อนแสงลดลง บังคับทิศทางของแสงให้ลงไปยังบริเวณพื้นที่ใช้งานโดยตรง การพิจารณาปริมาณความส่องสว่างโดยการพิจารณาค่า Daylight Factor ที่เกิดขึ้น ในด้านคุณภาพของแสง คือ การวิเคราะห์ปริมาณความสว่างที่วัดได้ โดยพิจารณาอัตราส่วน

ความแตกต่างของความสว่างที่เกิดขึ้น (luminance ratio) ผลที่ได้จากการทดลองต่างๆ แบ่งการนำเสนอผลที่ได้แยกออกเป็นประเด็นต่างๆ ดังนี้

5.1.1 **แหล่งกำเนิดแสง** (light source)

จากปัญหาหนึ่งของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดิน คือ ข้อจำกัดของช่องเปิดทั้งในด้านจำนวนและตำแหน่งที่จะมีได้ ส่วนใหญ่มักเลือกใช้รูปแบบของช่องเปิดด้านบน ซึ่งในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารควรหลีกเลี่ยงการนำแสงตรง (direct sunlight) จากดวงอาทิตย์ เช่น การใช้ช่องเปิดแบบ Skylight เพราะการใช้แสงในลักษณะดังกล่าวเมื่อนำมาใช้ในอาคารทำให้เกิดความแตกต่าง (contrast) ของแสงภายในสูงระหว่างบริเวณที่แสงมากกับบริเวณที่แสงน้อย เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแสงจ้า (glare) ทำให้เกิดความไม่สบายตาแก่ผู้ใช้อาคาร นอกจากนั้นการนำแสงตรงมาใช้ในอาคารทำให้ปริมาณความร้อนที่เข้ามาในอาคารมีปริมาณสูงเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับระบบปรับอากาศ ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้ใช้แสงธรรมชาติในลักษณะแสงที่สะท้อนกับองค์ประกอบภายนอก (exterior reflected component :ERC) ผ่านช่องเปิดเข้ามาในอาคาร โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ควรพิจารณาในการใช้แสงธรรมชาติมี ดังนี้

- สภาพท้องฟ้า ที่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลและแต่ละสถานที่
- มุมโคจรและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในวันเวลาที่ต่างกัน
- ลักษณะของแสงธรรมชาติที่นำมาใช้ควรหลีกเลี่ยงการใช้แสงตรงจากดวงอาทิตย์ โดยใช้แสงสะท้อนและแสงกระจายจากท้องฟ้าแทน
- การป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์เข้ามาในอาคาร ควรมีการออกแบบแผงกันแดดและแผงควบคุม โดยใช้เป็นองค์ประกอบภายนอก (ERC) ในการสะท้อนแสงเข้ามาในอาคาร
- ขนาดพื้นที่ช่องเปิดที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน โดยเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้แสงธรรมชาติ ด้วยการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร
- ตำแหน่งของช่องเปิด ควรหลีกเลี่ยงมุมมองที่มองเห็นแหล่งกำเนิดแสง (ดวงอาทิตย์) เพื่อป้องกันปัญหาแสงจ้า

จากการวิจัยพบว่าการใช้รูปแบบช่องเปิดแบบ Clerestories แสงที่เข้ามาในอาคารเป็นแบบแสงสะท้อน (indirect) จากภายนอกเข้าสู่ภายใน โดยสะท้อนกับฝ้าเพดานของอาคารที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงภายในอาคาร จากการประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง ใช้แสงสะท้อนผ่าน

ช่องเปิดแบบ Clerestories ที่หันหน้าสู่ทิศเหนือเพื่อนำแสงด้านทิศเหนือมาใช้เนื่องจากเป็นทิศที่ได้รับอิทธิด้านความร้อนจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุด โดยแบ่งช่องเปิดเป็น 4 ระดับในลักษณะคล้ายขั้นบันได ในแต่ละระดับมีระยะยื่นสำหรับกันแดดเข้าสู่อาคาร แสงที่สะท้อนจากหลังค่าภายนอกเมื่อเข้าสู่ภายในจะสะท้อนกับฝ้าเพดานโค้งทาสีขาวที่ทำหน้าที่เหมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงภายในอาคาร การใช้ฝ้าเพดานโค้งเพื่อที่จะสะท้อนแสงได้ทุกมุมที่ตกกระทบบังคับทิศทางให้แสงสะท้อนลงไปยังพื้นที่ใช้งานบริเวณด้านล่างและกระจายแสงในลักษณะแสงกระจายเป็นวงกว้าง ใช้องค์ประกอบภายในอาคารเพื่อสะท้อนแสงให้ได้ทิศทางที่ต้องการและระยะที่มีความลึกมากขึ้น การนำแสงสะท้อนมาใช้ในอาคาร ทำให้มีความสม่ำเสมอของแสงภายในและมีความแปรปรวนน้อยในสภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกัน ส่วนการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติทำได้โดยการปรับปรุงองค์ประกอบภายในอาคาร (interior reflected component :IRC) ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนกระจายแสง (light distribution) ไปยังบริเวณที่ต้องการ

5.1.2 **การกระจายแสง** (light distribution)

จากการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่าง พบว่าการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน (IRC) ทำให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้น โดยใช้การปรับมุมเอียงของผนังภายในและลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุที่แตกต่างกัน โดยทำการทดลองในขนาดสัดส่วนของช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานใน 3 ขนาด คือ 4% 8% และ 12% ของขนาดพื้นที่ใช้งาน พบว่าในสัดส่วนทั้ง 3 ขนาด จากการพิจารณาค่า Daylight Factor การใช้มุมเอียงของผนังมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณความส่องสว่างภายในมากกว่าในกรณีที่ไม่ใช้มุมเอียงของผนังภายใน จากผลการทดสอบจะเห็นว่าปริมาณความส่องสว่างที่วัดได้ในหุ่นจำลองที่มีสัดส่วนของพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานทั้ง 3 ขนาดนั้น พบว่าปริมาณความส่องสว่างในกรณีต่างๆ ดังนี้

- กรณีที่ใช้ผนังกระจกสะท้อนแสงไม่ปรับมุมเอียง มีปริมาณความส่องสว่างมากที่สุด
- การใช้ผนังทาสีขาว ปรับมุมเอียง 70° กับระนาบนอนมีปริมาณความส่องสว่างเป็นอันดับสอง
- การใช้ผนังทาสีขาว ไม่ปรับมุมเอียง มีปริมาณความส่องสว่างเป็นอันดับสาม
- การใช้กระจกสะท้อนแสงปรับมุมเอียง 70° กับระนาบนอนมีปริมาณความส่องสว่างเป็นอันดับสุดท้าย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากปริมาณความส่องสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่เท่ากัน ผลการปรับปรุงภายในอาคารทำให้การกระจายแสง (light distribution) และการนำแสงธรรมชาติไปใช้ในการพิจารณาด้านปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นทำให้เกิดผลที่แตกต่างกัน โดยการใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสง ลักษณะของการสะท้อนแสงและการใช้มุมเอียงที่แตกต่างกัน การพิจารณาค่าสะท้อนแสงของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงมากย่อมมีการสะท้อนแสงมากกว่าวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อย โดยค่าการสะท้อนแสงของวัสดุดูได้จากตารางที่ 2.10 ในบทที่ 2 ลักษณะการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน โดยใช้การสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse light)ของวัสดุที่ทาสีขาวด้าน (matte white) และการสะท้อนแสงเสมือนกระจก (specular) ของกระจกสะท้อนแสง (glass reflective) วัสดุที่ทาสีขาวด้าน ลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจายจะกระจายแสงแบบไม่มีทิศทางคือกระจายไปทั่วบริเวณภายใน ลักษณะของแสงที่กระจายมีความสม่ำเสมอมากกว่าการใช้วัสดุที่เป็นกระจกสะท้อนแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงเสมือนกระจก ที่กระจายแสงตามมุมที่สะท้อนแสงออกไป ส่วนการใช้มุมเอียงของผนังเป็นการบังคับมุมของแสงที่สะท้อนออกไปในทิศทางที่ต้องการจำนวนครั้งของการสะท้อนน้อยลงทำให้ปริมาณความส่องสว่างมากขึ้น หากระนาบของผนังอยู่ในแนวที่ทำมุม 90 องศากับระนาบนอน จำนวนครั้งของการสะท้อนที่เกิดขึ้นจนถึงระดับพื้นจะมีจำนวนมากครั้ง การสูญเสียจะมากขึ้นหากแสงไปตกกระทบส่วนที่เป็นผนังโล่ง แต่หากระนาบของผนังทำมุมแคบลงอย่างการใช้ผนังอยู่ในแนวที่ทำมุม 70 องศากับระนาบนอน การบังคับทิศทางของแสงให้ลงมาที่ระดับพื้นโดยตรง ขณะเดียวกันจำนวนครั้งของการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้นจนถึงระดับพื้นน้อยลง โดยสรุปจากการมีแหล่งกำเนิดแสงที่มีปริมาณความส่องสว่างเท่ากัน การปรับปรุงภายในโดยการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในและการบังคับมุมที่สะท้อนไปยังทิศทางที่ต้องการถือว่าเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงองค์ประกอบภายในเป็นปัจจัยสำคัญที่ผู้ออกแบบควรพิจารณาในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1.3 การพิจารณาด้านปริมาณ

คือการพิจารณาปริมาณความส่องสว่าง (Illuminance) ภายในอาคาร โดยที่ระดับความส่องสว่างที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่ต้องการปริมาณแสงที่แตกต่างกัน จากการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่าง พบว่าการใช้มุมเอียงของผนังภายในได้ผลในการเพิ่มปริมาณความส่องสว่างกับการใช้วัสดุที่มีการสะท้อนในลักษณะแบบกระจายแสงเท่านั้น สาเหตุที่วัสดุที่เป็นกระจกสะท้อนแสงที่มีการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจก (specular reflection) มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมแสงสะท้อน ในรูปภาพที่ 4.8 แสดงมุมของแสงที่ตกกระทบกับเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงของวัสดุกระจก จะเห็นว่ายิ่งมุมที่แสงตกกระทบน้อยลงเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงจะลดลง การใช้มุม

เอียงของผนังภายในทำให้มุมที่ตกกระทบของแสงน้อยลงเพราะเป็นมุม 70" กับระนาบนอน ทำให้ลักษณะของผนังอยู่ในลักษณะคว่ำหน้า แสดงในรูปภาพที่ 4.9 ทำให้ผนังที่ไม่ใช้มุมเอียงมีเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสง เพราะมีมุมตกกระทบที่มากกว่า

ส่วนการพิจารณาว่าควรใช้มุมเอียงของผนังระเบียงภายในว่าควรมีมุมเอียงเท่าใด ขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่เข้าสู่ภายในและระยะของความสูงช่องเปิด ซึ่งในการวิจัยนี้ คือ ระยะความสูงด้านข้างของช่องเปิดแบบ Clerestories นั่นเอง แสดงในรูปภาพที่ 4.10 ความสูงของช่องเปิดมีความสัมพันธ์กับมุมของแสงที่ตกกระทบกับผนังภายใน ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่าต้องการให้มุมของแสงที่สะท้อนไปในทิศทางใด จึงสามารถกำหนดมุมเอียงของผนังได้ว่าควรมีมุมเท่าใด และเนื่องจากมุมของแสงที่เข้าสู่ภายในในแต่ละทิศของช่องเปิดมีมุมที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นมุมของผนังที่สะท้อนแสงในทิศนั้นๆ ย่อมจะมีมุมที่ไม่เท่ากัน นอกจากนั้นควรพิจารณาลักษณะการสะท้อนแสงที่เกิดขึ้น เพราะเป็นการกำหนดว่าควรใช้วัสดุชนิดใดในการออกแบบ

ในการพิจารณาปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้น จากการวิเคราะห์ค่า Daylight Factor ในขนาดช่องเปิดทั้ง 3 ขนาด คือ 4% 8% และ 12% ของขนาดพื้นที่ใช้งาน ผลการทดลองที่ได้ เมื่อทำการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน ทำให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้นในการทดลองในขนาดช่องเปิดทั้ง 3 ขนาด โดยขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม คือ ขนาด 4% ของขนาดพื้นที่ใช้งาน เมื่อนำผลการทดลองดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง โดยเปิดช่องเปิดขนาด 4% ของขนาดพื้นที่ใช้งานเช่นเดียวกัน ผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนทำการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน พบว่ามีปัญหาที่เกิดขึ้นในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร พบว่าในบริเวณชั้นที่ 1 มีปริมาณความส่องสว่างก่อนทำการปรับปรุงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ปริมาณแสงไม่เพียงพอกับการทำกิจกรรมภายในอาคาร จึงได้ทำการปรับปรุง โดย

- ในบริเวณชั้นที่ 1 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงน้อย ใช้วัสดุพื้นที่มีค่าการสะท้อนแสงให้มากกว่าบริเวณด้านข้าง โดยใช้วัสดุสีขาวผิวมัน
- ใช้ผนังระเบียงในชั้นที่ 2 ช่วยสะท้อนแสงจากด้านบนลงมายังบริเวณชั้นที่ 1 ให้มีความลึกมากขึ้น โดยใช้ผนังระเบียงทาสีขาวผิวด้าน ปรับมุมเอียง 70" กับระนาบนอน
- ในบริเวณชั้นที่ 2 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงมากกว่าบริเวณด้านข้าง ใช้วัสดุพื้นที่มีค่าการสะท้อนแสงให้น้อยกว่าบริเวณด้านข้าง โดยใช้วัสดุสีเข้มผิวมัน
- ในบริเวณชั้นที่ 3 บริเวณตรงกลางโถงกลางอาคารที่มีปริมาณแสงมากกว่าบริเวณด้านข้าง เลือกใช้วัสดุเช่นเดียวกับในบริเวณชั้นที่ 2

หลังจากทำการปรับปรุงองค์ประกอบภายในแล้ว ทำให้ปริมาณความส่องสว่างเพิ่มขึ้นเพียงพอแก่การใช้งานภายใน ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5.1.4 การพิจารณาด้านคุณภาพ

คือการพิจารณาปริมาณความสว่าง (luminance) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ การวัดความสว่างเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติด้านคุณภาพ โดยการพิจารณาอัตราส่วนความแตกต่างของความสว่างในแต่ละจุด ตามเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 2.3 (ในบทที่ 2) ในการทดลองในหุ่นจำลองตัวอย่าง ได้กำหนดมุมมองของผู้สังเกตอยู่บริเวณกลางพื้นชั้นที่ 1 แล้วมองไปยังตำแหน่งที่กำหนด โดยเป็นตำแหน่งในระนาบที่มองเห็น โดยทำการวัดความสว่างจากหุ่นจำลองทดสอบในสภาพท้องฟ้าจริง ในสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วน เวลา 12:00 น. วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2549 โดยทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนความแตกต่างของปริมาณความสว่าง (luminance ratio) ที่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุที่เป็นผนังระเบียงที่มีลักษณะการสะท้อนแสงต่างๆ กัน คือ การสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffuse reflection) และการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) ผลที่ได้ จากการพิจารณาปริมาณความสว่างในกรณีต่างๆ พบว่าในทุกกรณีความแตกต่างของความสว่างในตำแหน่งที่ศึกษาไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารแบบแสงสะท้อนเข้ามาในอาคาร (indirect light) ส่วนการเลือกใช้วัสดุภายในการใช้วัสดุที่มีการสะท้อนแสงแบบกระจายจะมีความสม่ำเสมอและความนุ่มนวลของแสงมากกว่า การใช้วัสดุที่มีความมันวาวภายในอาคารควรมีการบังคับมุมแสงสะท้อนไม่ให้เข้าตาเพื่อป้องกันปัญหาแสงจ้าเข้าตา โดยพิจารณามุมแสงที่สะท้อนเข้าตาในมุมต่างๆ แสดงในรูปภาพที่ 4.23 ข้อดีของช่องเปิดด้านบน คือ มุมของแสงมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิดแสงจ้าน้อยกว่ามุมแสงที่มาจากด้านข้าง ส่วนการประยุกต์ใช้ในอาคารตัวอย่าง พบว่า ความแตกต่างของความสว่างในตำแหน่งที่ศึกษาไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารแบบแสงสะท้อนเข้ามาในอาคาร (indirect light) เช่นเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 แนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้

5.2.1 การใช้แสงธรรมชาติ (daylighting)

ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารใต้ดินผ่านทางช่องเปิดด้านบน หากสามารถนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานแสงสว่างของอาคารแล้ว การใช้แสงธรรมชาติยังสร้างบรรยากาศที่ดีภายในอาคารทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกถึงความเปลี่ยนแปลงของโลกภายนอก ข้อดีแสงธรรมชาติ คือ เป็นแสงที่มีสเปกตรัมของแสงครบทุกสี ทำให้สามารถเห็นสีของวัตถุได้อย่างถูกต้อง โดยสิ่งที่ควรพิจารณาในการใช้แสงธรรมชาติ มีดังนี้

1. ควรหลีกเลี่ยงปริมาณความร้อนจากการที่ได้รับแสงธรรมชาติ โดยพิจารณาเลือกใช้ลักษณะของแสงที่นำเข้ามาในอาคาร
2. หลีกเลี่ยงการเกิดแสงจ้าในลักษณะที่มองเห็นแหล่งกำเนิดแสงสะท้อนแสงเข้าสู่ตา สำหรับแสงธรรมชาติ แหล่งกำเนิดแสง คือ ดวงอาทิตย์
3. การใช้วัสดุที่มีผิวมันวาวภายในอาคาร ควรพิจารณาตำแหน่งและมุมมองที่ทำให้เกิดปัญหาแสงจ้า
4. การกำหนดค่าสะท้อนแสงของวัสดุภายในอาคาร ควรพิจารณาแสงสีที่สะท้อนเข้าสู่ดวงตา นอกเหนือจากการใช้วัสดุที่มีค่าสะท้อนแสงสูงเพื่อเพิ่มปริมาณความสว่างภายในอาคาร

ดังนั้นในการออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารส่วนใหญ่มีจุดประสงค์หลัก คือ มีปริมาณแสงที่เพียงพอสำหรับกิจกรรมและการสร้างบรรยากาศที่ดีภายในอาคาร ในการออกแบบเพื่อใช้แสงจากดวงอาทิตย์ เทคนิคเบื้องต้นควรใช้แสงสะท้อนแทนการใช้แสงตรง การออกแบบที่สอดคล้องกับองค์ประกอบของอาคาร เน้นการนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้แสงสะท้อนเพื่อให้ได้ปริมาณแสงที่เพียงพอและลดปัญหาแสงจ้า โดยเทคนิคในการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติโดยเฉพาะแสงตรงจากดวงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ สรุปเป็นประเด็นได้ดังนี้

- การบังแดด (shade) เพื่อป้องกันแสงตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านชิ่งเปิดเข้ามาในอาคารและลดการเกิดแสงจ้า หรือจากเลือกเปิดช่องเปิดในด้านทิศเหนือ
- การใช้แสงสะท้อน (redirect) ใช้การกระจายแสงในทิศทางที่ต้องการ แสงจากดวงอาทิตย์เป็นแสงที่มีปริมาณและความเข้มสูง ควรใช้การกระจายแสงไปในบริเวณกว้างเพื่อความสม่ำเสมอ ลดความแตกต่างที่เกิดขึ้น

- การควบคุมแสงที่เข้ามาในอาคาร ในพื้นที่และเวลาที่ต้องการใช้แสง เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสง โดยการใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงสูงภายในอาคาร เพื่อการกระจายแสงที่ดีขึ้นและลดปริมาณแสงที่ต้องการลง
- การประยุกต์ (integrate) การใช้แสงร่วมกับส่วนอื่นๆ ของอาคาร การเปิดช่องเปิดนอกจากต้องการมุมมองสู่ภายนอก ต้องการแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในควรมีการผสมผสานการออกแบบเพื่อใช้งานร่วมกัน
- การใช้รูปแบบช่องเปิดด้านบน เป็นรูปแบบที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารได้ในทุกตำแหน่งภายในอาคารและสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกกว่าการให้แสงจากทางด้านข้างของอาคาร สำหรับอาคารที่มีลักษณะของพื้นที่ภายในที่แสงธรรมชาติไม่สามารถเข้าถึง การใช้ช่องเปิดด้านบนจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการนำไปใช้ โดยพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบในด้านต่างๆ ประกอบกัน เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การให้แสงธรรมชาติในอาคารนอกจากจะเป็นประโยชน์ทางด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่องสว่างอย่างมีคุณภาพที่ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว แสงธรรมชาติยังช่วยในด้านความงดงาม ความสดชื่น และทำให้บรรยากาศภายในดูโอ่โถงหรูหราขึ้น ซึ่งแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารมาจากหลายๆทางได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง (direct sun), แสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse light), แสงสะท้อนจากพื้นดินหรืออาคารข้างเคียง และแสงสะท้อนภายในอาคาร ซึ่งก่อนที่จะทำการศึกษาเทคนิคการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร ควรจะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้แสงธรรมชาติในอาคารก่อน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) **ความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้า** (variation) สภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่จะมีความแปรปรวนเกือบตลอดเวลา เป็นปัญหาที่สำคัญในการควบคุมทั้งคุณภาพและปริมาณแสงธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในอาคาร การแก้ปัญหา สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- การใช้แสงสะท้อนจากท้องฟ้า (diffuse light) วิธีนี้เป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ โดยวิธีการหลีกเลี่ยงแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ (direct sun) ที่มีความแปรปรวนควบคุมยาก ซึ่งการใช้แสงสะท้อนจากท้องฟ้า มีความสม่ำเสมอของแสงมากกว่าแสงในลักษณะอื่นๆ
- การกำหนดกิจกรรมในพื้นที่ส่วนที่มีการนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่างเหมาะสม โดยพิจารณาจากกิจกรรมหรือประโยชน์ใช้สอยในพื้นที่นั้นว่าสามารถยอมรับความแปรปรวน ของสภาพแสงธรรมชาติที่เกิดขึ้นในระดับมากน้อยเพียงใด ซึ่งกิจกรรมแต่ละกิจกรรมมีความต้องการ

ระดับการส่องสว่างที่แตกต่างกัน บางกิจกรรมจะยอมรับการเปลี่ยนแปลงระดับการส่องสว่างตามสภาพแสงภายนอกได้ไม่มากนัก เช่น ห้องประชุม ห้องจัดแสดงงาน เป็นต้น

- การใช้เทคโนโลยีเพื่อแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของสภาพแสงธรรมชาติที่เข้ามาในอาคาร เช่น การใช้ม่านกระจายแสง (diffused curtain) ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้แสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ เพื่อช่วยในการกระจายแสงให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

2) **ความต้องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในทุกทิศทาง** ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้แสงสะท้อนจากท้องฟ้า การพิจารณากิจกรรมที่สอดคล้องกับสภาพแสง และการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่นเดียวกับข้อแรก

3) **การควบคุมความจ้าของแสงที่ทำให้เกิดการระคายเคืองตา** (glare) ความสามารถของสายตามนุษย์ ในการยอมรับความสว่างหรือความจ้าของแสง ขึ้นอยู่กับทิศทางของมุมมองที่แสงนั้นเข้าสู่สายตา ถ้ามุมมองเป็นมุมเงยที่มีองศาของการมองยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้สายตาสามารถยอมรับความจ้าได้มากขึ้น แสดงในรูปภาพที่ 2.1 โดยการแก้ปัญหา มี 2 วิธี ดังนี้

- การคำนึงถึงมุมมองของสายตาผู้ใช้อาคาร การเปิดมุมมองเพื่อสร้างความต่อเนื่องระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (visual connection) มนุษย์ต้องการรับรู้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมรอบตัว ควรมีความเข้าใจในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่จะช่วยให้การมองผ่านทางช่องหน้าต่างได้ชัดเจนสบายตา

- การออกแบบและควบคุมสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยคำนึงถึงการสะท้อนแสงจากภายนอกเข้ามาภายในอาคารไม่ให้มีแสงเข้ามามากจนรบกวนสายตาของผู้ใช้อาคาร แนวทางแก้ปัญหานี้คือการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานอาคาร

4) **การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่า** คือ การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารได้ลึกมากที่สุดปริมาณความสว่างของแสงที่ตกลงบนพื้นที่ทำงาน (working plane) ใดๆจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงระนาบนั้นๆที่กระทำกับเส้นตั้งฉากกับระนาบ ตัวเลของศาของมุมดังกล่าวนี้จะแปรผกผันกับค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบ ถ้ามุมยิ่งน้อยปริมาณแสงสว่างที่ระนาบของพื้นที่ใช้งานก็จะยิ่งมากขึ้นซึ่งเป็นแนวทางการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างคุ้มค่าที่สุดนั่นเอง นอกจากนี้แล้วค่าความเข้มของแสงบนระนาบใดๆจะขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมภายห้องด้วย (interior reflected component)

การทราบถึงตัวแปรเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อาคารดังกล่าว เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักออกแบบการให้แสงสว่างควรจะต้องทราบเบื้องต้น เพื่อที่จะได้นำข้อมูลนั้นมาใช้ในวิธีการให้แสงธรรมชาติได้อย่างเหมาะสม นอกจากการคำนึงถึงตัวแปรดังกล่าวแล้ว นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลักที่เกี่ยวข้องกับอาคาร ดังต่อไปนี้

- การคำนึงถึงทิศทางการเปิดช่องแสง (orientation) เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกก่อนการออกแบบอาคาร ซึ่งการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารนั้นถึงแม้จะเป็นสิ่งที่เป็นประโยชน์ในหลายๆด้านแต่ก็ควรระมัดระวังในเรื่องของผลของความร้อนและผลกระทบทางการมองเห็นที่ตามมาอีกมากมาย ดังนั้นในการเปิดช่องแสงจึงควรมีการศึกษาอย่างละเอียดรอบคอบ ซึ่งทิศทางที่ไม่ควรทำการเปิดช่องแสงหรือเปิดได้เพียงเล็กน้อยคือ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออก เนื่องจากมีมุมของแสงแดดทอดต่ำจึงทำการบังแดดได้ยาก รองลงมาคือทิศใต้และทิศที่เหมาะสมที่สุดคือ ทิศเหนือ (ในกรณีที่ตั้งอยู่ในซีกโลกเหนือ เขตร้อนชื้น) ซึ่งแต่ละทิศควรจะมีการเลือกรูปแบบช่องแสงและอุปกรณ์กันแดดให้เหมาะสมเพื่อประโยชน์ในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและมีผลกระทบน้อยที่สุด

- รูปฟอร์มของอาคาร (form) เป็นสิ่งที่บอกถึงขนาดพื้นที่ที่ต้องการการให้แสงธรรมชาติภายในอาคาร และเป็นตัวกำหนดรูปแบบและลักษณะการให้แสงว่าควรจะเป็นทางแนวนอนหรือแนวตั้ง ดังภาพที่ 2.1 จะเห็นว่าการวางอาคารในลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบยาวสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้ทั่วถึงกว่าแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งบริเวณตรงกลางนั้นไม่ได้รับแสงธรรมชาติเลย ในการแก้ปัญหานี้อาจจะใช้ช่องเปิดด้านบนเข้ามาช่วย

- การใช้สี (color) การใช้สีที่สว่างภายในอาคาร นอกจากจะช่วยสะท้อนแสงให้กระจายทั่วทั้งห้องแล้ว ยังช่วยลดความมืด, แสงบาดตา และอัตราส่วนความสว่างจ้าลง โดยทั่วไปฝ้าเพดานควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงมากที่สุด แต่ในทางกลับกันพื้นและเฟอร์นิเจอร์ควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อยที่สุดในห้อง

- การคำนึงถึงรูปแบบช่องแสงอาคาร ควรแบ่งส่วนช่องแสงเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ประโยชน์ทางด้านมุมมอง (ช่องแสงส่วนล่าง) ซึ่งส่วนนี้ควรใช้กระจกที่สามารถกันความร้อนและแสงบาดตาได้ และส่วนที่ให้แสงธรรมชาติ (ช่องแสงส่วนบน) ซึ่งควรใช้กระจกใส ได้แก่ ช่องเปิดด้านข้างส่วนบน (clerestory window) เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร และความจ้าของแสงที่มีต่อสายตาของผู้ใช้อาคาร

5.2.2 การปรับปรุงองค์ประกอบภายใน

- ในการใช้รูปแบบช่องเปิดที่นำแสงสะท้อนเข้ามาจากทางด้านข้างในช่องเปิดแบบ Clerestory การใช้ฝ้าเพดานโค้งเพื่อที่จะสะท้อนแสงได้ทุกมุมที่ตกกระทบบังคับทิศทางให้แสงสะท้อนลงไปยังพื้นที่ใช้งานบริเวณด้านล่างและกระจายแสงในลักษณะแสงกระจายเป็นวงกว้าง
- ควรใช้องค์ประกอบภายในอาคารเพื่อสะท้อนแสงให้ได้ทิศทางที่ต้องการและระยะที่มีความลึกมากขึ้น
- ควรพิจารณาการใช้มุมเอียงของผนังเป็นการบังคับมุมของแสงที่สะท้อนออกไปในทิศทางที่ต้องการจำนวนครั้งของการสะท้อนน้อยลงทำให้ปริมาณความส่องสว่างมากขึ้น
- ในการใช้มุมเอียงของผนังภายใน ควรพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุ เพื่อการกำหนดทิศทางและลักษณะการสะท้อนแสงให้ได้ผลในการเพิ่มปริมาณความส่องสว่าง โดยวัสดุที่มีการสะท้อนแสงแบบเสมือนกระจก (specular reflection) มุมของแสงที่ตกกระทบจะเท่ากับมุมแสงสะท้อน ในรูปภาพที่ 4.7 แสดงมุมของแสงที่ตกกระทบ (incident of angle) กับเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงของวัสดุกระจก จะเห็นว่ายิ่งมุมที่แสงตกกระทบน้อยลงเปอร์เซ็นต์ของการสะท้อนแสงจะลดลง ต่างจากวัสดุที่มีลักษณะการสะท้อนแสงแบบกระจาย ที่สะท้อนแสงแบบไม่มีทิศทางการกระจายแสงไปในวงกว้าง
- ควรใช้ขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน แยกช่องแสงออกจากหน้าต่างส่วนที่ต้องการมองวิวภายนอก พื้นที่ของช่องเปิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายใน
- ควรเน้นการปรับปรุงองค์ประกอบภายใน ประสิทธิภาพของช่องเปิด ในการเพิ่มประโยชน์และประสิทธิภาพของการใช้แสงธรรมชาติ มากกว่าการเพิ่มพื้นที่ช่องเปิด
- การพิจารณาว่าควรใช้มุมเอียงของผนังระเบียงภายในว่าควรมีมุมเอียงเท่าใด ขึ้นอยู่กับมุมของแสงที่เข้าสู่ภายในและระยะของความสูงช่องเปิด และเนื่องจากมุมของแสงที่เข้าสู่ภายในในแต่ละทิศของช่องเปิดมีมุมที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นมุมของผนังที่สะท้อนแสงในทิศนั้นๆ ย่อมจะมีมุมที่ไม่เท่ากัน
- การใช้มุมเอียง สามารถนำไปใชได้กับความเอียงของทั้งเอเทรียม
- การกำหนดวัสดุที่ใช้ ควรพิจารณาทุกระนาบที่สะท้อนแสง มากกว่าเลือกวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงและลักษณะการสะท้อนแสงเพียงแบบใดแบบหนึ่ง แต่คำนึงถึง

ลักษณะของแสงที่ต้องการให้เกิดขึ้น เป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้วัสดุและลักษณะของแสงที่สะท้อนแบบผสมผสานกัน

- การลดความแตกต่างของความสว่างที่เกิดขึ้น ทำได้โดยการเลือกใช้ค่าการสะท้อนแสงและสีของวัสดุ โดยในบริเวณที่มีปริมาณแสงมาก ควรใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงน้อยและใช้สีเข้ม ส่วนในบริเวณปริมาณแสงน้อยควรใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงมากและใช้สีอ่อน
- ในการใช้แสงธรรมชาติที่มีการใช้งานในเวลากลางวัน ควรเลือกใช้สีอยู่ในโทนสี Warm Tone เพราะดวงตารับรู้สีในโทนนี้สว่างกว่าในสีโทนเย็น

5.2.3 การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับการใช้แสงประดิษฐ์

ในกรณีที่ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายนอกไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายใน เช่น ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆมาก พบว่าระดับความส่องสว่างภายในจะมีความสม่ำเสมอแต่มีปริมาณความส่องสว่างค่อนข้างต่ำและไม่เพียงพอต่อการทำกิจกรรมต่างๆ การใช้แสงประดิษฐ์เสริมเพื่อให้มีปริมาณความส่องสว่างเพียงพอ โดยในการใช้แสงประดิษฐ์ควรเลือกรูปแบบที่มีการกระจายของแสงและสีของแสงประดิษฐ์ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติมากที่สุด เพื่อให้เกิดความกลมกลืนของแสงทั้ง 2 ประเภท (ดูลักษณะการใช้แสงในอาคารใต้ดิน เพิ่มเติมในภาคผนวก ค.) ในการใช้แสงภายในอาคารและทำให้ผู้ใช้อาคารมีความสบายในการมองเห็น (visual comfort) โดยลักษณะของแสงประดิษฐ์ที่นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแสงธรรมชาติควรมีลักษณะ ดังนี้

- การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ในพื้นที่ที่มีแสงธรรมชาติมากไม่จำเป็นต้องให้แสงสว่างเพิ่ม ในขณะที่พื้นที่ที่มีแสงธรรมชาติต่ำกว่าระดับที่ต้องการจึงต้องเพิ่มแสงประดิษฐ์
- การเลือกใช้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพและใช้ดวงโคมที่มีการควบคุมแสงที่ดีจะทำให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงไม่สูญเสียไปอย่างเปล่าประโยชน์
- การใช้ดวงโคมที่มีการควบคุมแนวแสง (beam) แตกต่างกันจะส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน การใช้หลอดไฟที่ไม่มีการควบคุมแสงด้วยดวงโคมจะทำให้แสงส่องออกไปทุกทิศทางจากตัวหลอด ทำให้สูญเสียแสงสว่างไปอย่างเปล่าประโยชน์
- ใช้แสงประดิษฐ์ในลักษณะเลียนแบบคล้ายแสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน
- แสงประดิษฐ์ที่ให้ความสว่างแบบแสงสะท้อนที่มองไม่เห็นตัวแหล่งกำเนิดแสงสามารถลดปัญหาเรื่องแสงจ้าหรือแสงจ้าได้

- ลักษณะของผิวสะท้อนของดวงโคมมีลักษณะเป็นผิวสะท้อน คือ การสะท้อนแสงแบบกระจาย แสงที่ได้จะมีลักษณะใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ
- สีของแสงที่เลือกใช้ควรเป็นแบบที่ให้แสงแบบ daylight คือ ให้แสงของสีครบทั้ง 7 สี เช่นเดียวกับแสงธรรมชาติ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อจำกัดของการวิจัย

เนื่องจากปัจจัยในการนำแสงธรรมชาตินั้นมีหลายปัจจัยและมีความสัมพันธ์กันทุกปัจจัย ดังรูปภาพที่ 1.2 ในบทที่ 1 ในการวิจัยนี้ทำการกำหนดขอบเขตของการปรับปรุงเฉพาะการปรับปรุงองค์ประกอบภายในเท่านั้น ในรูปภาพที่ 1.2 นี้แสดงให้เห็นว่านอกจากการปรับปรุงองค์ประกอบภายในแล้วนั้นยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้ การปรับปรุงองค์ประกอบภายในเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้แสงเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ในการทดลองการวัดแสงในการวิจัยนี้เป็นการทดลองในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเพียงสถานการณ์หนึ่งเท่านั้น ซึ่งผลที่ได้เมื่อตัวแปรและสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมีการเปลี่ยนแปลงไป ผลที่ได้ย่อมเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย แต่ในการวิจัยนี้พยายามแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารใต้ดิน ถ้าผู้ออกแบบมีความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวการนำผลที่ได้ไปใช้ ผู้ออกแบบย่อมมีความเข้าใจในการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง เมื่อสภาพแวดล้อมต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป ข้อจำกัดในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็นประเด็นย่อย ๆ ได้ ดังนี้

- รูปแบบเอเทรียมแบบ Four Side แบบเดียว เป็นการนำแสงธรรมชาติมาใช้จากด้านบน ในอาคารใต้ดินในลักษณะอื่นๆ อาจนำแสงธรรมชาติมาใช้ได้จากทางด้านข้าง ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของอาคารและตำแหน่งที่ตั้ง
- หุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ มีค่า Well Index ขนาดเดียว คือ 1 ความสูงของอาคารที่เปลี่ยนไปย่อมส่งผลให้การปรับเปลี่ยนองค์ประกอบภายใน เพื่อช่วยในการกระจายแสงเปลี่ยนไปด้วย และขนาดของช่องเปิดที่ใช้
- สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ใช้งานมีเพียง 3 ขนาด เท่านั้น ซึ่งขนาดช่องเปิดที่เหมาะสมว่าควรมีขนาดเท่าไหร่นั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติ
- การปรับปรุงองค์ประกอบภายในต่างๆ เช่น การใช้มุมเอียงของผนังระเบียง การใช้ลักษณะของการสะท้อนแสงต่างๆ เป็นสิ่งที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในการวิจัย

นี้เท่านั้น การนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ควรมีการปรับเปลี่ยนเพื่อความเหมาะสมสำหรับอาคารนั้นๆ

- ค่าการส่งผ่านแสงของกระจกที่ใช้ในช่องเปิด คิดเป็น 100%
- การทดสอบในสภาพท้องฟ้าจริง ทำการทดสอบที่กรุงเทพมหานคร ที่ละติจูด 14° เหนือ ดังนั้นหากตำแหน่งที่ตั้งมีการเปลี่ยนแปลงไป ผลการทดสอบจะเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป
- เพื่อให้สามารถนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการนำผลการวิจัยในครั้งนี้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบควรมีการพิจารณาถึงความร้อนควบคู่ไปด้วย
- การทดสอบในสภาพท้องฟ้าจริงเป็นตัวแปรที่มีความแปรปรวนสูงและยากต่อการควบคุมและช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบ คือช่วงเดือนสิงหาคมถึงกุมภาพันธ์ ลักษณะท้องฟ้าส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Partly Cloudy Sky และ Clear Sky ดังนั้นในการวิจัยจึงไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้ในทุกสภาพของท้องฟ้า อาจเป็นผลให้ข้อมูลบางส่วนไม่สามารถใช้ได้กับทุกสภาพท้องฟ้า
- ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้มาจากการทดสอบกับหุ่นจำลอง เพื่อนำมาเป็นตัวแทนอาคารจริงดังนั้นอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนของปริมาณแสงที่วัดได้ เนื่องจากผิวและค่าสะท้อนแสงที่ใช้กับหุ่นจำลองกับอาคารจริง อาจมีความแตกต่างกันในความเป็นจริง

5.3.2 **แนวทางการวิจัยในอนาคต**

จากข้อจำกัดในการวิจัย ในแนวทางของการวิจัยในอนาคต สามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้จากการวิจัยนี้ โดยเพิ่มตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องและครอบคลุมทุกสภาพแวดล้อมในการทดลอง การพัฒนาเครื่องมือในการทดลองเพื่อให้ได้ผลที่ครอบคลุมและความรวดเร็ว

- เพิ่ม มีค่า Well Index ของอาคารที่ใช้วิจัย
- เพิ่มรูปแบบเอเทรียมแบบหลายรูปแบบ
- ระยะเวลาทดสอบตลอดทั้งปี เพื่อให้ครอบคลุมในสภาพท้องฟ้าทุกแบบ

เมื่อเข้าใจความสัมพันธ์ของตัวแปรและปัจจัยต่างๆ อาจจะมุ่งวิจัยในประเด็นใดประเด็นหนึ่งเพื่อพัฒนาหาเทคนิคหรือข้อสรุปในการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร เช่น หาความสัมพันธ์ของมุมเอียงผนังภายในกับทิศของแสงและช่องเปิด การเลือกใช้วัสดุภายในเมื่อมีค่า Well Index เพิ่มขึ้น เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชำนาญ ห่อเกียรติ. เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคบ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ. พลังงานใกล้ตัว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร, 2543.

สุนทร บุญญาธิการ. มหาวิทยาลัยชินวัตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร, 2545.

พัทธวดี รุ่งโรจน์ดี. ผลกระทบของรูปทรงและคุณสมบัติการสะท้อนแสงธรรมชาติภายในเอเทรียมสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

พรรณชลัท สุริโยธิน. การใช้แสงธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย. เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ภาษาอังกฤษ

Ander, Gregg D. Daylighting performance and design. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

Bansal, Narenda K . Passive building design: A handbook of natural climatic control. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 1994.

Boubekri, M., R.B. Hull, and L.L. Boyer. 1991. Impact of Window Size and Sunlight Penetration on Office Workers'Mood and Satisfaction: A Novel Way of Assessing Sunlight. Environment and Behavior 23,4 (July 1991): 474-493.

Boyer, L.L. 1990. Preliminary Design Considerations For Daylighting in Atria. Proc. 15th National Passive Solar Conference, March, Austin, TX, American Solar Energy Society, Boulder, CO. pp. 189-194.

Boyer, L.L. and K.S. Kim. 1988. Empirically Based Algorithms for Preliminary Prediction of Daylight Performance in Toplighted Atriums. ASHRAE Transactions 94 Part I, (1988): 765-782.

Carmody, John. Underground space design. New York : Van Nostrand Reinhold, 1993.

Egan, David. Concept in Architectural Lighting. USA: McGraw Hill, 1983.

Egan, David and Victor W. Olgyay. Architectural Lighting. Montreal: McGraw Hill, 2002.

Guzowski, Mary. Daylighting for sustainable design. New York: McGraw-Hill, 2000.

Hopkinson, R.G. Daylighting. London. UK: William Heinemann, 1966.

Hopkinson, R.G. and Kay, J.D. The Lighting of Buildings. Second Edition. London: Faber and Faber, 1972.

IESNA. Lighting Handbook, 6th Edition, Vol. II, IESNA, New York, 1981.

IESNA. Lighting Handbook, Reference & Application, 8th Edition, IESNA, New York, 1993.

Koster, Helmut. Dynamic Daylighting Architecture: Basic Systems, Projects. Boston: Birkhauser, 2000.

Majoros, Andras. Daylighting. Brisbane : PLEA, 1998.

Mark, Robert. Light, wind, and structure: The mystery of the master builders. Cambridge, MA. : The MIT Press, 1994.

Michel, Lou. Light: The shape of space; Designing with space and light. New York: Van Nostrand Reinhold, 1995.

Moore, F. Concept and Practice of Architectural Daylighting. New York: Van Nostrand Reinhold, 1984.

Robbins, Claude L. Daylighting : design and analysis. New York: Van Nostrand Reinhold, c1986.

Saxon, R. Atrium Building Development and Design. Second Edition. London : Bas Printera, 1986.

Song, K. D. Illuminance Levels and Luminance Distributions in Sunlit Atria with Different Canopy Systems and Well Configurations. Doctoral Dissertation, Taxas A&M University, 1993.

Stein, Benjamin and John S. Reynolds. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings (Ninth Edition). Toronto: John Wiley and Sons, Inc. 2000.

The Chartered Institution of Building Services Engineers London. Applications Manual Window Design 1987. Norwich: Page Bros, 1987.

Walker, Jearl. Light from the sky. San Francisco: Freeman, 1980.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

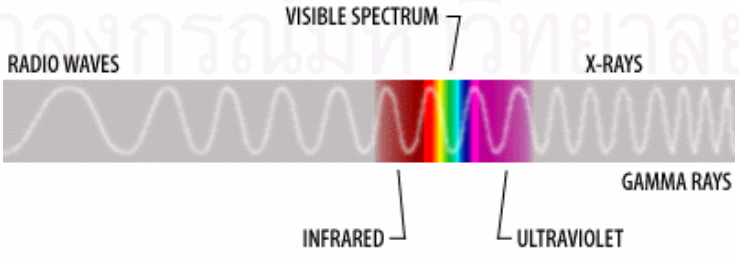
ความหมายศัพท์ทางด้านการออกแบบแสงสว่าง

1) แสง

แสงเป็นพลังงานที่ทำให้เกิดการมองเห็น ในทางฟิสิกส์ถือว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ประมาณ 300,000 กม./วินาที แสงมีช่วงความถี่ 10^{14}hz หรือความยาวคลื่น $4x10^{-7}$ - $7x10^{-7}$ เมตร มีคุณสมบัติในการกระจายพลังงานออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆ กัน แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ ที่รู้จักกันดีคือดวงอาทิตย์ ซึ่งให้พลังงานออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆ กว้างมากตั้งแต่รังสีคอสมิกจนถึงคลื่นวิทยุ ดังรูป

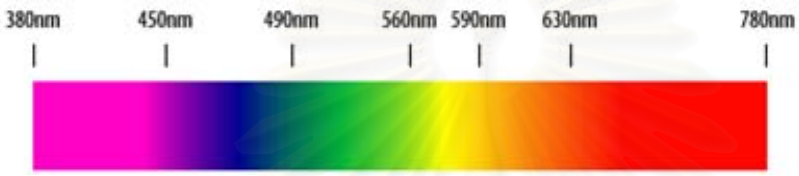
รูปภาพที่ ก 1แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ต่างๆ

แต่แถบพลังงานที่มีอิทธิพลต่อตาคนเราและทำให้เกิดการมองเห็นเป็นเพียงช่วงแคบๆ ระหว่าง 380 - 780 นาโนเมตร เราเรียกช่วงของการกระจายนี้ว่า visible spectrum



รูปภาพที่ ก 2 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ที่ตามองเห็น

ช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้เราสามารถแยกให้เห็นแถบของการกระจายพลังงานอย่างกว้างๆได้ 7 แถบ แต่ละแถบของการกระจาย พลังงานเรียกว่า spectrum ช่วงการกระจายที่ต่างกันทำให้เรามองเห็นสีต่างกันดังตารางข้างล่าง



แสงสี	ความยาวคลื่น (nM.)
แดง	780 - 630
ส้ม	630 - 590
เหลือง	590 - 560
เขียว	560 - 490
น้ำเงิน	490 - 440
คราม	440 - 420
ม่วง	420 - 380

รูปภาพที่ ก 3 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ที่ตามองเห็น

รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet rays)

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ รังสีเหนือม่วง มีความถี่ช่วง 10^{15} - 10^{18} Hz เป็นรังสีตามธรรมชาติส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดประจุอิสระและไอออนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ รังสีอัลตราไวโอเลต สามารถทำให้เชื้อโรคบางชนิดตายได้ แต่มีอันตรายต่อผิวหนังและตาคน

รังสีอินฟาเรด (infrared rays)

รังสีอินฟาเรดมีช่วงความถี่ 10^{11} - 10^{14} Hz หรือความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-3} - 10^{-6} เมตร ซึ่งมีช่วงความถี่คาบเกี่ยวกับไมโครเวฟ รังสีอินฟาเรดสามารถใช้กับฟิล์มถ่ายรูปบางชนิดได้ และใช้เป็นการควบคุมระยะไกลหรือรีโมทคอนโทรลกับเครื่องรับโทรทัศน์ได้

2) Correlated Color Temperature (CCT)

อุณหภูมิสี (color temperature)

ในการกล่าวถึงอุณหภูมิสีมักพาดพิงถึงการแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body radiation) เสมอ วัตถุดำหมายถึงวัตถุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนพลังงานที่จ่ายให้แก่ตัวมันไว้ได้ทั้งหมด ไม่มีพลังงานส่วนใด พุ่งผ่านหรือสะท้อนกลับออกมาได้เลย และเมื่อคิดในแง่ของการจ่ายพลังงาน วัตถุดำจึงเป็นตัวที่สามารถให้พลังงานออกมา ที่ทุกความยาวคลื่นมากกว่าแหล่งกำเนิดแสงชนิดอื่นๆ คุณลักษณะในการแผ่รังสีของวัตถุดำของ unknown area จะแสดงในรูปปริมาณ 2 ตัวคือ ค่า magnetude ของการแผ่รังสีที่ความยาวคลื่นใดๆ และค่า absolute temperature ซึ่งใช้อธิบายได้อย่างแม่นยำใน visible region ของสเปกตรัมสำหรับหลอดไส้ทังสเตน โดยวัตถุดำจะเปลี่ยนสีไปตามอุณหภูมิ ที่เพิ่มขึ้นจากแดงเป็น ส้ม เหลือง ฟ้า และขาวตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิสีจึงถูกนำมาใช้ในการอธิบายสีของแหล่งกำเนิดแสง โดยเทียบกับสีของวัตถุดำเช่น สีที่ปรากฏให้เห็นของหลอดอินแคนเดสเซนต์คล้ายกับสีของวัตถุดำเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิประมาณ 3000 องศาเคลวิน (kelvin , K) เราจึงบอกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์มีอุณหภูมิสี 3000 องศาเคลวินเป็นต้น

3) Color Rndering Index (CRI)

Color Rendering

เป็นดัชนีแสดงค่าความเพี้ยนของสีสำหรับแหล่งกำเนิดแสงแต่ละตัวซึ่งเราสามารถเปรียบเทียบ คุณลักษณะทางแสงสีของแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ ได้จากการนำแหล่งกำเนิดแสงแต่ละตัวมาทดสอบเทียบกับแหล่งกำเนิด แสงมาตรฐาน โดยฉายแสงของแหล่งกำเนิดที่ต้องการทดสอบและแสงมาตรฐานสลับกันลงไปแผ่นตัวอย่างสี 8 ตัวตามที่ cie กำหนดไว้ในระบบมุนเซล คือ p, rp, r, y, gy, g, bg, pb ทำการวิเคราะห์หาค่าความยาวคลื่นเด่น (dominant wavelength) ความบริสุทธิ์ของการกระตุ้น (excitation purity) นำค่าทั้งหมดมาเฉลี่ยและเทียบกับแหล่งกำเนิดแสง มาตรฐาน หากตำแหน่งสีของแผ่นตัวอย่างสีเมื่อถูกส่องสว่างด้วยแหล่งกำเนิดทั้งสองไม่ต่างกันเลย แสดงว่าไม่มีความเพี้ยนของสี เกิดขึ้นและค่า color rendering index ของแหล่งกำเนิดนั้นจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 ถ้าแหล่งกำเนิดที่ถูกทดสอบใด ทำให้ตำแหน่งสีเปลี่ยนไปจะทำให้เกิดความเพี้ยนของสีขึ้น ตำแหน่งสียิ่งเปลี่ยนไปมากยิ่งทำให้ค่า color rendering index ลดลงซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับ

1. คุณลักษณะการสะท้อนแสงทางสเปกตรัมของแผ่นตัวอย่างสี
2. การกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่ถูกทดสอบ
3. การกระจายพลังงานทางสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน

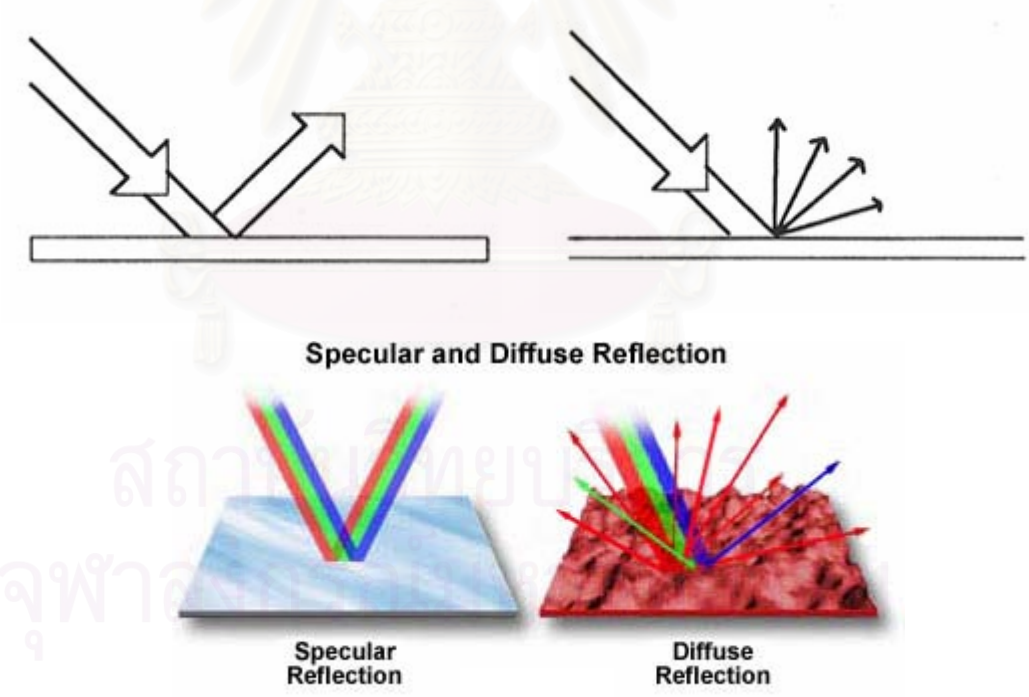
4) Diffuse Reflection And Specular Reflection

การสะท้อนกับผิวขรุขระ (diffuse reflection)

ผิวของวัตถุที่หยาบและขรุขระจะช่วยทำให้ทำให้แสงที่สะท้อนเกิดการกระจายตัวเปลี่ยนคุณภาพแสงแข็งเป็นแสงนุ่ม

การสะท้อนกับผิวที่เป็นเงา (specular reflection)

แสงที่ตกกระทบกับวัตถุที่เป็นมันเงา เช่นกระจกเงา จะสะท้อนแสงที่แรงและคุณภาพแสงใกล้เคียงกับแสงเดิม

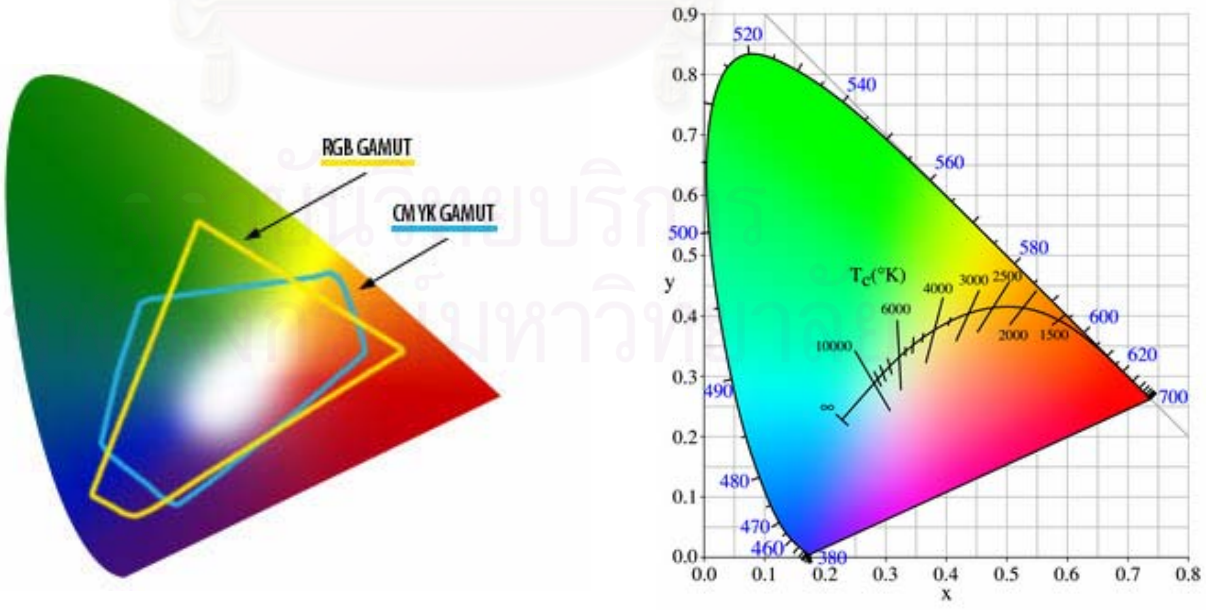


รูปภาพที่ ก 4 แสดงลักษณะการสะท้อนแสงบนวัตถุที่ต่างกัน

5) CIE Chromaticity Diagram

ระบบสีของ CIE (cie color system)

ระบบนี้ใช้หลักการเบื้องต้นที่ว่าสีใดๆ ก็ตามสามารถสร้างขึ้นได้จากการผสมกันของสีปฐมภูมิ 3 สี ในอัตราส่วนที่พอเหมาะ โดยพัฒนามาจากระบบสี rgb ซึ่งมีพื้นฐานของการใช้สีปฐมภูมิแบบ monochromatic 3 สีคือ สีแดง (r) , สีเขียว (g) , สีน้ำเงิน (b) เพื่อสร้างสีอื่นๆ ขึ้นมา ในระบบสี rgb จุดที่เป็นมุมยอดของสามเหลี่ยมด้านเท่าจะเป็นตัวแทนของสีปฐมภูมิทั้ง 3 ระบบนี้ไม่สามารถใช้กับสีที่มีความสว่างต่างกันได้ แต่ก็มันก็ให้ข้อมูลเพียงพอต่อการใช้งานและพบว่าสีต่างๆ ที่อยู่บนด้านของ สามเหลี่ยมสีซึ่งเป็นสีที่มีความอิ่มตัวมากที่เกิดจากการผสมกันของสี monochromatic จะมีความอิ่มตัวน้อยกว่าสีทาง สเปกตรัมที่เป็นสีเดียวกันที่อยู่นอกสามเหลี่ยม หมายความว่ายังมีสีอีกจำนวนมากที่ต้องอาศัยทฤษฎีการผสมสีแบบลบมาอธิบาย นั่นคือสีที่อยู่นอกสามเหลี่ยมสี rgb จะเกิดจากการผสมกันแบบบวกของสีปฐมภูมิ 2 สี แล้วผสมแบบลบ กับสีปฐมภูมิที่ 3 อีกทั้งจุดขาว (w) อยู่ใกล้กับด้านของสามเหลี่ยมมาก ผลที่ตามมาคือสีทุกสีที่เกิดจากการรวมกันของสีแดง สีเขียว และสีขาว จะกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่เล็กๆ ทำให้ยากต่อการแสดงตำแหน่ง ปัญหานี้ cie แก้โดยสร้างสามเหลี่ยมสีขึ้นมาใหม่โดยรวมเอา โลกัสสี monochromatic ทั้งหลายไว้ในสามเหลี่ยมสีนี้ เรียกว่าสามเหลี่ยมสี cie สีปฐมภูมิทั้ง 3 บนยอดของสามเหลี่ยมสีนี้แทนด้วย x , y , z เรียกว่า tristimulus และสามารถหาได้โดยการคำนวณทางคณิตศาสตร์



รูปภาพที่ ก 5 แสดงระบบสีของ CIE (CIE color system)

6) **ความสัมพันธ์ระหว่าง** Luminous Flux, Luminous Intensity, Illuminance **และ** Luminance

ปริมาณแสงหรือฟลักซ์ส่องสว่าง (luminous flux) หมายถึง ฟลักซ์การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงในมุม solid angle ใดๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ ϕ มีหน่วยเป็น lumen

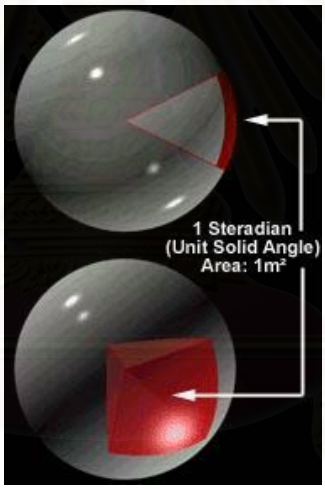
ปริมาณแสง 1 ลูเมน หมายถึงปริมาณแสงที่เปล่งออกไปในมุม solid angle 1 sr. ด้วย point source ที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่าง 1 candela

สูตรปริมาณแสง $\phi = i\,\omega$

เมื่อ ϕ = ปริมาณแสงย่อยใดๆ หน่วยเป็น lumen

i = ความเข้มแห่งการส่องสว่าง หน่วยเป็น candela

ω = มุม solid angle ย่อยใดๆ หน่วยเป็น steradian ($\omega = a / r2$)



รูปภาพที่ ก 6 แสดงฟลักซ์การส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง

ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (luminous intensity) หมายถึงความหนาแน่นของปริมาณแสงภายในมุม solid angle ที่กำหนดให้ ความเข้มแสงจะชี้ให้เห็นถึงความสามารถของแหล่งกำเนิดแสงในการให้ค่าการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนด แทนด้วยสัญลักษณ์ i หน่วยเป็น candela หรือใช้อักษรย่อ cd

สูตรความเข้มแห่งการส่องสว่าง $i = \phi / \omega$

หมายเหตุ 1 cd = 1 lm/sr

ความส่องสว่าง (illuminance) หมายถึงความหนาแน่นของฟลักซ์ส่องสว่าง (ปริมาณแสง) ที่ตกกระทบบนพื้นผิวใดๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ e โดย

$e = \phi / a$

จาก $\phi = I \omega$

และ $\omega = A / R2$

จะได้ว่า $E = I \omega / A$

$E = I \omega / \omega R2$

$E = I / R2$

รูปภาพที่ ก 7 แสดงหน่วยของความส่องสว่าง

หน่วยของความส่องสว่างที่นิยมใช้มี 2 ระบบคือ

ระบบอังกฤษ มีหน่วยเป็น foot - candle (fc) โดย 1 fc = 1 lm / ft2

ระบบ si มีหน่วยเป็น lux (lx) โดย 1 lux = 1 lm / m2

หมายเหตุ 1 fc = 10.76 lux

ความสว่าง (luminance) หมายถึงปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร ในระบบ si หรือเป็น foot - lambert (fl.) ในระบบอังกฤษ ปริมาณแสงที่เท่ากันเมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกัน จะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน นั่นคือ ลูมิแนนซ์ ต่างกัน สาเหตุที่ต่างกันก็เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ ต่างกัน

สูตรความส่องสว่าง $I = i / (a * \cos \alpha)$

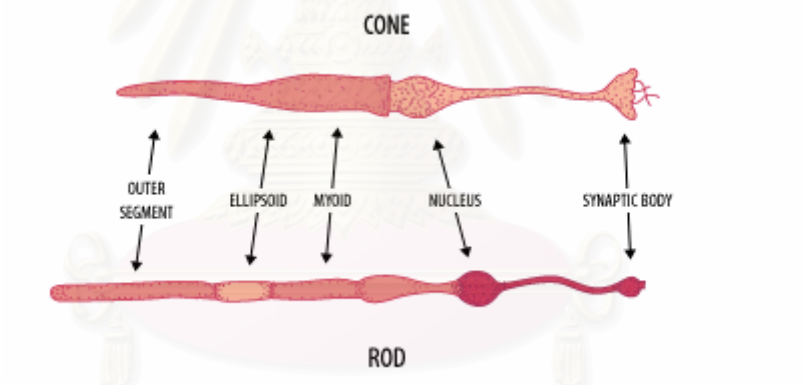
หมายเหตุ 1 fl = 3.462 cd/m^2

7) Photopic Vision และ Scotopic Vision

จากการศึกษาองค์ประกอบของตา ในส่วน retina ซึ่งเป็นส่วนของเซลรับแสง ประกอบด้วยเซลไวแสง 2 ชนิดคือ cones กับ rods

- **cones** เซลรับแสงที่มีลักษณะเป็นแท่งทู่ๆ รวมกันอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณรอบๆ fovea มีจำนวน 6-7 ล้านอันแบ่งเป็น 3 กลุ่มมีความไวต่อแสงสีต่างกันคือไวต่อแสงสีแดง, เขียว และน้ำเงิน cones จะมีผลต่อการมองเห็นแบบ daylight เท่านั้นซึ่งจะเริ่มทำงานเมื่อได้รับแสงประมาณ 1 fl. (foot-lambert) ขึ้นไป การมองเห็นสีต่างๆ ขึ้นอยู่กับการทำงานของ cones ถ้า cones ทั้ง 3 กลุ่มทำงานพร้อมกันเท่าๆ กันจะมองเห็นเป็นแสงสีขาวหรือไม่มีสี ถ้า cones ตัวใดตัวหนึ่งเสียไปจะทำให้เกิดตาบอดสี

- **rods** เซลรับแสงที่มีลักษณะเป็นแท่งยาวๆ ไวแสงมาก กระจายอยู่บริเวณรอบนอก fovea มีจำนวนประมาณ 100 ล้านอัน rods จำนวนหลายพันตัวถูกต่ออยู่กับเส้นประสาท 1 เส้น จึงทำให้ความคมชัดของการมองเห็นต่ำมาก จะไม่ปรากฏสีต่างๆ ในระบบของ rods จะเห็นเป็นเพียงขาว-ดำเท่านั้น rods จะทำงานเมื่อได้รับแสงสว่างน้อยๆ คือระหว่าง 10^{-6} - 1 fl.



รูปภาพที่ ก 7 แสดงการทำงานของ cones และ rods

จากการทำงานของ cones และ rods ก็พอจะแบ่งระดับการมองเห็นออกเป็น 3 ระดับคือ

1. Scotopic Vision เป็นช่วงที่ rods ทำงานเพียงอย่างเดียวจะมองเห็นวัตถุต่างๆเป็นสีขาว-ดำเท่านั้น โดยแสงที่ได้รับมีค่าระหว่าง $10^{-6} – 10^{-2}$ fl.

2. Mesopic Vision เป็นช่วงที่ rods และ cones ทำงานร่วมกันทำให้มองเห็นวัตถุเป็นสีปนขาว-ดำ แต่ไม่สามารถระบุให้แน่ชัดได้ว่าเป็นสีใด เป็นภาวะแสงสลัวที่มีความสว่างประมาณ 10^{-2} - 1 fl.

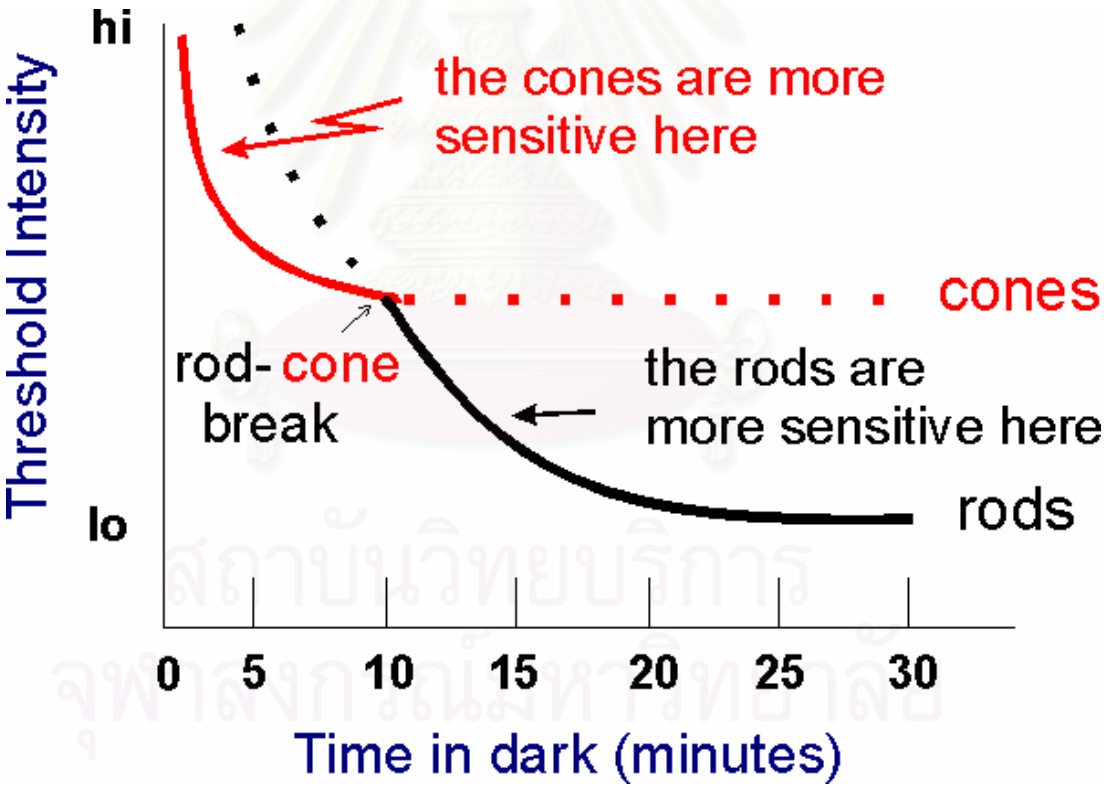
3. Photopic Vision เป็นช่วงที่ cones ทำงานเพียงอย่างเดียวจะมองเห็นวัตถุต่างๆ เป็นสีถูกต้องและบอกรายละเอียดของวัตถุได้ชัดเจน เมื่อได้รับแสงสว่างตั้งแต่ 1 fl. ขึ้นไป

การมองเห็นทั้ง 3 ระดับเมื่อทำการทดสอบกับตาคนปกติโดยการวัดจุดเริ่มตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในย่าน scotopic และ photopic พบว่าตาคนเรามีความไวต่อแสงสีที่ความยาวคลื่น 510 nm. (ในย่าน scotopic) และ 555 nm. (ในย่าน photopic) มากที่สุด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงสีเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

8) Dark &Light Adaptation

การปรับการรับแสง (adaptation)

dark adaptation	ปรับให้เข้ากับบริเวณที่มีความสว่างน้อย	สว่าง ➡	มืด
light adaptation	ปรับให้เข้ากับบริเวณที่มีความสว่างมาก	มืด ➡	สว่าง



รูปภาพที่ ก 8 แสดงการปรับการรับแสง (adaptation)

ภาคผนวก ข

เทคนิคการใช้ช่องเปิดสำหรับอาคารใต้ดิน

1. การใช้ช่องเปิดด้านบนแบบ atrium

Atrium แปลตามความหมายของศัพท์หมายถึง ช่องเปิดโล่งภายในอาคาร มีใช้มาตั้งแต่ยุคโรมันมีลักษณะเหมือนสวนที่มีตัวอาคารโอบล้อม โถงโล่งมีผลต่อความรู้สึกและจิตใจของคนที่เข้าไปสัมผัส ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวและเกิดกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดินเล่น การเฝ้ามองกิจกรรมที่เกิดภายในพื้นที่นั้นๆ ผู้คนจึงรู้สึกใกล้ชิดกับธรรมชาติ เกิดความเชื่อมต่อกับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารและรู้สึกได้ถึงความมีชีวิตชีวา ลดความอึดอัดที่เกิดจากสภาพภายในที่ทึบตัน เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพอาคาร ช่วยประหยัดพลังงานด้านการส่องสว่างเพราะได้รับแสงธรรมชาติ Atrium ช่วยสร้างความน่าสนใจให้กับลานภายในอาคาร ทำให้สามารถใช้ในทุกสภาพภูมิอากาศและนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร กันลม กันฝน ด้านความสะดวกสบายที่ว่างภายใน Atrium สามารถใช้เป็นโถงรับรองหลัก เป็นพื้นที่ที่สัญจรไปยังส่วนต่างๆ ของอาคาร เป็นร้านอาคาร สถานที่นั่งพักผ่อน ที่จัดแสดงและจัดนิทรรศการ เป็นบริเวณที่จัดจำหน่ายสินค้าและยังสามารถเชื่อมโยงพื้นที่ใช้งานส่วนอื่นๆ เข้าด้วยกัน

เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดแบบ Atrium ต้องทำความเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ สรุปได้เป็นประเด็นดังต่อไปนี้

- How the exterior daylight and sunlight conditions are given
- How the light is admitted into the atrium
- How the light is distributed within the atrium space
- How the light is finally reaches on the atrium floor level and collected and delivered to the adjacent spaces

จากประเด็นที่กล่าวมา มี 4 ปัจจัยหลักเกี่ยวกับการออกแบบ ดังนี้

1) Light source
2) Light admitting system
3) Light guiding system
4) Light collecting system

ปัจจัยที่กล่าวมามีผลต่อประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานมนอาคารที่ส่งผลต่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและระบบวิศวกรรมของอาคาร

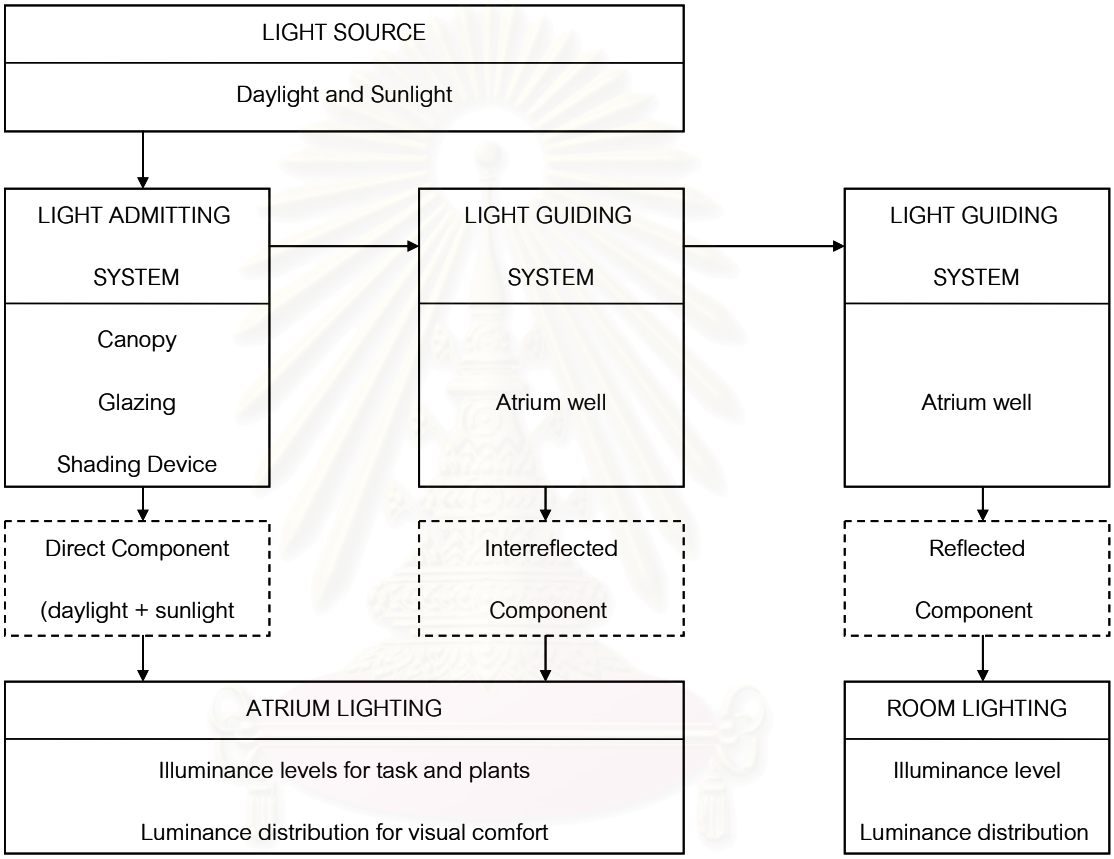
1) Light Source เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เข้าสู่อาคาร พิจารณาทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพของแสง เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ ฤดูกาล ที่ตั้งอาคาร ช่วงเวลาของวัน วันของปี และทิศทางการวางอาคาร ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันและในแต่ละฤดูกาลที่เปลี่ยนไป สามารถที่จะทำนายได้เบื้องต้นจากข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อพิจารณาเกี่ยวกับการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในเบื้องต้นในการออกแบบอาคาร

2) Light Admitting System เป็นส่วนของช่องเปิดหรือช่องแสง ที่ให้แสงผ่านเข้ามาในอาคาร การปิดกั้น (block) การสะท้อน (redirect) และการกรอง (filter) โดยโครงสร้างและกระจกของระบบเหล่านี้ ส่งผลต่อ Light Intensity และ Spatial Distribution ของแสงที่เข้ามา ปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาในหัวข้อนี้ คือ Geometric และ Photometric ของช่องเปิด ช่องแสง หรือระบบหลังคา รวมทั้ง กระจกและแผงกันแดด (shading device)

3) Light Guiding System เป็นส่วนที่นำแสง (distribution) แสงสู่พื้นที่ว่างภายใน แสงธรรมชาติที่ผ่านเข้ามาในอาคารมีการสะท้อนกับผิววัสดุในอาคารก่อนที่จะถึงจุดที่เป็นพื้นที่ใช้งาน ปัจจัยด้านการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อนี้ คือ Geometry และ Surface Treatment ของ Atrium Well ปัจจัยด้าน Geometry Of Atrium Well มีผลด้าน Sky Area ที่มองเห็นจาก Target Point และ ตำแหน่งของ Sunlit Area ส่วนปัจจัยด้าน Surface Reflectance และ Specularity มีผลต่อ Intensity และ Directional Characteristics Of Reflected Light

4) Light Collecting System เป็นส่วนที่ Collect แสงที่เข้ามา และ Deliver ไปยังพื้นที่ใช้งาน แงสงที่สะท้อนกับส่วนต่างๆ ของอาคาร เช่น ฝ้าเพดาน ผนัง เป็นต้น ก่อนที่จะกระจายหรือส่งความสว่าง ไปยังพื้นที่ใช้งาน ปัจจัยด้านการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อนี้ คือ Geometry และ Surface Treatment ของ Optional Light Shelf ของช่องเปิด และหรือ Interior Balcony ในส่วน Occupant Circulation

แผนผังที่ 1 แสดงตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานในอาคารผ่านช่องเปิดแบบ Atrium เป็นปัจจัยด้านการออกแบบ และแสดงในตารางที่ 1



แผนผังที่ ข1 แสดง Factor Controlling Atrium Daylight Performance

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข1

Key parameters in atrium daylight design

Daylighting systems	Design elements	Design parameters
Light source	Daylight availability	Daylight illuminance, sunlight illuminance, sky luminance distribution
Light admitting system	a) Canopy structure b) Glazing c) Shading device	a) Structure system, area, orientation and tilt angle of opening b) Transmittance, transparency c) Size, orientation, tilt angle, reflectance, transmittance and specularity
Light guiding system	a) Well geometry b) Wall surface	a) Plan aspect ratio, section aspect ratio, well index b) Reflectance, specularity
Light collecting system	a) Light shelf and balcony geometry b) Light shelf and balcony surface	a) Location, area, tilt angle b) Reflectance, specularity

เมื่อพิจารณา Atrium ในแนวรูปตัด (section) จากด้านบนถึงด้านล่างจะเห็นส่วนที่เป็นช่องว่างภายในและส่วนที่เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับพื้นที่อื่นๆ แปลนของ Atrium โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าแต่รูปวงกลม สามเหลี่ยม หรือรูปทรงอื่นๆ สามารถใช้งานได้ โดยทั่วไปเมื่อจะพิจาณาประเภทของ Atrium สัดส่วนของแปลนพื้นและรูปตัดเป็นตัวแปรสำคัญ สัดส่วนของแปลนพื้นใช้นิยามที่ว่า Plan Aspect Ratio (PAR = Width / Length) ในส่วนของสัดส่วนรูปตัดใช้คำนิยามที่ว่า Section Aspect Ratio (SAR = Height / Width) ในแนวแปลน Atrium ที่มีสัดส่วนของ Par น้อยกว่า 0.4 จัดเป็น Linear Atrium ส่วน Atrium ที่มีสัดส่วนของ Par อยู่ระหว่าง 0.4 – 0.9 จัดเป็น Rectangular Atrium และ ระหว่าง 0.9 – 1.0 จัดเป็น Square Atrium ในแนวรูปตัด Atrium ที่มีสัดส่วนของ SAR น้อยกว่า 1.0 จัดเป็น Shallow Atrium ส่วน Atrium ที่มีสัดส่วนของ SAR มากกว่า 2.0 จัดเป็น Tall หรือ Narrow Atrium พิจารณาในด้าน

ประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติ สัดส่วนของ SAR ระหว่าง 1.0 ถึง 2.0 เป็นสัดส่วนที่มีประสิทธิภาพของการใช้แสงธรรมชาติมากที่สุด (bednar, 1986: 66) ประเภทของ Atrium แบ่งได้ดังนี้

1) Four – Sided Atrium: เป็น Atrium ที่มีส่วนปิดล้อมทั้ง 4 ด้าน (ภาพที่ 2.2A) แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารจากทางด้านบนเท่านั้น อาคารที่ใช้ Atrium ชนิดนี้เช่น Philadelphia Stock Exchange Building, Erie Country Community College In Buffalo, Hyatt Regency Hotel In San Francisco, World Trade Center In Dallas

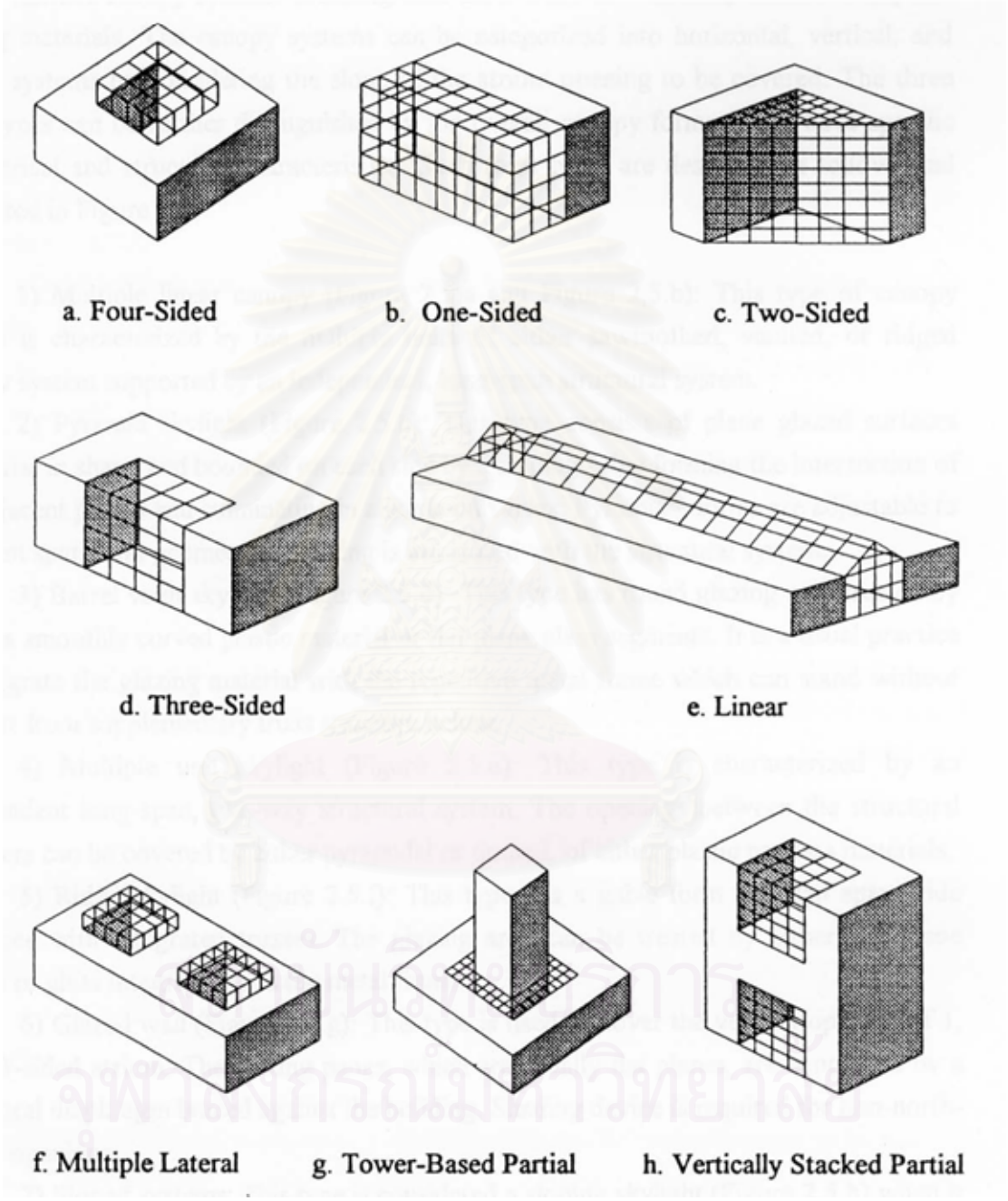
2) One-, Two-, And Three – Side Atrium: เป็น Atrium ที่มีส่วนปิดล้อม 1 ด้าน (ภาพที่ 2.2B) 2ด้าน (ภาพที่ 2.2C) หรือ 3 ด้าน (ภาพที่ 2.2D) อาคารที่ใช้ Atrium ชนิดนี้เช่น Ford Foundation In New York, Hercules Plaza In Wilmington, One West Loop Plaza In Houston, John F. Kennedy Library In Boston, Hyatt Regency Hotels In Houston, Dallas And San Antonio, All In Texas

3) Linear Atrium: เป็น Atrium ที่แบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ฝั่งโดยทางสัญจรตรงกลาง (ภาพที่ 2.2E) อาคารที่ใช้ Atrium ชนิดนี้เช่น Dallas City Hall In Dallas, Galleria Ii Shopping Mall In Houston

4) Multiple Lateral Atrium: อาคารที่ใช้ Atrium ชนิดนี้เช่น New Thomas Jefferson University Hospital In Philadelphia, National Gallery Of Art East Building In Washington, Lowes Anatole Hotel In Dallas (ภาพที่ 2.2F)

5) Partial Atrium: อาคารที่ใช้ Atrium ชนิดนี้เช่น Chicago Board Of Trade Addition In Chicago, Som Office Building In Chicago (ภาพที่ 2.2G และ ภาพที่ 2.2H)

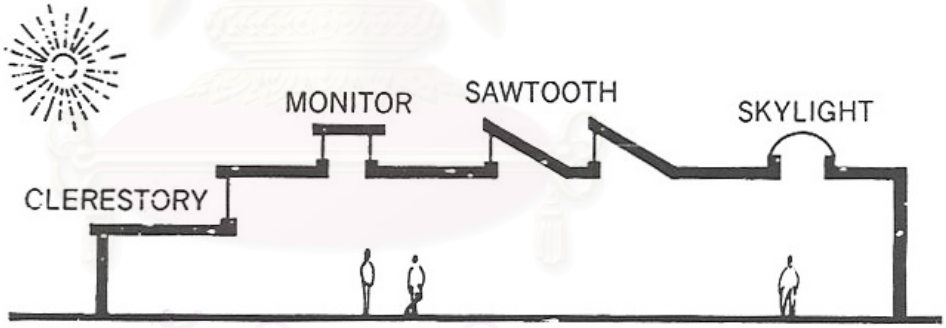
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปภาพที่ ข1 แสดงเอเทรียมในประเภทต่างๆ

2. **การให้แสงจากด้านบน** (top lighting)

การให้แสงจากด้านบน (top lighting) มีประสิทธิภาพดีกว่าการให้แสงทางด้านข้าง (ซึ่งมีขีดจำกัดโดยนำแสงเข้ามาได้ลึกเพียงประมาณ 15 ฟุต เท่านั้น) นอกจากนั้นยังเป็นวิธีที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้มากและเป็นบริเวณกว้าง แบ่งออกเป็นทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งแนวนอนเป็นวิธีที่ให้ปริมาณแสงมาก แต่ผลที่ตามมาคือความร้อนที่มาพร้อมกับแสงอาทิตย์ เพราะฉะนั้นการให้แสงทางแนวตั้งจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าเนื่องจากไม่ได้รับรังสีโดยตรงและสามารถติดตั้งแผงกันแดดได้ง่าย ประโยชน์ของการให้แสงจากส่วนบนนี้ คือ มีความสม่ำเสมอในการให้ระดับการส่องสว่างสูง ข้อเสีย คือ ขาดมุมมอง และได้รับแสงแดดตลอดเวลา อีกทั้งยัง ติดตั้งแผงกันแดดได้ยาก โดยมากจะใช้ในอาคารที่มีขนาดของเส้นรอบรูปมาก ซึ่งการให้แสงทางด้านข้างมีประสิทธิภาพที่ไม่เพียงพอหรือไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้งาน นอกจากนี้แล้วช่องแสงด้านบนยังอยู่ในตำแหน่งที่คนทั่วไปสามารถรับความจ้าได้มากกว่าแสงจากหน้าต่างด้านข้าง ทำให้สามารถเลือกใช้กระจกที่มีการตัดแสงน้อยกว่าเพื่อให้ปริมาณแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้มากขึ้นซึ่งการให้แสงด้านบนมีรูปแบบในการให้การส่องสว่าง ดังนี้

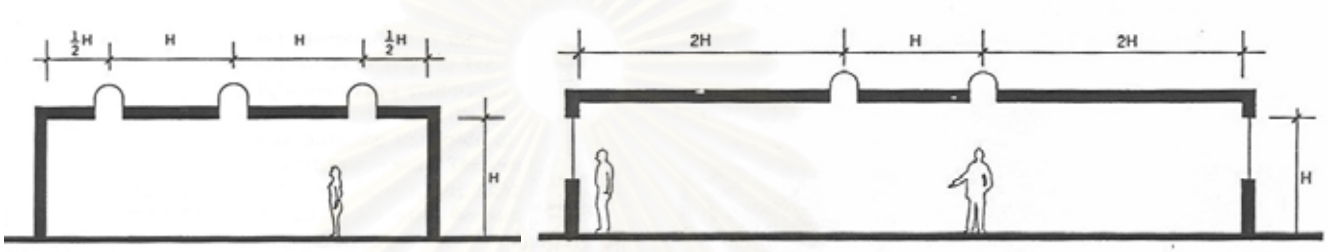


รูปภาพที่ ข2 แสดงรูปแบบต่างๆของช่องแสงด้านบน

2.1 horizontal light หรือ skylight เป็นการให้แสงสว่างในแนวนอนหรือแนวเอียง ให้ปริมาณแสงที่สม่ำเสมอ ประสิทธิภาพของแสงมากกว่าการให้แสงโดยลักษณะอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับท้องฟ้ามาก ข้อคำนึงถึง คือ ปริมาณความร้อนและความจ้าที่ผ่านเข้ามาพร้อมกับแสงสว่าง การให้แสงลักษณะนี้เหมาะสมกับลักษณะสภาพภูมิอากาศในเขตหนาว จากการศึกษาพบว่า ความสูงของช่องแสงและการปรับมุมลาดเอียงของหลังคาหรือฝ้าเพดานจะมีความสำคัญต่อการส่องผ่านของแสงตลอดจนการกระจายแสงและคุณภาพของแสงภายในห้อง

นอกจากนั้นรูปแบบของการให้แสงแนวนอน ยังมีความสัมพันธ์กับความสูงหรือจำนวนชั้นของอาคารโดยปริมาณของแสงจะมีลักษณะการส่องสว่างที่ลดลงตามระดับความสูงของอาคาร ซึ่งวิธีการให้แสงแบบ skylight มีหลักการดังนี้

- ระยะการติดตั้ง skylight ถ้าหากห้องนั้นไม่มีหน้าต่างควรติดตั้ง skylight ให้ห่างจากผนังห้องประมาณ ½ h และวางห่างกันประมาณ h ซึ่ง h คือระยะความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน แต่ถ้าห้องนั้นมีหน้าต่างด้านข้าง ควรติดตั้งห่างจากผนังประมาณ 2 h และวางห่างกันประมาณ h ซึ่ง h คือระยะความสูงจากพื้นถึงขอบหน้าต่างด้านบน

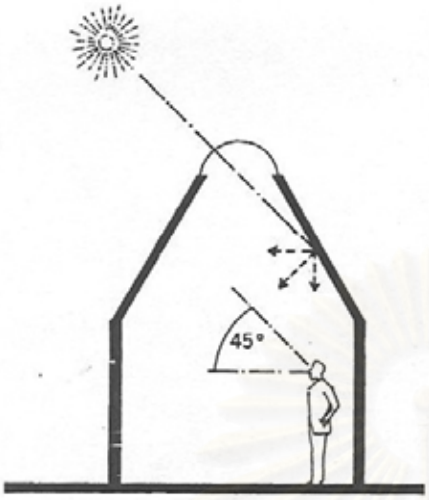


รูปภาพที่ ข3 แสดงการติดตั้ง Skylight ในลักษณะต่างๆ

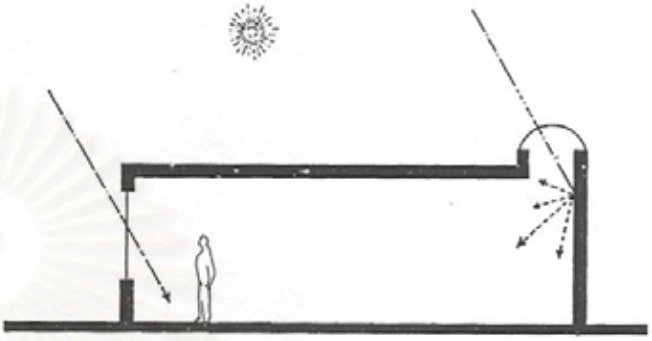
- การออกแบบให้ส่วนปลายของ skylight มีความลาดเอียงจะช่วยเพิ่มปริมาณการส่องสว่างมากขึ้นและช่วยลดแสงบาดตาภายใน
- การวาง skylight ไว้ที่ตำแหน่งสูงจะช่วยทำให้แสงจากภายนอกนั้นกระทบกับส่วนขอบของผนังเกิดเป็นแสงกระจายขึ้นทั่วทั้งห้อง นอกจากนั้นยังช่วยแก้ปัญหาแสงบาดตาด้วย เพราะแหล่งกำเนิดแสงอยู่เหนือระดับสายตาที่มองเห็น
- การวาง skylight ใกล้กับผนังจะช่วยทำให้แสงนั้นกระจายได้ดียิ่งขึ้น มีผลทำให้บรรยากาศภายในห้องสว่างและดูกว้างขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาพที่ ข4 แสดงส่วนปลายเอียงของ Skylight ช่วยกระจายแสงและลดแสงบาดตา

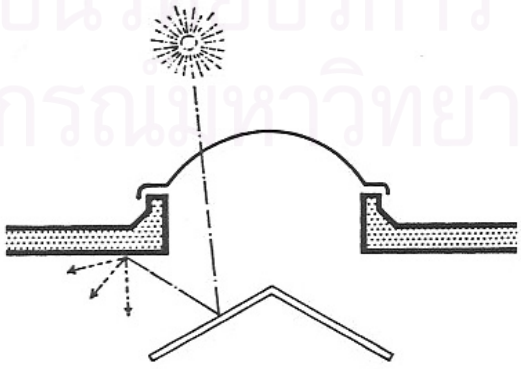


รูปภาพที่ ข5 (a) แสดงการวาง Skylight ในตำแหน่ง



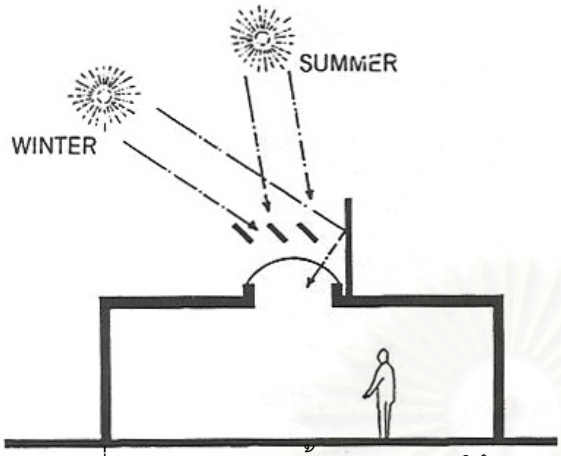
รูปภาพที่ 6 (b) แสดงการวาง Skylight ใกล้ผนังช่วยกระจายแสง

- ควรติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนแสงภายในไว้ใต้ช่องแสง skylight จะช่วยสะท้อนแสงนั้นขึ้นสู่ฝ้าเพดาน ทำให้เกิดการส่องสว่างได้ทั่วทั้งในห้องมากขึ้น
- ควรใช้แผงกันแดดภายนอกอาคารเพื่อป้องกันแสงแดดที่มากเกินไป และใช้อุปกรณ์สะท้อนแสงจากภายนอกเพื่อเพิ่มปริมาณการส่องสว่างให้มากขึ้น
- การใช้ skylight ที่มีความชันมากโดยเฉพาะด้านทิศเหนือและทิศใต้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างและลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาได้มากกว่า skylight แบบแนวนอน ส่วนด้านที่ควรหลีกเลี่ยงคือทิศตะวันออกและตะวันตก

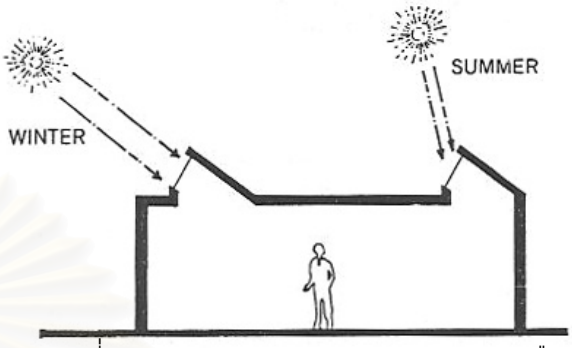


รูปภาพที่ ข6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์สะท้อนแสงภายใน Skylight

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปภาพที่ ข7 (a) แสดงติดตั้งแผงกันแดดให้กับ Skylight



รูปภาพที่ ข7 (b) การหันส่วนช่องแสงทางทิศเหนือหรือใต้

ช่องเปิดไปทางด้านทิศเหนือ เพราะไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงแสงที่ได้รับจึงมีคุณภาพที่นุ่มนวล มีปริมาณการส่องสว่างที่พอเหมาะและมีความร้อนปะปนมาน้อย นอกจากนั้นกระจกทางตั้งทำให้ไม่สะสมความสกปรก ทำความสะอาดได้ง่าย ข้อควรคำนึง คือ การเอียงของกระจกในส่วนของช่องเปิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จะมีความแตกต่างกันระหว่างประเทศในเขตหนาวและเขตร้อน เนื่องจากมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ในประเทศเขตหนาวตำแหน่งและมุม altitude ของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างต่ำ ทำให้สามารถเอียงกระจกไปด้านหลังในลักษณะมุมเอียงเล็กน้อยกว่า 90 องศา จึงสามารถรับแสงได้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยที่ไม่ได้รับแดดโดยตรง ส่วนในเขตร้อน ตำแหน่งมุม altitude ของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างสูง จึงจำเป็นต้องเอียงกระจกไปด้านหน้า ในลักษณะมุมเอียงที่มากกว่า 90 องศา จึงจะไม่ได้รับแดดโดยตรง

2.2 **monitor** เป็นการให้แสงแบบช่องแสง 2 ด้าน ที่มีลักษณะการส่องสว่างที่สม่ำเสมอ หากมีการออกแบบโดยคำนึงถึงความเหมาะสมของระยะห่างระหว่างช่องแสงกับความสูงของอาคาร ข้อควรคำนึง คือ ช่องเปิดในด้านทิศใต้ต้องมีการป้องกันจากแสงแดดโดยตรงทำให้ประสิทธิภาพของแสงด้านนี้ลดลง (รูปภาพที่ 2)

2.3 **clerestory** หรือ การให้แสงด้านบนเหนือหน้าต่าง เป็นช่องแสงที่ทำให้เกิดแสงในแนวราบ (horizontal plane) ซึ่งต่างจากรูปแบบของการให้แสงจากด้านบนรูปแบบอื่นๆที่เน้นการเปิดรับแสงในแนวตั้ง ช่วยป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคาร สามารถใช้ได้ดีกับบริเวณที่เป็นขอบของอาคาร การกระจายของแสงจะขึ้นอยู่กับทิศทางของช่องแสง (รูปภาพที่ 2)

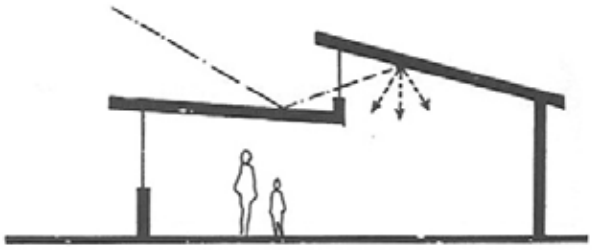
2.4 light scoops คือ ช่องแสงด้านบนที่เปิดรับแสงเพียงด้านเดียวโดยอีกด้านหนึ่งเป็นผนังที่มีลักษณะโค้งทำหน้าที่กระจายแสงเข้าสู่ภายใน ข้อดีของการให้แสงวิธีนี้คือ ช่วยกระจายแสงธรรมชาติโดยการสะท้อนขึ้นบนส่วนฝ้าเพดาน แต่วิธีนี้ก็มีข้อเสีย คือ ได้รับแสงในปริมาณที่น้อยกว่าแบบ skylight เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับท้องฟ้าน้อยกว่า และนอกจากนี้ยังทำให้เกิดแสงบาดตา และ veiling reflections อีกด้วย

รูปภาพที่ ข8 แสดงช่องแสงแบบ Sawtooth

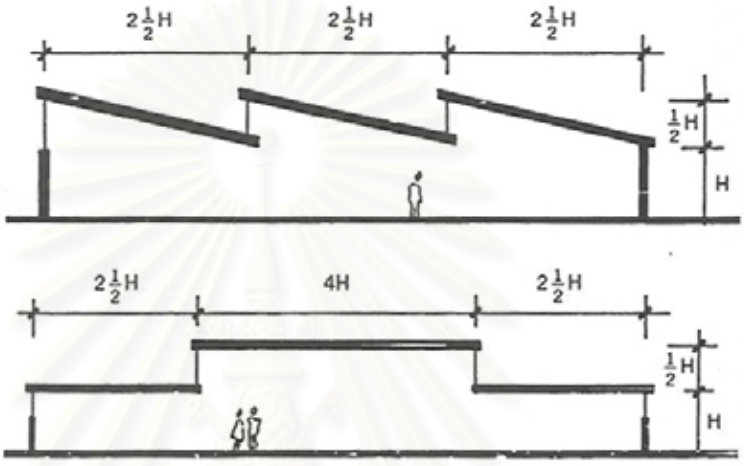
รูปภาพที่ ข9 แสดงช่องแสงแบบ Light Scoops

ข้อควรพิจารณาในการให้แสงธรรมชาติวิธี sawtooth, monitor, clerestory และ light scoops มีดังนี้

- ควรคำนึงถึงทิศทางการวาง ไม่ควรวางส่วนช่องแสงไปในทางทิศตะวันออกและตะวันตกโดยตรง เพราะจะทำให้ได้รับแสงในปริมาณที่มากเกินไปเกิดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้มาก อีกทั้งทำการติดตั้งแผงกันแดดได้ยาก ดังนั้นจึงควรหันไปทางทิศเหนือหรือทิศใต้
- ระยะในการติดตั้ง ได้กำหนดระยะการวางช่องแสงแบบ sawtooth และแบบ monitor ที่เหมาะสมดังรูปภาพที่ 9
- การใช้หลังคาช่วยสะท้อนแสง โดยเฉพาะหลังคาสีขาวหรือสีอ่อนจะช่วยสะท้อนแสงจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารโดยผ่านส่วน clerestories แล้วกระทบกับฝ้าเพดานเกิดแสงกระจายส่งผลให้ห้องมีปริมาณการส่องสว่างสูงขึ้น



(a)

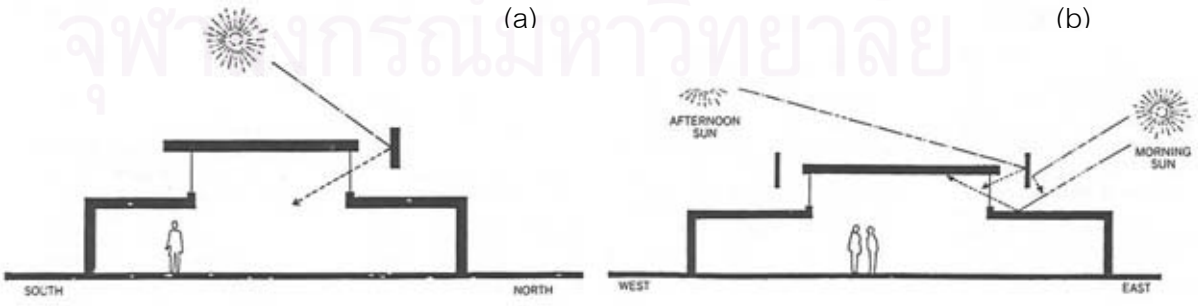


(b)

รูปภาพที่ ข10 (a) แสดงการใช้หลังคาช่วยสะท้อนแสง
(b) แสดงระยะในการติดตั้งช่องแสงแบบ Sawtooth และ Monitor

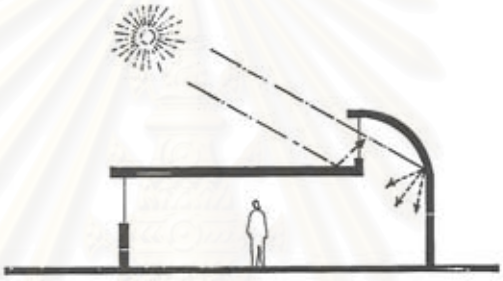
- การใช้แผงดักแสงอาทิตย์ (suncatcher buffles) จะช่วยสะท้อนแสงจากภายนอกเข้าสู่ภายในในทิศทางที่ต้องการได้ โดยเฉพาะการนำแสงจากทิศใต้มาใช้โดยผ่านการสะท้อนจากภายนอกซึ่งจะช่วยลดปริมาณแสงที่ไม่ต้องการและลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถเป็นแผงกันแดดได้ด้วย

(a) (b)

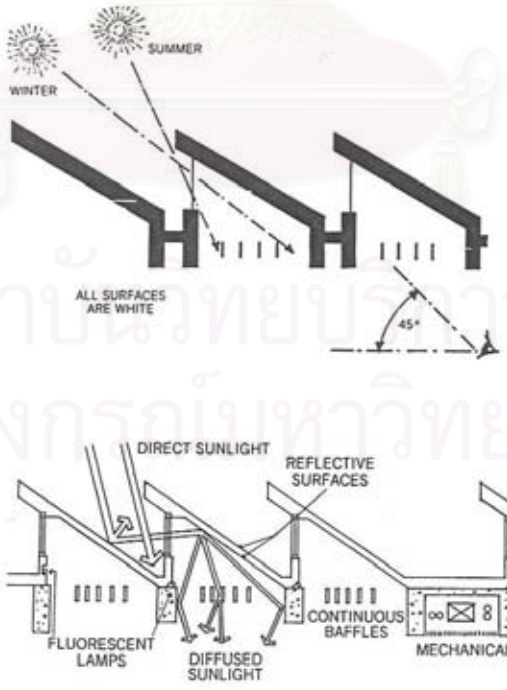


รูปภาพที่ ข11 (a) แสดงการใช้ Suncatcher Buffles ในทิศ เหนือ-ใต้ เพื่อสะท้อนแสงเข้าสู่ภายใน
(b) แสดงการใช้ Suncatcher Buffles ในทิศ ตะวันออก-ตก เพื่อบังแดดและสะท้อนแสงเข้าสู่ภายใน

- การสะท้อนแสงโดยผนังภายใน ซึ่งผนังสามารถทำให้แสงที่สะท้อนมาจากภายนอกนั้นกระจายออกไปได้กว้างและทั่วถึง ทำให้ภายในห้องมีปริมาณการส่องสว่างที่มากขึ้น ส่งผลให้ห้องนั้นดูกว้างขึ้น และยิ่งไปกว่านั้นยังช่วยแก้ปัญหาการเกิดแสงบาดตาจากท้องฟ้าหรือดวงอาทิตย์ได้อีกด้วย
- การติดตั้งแผงกระจายแสง ช่วยป้องกันแสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนพื้นที่ทำงานโดยตรง และช่วยกระจายแสงสว่างให้ทั่วถึงพื้นที่ทำงานทั้งห้อง อีกทั้งกำจัดการเกิดแสงบาดตาจาก clerestory ซึ่งระยะการติดตั้งที่เหมาะสมคือ ควรอยู่ต่ำกว่า 45 องศาของขอบเขตการมองเห็น นอกจากนั้นฝ้าเพดานและแผงกระจายแสงนั้นควรใช้ผิวด้านที่มีค่าการสะท้อนแสงสูง



รูปภาพที่ ข12 แสดงการสะท้อนแสงโดยผนังภายใน

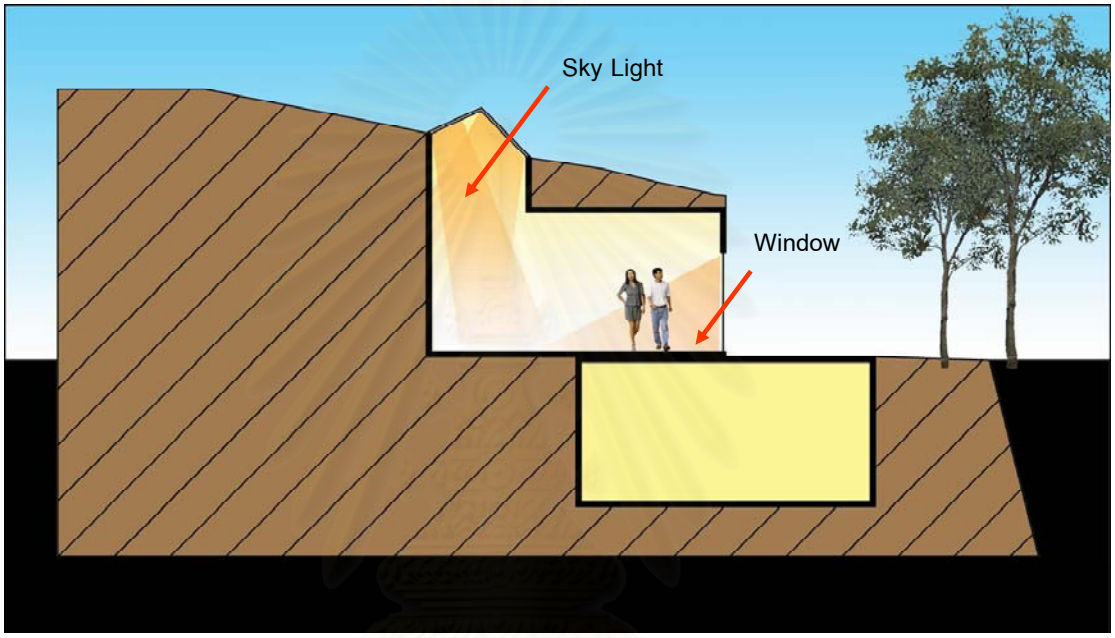


รูปภาพที่ ข13 แสดงการติดตั้งแผงกระจายแสง

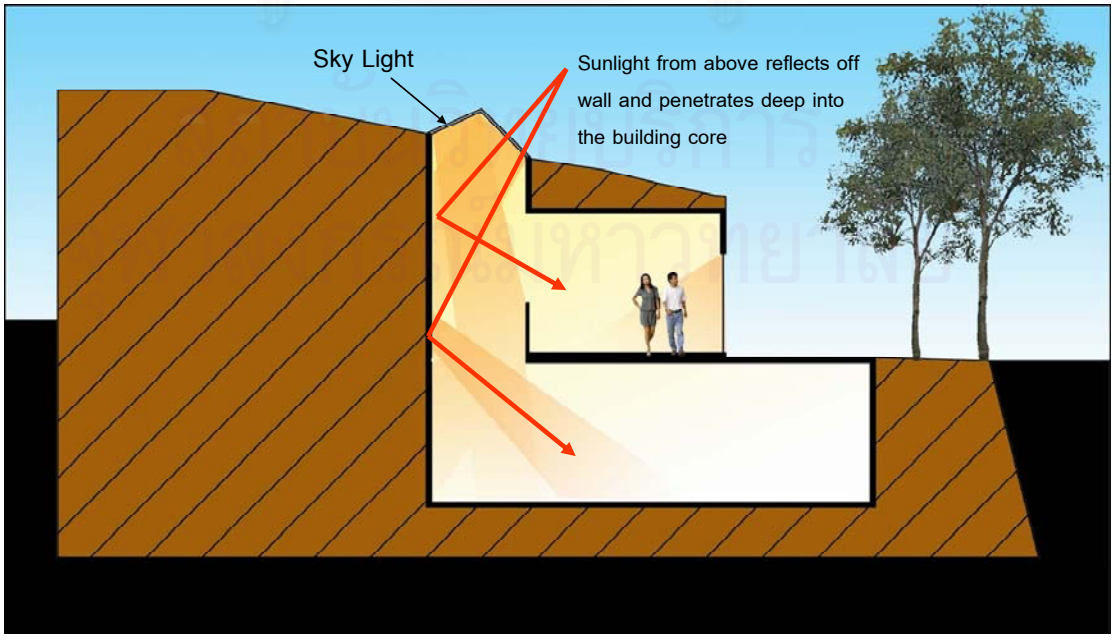
ภาคผนวก ค

Lighting Design Pattern In Underground Spaces

1) Natural Light Through Window and Skylight

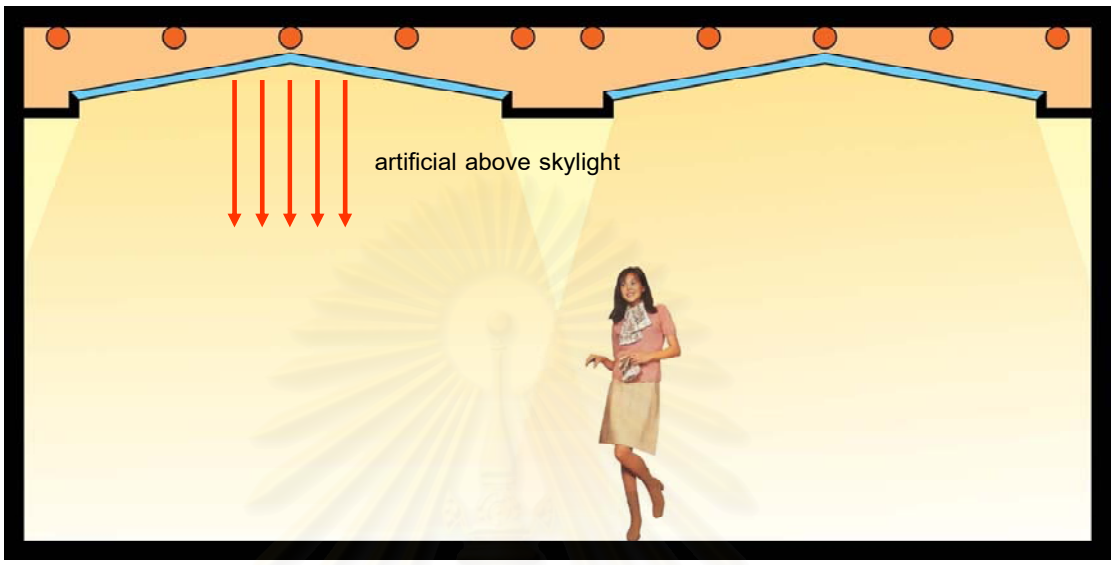


2) Transmitted and Reflected Natural Light



3) artificial light and natural characteristics

4) skylight and wall panels with artificial backlighting



5) indirect lighting of walls and ceiling

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายศตวรรษ พรหมมา เกิดเมื่อ 14 สิงหาคม 2519 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่อยู่ 128/4 ม.3 ต.รามแก้ว อ.หัวไทร จ.นครศรีธรรมราช โทร. 06-7470710 ประวัติการศึกษา จบการศึกษาปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยรังสิต ปี 2543 เข้าศึกษาระดับปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต กลุ่มวิชาเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2547 ประวัติการทำงาน ปี 2544 สถาปนิกบริษัทสถาปนิกพีเอเอ ปี 2545 – 2547 อาจารย์แผนกสถาปัตยกรรม วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จ.สงขลา ปี 2548 บริษัทไอทีอินเตอร์เนชั่นแนล ปี 2549 ถึงปัจจุบัน สถาปนิกวิจัย บริษัทดีทีกรุ๊ป รางวัลที่เคยได้รับ รางวัลที่ 3 ในการประกวดแบบบ้านพักตากอากาศ โครงการรักษ์ลันตา อ.เกาะลันตา จ.กระบี่ ปี 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย