บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

จากการศึกษารวบรวมทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงสามารถกำหนดแนวทางและรูปแบบการศึกษาการการจัดวางผังแสงประดิษฐ์เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบส่องสว่างในห้องเรียน ในอาคารกรณีศึกษา โครงการโรงเรียนต้นแบบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา

- ลักษณะทางสถาปัตยกรรม

อาคารกรณีศึกษา เป็นอาคารเรียนสูง 2 ชั้น ประกอบด้วย ห้องเรียน 6 ห้อง แบบ Single Corridor เชื่อมต่อระหว่างชั้นด้วยบันได แบบพับผ้า 2 ช่วง มีชานพักตรงกลางบันได ตัวอาคารถูกออกแบบด้วยระบบธรรมชาติให้สามารถลดความรุนแรงของสภาพภูมิประเทศโดยการสกัดกั้นความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารจากภายนอก เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายภายในอาคาร และออกแบบให้สามารถนำแสงธรรมชาติจากทางด้านทิศเหนือมาใช้ ให้ความสว่างภายในห้องเรียน ทั้ง 2 ชั้น เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานน้อยที่สุด

การจัดวางทิศทางของตัวอาคารคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่ปรุงแต่งให้เอื้ออำนวยต่ออาคารที่ใช้เป็นสถานที่เรียนรู้ และเพิ่มการปฏิสัมพันธ์ โดย

ทิศใต้ ประกอบด้วยส่วนหน้าของอาคารเป็นแนวทางเดินเชื่อม ตลอดแนว ทั้งชั้นบนและล่าง เพื่อใช้เป็นเสมือนแผงกันแดดของอาคาร

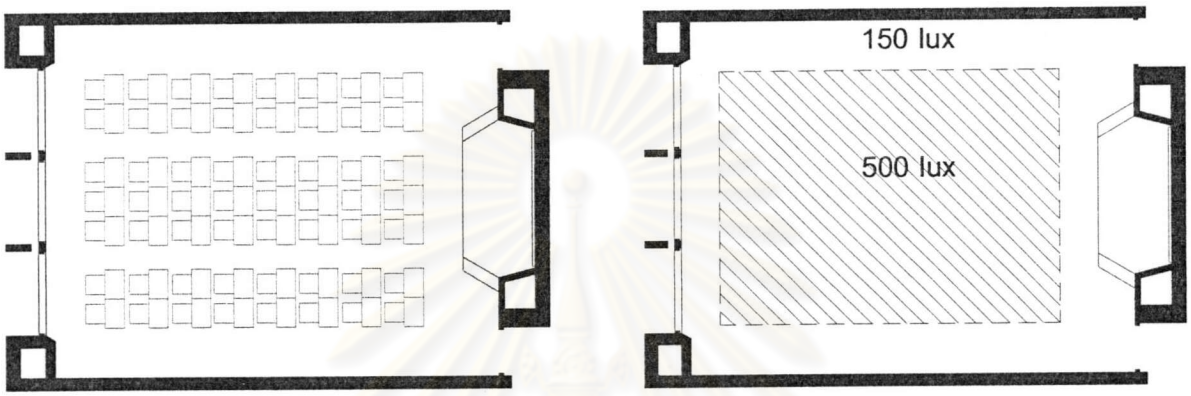
ทิศเหนือ ตัวอาคารถูกออกแบบให้ได้รับแสงธรรมชาติ ทั้งทางด้านข้างโดยช่องแสงด้านข้าง และส่วนบนโดยช่องแสงด้านข้างส่วนบน (Clear Storey) ตัวอาคารยังต่อเนื่องกับลานเรียนธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสถานที่เรียนรู้แบบกึ่งกลางแจ้ง และเป็นแนวกันลมเข้าปะทะอาคารในฤดูหนาว โดยเว้นระยะห่างเพียงพอให้แสงธรรมชาติเข้าถึงห้องเรียนชั้นล่าง

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

ประกอบด้วย บันได โถงบันได และ ถังเก็บน้ำ โครงสร้างทั้ง 2 ส่วน ช่วยป้องกันความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคาร

- พื้นที่อาคาร

สำหรับอาคารกรณีศึกษาประกอบด้วยห้องเรียน 6 ห้องในลักษณะเดียวกัน (Typical Classroom) ห้องเรียน 1 ห้อง มีขนาด 69 ตร.ม. แบ่งเป็นพื้นที่ส่วนโต๊ะเรียน (Working plane) 36.4 ตร.ม. ซึ่งต้องการปริมาณความสว่างในระดับ 500 Lux และพื้นที่ส่วนทางเดิน (Circulation) 32.6 ตร.ม. ซึ่งต้องการปริมาณความสว่างในระดับ 150 Lux



รูปที่ 3.1 แสดงผังพื้นแสดงพื้นที่ตามปริมาณความสว่าง

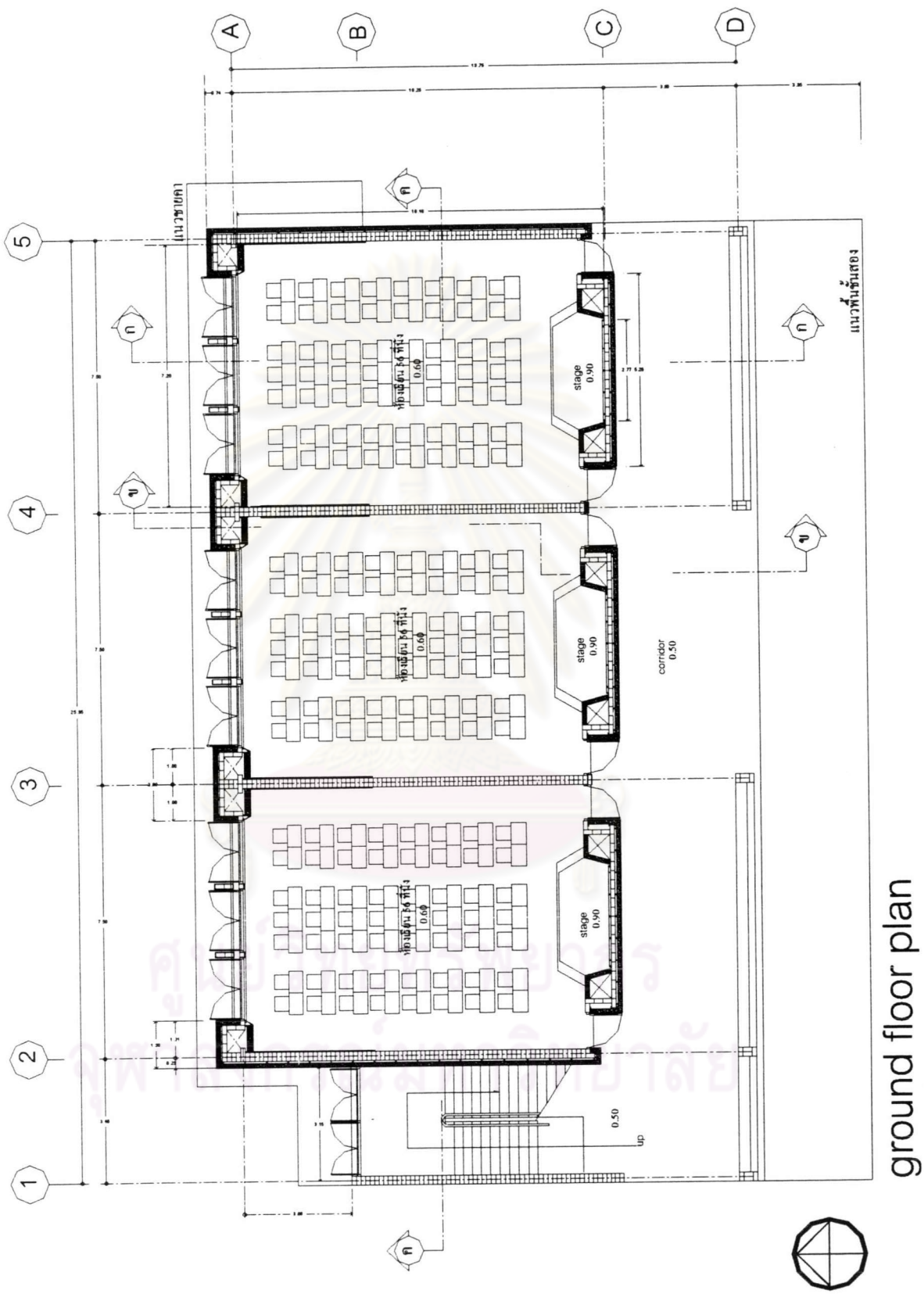
- วัสดุที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษา ภายในห้องเรียนประกอบด้วย วัสดุโครงสร้างและตกแต่ง ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษา

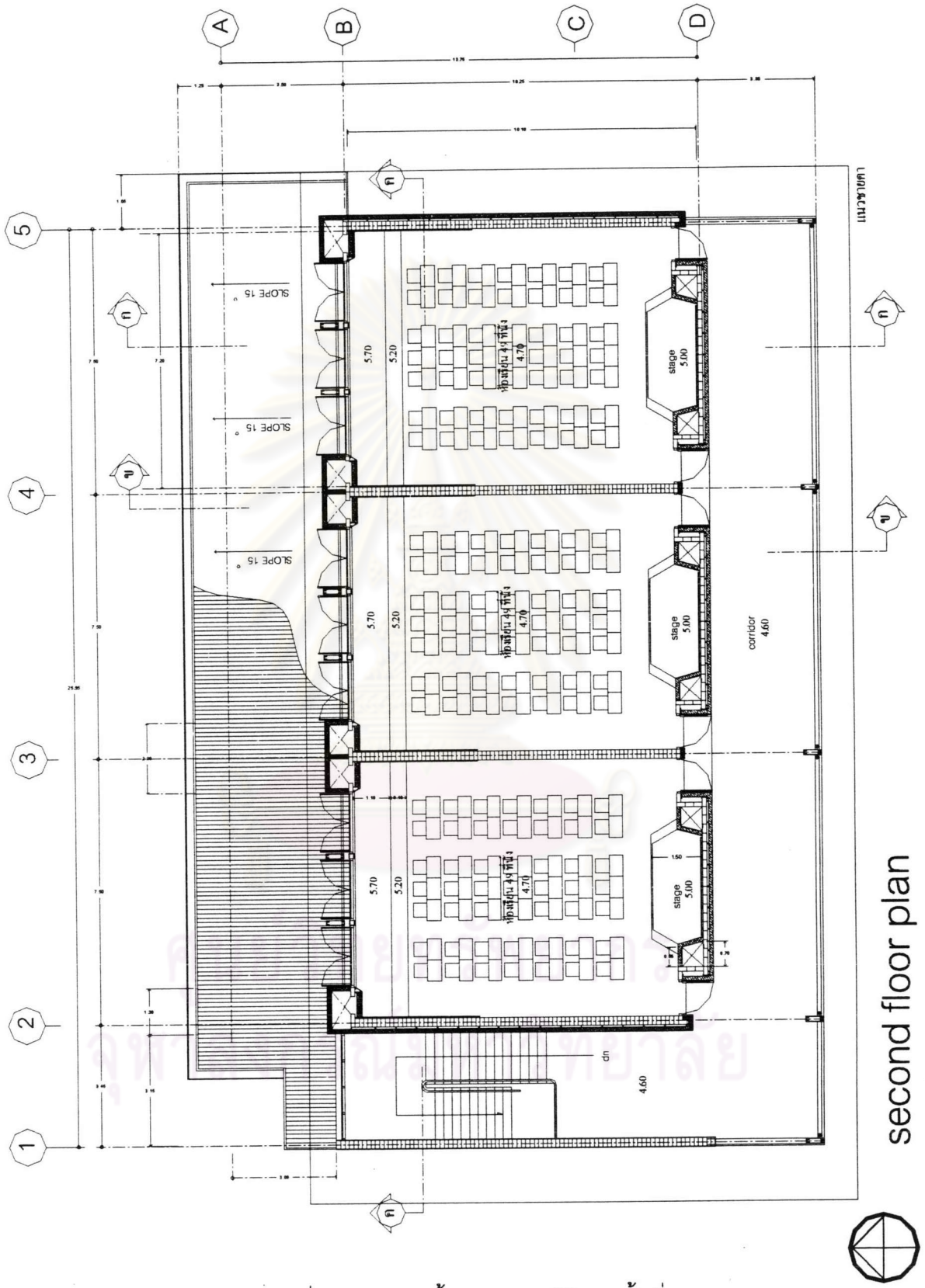
	วัสดุ (Materials)	ค่าการสะท้อนแสง (Reflectance; %)
เพดาน	ฝ้าเพดานไม้อัดทาสีพลาสติก	75
ผนัง	ผนังอิฐดินซีเมนต์ ทาสีพลาสติก	50
	ผนังโครงคร่าวไม้กรุไม้อัดทาสีพลาสติก	50
พื้น	พื้นค.ส.ล. ผิวเรียบ	30
หน้าต่าง	หน้าต่างกรอบบานไม้เนื้อแข็ง ลูกฟักกระจกใส 6 มม.[1]	7
	หน้าต่างกรอบบานไม้เนื้อแข็ง ลูกฟักกระจกสีชาอ่อน 6 มม.[1]	5
ส่วนตกแต่ง	กระดาน	55
	เฟอร์นิเจอร์	≤ 30

หมายเหตุ จากการตรวจสอบโดยการใช้เครื่องมือวัดแสง Lux Meter วัดปริมาณแสงสะท้อนเทียบกับปริมาณแสงตกกระทบบนตำแหน่งนั้นๆ

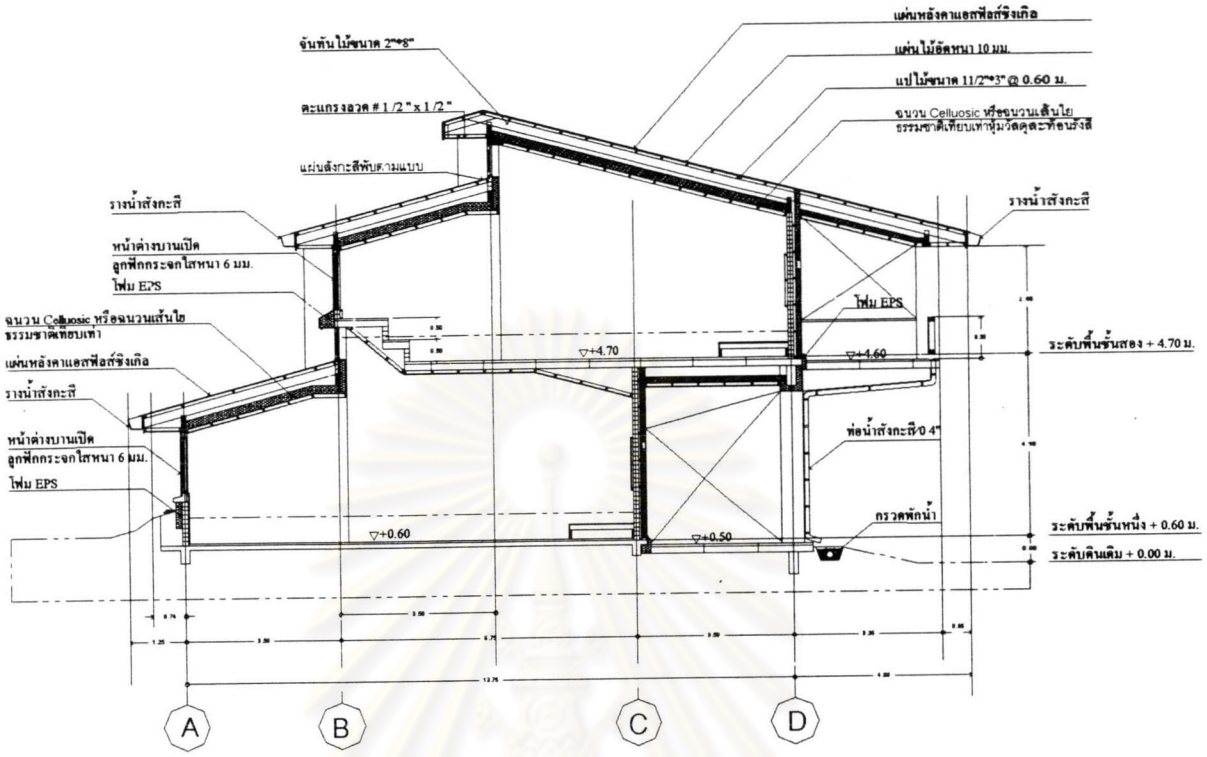
[1] ที่มา: ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับพลังงานแสงจากตารางคุณสมบัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์กระจกไทย-อาซาฮี



รูปที่ 3.2 แสดงผังพื้นอาคารกรณีศึกษา ชั้นที่ 1

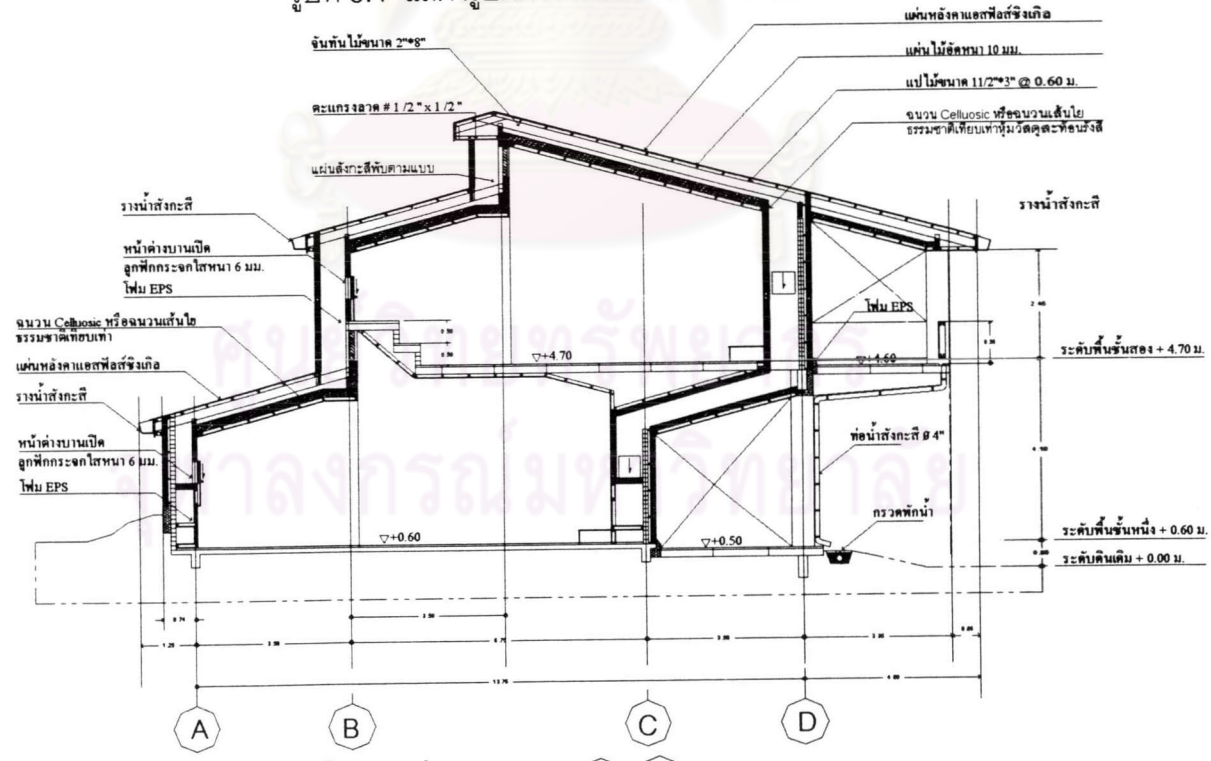


รูปที่ 3.3 แสดงผังพื้นอาคารกรณีศึกษา ชั้นที่ 2



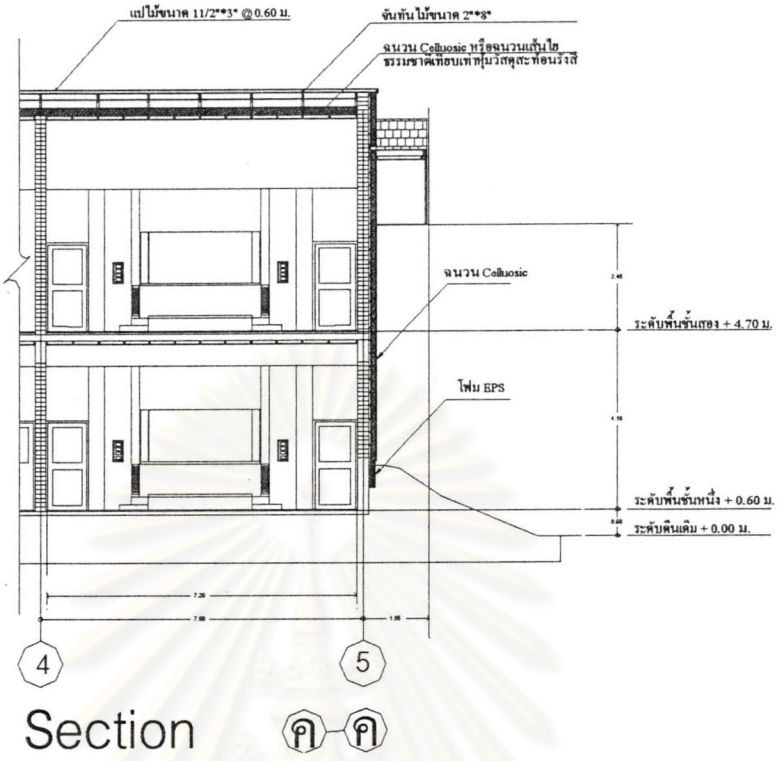
Section ก-ก

รูปที่ 3.4 แสดงรูปตัด ก-ก ของอาคารกรณีศึกษา



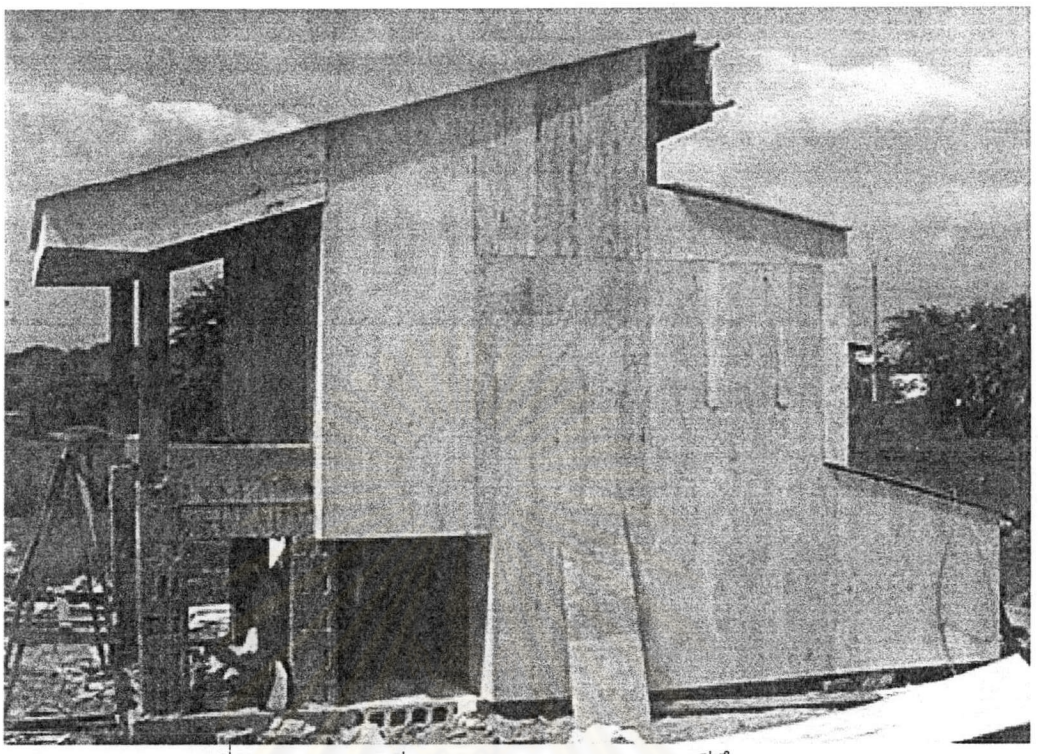
Section ข-ข

รูปที่ 3.5 แสดงรูปตัด ข-ข ของอาคารกรณีศึกษา

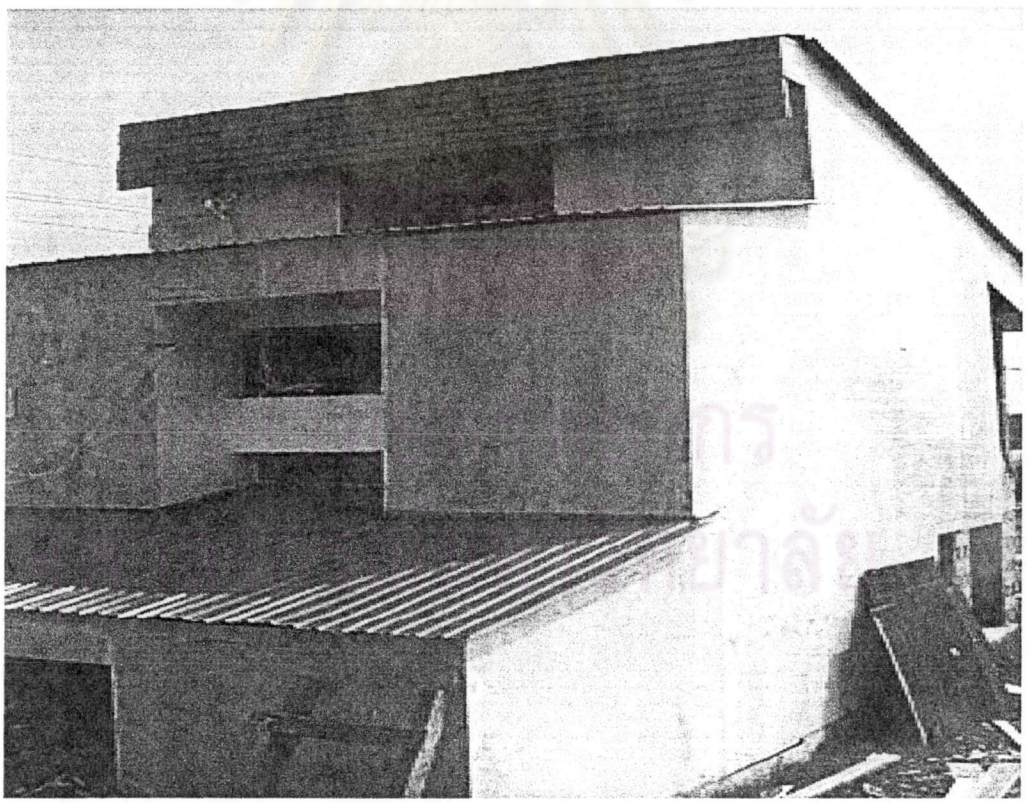


รูปที่ 3.6 แสดงรูปตัด ค-ค ของอาคารกรณีศึกษา

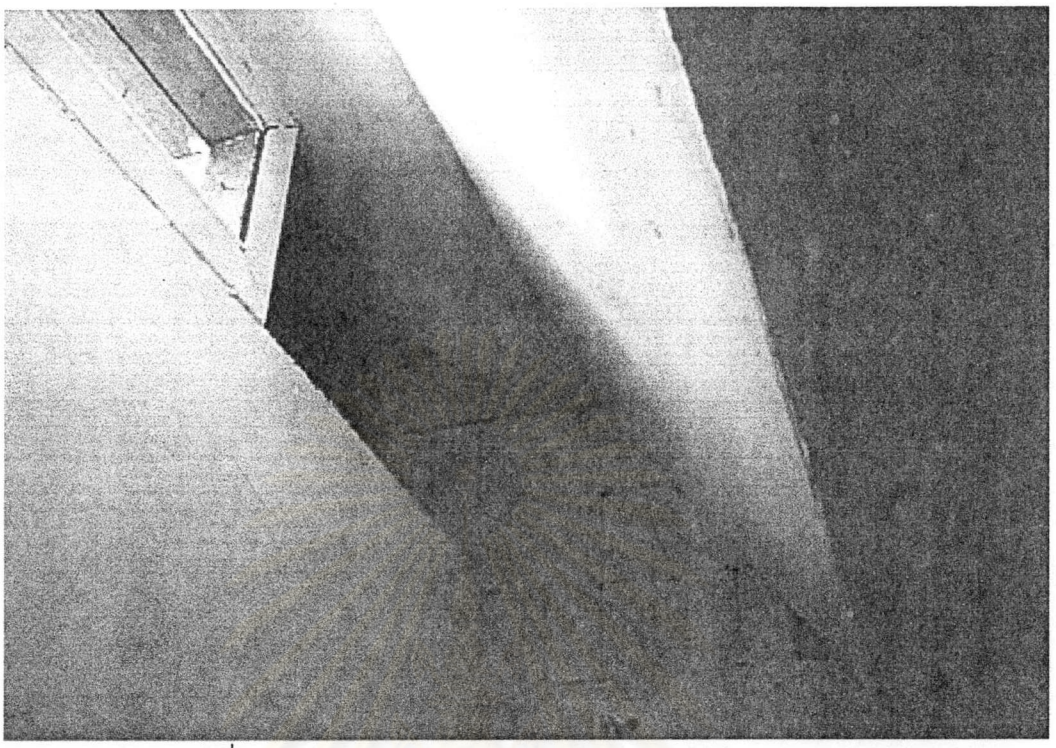
รูปที่ 3.7 แสดงทัศนียภาพภายนอกอาคารกรณีศึกษา 1



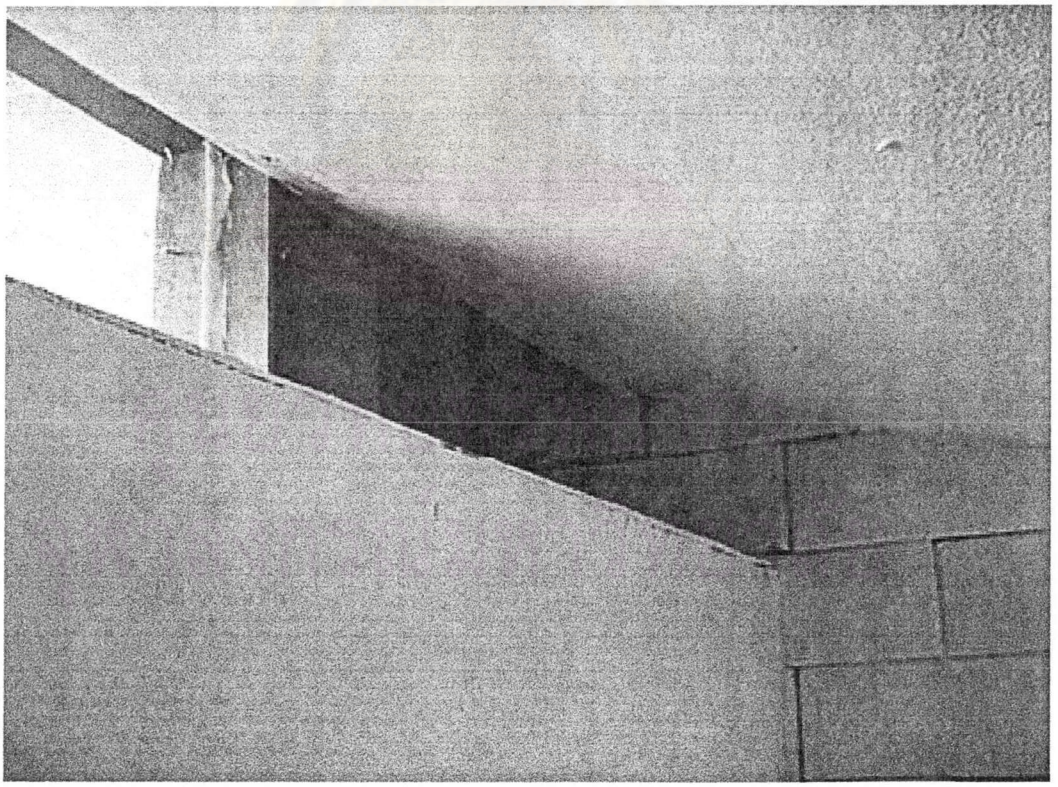
รูปที่ 3.8 แสดงทัศนียภาพภายนอกอาคารกรณีศึกษา 2



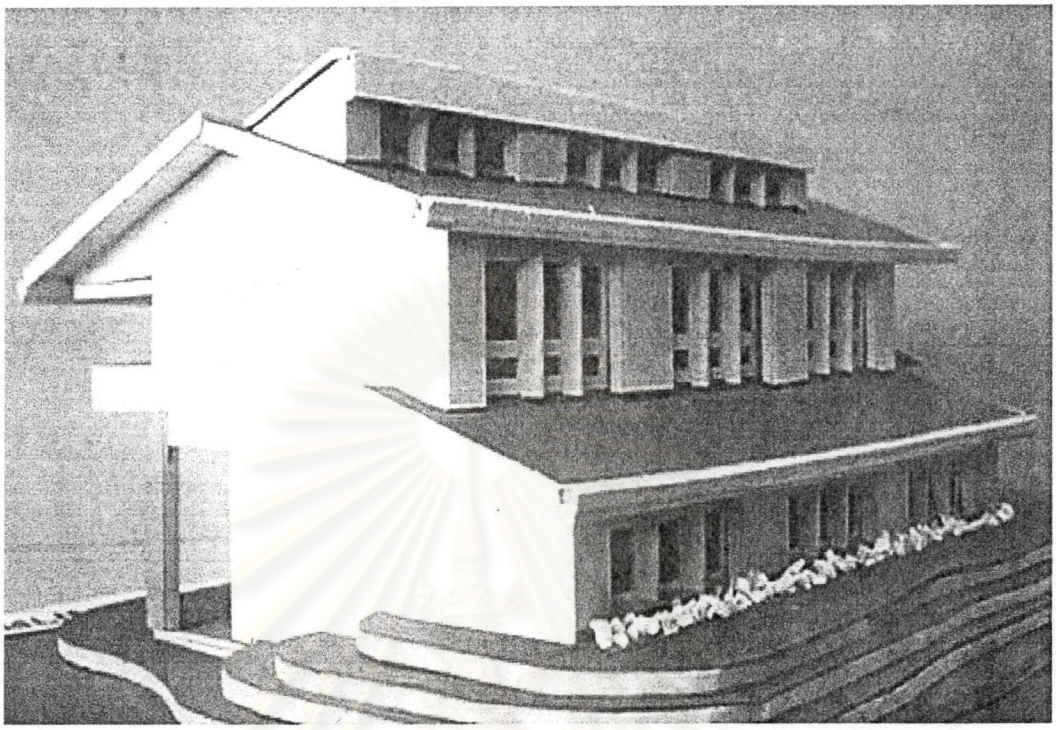
รูปที่ 3.9 แสดงทัศนียภาพภายนอกอาคารกรณีศึกษา 3



รูปที่ 3.10 แสดงทัศนียภาพภายในอาคารกรณีศึกษา 1



รูปที่ 3.11 แสดงทัศนียภาพภายในอาคารกรณีศึกษา 2



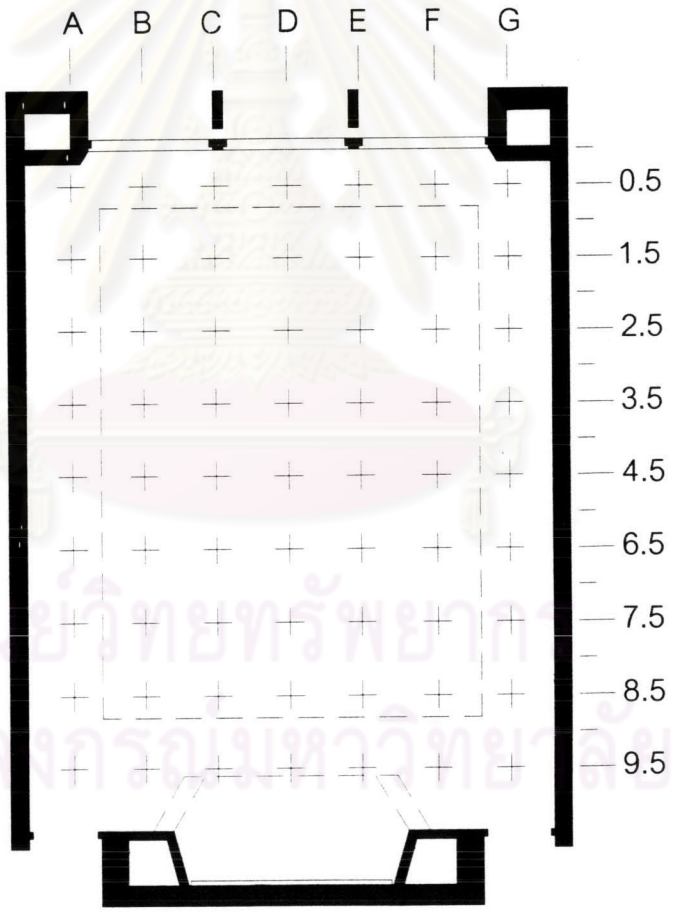
รูปที่ 3.12 แสดงทัศนียภาพภายนอกหุ่นจำลองอาคารกรณีศึกษา

รูปที่ 3.13 แสดงทัศนียภาพภายในหุ่นจำลองอาคารกรณีศึกษา

3.2 ปริมาณความสว่างจากแสงธรรมชาติภายในอาคารกรณีศึกษา

การตรวจวัดปริมาณแสงธรรมชาติ ด้วยการตรวจวัดหาค่า Daylight Factorโดยเลือกห้องเรียนเป็นตัวแทนของห้องเรียนทั้งหมด ซึ่งมีลักษณะทางสถาปัตยกรรมเหมือนกัน ทำการตรวจวัดปริมาณแสงสว่างจากทางทิศเหนือ โดยกำหนดตารางพิกัดในการวัด เริ่มที่ระยะห่าง 0.5 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง และเพิ่มระยะห่างที่ละ 1 เมตร จนถึงหน้าห้องเรียน

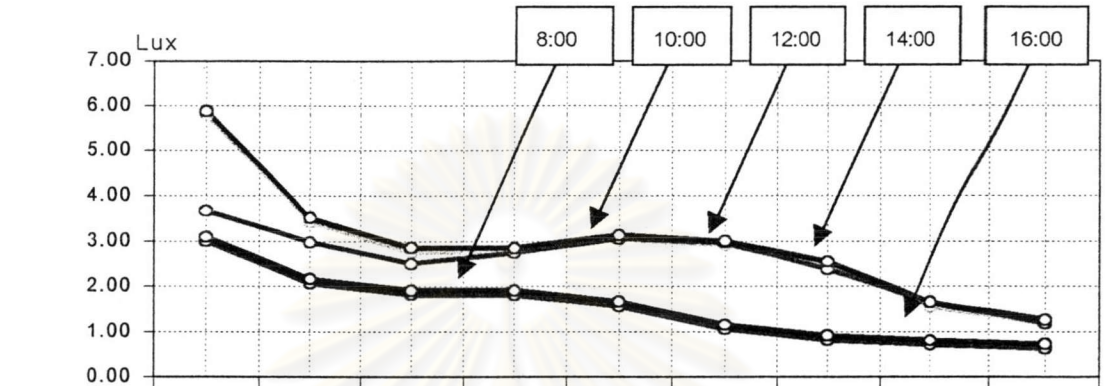
การตรวจวัดการกระจายแสงธรรมชาติ โดยการวัดค่าความสว่างภายนอกที่ไม่รวมแสงแดดและค่าความสว่างภายใน ณ จุดต่าง ๆในเวลาเดียวกัน ซึ่งสามารถนำไปหาค่าความสว่างรวมของพื้นที่และค่า Daylight Factor และกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาปริมาณแสงสว่างระนาบนอนสูงจากพื้นห้องเรียน 0.60 เมตร (Working Plane)



รูปที่ 3.14 แสดงผังตำแหน่งตารางพิกัดที่ใช้ในการวัดความสว่างของแสงธรรมชาติ

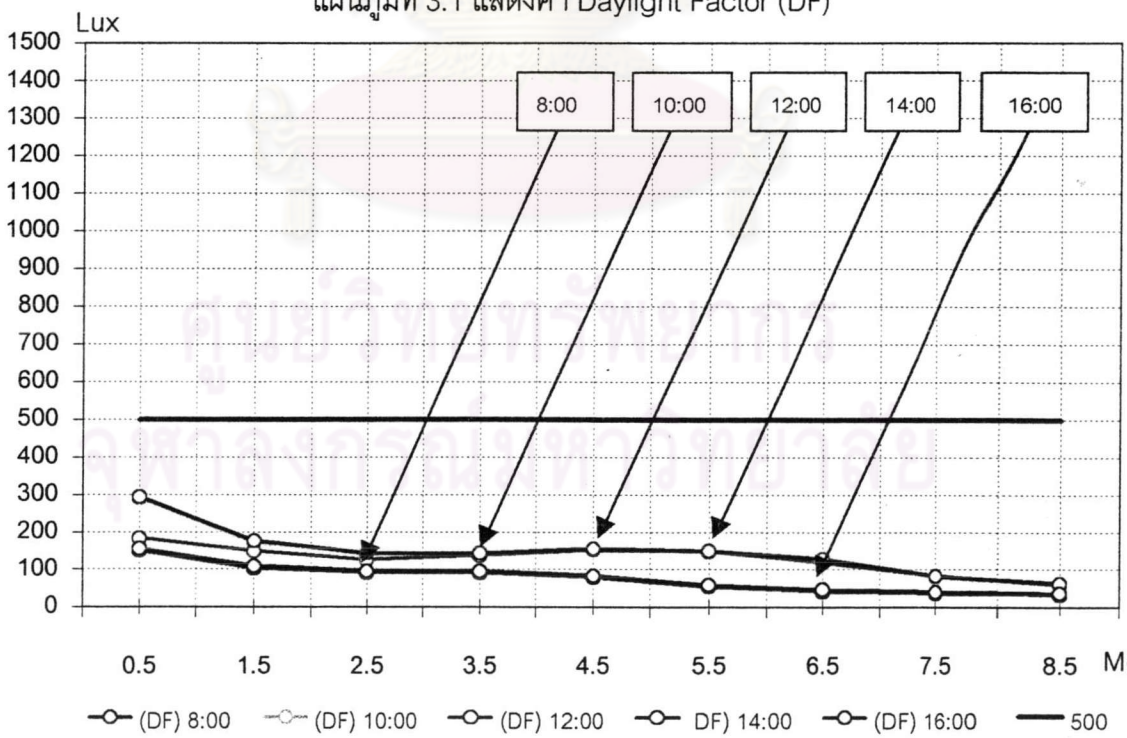
ค่าความสว่างภายใน (Daylight Factor ;DF)

พิจารณาปริมาณความสว่างภายในห้องที่ได้จากแสงธรรมชาติ ระดับแสงภายในขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และปริมาณความเข้มแสง และสัมพันธ์กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับพื้นที่ (altitude azimuth)ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามวันและเวลาที่แตกต่างกัน

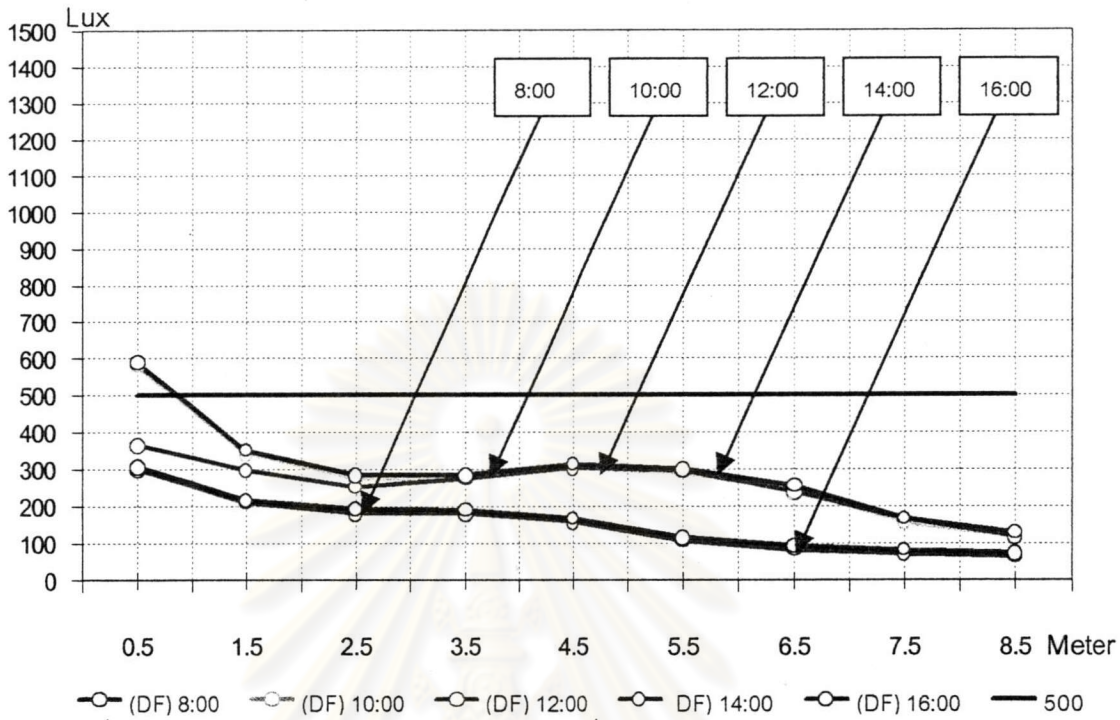


	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5
(DF) 8:00	2.99	2.06	1.81	1.81	1.56	1.05	0.81	0.71	0.63
(DF) 10:00	5.78	3.42	2.75	2.75	3.03	2.90	2.45	1.55	1.16
(DF) 12:00	3.66	2.97	2.50	2.74	3.06	2.96	2.38	1.67	1.19
DF) 14:00	5.88	3.52	2.85	2.85	3.13	3.00	2.55	1.65	1.26
(DF) 16:00	3.09	2.16	1.91	1.91	1.66	1.15	0.91	0.81	0.73

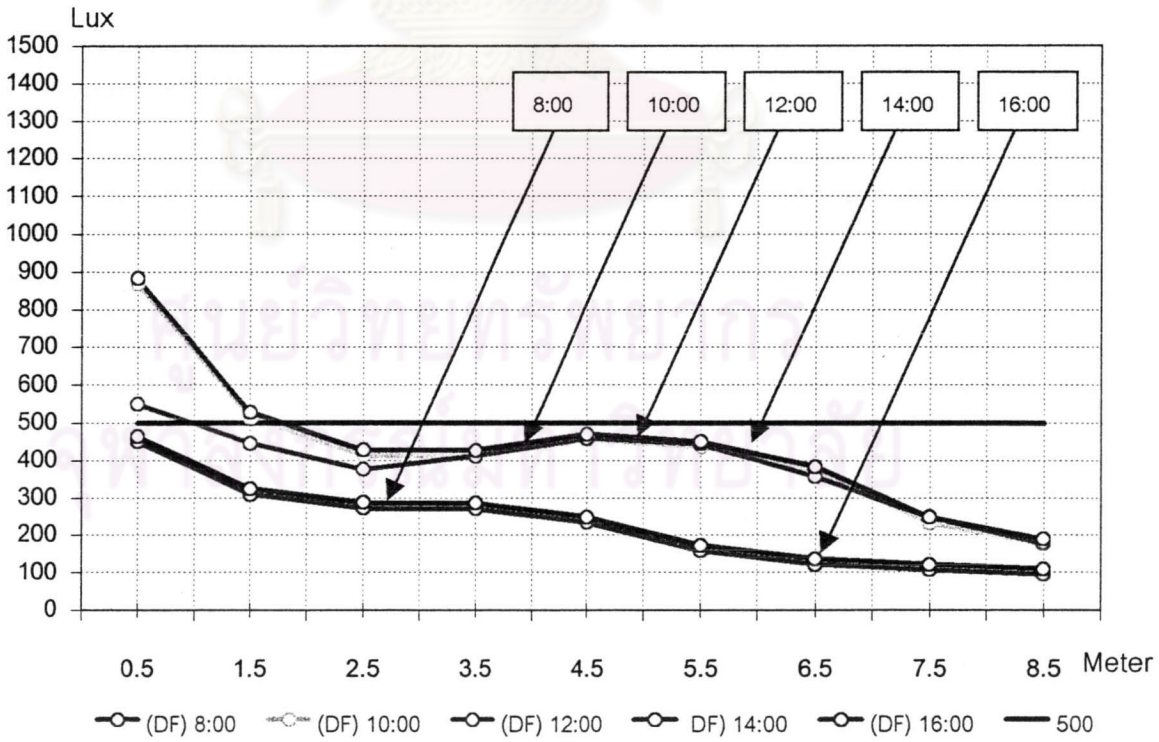
แผนภูมิที่ 3.1 แสดงค่า Daylight Factor (DF)



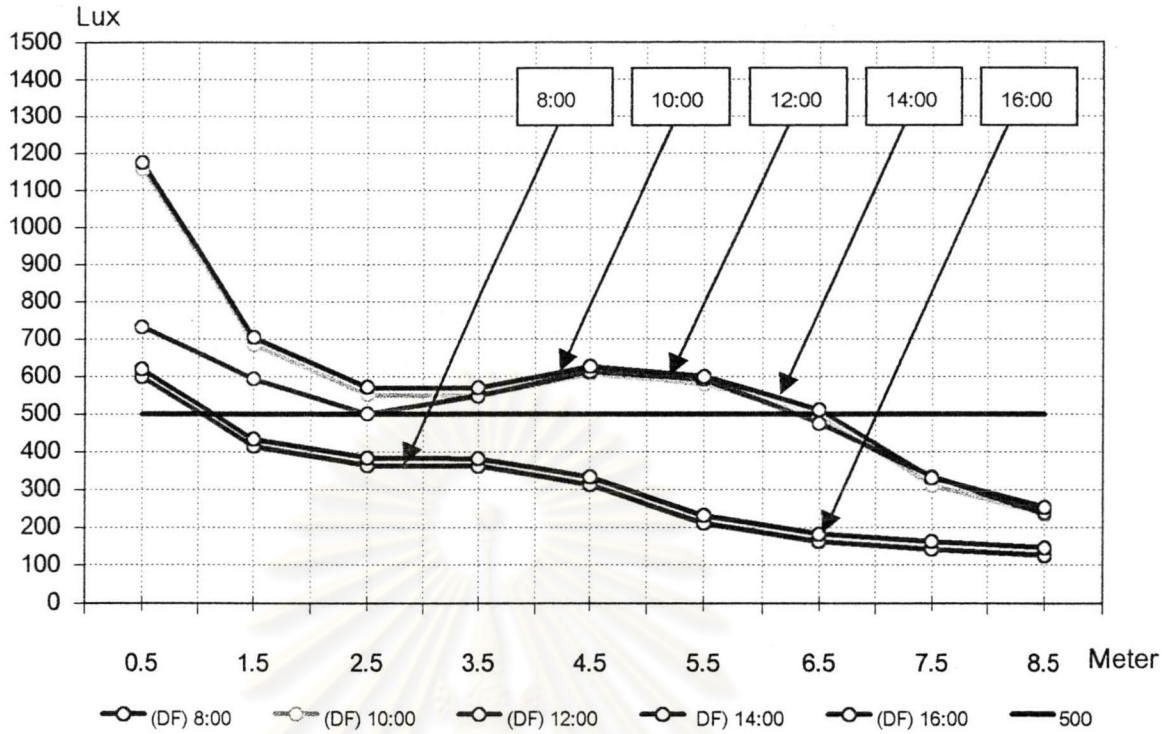
แผนภูมิที่ 3.2 แสดงระดับความสว่างภายใน (Lux) เมื่อระดับความสว่างภายนอก 5000 Lux



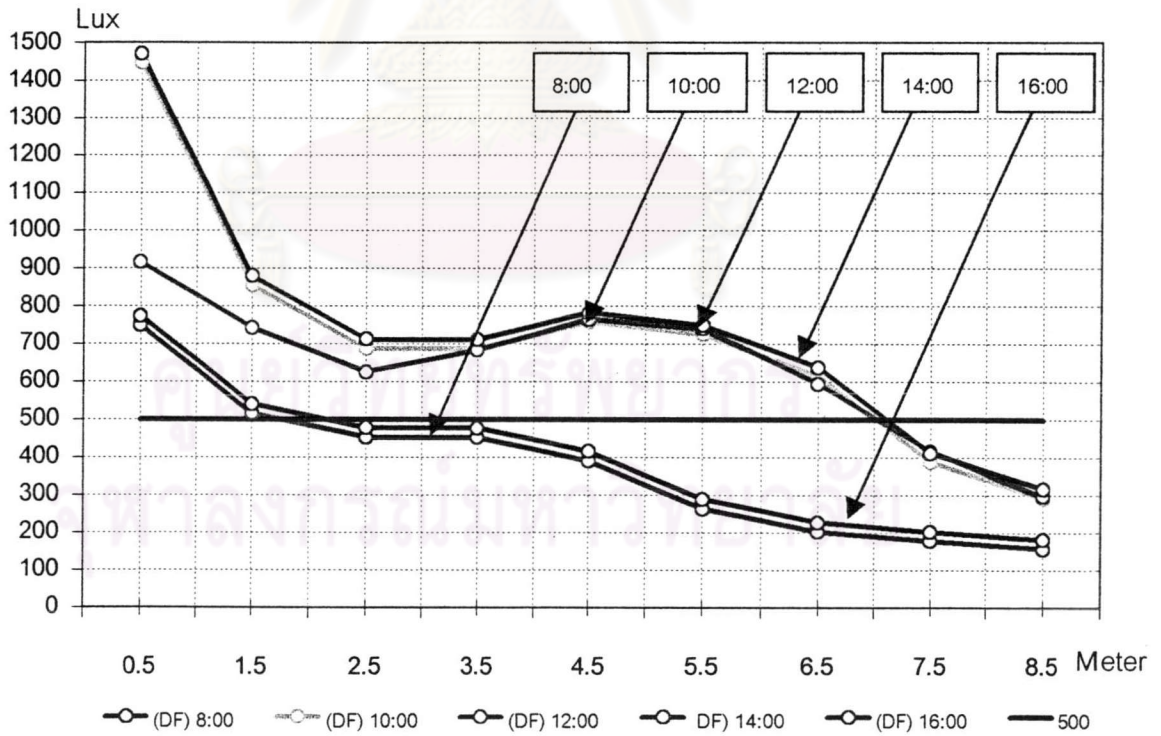
แผนภูมิที่ 3.3 แสดงระดับความสว่างภายใน (Lux)เมื่อระดับความสว่างภายนอก10000 Lux



แผนภูมิที่ 3.4 แสดงระดับความสว่างภายใน (Lux)เมื่อระดับความสว่างภายนอก15000 Lux



แผนภูมิที่ 3.5 แสดงระดับความสว่างภายใน (Lux)เมื่อระดับความสว่างภายนอก20000 Lux



แผนภูมิที่ 3.6 แสดงระดับความสว่างภายใน (Lux)เมื่อระดับความสว่างภายนอก25000 Lux

ปริมาณแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนจากค่า Daylight Factor สามารถนำไปหาค่าความสว่างรวมของพื้นที่ โดยกำหนดปริมาณแสงธรรมชาติภายนอกในระนาบนอน เริ่มตั้งแต่ 5000-10000-15000-20000-25000 ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับความสว่างในช่วงปกติของประเทศไทย อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพท้องฟ้า พบว่า

- ระดับความสว่างภายนอก 5000 ลักซ์ จะมีระดับความสว่างภายในเพียงพอตามมาตราฐาน
  - ช่วงเวลา 8:00 น. และ16:00 น. ระยะ 0 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 10:00 น. และ14:00 น. ระยะ 0 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 12:00 น. ระยะ 0 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
- ระดับความสว่างภายนอก 10000 ลักซ์ จะมีระดับความสว่างภายในเพียงพอตามมาตราฐาน
  - ช่วงเวลา 8:00 น. และ16:00 น. ระยะ 0 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 10:00 น. และ14:00 น. ระยะ 0.8 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 12:00 น. ระยะ 0 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
- ระดับความสว่างภายนอก 15000 ลักซ์ จะมีระดับความสว่างภายในเพียงพอตามมาตราฐาน
  - ช่วงเวลา 8:00 น. และ16:00 น. ระยะ 0 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 10:00 น. และ14:00 น. ระยะ 1.7 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 12:00 น. ระยะ 1 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
- ระดับความสว่างภายนอก 20000 ลักซ์ จะมีระดับความสว่างภายในเพียงพอตามมาตราฐาน
  - ช่วงเวลา 8:00 น. และ16:00 น. ระยะ 1.1 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 10:00 น. และ14:00 น. ระยะ 6.5 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 12:00 น. ระยะ 6.3 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
- ระดับความสว่างภายนอก 25000 ลักซ์ จะมีระดับความสว่างภายในเพียงพอตามมาตราฐาน
  - ช่วงเวลา 8:00 น. และ16:00 น. ระยะ 1.8 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 10:00 น. และ14:00 น. ระยะ 7 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง
  - ช่วงเวลา 12:00 น. ระยะ 7 เมตรจากช่องแสงด้านข้าง

ในส่วนที่มีปริมาณแสงธรรมชาติไม่เพียงพอ จึงต้องเสริมระดับความสว่างด้วยแสงประดิษฐ์ การตรวจวัดปริมาณแสงประดิษฐ์ ดำเนินการเช่นเดียวกับการตรวจวัดปริมาณแสงธรรมชาติ ทั้งตำแหน่งตามตารางพิกัดและระยะความสูงในการวัด เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยใช้เครื่องมือ

เดียวกัน (ตาราง สอบเทียบเครื่องมือ (Calibration)) โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือวัดปริมาณแสงสว่าง (Lux meter) ที่เป็นเครื่องฐานเครื่องเดียวกับการตรวจวัดปริมาณแสงธรรมชาติ จึงสามารถนำผลมาเปรียบเทียบกับค่าปริมาณแสงธรรมชาติได้ โดยไม่ต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือ

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

Illumination Meter เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณแสงสว่างมีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) หรือ ฟุตแคนเดิล (fc) แล้วแต่ประเภทการทำงานของลักซ์มิเตอร์ เริ่มจากการที่อนุภาคของแสง (Flux) ตกกระทบในบริเวณจุดรับแสง แล้วทำให้เกิดความต่างศักย์ของไฟฟ้า เกิดขึ้นในบริเวณจุดรับแสงดังกล่าว ส่งผลให้เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด จะอ่านค่าความต่างศักย์ของไฟฟ้าที่เกิดขึ้น แล้วแปลข้อมูลดังกล่าวออกมาเป็นหน่วยความสว่างของแสงตามต้องการ

การศึกษาในส่วนการวัดด้วยเครื่องมือ ใช้ Illumination Meter ทำการวัดค่าความสว่างและวัดค่าการสะท้อนแสง 2 เครื่อง ดังนี้

- Illumination Meter (Minolta - Lux Meter) วัดค่าความสว่าง(Illumination) ระนาบนอน ภายในอาคารกรณีศึกษา
- Illumination Meter (Minolta - Lux Meter) วัดค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ของวัสดุผิวพื้น ผนัง และ ฝ้าของห้องเรียน อาคารกรณีศึกษา
- Illumination Meter (Minolta T -10) วัดค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ของวัสดุผิวกระดานดำภายในกล่องทดลอง

รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (Minolta - Lux Meter)

รูปที่ 3.16 แสดงเครื่องมือที่วัดปริมาณแสงสว่าง Illumination Meter (Minolta T -10)

ลักซ์มิเตอร์ จะมีช่วงการวัดแสง(Measuring Range) อยู่ระหว่าง 0 – 50,000 ลักซ์[2] ใช้วัดค่าระดับความสว่างที่ตกกระทบลงบนแนวระนาบนอน (Horizontal Illumination) และ แนวระนาบตั้ง (Vertical Illumination)

ทำการทดสอบอุปกรณ์วัดแสงทั้ง 2 โดยการวัดค่าความสว่าง ณ ตำแหน่งและช่วงเวลาเดียวกัน ในสภาพที่มีระดับความสว่างต่าง ๆ กัน ทำการวัดโดยไม่ได้รับผลกระทบจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากระดับความสว่างที่ได้จากรังสิตรงของดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนและแปรปรวนสูง จากนั้นนำค่าความสว่างที่ได้มาเปรียบเทียบ และ วิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อปรับค่าความสว่างที่วัดได้จากอุปกรณ์ทั้งสองตัวให้ถูก

ในการศึกษานี้ หาความสัมพันธ์ของอุปกรณ์วัดแสงทั้งสองตัว เพื่อปรับผลการวัดให้ได้มาตรฐาน ด้วยสมการ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

[2] ที่มา: ข้อมูลจาก Operation Manual

โดยที่ Y = ค่าตัวแปรตาม

x = ตัวแปรอิสระค่า

β_0 = ค่าคงที่ สำหรับสมการถดถอยเชิงเส้น (Intercept) และเป็นจุดตัดของสมการ

β_1 = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ และแสดงความชันของสมการ

ε = ค่าความแตกต่างหรือความคลาดเคลื่อน (Error or Residual) ที่เกิดจากผลต่างของค่าสังเกต Yi กับค่าประมาณ Yi

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- **การกำหนดชนิดของแหล่งกำเนิดแสงและวัสดุสะท้อนแสงที่ใช้ในการวิจัย**

การส่องสว่างในห้องเรียน มีข้อแตกต่างจากการให้แสงสว่างทั่ว ๆ ไป เช่นในสำนักงาน เนื่องจากการใช้สายตาในห้องเรียนมีทั้งการมองที่โต๊ะเรียน และการมองในแนวระดับเพื่อมองกระดาน หรือผู้สอน ระดับความสว่างควรมีค่าเพียงพอตามมาตรฐานการใช้สายตาปานกลาง มีความสม่ำเสมอของแสง และให้สเปกตรัมสีครบถ้วน อีกทั้งให้ประสิทธิผลสูง หาได้ง่ายในท้องตลาด หลอดฟลูออเรสเซนต์ จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานกับห้องเรียน

พิจารณาแหล่งกำเนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36วัตต์ ยาว 1.20 ม. ซึ่งมีประสิทธิผล (ลูเมน/วัตต์) สูง, ดัชนีความถูกต้องของสี 90 – 95 % และมีอุณหภูมิสี (Color Temperature)ที่เหมาะสมต่อการใช้งานร่วมกับแสงธรรมชาติโดยเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Daylight เมื่อแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ตกกระทบแผ่นสะท้อนแสง(reflector) แสงสะท้อนและแสงกระจายจากด้านบนและด้านข้างของหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถนำมาใช้ เพิ่มความเข้มแสงในการส่องลงโดยการควบคุมทิศทางการส่องให้กระจายตกลงในพื้นที่ที่ต้องการ จากหลักการสะท้อนแสงเบื้องต้น ประสิทธิภาพของแผ่นสะท้อนแสง(reflector) ที่เป็นแผ่นอลูมิเนียม เรียบ เงา มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ 95 % และมีค่าการสะท้อนแสงกระจาย 15 % [3] ทำให้การสะท้อนของแสงที่ตกกระทบ และการสะท้อน มีลักษณะ

---

[3] ที่มา: ข้อมูลผลิตภัณฑ์จาก ตารางคุณสมบัติการใช้งานของผลิตภัณฑ์ alanod MIRO 4

เป็นเส้นตรง สามารถควบคุมทิศทางการสะท้อนแสงได้ง่าย และเกิดการสูญเสียจากการสะท้อนแสงในแต่ละครั้งน้อย อีกทั้งแผ่นอลูมิเนียมสามารถดัดโค้ง เพื่อควบคุมมุมกระจายแสงให้ตกลงบนพื้นที่ที่ต้องการ ได้สะดวก

- **ระดับความสว่างที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน**

ตามมาตรฐาน (CIE; International Commission on Illumination) ได้กำหนดความสว่างในตารางออกเป็น 3 ค่าโดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีสภาพแวดล้อมอื่นๆ สำหรับห้องเรียนใช้ที่ย่านความสว่าง 300 – **500** – 750 ลักซ์ ซึ่งเหมาะสม กับงานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น การทำงาน การเรียน

- **สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization หรือCU)**

คือ อัตราส่วนระหว่างลูเมนที่ตกไปถึงพื้นที่ใช้งาน ต่อลูเมนที่ออกมาจากดวงโคม เป็นค่าที่แสดงการนำแสงสว่างมาใช้งานจริง (พิบูลย์ ดิษฐอุดม, 2521) ซึ่งขึ้นอยู่กับความกว้าง ยาว สูง และคุณสมบัติในการสะท้อนแสงของพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ของหุ่นจำลองอาคารกรณีศึกษาจึงได้จากการเปรียบเทียบระดับความสว่างที่ได้จากการวัดค่าความสว่างในหุ่นจำลองกับระดับความสว่างที่ได้จากการคำนวณ

$$CU = \frac{\text{E จากการวัดค่าความสว่างในหุ่นจำลอง}}{\text{E จากการคำนวณ}}$$

นอกจากนี้ แสงบางส่วนที่ตกกระทบพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน สะท้อนออกไปและสะท้อนกลับมาตกลงบนพื้นที่ใช้งาน สามารถพิจารณาจาก ประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรง(Effective Cavity Reflectance) ซึ่งหาได้จากการคำนวณอัตราส่วนโพรง(Cavity Ratio)ทั้งสาม ได้แก่

- อัตราส่วนโพรงเพดาน (Ceiling Cavity Ratio, CCR)
- อัตราส่วนตัวห้อง (Room Cavity Ratio, RCR)
- อัตราส่วนใต้พื้นงาน (Floor Cavity Ratio, FCR)

นำค่าความสามารถในการสะท้อนแสงของพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน ไปหาประสิทธิผลของการสะท้อนแสงของโพรงโดยใช้ตารางของ IES (Illumination Engineering Society)

ส่วนที่ 1 ความสว่างระนาบนอน (Horizontal Illumination)

ขั้นตอนที่ 1 คำนวนจำนวนหลอดไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า

ทำการคำนวณจำนวนหลอดที่ต้องการ ในห้องเรียนโดยปราศจากแสงภายนอก กำหนดระดับความสว่างที่ระดับใช้งาน(Working Plane) 500 ลักซ์ ด้วยวิธี Zonal Cavity Method ซึ่งเป็นการพิจารณาระดับความสว่างเฉลี่ยของทั้งห้อง

$$E = L/A$$

โดยที่ E = ความสว่าง (Illumination)

L = ปริมาณแสงทั้งหมดที่ส่องสว่างจากดวงโคม (Lumen)

A = พื้นที่ที่พิจารณา (ตร.ม.)

โดยแบ่งออกเป็นกรณีต่างๆ 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์มาตรฐาน ขนาด 36 วัตต์ ให้ความสว่าง 2600 ลูเมน ใช้ร่วมกับบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง (Low Loss Ballast) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

กรณีที่ 2 เมื่อเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง ขนาด 36 วัตต์ ให้ความสว่าง 3250 ลูเมน ใช้ร่วมกับบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กประสิทธิภาพสูง (Low Loss Ballast) และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

กรณีที่ 3 เมื่อเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ TL5 ขนาด 28 วัตต์ให้ความสว่าง 2900 ลูเมน ใช้ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast)

เนื่องจากเป็นการพิจารณาค่าเฉลี่ยแสงที่เปล่งออกจากดวงโคมกระจายทั่วห้อง ดังนั้น ปริมาณแสงที่พิจารณาจะพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบที่มีผลให้ปริมารแสงลดลงของดวงโคม (Light Loss Factor) เพื่อชดเชยแสงที่ลดลงเมื่อใช้ดวงโคมไปในระยะเวลาหนึ่ง ในการคำนวณทั้ง 3 กรณี จึงใช้ค่าความสว่างที่เป็นสัดส่วนลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์ตามประสิทธิภาพของหลอดนั้นๆ

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความสว่างที่ใช้ในการคำนวณ จากประสิทธิภาพของหลอดกรณีต่างๆ

หลอด	ประสิทธิภาพ(%)	ค่าความสว่าง(ลูเมน)	ลูเมน / วัตต์
หลอดมาตรฐาน	80	2080	57.77
หลอดประสิทธิภาพสูง	90	2925	81.25
หลอด TL 5	95	2755	98.39

(ที่มา: เอกสารเผยแพร่ กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ,2541)

นำผลการคำนวณหลอดที่ได้ทั้ง 3 กรณีมาคิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Watt/m2) และความร้อน (Btu/h) ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมเกิดจาก หลอดไฟฟ้าต้องอาศัยบัลลาสต์ในการให้แสงสว่าง และเกิดการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในหลอดไฟฟ้า 1 หลอด จะเท่ากับ

Energy Consumption = Watt of Lamp + Ballast loss

โดยที่ Energy Consumption คือ พลังงานที่ใช้ในส่วนแสงประดิษฐ์ (รวมบัลลาสต์)

Watt of Lamp คือ พลังงานที่ใช้ของหลอดไฟ (ข้อมูลของผู้ผลิต)

Ballast loss คือ พลังงานที่สูญเสียในส่วนของบัลลาสต์ (ประเภทของบัลลาสต์)

พลังงานที่สูญเสียในส่วนของบัลลาสต์ขึ้นอยู่กับประเภทของบัลลาสต์ ซึ่งบัลลาสต์แต่ละประเภทมีค่าการสูญเสียแตกต่างกันโดยคิดทั้งระบบร่วมกับหลอดไฟฟ้าด้วย

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าปริมาณพลังงานรวมทั้งระบบของหลอดฟลูออเรสเซนต์

	บัลลาสต์แกนเหล็ก 10.0วัตต์	บัลลาสต์แกนเหล็ก ประสิทธิภาพสูง 6.0วัตต์	บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 4.0วัตต์
หลอดไฟที่ใช้	ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์	ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์	ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์
พลังงานรวม	46 วัตต์	42 วัตต์	36 วัตต์

ปริมาณความร้อน (Btu/h) ที่เกิดจากหลอดไฟ 1 หลอดจะเท่ากับ

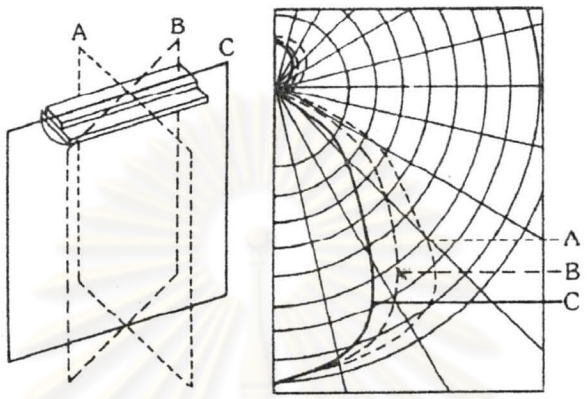
Heat Gain = Watt of Lamp x 3.412

โดยที่ **1วัตต์ มีค่าเท่ากับ** 3.412 (Btu/h) (British Thermal Unit per Hour)[4]

[4] ที่มา: Mechanical and Electrical Equipment for Buildings หน้า 1545

ขั้นตอนที่ 2 ตำแหน่ง รูปแบบ และความสูงที่สัมพันธ์กับห้องเรียน

จากคุณสมบัติของโคมฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมีการกระจายแสงสมมาตรกับแนวดิ่ง มีกราฟการกระจายแสงแตกต่างกันในมุม 0 45 และ 90 องศาของดวงโคม



รูปที่ 3.17 แสดงแผนภูมิการกระจายแสงของดวงโคม

เนื่องจากดวงโคมฟลูออเรสเซนต์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงตามยาว จึงให้การกระจายแสงในด้านข้างของหลอดมากกว่าด้านหัว-ท้ายของหลอด เมื่อพิจารณาถึงการจัดวางตำแหน่งดวงโคม จึงใช้มุมลำแสง ด้านหัว-ท้ายหลอด ในการกำหนดระดับความสูงของดวงโคมโดยพิจารณาจากมุมครึ่งความเข้มแสง (Half Beam Angle) เพื่อให้มุมลำแสงครอบคลุมพื้นที่ต่อเนื่องกัน มุมครึ่งความเข้มแสง (Half Beam Angle)ของดวงโคมแต่ละชนิดมีมุมองศาที่แตกต่างกันออกไปตามรูปแบบ [5]

ตารางที่ 3.4 แสดงมุมครึ่งความเข้มแสง(Half Beam Angle)ของดวงโคมชนิดต่างๆ

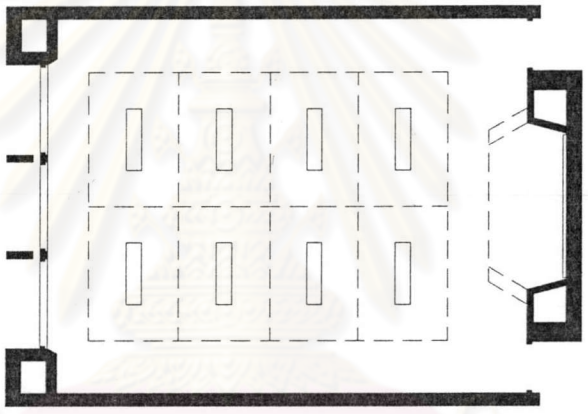
ดวงโคม	มุมครึ่งความเข้มแสง(องศา)
ดวงโคมกล่องเหล็ก (Standard Batten)	54.8
ดวงโคมโรงงาน (Standard Industrial)	
White Reflector	57.75
Mirror Reflector 87%	51.15
Mirror Reflector 95%	47.2
ดวงโคมเงาริ้ว (Surface Standard) 87%	34.45
ดวงโคมเงาริ้วประสิทธิภาพสูง(Surface High Efficiency) 95%	32

[5] ดูภาคผนวก ก

จะพบว่า เมื่อดวงโคมประกอบด้วยแผ่นสะท้อนแสง(Reflector) ที่มีการสะท้อนแสงสูงจะทำให้มุมลำแสงแคบลง เนื่องจากคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ทำแผ่นสะท้อนแสง เมื่อมีค่าการสะท้อนแสงสูงจะมีค่าการกระจายแสงต่ำ และหากวัสดุมีค่าการสะท้อนแสงต่ำ จะมีค่าการกระจายแสงสูงด้วย เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของแผ่นสะท้อนแสง(reflector) ที่นำมาใช้ เป็นแผ่นอลูมิเนียม เรียบ เงา มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ 95 % และมีค่าการสะท้อนแสงกระจาย 15 % จึงให้มุมครึ่งความเข้มแสง (Half Beam Angle)ด้านหัว-ท้ายดวงโคมมากที่สุดเท่ากับ 32 องศา

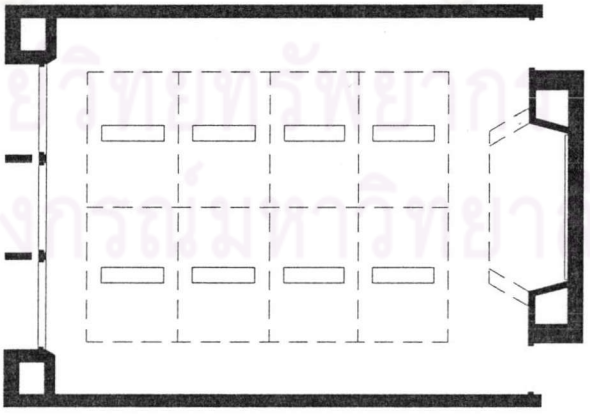
นำผลการคำนวณทั้ง 3 กรณี ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาจัดตำแหน่ง และรูปแบบดวงโคมเพื่อให้สัมพันธ์กับการใช้งาน โดยสามารถนำมาจัดรูปแบบได้ 2 ลักษณะคือ

- การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง



รูปที่ 3.18 แสดงแนวทางการจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามขวางของห้อง

- การจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง

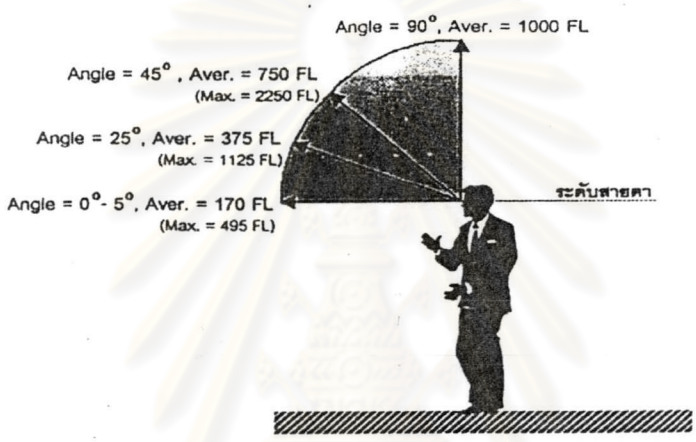


รูปที่ 3.19 แสดงแนวทางการจัดวางทิศทางดวงโคมแบบตามยาวของห้อง

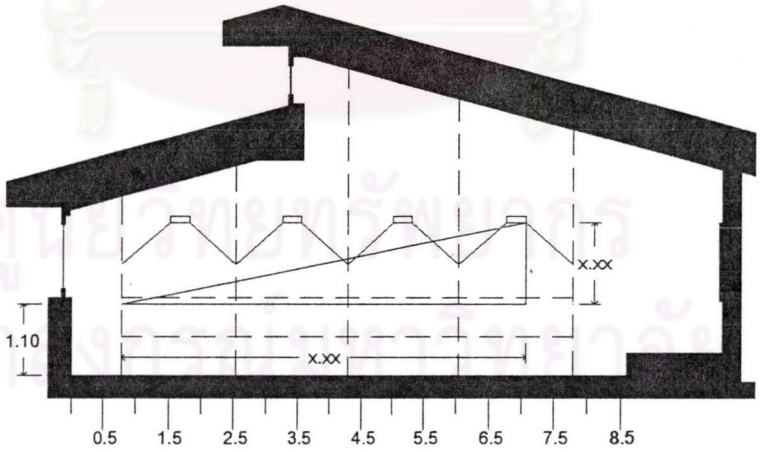
ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบและตำแหน่งจัดวาง 6 รูปแบบ เพื่อใช้ในการพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้จากตำแหน่งของดวงโคม

นำตำแหน่ง และรูปแบบที่สัมพันธ์กับการใช้งานในขั้นตอนที่ 3 มาพิจารณาเรื่อง ระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ โดยใช้ความยาวตามแนวทะแยงห้องจากตำแหน่งสายตา จนถึงดวงโคมดวงที่ไกลที่สุดของสายตา โดยกำหนดระดับสายตาที่ระดับ 1.10 เมตรจากระดับพื้น[6] เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมอง(Angle of Degrees) ที่แตกต่างกัน ในหน่วยฟุตแลมเบิร์ต (Footlamberts)



รูปที่ 3.20 แสดงระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้ในมุมมองที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.21 แสดงการหาค่ามุมมอง เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้

---

[6] ที่มา : ระดับสายตาเฉลี่ยของเด็กนักเรียนขณะนั่งเรียน(Eye-height sitting). Time-Saver Standards for Interior Design and Space Planning, 1992.

โดยความจ้าของดวงโคมคำนวณได้จาก

$$fc = (fL \times W) / 2D$$

โดยที่ fc = ความสว่างที่ระยะ D (ฟุตแคนเดิล)
fL = ความจ้าของดวงโคม (ฟุตแลมเบิร์ต)
W = ความยาวของดวงโคม (ฟุต)
D = ระยะจากดวงโคมถึงจุดสังเกต (ฟุต)

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณความสว่างที่ได้จากแสงประดิษฐ์ กับปริมาณความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติ เพื่อหาปริมาณความสว่างภายในที่ต้องการเพิ่ม

ในการพิจารณาค่าความสว่างภายในที่ต้องการเพิ่ม เพื่อให้ได้ระดับความสว่างที่เพียงพอและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานโดยอาศัยแสงประดิษฐ์ สามารถพิจารณาได้จากค่าความสว่างภายในของห้องเรียน ในแต่ละเวลาตามการใช้งานของห้องเรียน โดยการพิจารณาจากกราฟและพื้นที่ใต้กราฟการกระจายแสงของแสงธรรมชาติในห้องเรียนจากช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านข้างส่วนบน เพื่อให้ครอบคลุมความแปรปรวนของสภาพท้องฟ้าในแต่ละเดือน[7] ค่าความสว่างภายนอกที่ตกกระทบระนาบนอนได้จากการนำค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์(Global Solar Radiaton) (W/sq.m.) มาแปลงเป็นค่าความสว่างระนาบนอน ด้วยสมการพยากรณ์[8] และนำค่าความสว่างระนาบนอนที่มีความถี่สูงสุดในช่วงที่ให้ค่าความสว่างภายในต่ำกว่า 500 ลักซ์มาใช้ในการพิจารณา

การคำนวณปริมาณการส่องสว่างสามารถนำค่าการส่องสว่างจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์มารวมกันได้โดยการวัดค่าการส่องสว่างทั้งสองที่ระนาบเดียวกัน ดังนั้น จึงใช้แสงประดิษฐ์มาเพิ่มในตำแหน่งที่มีปริมาณความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติไม่เพียงพอและสามารถกำหนดเป็นรูปแบบการใช้งานจากกราฟและพื้นที่ใต้กราฟ เพื่อแสดงตำแหน่งดวงโคมและการแยกเปิด-ปิดวงจร ที่เหมาะสมกับห้องเรียนได้

---

[7] ที่มา: ข้อมูลสภาพอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา

[8] ที่มา: ทศพร นามแสง ,2543

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์เปรียบเทียบ และสรุปเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับห้องเรียน

เปรียบเทียบผลที่ได้ของแต่ละรูปแบบ นำไปวิเคราะห์ โดยคำนึงถึง

- ปริมาณการใช้พลังงาน
- ความสามารถในการใช้งานร่วมกับแสงธรรมชาติในสภาพท้องฟ้าต่างๆกัน
- ระดับความจ้าที่สายตายอมรับได้

และสรุปเป็นรูปแบบที่เหมาะสม ในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของห้องเรียน

ส่วนที่ 2 ความสว่างระนาบตั้ง (Vertical Illumination)

อาคารกรณีศึกษา ใช้แสงกระจายจากช่องแสงด้านข้างและช่องแสงด้านข้างส่วนบน ในการออกแบบระบบแสงธรรมชาติจึงคำนึงถึงการลดปริมาณแสงจ้าจากแสงธรรมชาติที่ตกกระทบบริเวณกระดานดำ ทำให้ระดับความสว่างระนาบตั้งมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานที่ 500 ลักซ์ ในสภาพท้องฟ้าต่างๆ ดังนั้นจึงใช้แสงประดิษฐ์มาเพิ่มในบริเวณกระดานดำ ซึ่งมีปริมาณความสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติไม่เพียงพอ โดยเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพเดียวกับการให้ความสว่างระนาบนอน

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณจำนวนหลอด และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ทำการคำนวณจำนวนหลอดที่ต้องการ บริเวณหน้ากระดานดำ โดยปราศจากแสงภายนอก กำหนดระดับความสว่างที่ระดับใช้งาน(Working Plane) 500 ลักซ์

$$Fc = I \cos\theta$$

โดยที่ Fc = ค่าความเข้มของปริมาณแสงสว่างบนระนาบใช้งาน(Illumination) (Foot-candle)

I = ปริมาณแสงสว่างที่ตกกระทบพื้นที่ใช้งาน(Candella)

θ = มุมตกกระทบของแสง (Angle of Incident)

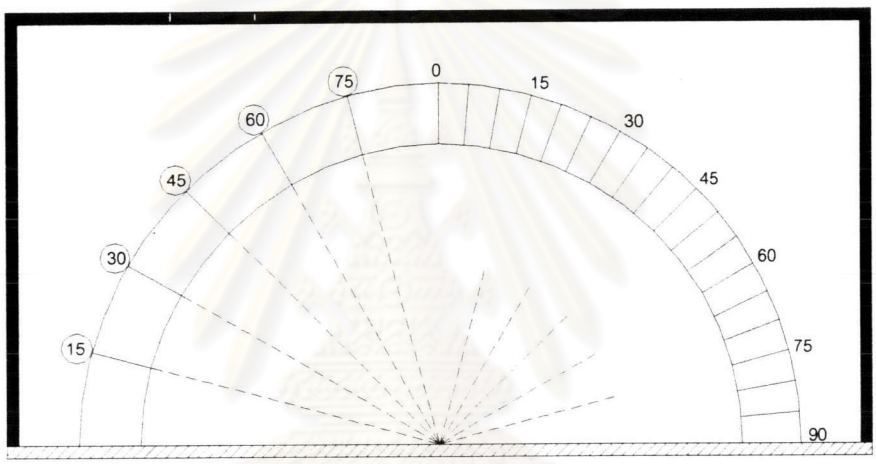
และ **1 ฟุต-แคนเดิล เท่ากับ 10.76 ลักซ์**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

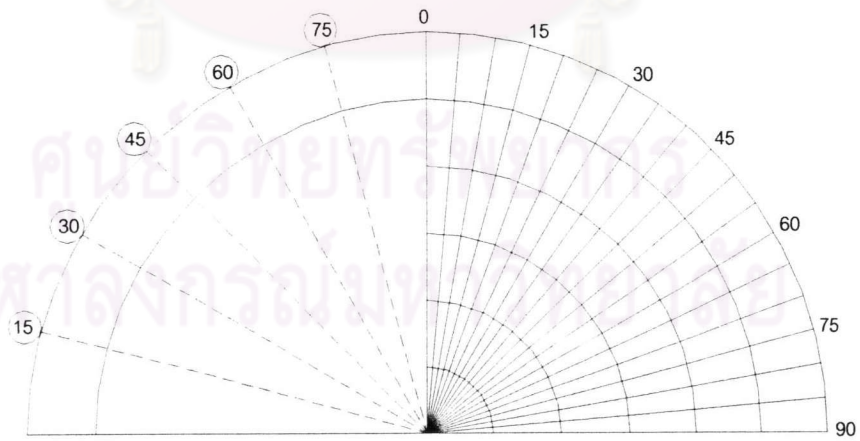
นำผลการคำนวณหลอดที่ได้ มาคิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Watt/m2) และความร้อน (Btu/h) โดยที่ 1วัตต์ มีค่าเท่ากับ 3.412 บีทียู/ชั่วโมง(British Thermal Unit per Hour)[9] นำปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้ ไปรวมกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 มุมกระจายแสงจากมุมสะท้อนแสงหลักที่เกิดจากวัสดุกระดาน

ทำการทดสอบและวิเคราะห์มุมการสะท้อนแสงออกจากกระดาน ที่มุมตกกระทบต่างๆกัน แบ่งเป็น 5 กรณี คือ มุม 15, 30, 45, 60 และ 75 องศา โดยทำการทดสอบกับกล่องทดลอง และเครื่องมือวัดแสง (Lux Meter)



รูปที่ 3.22 แสดงกล่องทดลองที่ใช้ในหามุมการสะท้อนและกระจายแสงออกจากผิวกระดาน

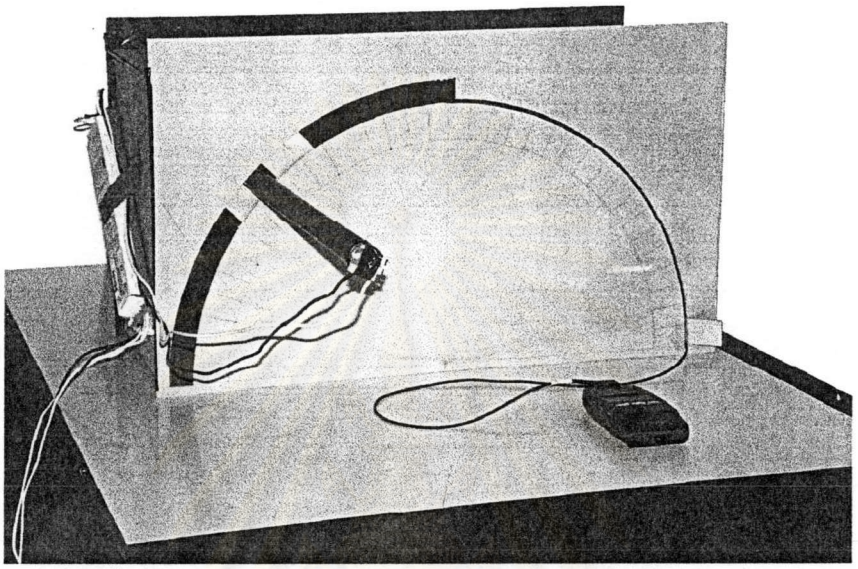


แผนภูมิที่ 3.7 แสดงมุมการสะท้อนและกระจายแสงออกจากผิวกระดาน

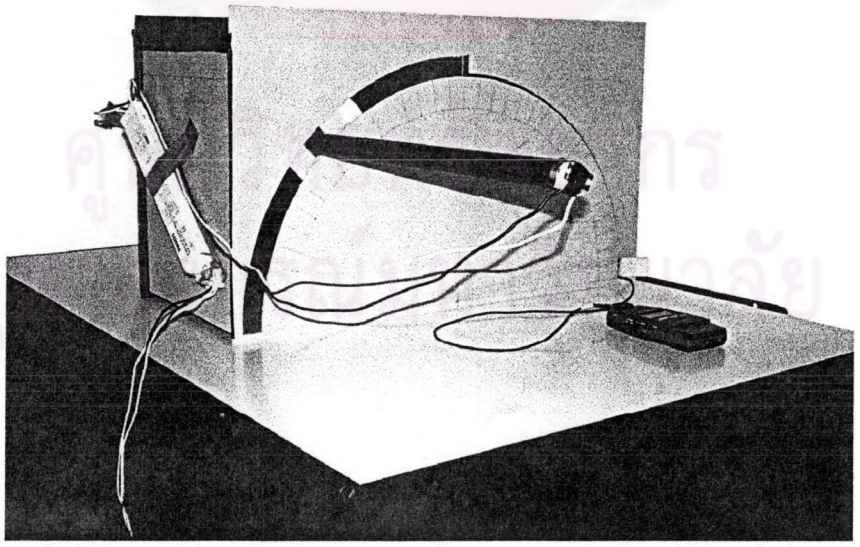
---

[9] ที่มา: Mechanical and Electrical Equipment for Buildings หน้า 1545

และจัดทำเป็นแผนภูมิแสดงทิศทางการสะท้องแสงของวัสดุที่มุมต่างๆ เพื่อพิจารณาช่วงที่เหมาะสมของมุมแสงที่ตกกระทบลงบนกระดานดำ ที่ไม่ทำให้เกิดแสงแยงตา แสดงผลเป็นแผนภาพมุมแสงที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



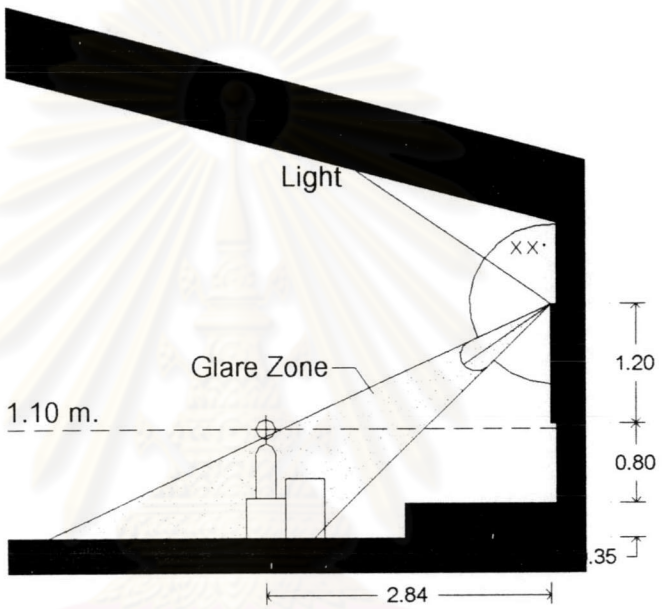
รูปที่ 3.23 แสดงกล่องทดลองมุมการสะท้อนและกระจายแสง 1



รูปที่ 3.24 แสดงกล่องทดลองมุมการสะท้อนและกระจายแสง 2

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษามุมสะท้อนแสงที่เกิดจากตำแหน่งดวงโคม

นำมุมที่ได้จากการทดสอบในขั้นตอนที่ 2 มาพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งในการติดตั้ง โดยคำนึงถึงความสูงและระยะห่างจากกระดานดำเพื่อให้ได้มุมตกกระทบที่ให้ค่าความสว่างสูงสุด และตรวจสอบมุมกระจายแสงของดวงโคม เพื่อไม่ให้เกิดแสงแยงตา แสดงผลเป็นแผนภาพการเปรียบเทียบมุมแสงต่างๆที่ตกกระทบที่กระดานดำ และแผนภาพแสดงมุมแสงตกกระทบที่กระดานดำที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้



รูปที่ 3.25 แสดงตำแหน่งและองศาที่ก่อให้เกิดแสงแยงตา

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ และสรุปเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับห้องเรียน

นำรูปแบบที่ได้ไปวิเคราะห์มุมตกกระทบที่เหมาะสม ไปอ้างอิงในการหาระยะที่ไม่ทำให้เกิดแสงแยงตา และสรุปเป็นรูปแบบการให้ความสว่างระนาบตั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของห้องเรียน

นำผลการศึกษาที่ได้ ทั้ง 2 ส่วนมาพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบ โดยศึกษาระยะเวลาจุดคุ้มทุน และระยะเวลาผลตอบแทนการลงทุน (Payback Period) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าการลงทุนและค่าใช้จ่ายสะสมกับ ค่าไฟฟ้าสะสมในส่วนที่ลดลงได้