ประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร
The efficiency of interior daylighting panels

ไกรฤทธิ์ ฤกษ์เกษม [1] , ธนิต จินดาวณิค [2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาแนวคิดการนำแสงธรรมชาติเข้ามาทดแทนแสงประดิษฐ์ในอาคารด้วยการนำแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคาร(interior daylighting panels)มาใช้เสริมกับหิ้งสะท้อนแสง (lightshelves) เพื่อให้แสงจากช่องเปิดด้านข้าง ตกลงบนระนาบทำงานเพิ่มขึ้น และเสริมประสิทธิภาพการเพิ่มความส่องสว่างในอาคารของหิ้งสะท้อนแสง โดยการศึกษากำหนดขอบเขตเป็นอาคารสำนักงาน ที่ตั้งในเขตละติจูด 14 องศาเหนือ และมีช่วงเวลาใช้งาน 8.00 -16.00 น. ทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานทั้งตัวแปรกายภาพด้านรูปแบบ พื้นผิววัสดุ ระดับติดตั้ง และตัวแปรที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพด้านรูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร รวมทั้งหมด 120 การทดลอง ประเมินผลโดยใช้หุ่นจำลองในการวัดค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์(daylight factor) ที่เพิ่มขึ้นและระยะที่ความส่องสว่างผ่านเกณฑ์ 2 %DF จากช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ แล้วนำผลมาคำนวณกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงของทุกเดือน เพื่อหาความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่ได้และแสงประดิษฐ์ที่ต้องการเพิ่มมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน

ผลการศึกษา พบว่าแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางด้านกายภาพ คือ ลักษณะโค้งระนาบนอน พื้นผิวมีการสะท้อนแสงลักษณะกระเจิงแสง (spread reflection) และติดตั้งที่ระดับความสูงประมาณ 2.75 เมตร มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอจากกรณีปกติ(base case)ที่ใช้ หิ้งสะท้อนแสงแบบเรียบที่ช่องเปิดอย่างเดียวเพิ่มขึ้น 1.70 เมตร หรือ 42.50% ในทิศเหนือ และเพิ่มขึ้น 1.75 เมตร หรือ 53.85% ในทิศใต้ ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น 34.42 %ต่อปีในทิศเหนือและ 12.40 % ต่อปีในทิศใต้ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าหากมีการใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานดังกล่าวนี้ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงโค้งจะสามารถเพิ่มระยะที่แสงสว่างเพียงพอได้อีก 10.53% ในทิศเหนือ และ 16.00%ในทิศใต้ อีกทั้งสามารถประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นได้อีก 17.68 %ต่อปีในทิศเหนือ และ14.13 % ต่อปีในทิศใต้อีกด้วย โดยข้อสรุปที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอาคารที่มีการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติผ่านช่องเปิดด้านข้างต่อไป

คำสำคัญ : แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน ,หิ้งสะท้อนแสง

---

[1] นิสิตมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

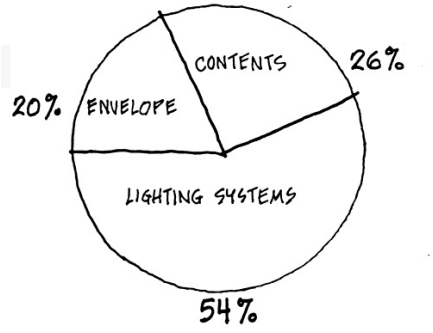
[2] รองศาสตราจารย์ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. บทนำ

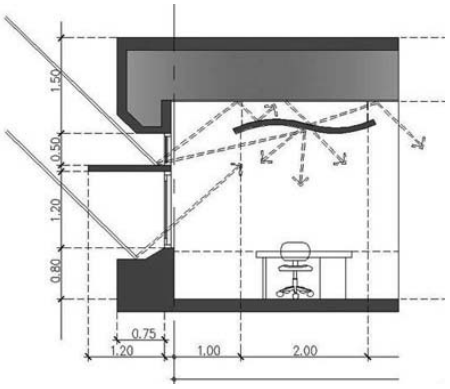
ทั่วโลกมีความตระหนักเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีสาเหตุมาจากการบริโภคพลังงานในสถาปัตยกรรม USAID[3] พบว่า 15 -25 % ของพลังงานที่ถูกใช้ในอาคารมาจากระบบไฟฟ้าส่องสว่าง[1] การพิจารณาใช้ระบบหิ้งสะท้อนแสงนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารจึงเป็นแนวทางที่จะช่วยประหยัดพลังงานที่หมดไปกับแสงประดิษฐ์ได้ แต่เนื่องจากแสงธรรมชาติมีข้อจำกัดด้านความสม่ำเสมอจึงยังคงต้องอาศัยแสงประดิษฐ์เสริมบนระนาบใช้งาน แนวคิดของระบบหิ้งสะท้อนแสง จึงได้รับการพัฒนาต่อในรูปแบบของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน แต่การพัฒนาดังกล่าวยังคงขาดการศึกษาในด้านการนำทั้งสองแนวคิดมาใช้เสริมประสิทธิภาพร่วมกันซึ่งเป็นหลักการที่มีแนวโน้มด้านการเพิ่มประสิทธิภาพความส่องสว่างในอาคาร การศึกษาจึงมุ่งพัฒนาแนวคิดการใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานเสริมประสิทธิภาพหิ้งสะท้อนแสง ในการทำให้แสงจากช่องเปิดด้านข้างตกลงบนระนาบทำงานและสะท้อนเข้าภายในอาคารมากขึ้น โดยจะสามารถนำผลไปต่อยอดแนวคิดการนำแสงธรรมชาติเข้ามาทดแทนแสงประดิษฐ์ในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานต่อไป

ตารางที่ 1 แสดงการใช้พลังงานแยกตามประเภทอาคารของ USAID

ลำดับ	ประเภทอาคาร	ระบบทำความเย็น	ระบบแสงสว่าง	อื่น ๆ
1.	อาคารสำนักงาน	50.0 %	25.0 %	25.0 %
2.	อาคารโรงแรม	61.0 %	15.3 %	23.7 %
3.	อาคารศูนย์การค้า	60.0 %	25.0 %	15.0 %
4.	อาคารสถานพยาบาล	77.5 %	14.7 %	7.8 %



แผนภูมิที่ 1 Annual energy consumption for typical office building[4]



ภาพที่ 1 แนวคิดการใช้ แผงสะท้อนแสง บนระนาบทำงาน

2.วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาแนวคิดการนำแสงธรรมชาติเข้ามาทดแทนแสงประดิษฐ์ ด้วยการใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานเสริมประสิทธิภาพกับหิ้งสะท้อนแสง

2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยและตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน

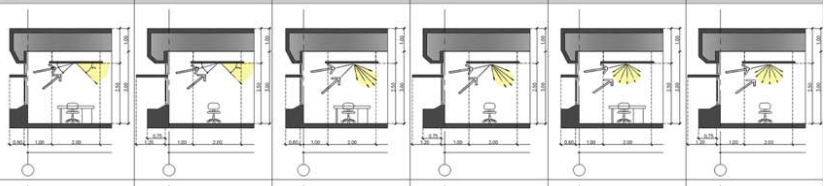
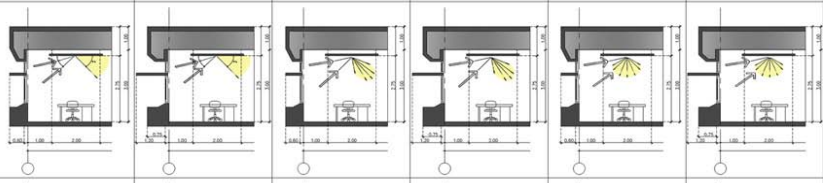
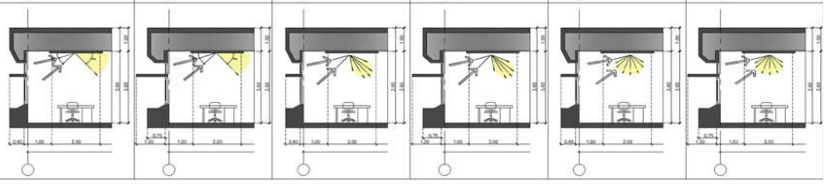
[3] United States Agency for International Development

3. ระเบียบวิธีการศึกษา

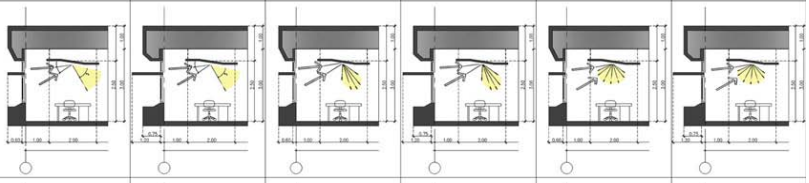
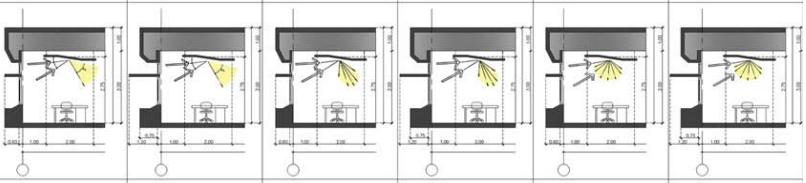
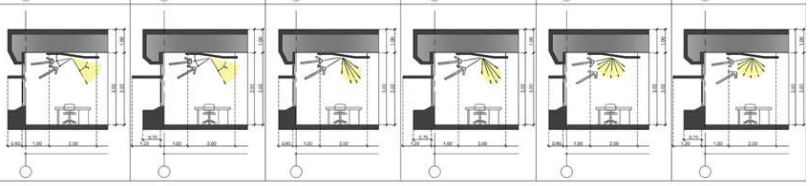
ใช้การวิจัยเชิงทดลองในการทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้แผงสะท้อนแสง โดยจำแนกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ตัวแปรกายภาพที่มีผลโดยตรงต่อการใช้ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานได้แก่ รูปแบบ พื้นผิววัสดุและระดับในการติดตั้ง

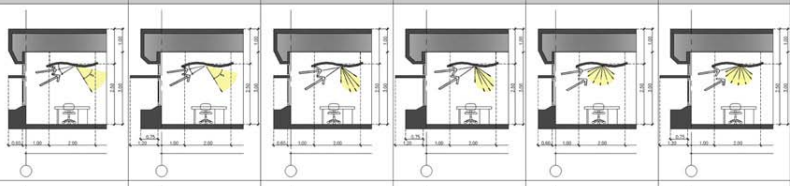
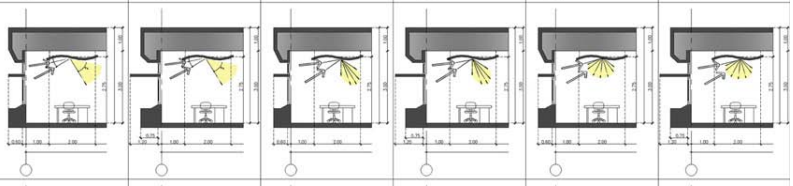
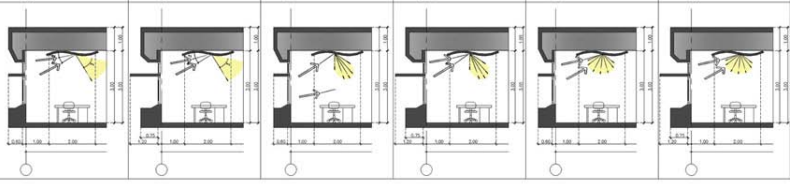
ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานรูปแบบเรียบระนาบนอน รวม 36 การทดลอง

วัสดุ / ระดับ(m.)	พื้นผิวเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection)		พื้นผิวกระเจิงแสง (Spread Reflection)		พื้นผิวกระจายแสง (Diffuse Reflection)	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

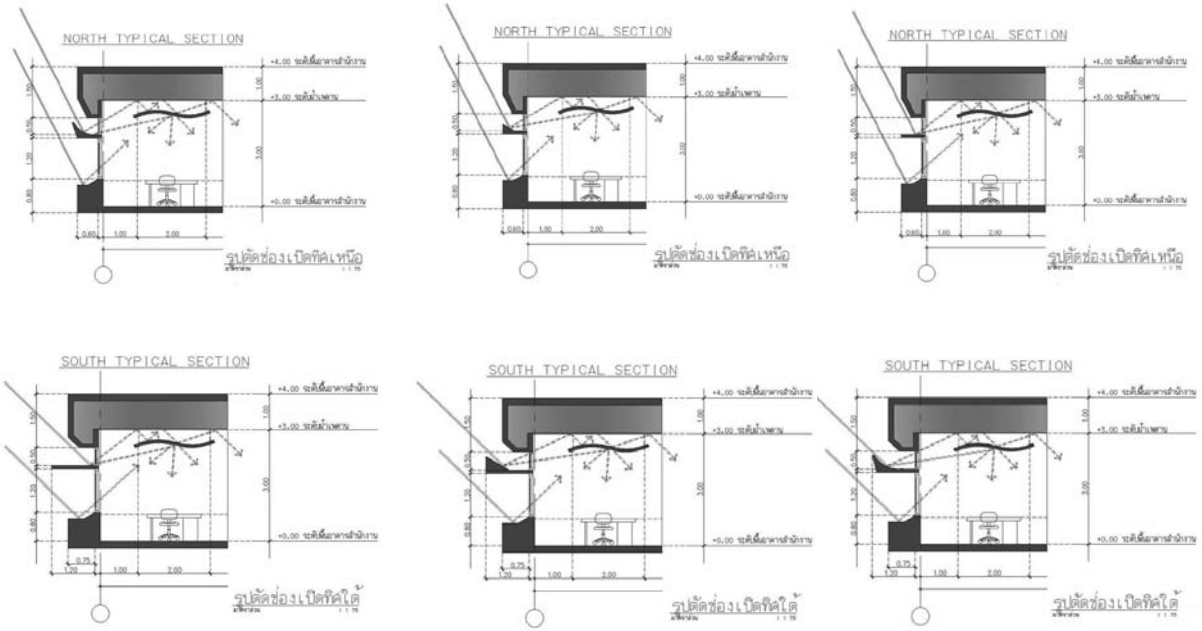
ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ แผงสะท้อนแสง

วัสดุ / ระดับ(m.)	พื้นผิวเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection)		พื้นผิวกระเจิงแสง (Spread Reflection)		พื้นผิวกระจายแสง (Diffuse Reflection)	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

ตารางที่ 4 แสดงตัวแปรด้านวัสดุและระดับของ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน รูปแบบโค้งระนาบนอนรวม 36 การทดลอง

วัสดุ / ระดับ(m.)	พื้นผิวเสมือนกระจกเงา (Specular Reflection)		พื้นผิวกระเจิงแสง (Spread Reflection)		พื้นผิวกระจายแสง (Diffuse Reflection)	
	North	South	North	South	North	South
ระดับ 2.50 m.						
ระดับ 2.75 m.						
ระดับ 3.00 m.						

2. ตัวแปรแวดล้อมที่มีส่วนช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานได้แก่ รูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคารรูปแบบเรียบตรง , รูปแบบปรับมุม 30 องศา[2] และรูปแบบโค้ง



ภาพที่ 2 แสดงการใช้แผงสะท้อนแสง ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงรูปทรงต่างๆ รวม 12 การทดลอง

นำตัวแปรเข้าสู่การทดลองด้วยหุ่นจำลองห้องขนาด 8 x 16 เมตร มีความสูงพื้นถึงฝ้าเพดาน 3.00 เมตร ที่มาตราส่วน 1: 15 ภายในมีค่าการสะท้อนแสงวัสดุพื้น:ผนัง:เพดานประมาณ 30:50:70% [5]ช่องเปิดด้านหน้าหุ่นจำลองเป็นหน้าต่างลักษณะแยกส่วน (split windows) ที่มีค่า WWR = 38.25 % และพิจารณาการบังแดดด้วย หิ้งสะท้อน

แสงที่มีระยะยื่นคำนวณจากมุม profile angle ที่ 60 องศาสำหรับช่องแสงทิศเหนือ และ 45 องศาสำหรับ ช่องแสงทิศใต้ ตามลำดับเพื่อให้สามารถกันแดดได้ตั้งแต่เวลา 8.00 น.-16.00 น

ภายในพิจารณาจำนวนของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานจากจำนวนโคมที่สัมพันธ์กับพื้นที่ใช้สอย จากสูตร [6]

$$\text{จำนวนโคม (N)} = \frac{[E \times A]}{[CU \times (LLD \times LDD)]}$$

ปริมาณแสงต่อ 1ดวงโคม

ทำให้ได้แผงสะท้อนแสงจำนวน5 แผงต่อแถว จำนวน 5 แถวสำหรับจัดวางดวงโคมประมาณ 50 ดวงโคม

ภาพที่ 3 แสดงการจัดเรียงแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน (daylighting panel) ที่สัมพันธ์กับดวงโคมและพื้นที่ใช้งาน

จากนั้นทำการศึกษาภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky และ overcast sky วัดค่าความส่องสว่างโดยเครื่องมือ illuminance meter (DX-200) ที่ระนาบทำงาน(work plane) 0.75 m. ทุกช่วงระยะ 1 เมตรจากช่องเปิด แล้วทำการรวบรวมข้อมูลและประเมินผลระยะจากช่องเปิดอาคารที่ได้ค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์มากกว่า 2%DF (300 - 500 lux) [3] จากสูตร [7]

$$\%DF = 100 \times [E_{in} \times \text{dirt factor}(0.9) \times \text{glazing transmittance}(0.9)] / E_{ext}$$

ภาพที่ 4 แสดงวิธีทำการทดลอง

เมื่อได้ข้อสรุปในทุกตัวแปรของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจึงได้นำผลการทดลองนั้นมาเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน[8] เพื่อหาความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติที่ได้รับและแสงประดิษฐ์ที่ต้องการเพิ่ม(integrate daylight and artificial light) แล้วทำการสรุปประสิทธิภาพด้วยการเปรียบเทียบในรูปแบบกราฟและแผนภูมิ

- ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่า %DF
- ค่า heat gain ของแสงประดิษฐ์ที่ลดลงได้
- เศรษฐศาสตร์ประมาณการค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (kW-hr)

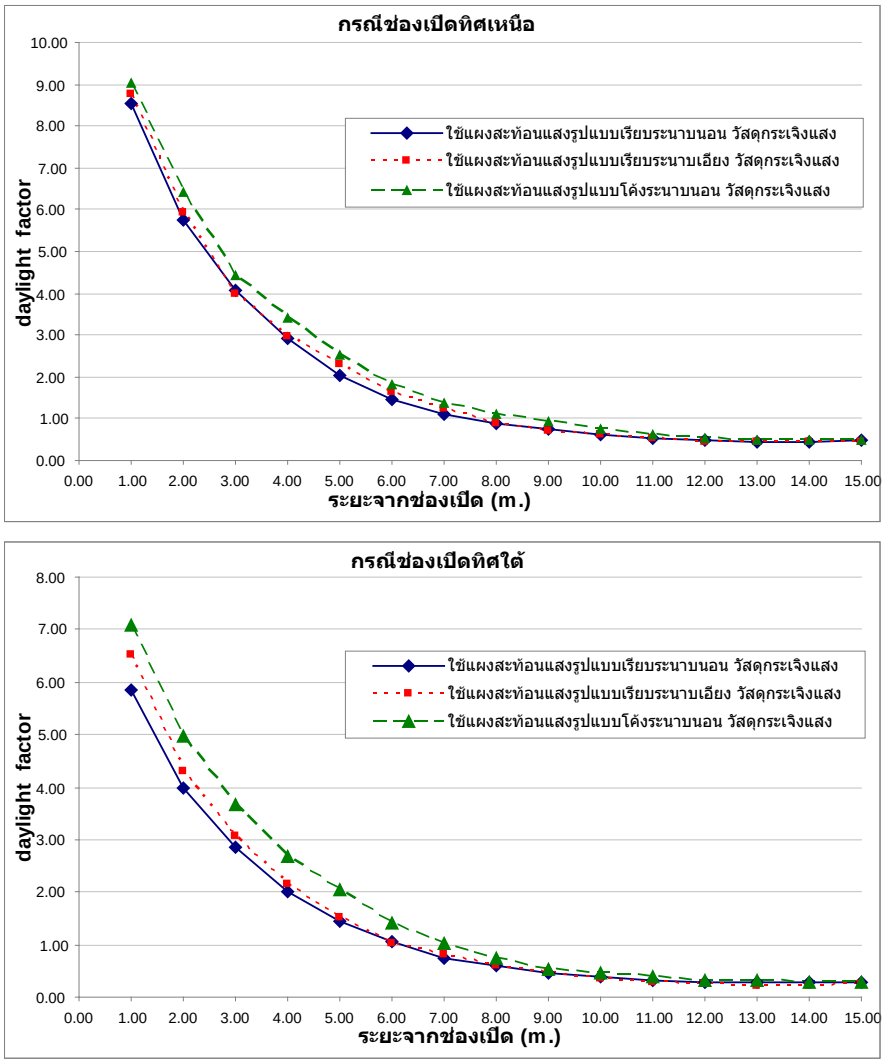
4. ผลการศึกษา

4.1 ตัวแปรกายภาพที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน

4.1.1 การศึกษารูปแบบของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน พบว่ารูปแบบที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์(2%DF) ได้มากที่สุด เป็น**รูปแบบโค้งระนาบนอน** พื้นผิวกระเจิงแสง ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร ในกรณีท้องฟ้า overcast sky จะให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือ 5.70 เมตรและทิศใต้ 5.00 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case (ที่ใช้ lightshelves แบบเรียบที่ช่องเปิดอย่างเดียว) ทิศเหนือ 1.70 เมตร(42.50%) และทิศใต้ 1.75 เมตร(53.85%)

รูปแบบที่มีประสิทธิภาพลำดับที่ 2 คือ แผงสะท้อนแสง**รูปแบบเรียบระนาบเอียง** พื้นผิวกระเจิงแสง ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร ในกรณีท้องฟ้า overcast sky จะให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.50 เมตร และทิศใต้ 4.40 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.50 เมตร(37.50%) และทิศใต้ 1.15 เมตร(35.38%)

รูปแบบที่มีประสิทธิภาพลำดับสุดท้ายคือ แผงสะท้อนแสง**รูปแบบเรียบระนาบนอน** พื้นผิวกระเจิงแสง ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร ในกรณีท้องฟ้า overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.00 เมตร และทิศใต้ 4.10 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.00 เมตร(25.00%) และทิศใต้ 0.85 เมตร(26.15%)



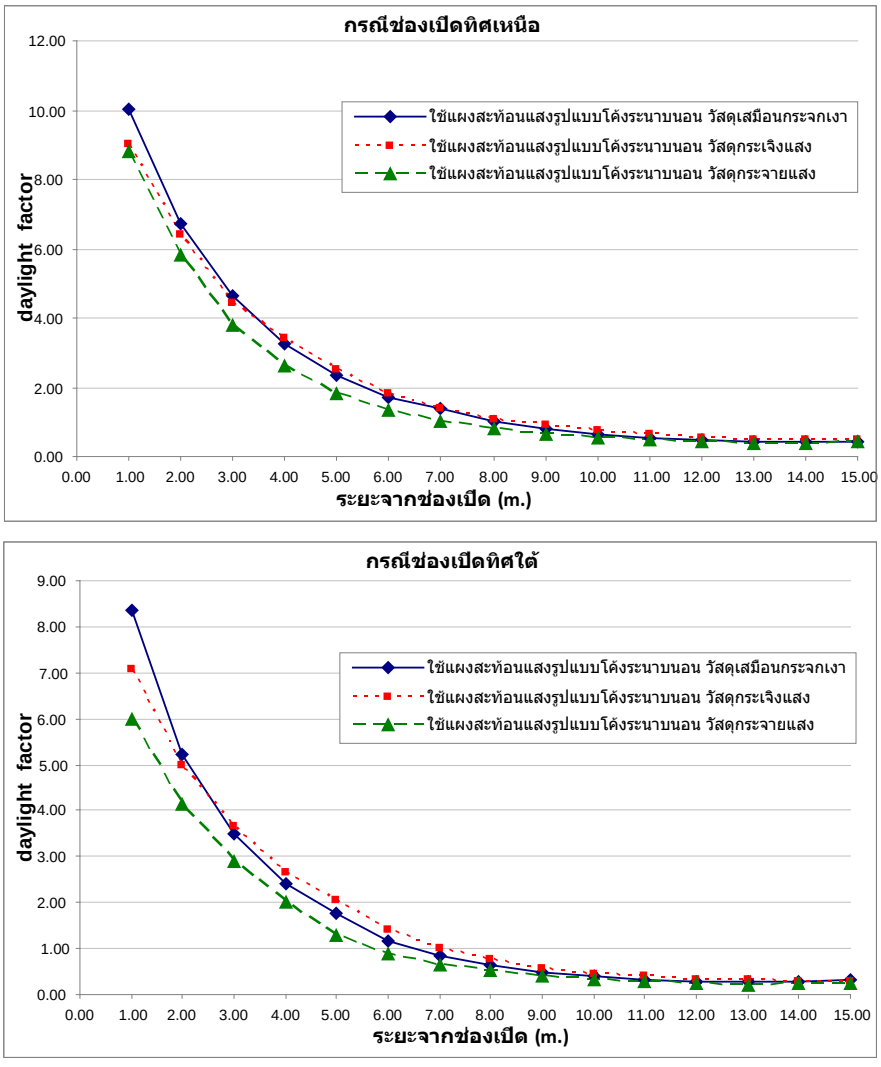
แผนภูมิที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดอาคารที่ใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน วัสดุกระเจิงแสง รูปแบบต่างๆ ที่ระดับติดตั้ง 2.75 เมตร ภายใต้ท้องฟ้า overcast sky

ภาพที่ 5 เปรียบเทียบรูปแบบของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน

4.1.2 การศึกษาพื้นผิววัสดุของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน พบว่าพื้นผิวที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์ (2%DF) ได้มากที่สุด เป็น**พื้นผิววัสดุกระเจิงแสง**(spread reflect.) ของแผงสะท้อนแสงโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรกรณี overcast sky จะให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตรและทิศใต้ 5.00 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.70 เมตร(42.50%) และทิศใต้ 1.75 เมตร(53.85%)

พื้นผิวที่มีประสิทธิภาพลำดับที่ 2 คือ **พื้นผิวเสมือนกระจกเงา**(specular reflect.)ของแผงสะท้อนแสงโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร กรณี overcast sky จะให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.60 เมตรและทิศใต้ 4.70 เมตร เพิ่มจาก base caseในทิศเหนือ1.60 เมตร(40.00%) , ทิศใต้ 1.45 เมตร(44.61%)

พื้นผิวที่มีประสิทธิภาพลำดับสุดท้ายคือ **พื้นผิววัสดุกระจายแสง**(diffuse reflect.)ของแผงสะท้อนแสงโค้งระนาบนอน ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร กรณี overcast sky ให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 4.85 เมตรและทิศใต้ 4.00 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base caseในทิศเหนือ 0.85 เมตร (21.25%) ,ทิศใต้ 0.75 เมตร(23.08%)



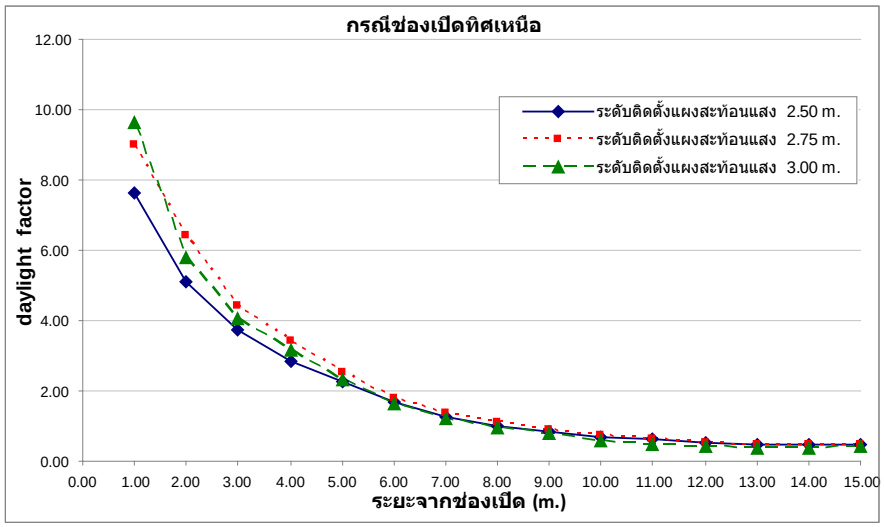
แผนภูมิที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดอาคารที่ใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานรูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุต่างๆ ที่ระดับ 2.75 เมตร ภายใต้ท้องฟ้า overcast sky

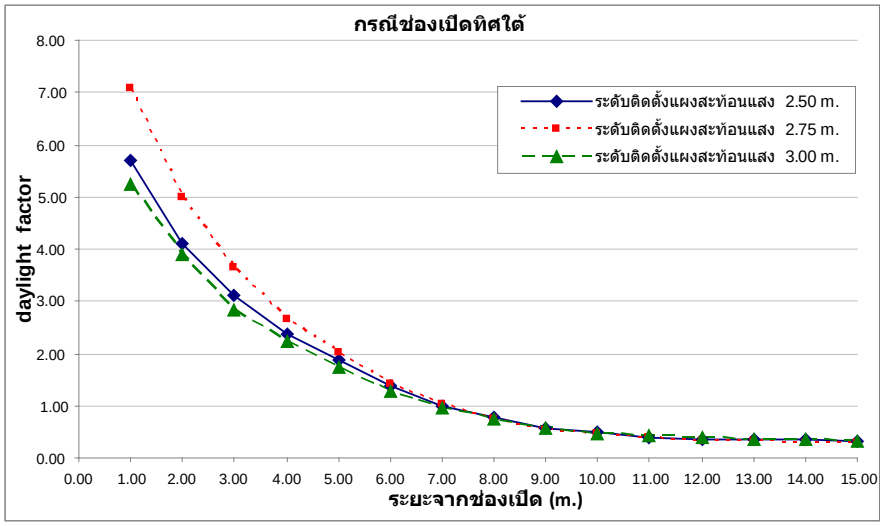
ภาพที่ 6 เปรียบเทียบพื้นผิววัสดุของ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน

4.1.3 การศึกษาระดับติดตั้งของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน พบว่า ระดับติดตั้งที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์(2%DF) ได้มากที่สุดจากการทดลอง เป็นการติดตั้งที่**ระดับ 2.75 เมตร** ของแผงสะท้อนแสงรูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุกระเจิงแสง กรณีท้องฟ้า overcast sky จะให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตรและทิศใต้ 5.00 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.70 เมตร(42.50%) และทิศใต้ 1.75 เมตร(53.85%)

ลำดับที่ 2 คือการติดตั้งที่**ระดับ 2.50 เมตร** ของแผงสะท้อนแสงรูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุกระเจิงแสง กรณีท้องฟ้า overcast sky จะให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.55 เมตรและทิศใต้ 4.85 เมตร เพิ่มขึ้นจาก base case ทิศเหนือ 1.55 เมตร(38.75%) และทิศใต้ 1.60 เมตร(49.23%)

ลำดับสุดท้ายคือการติดตั้งที่**ระดับ 3.00 เมตร** ของแผงสะท้อนแสงรูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุกระเจิงแสง กรณีท้องฟ้า overcast sky จะให้ระยะที่แสงเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.50 เมตร และทิศใต้ 4.45 เมตร เพิ่มจาก base case ในทิศเหนือ 1.50 เมตร (37.50%),ทิศใต้ 1.20 เมตร(36.92%)





แผนภูมิที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดอาคารที่ใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน รูปแบบโค้งระนาบนอน วัสดุกระเจิงแสง ที่ระดับติดตั้งต่างๆ ภายใต้ท้องฟ้า overcast sky

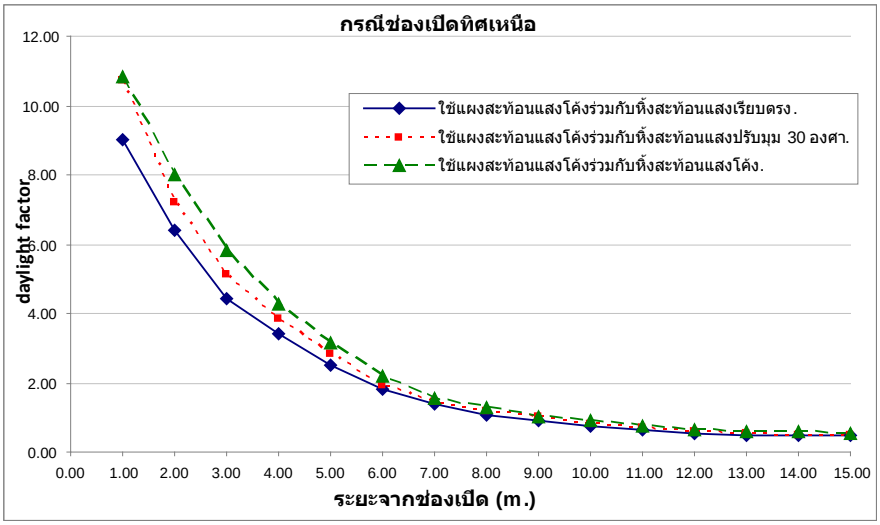
ภาพที่ 7 เปรียบเทียบระดับติดตั้งของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน

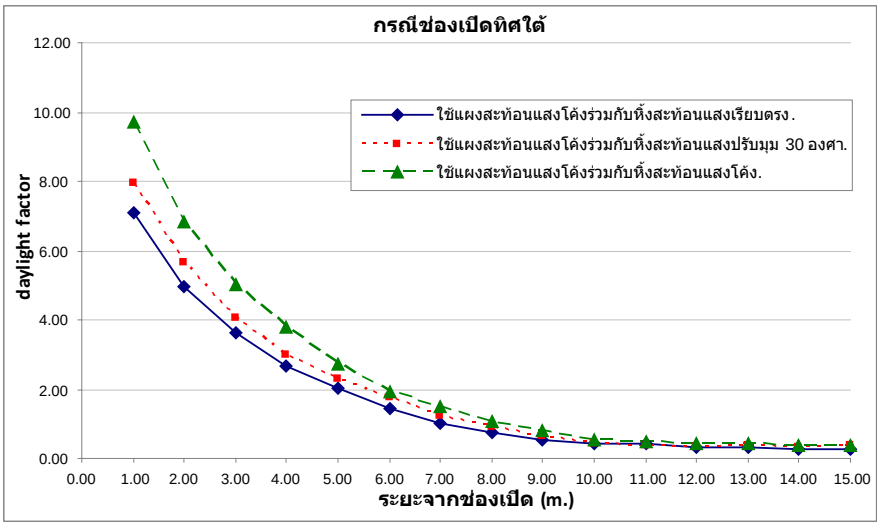
4.2 ตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน

4.2.1 การศึกษารูปทรงของหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดอาคาร พบว่าการใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานรูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิวกระเจิงแสงที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตร**ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงโค้ง** มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะจากช่องเปิดที่มีค่าความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์(2%DF) ได้มากที่สุด โดยภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 6.30 เมตร และทิศใต้ 5.80 เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นอีกจากกรณีใช้แผงสะท้อนแสงร่วมกับ หิ้งสะท้อนแสงเรียบตรงในทิศเหนือ 0.60 เมตร(10.53%) และทิศใต้ 0.80 เมตร(16.00%)

ลำดับที่ 2 เป็นการใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานโค้งระนาบนอน**ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงปรับมุม 30 องศา**ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.90 เมตร และทิศใต้ 5.40 เมตร ซึ่งเพิ่มขึ้นอีกจากการใช้แผงสะท้อนแสงร่วมกับ หิ้งสะท้อนแสงเรียบตรงในทิศเหนือ 0.20 เมตร (3.51%) และทิศใต้ 0.40 เมตร(8.00%)

ลำดับสุดท้ายเป็นการใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานโค้งระนาบนอน**ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงแบบเรียบตรง** กรณีทดลองภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky สามารถให้ระยะที่แสงสว่างเพียงพอจากช่องเปิดทิศเหนือได้ 5.70 เมตร และทิศใต้ 5.00 เมตร ตามลำดับ





แผนภูมิที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า%DF กับระยะจากช่องเปิดที่ใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานโค้ง วัสดุกระเจิงแสงที่ระดับ 2.75 เมตร ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงลักษณะต่างๆ ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

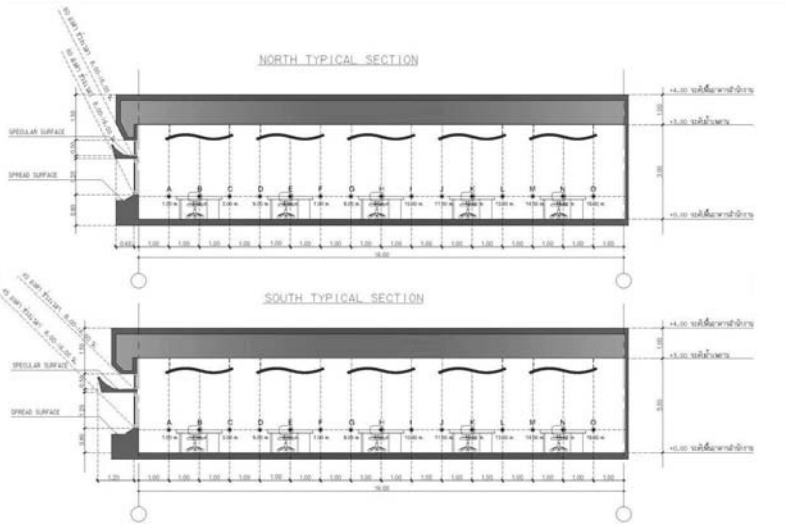
ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบการใช้ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานโค้ง วัสดุกระเจิงแสงที่ระดับ 2.75 ม.ร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงลักษณะต่างๆ

4.3 ผลการพิจารณาประสิทธิภาพการเพิ่มความส่องสว่างบนระนาบทำงานที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร

เมื่อนำผลการทดลองของทุกตัวแปรที่มีประสิทธิภาพที่สุดไปเทียบกับข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน[8] จะทำให้ทราบค่าของแสงธรรมชาติที่ได้รับและแสงประดิษฐ์ที่ต้องการเพิ่มที่ทุกระยะจากช่องเปิด จากนั้นนำค่าที่ได้มาพิจารณาความส่องสว่างที่ต้องการเพิ่มเฉลี่ย (lux) เพื่อใช้คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในการเพิ่มความส่องสว่างจากสมการ[6]

$$\text{Total watt of Lamp} = \frac{\text{illuminance x area}}{\text{efficacy x (CU x LLF)}}$$

โดยค่าประสิทธิผลของดวงโคม (efficacy) ในงานวิจัยนี้ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ของ Lekise 28 watt ความสว่าง 2,800 lumen ทำให้ได้ค่า efficacy = 98 lumen/watt



ภาพที่ 9 typical section แสดงตำแหน่งที่วัดค่าความส่องสว่างภายใน

เมื่อนำค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ของรูปแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทดลอง อันได้แก่ การใช้แผงสะท้อนแสงรูปแบบโค้ง พื้นผิววัสดุกระเจิงแสง ที่ติดตั้งที่ระดับ 2.75 เมตรร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงโค้ง ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky ไปคิดประสิทธิภาพความส่องสว่างภายในอาคารจากข้อมูลปริมาณแสงกระจายจากท้องฟ้าเฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของทุกเดือน เพื่อพิจารณาผลที่มีต่อการลดการบริโภคพลังงาน พบว่าในกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศเหนือจะมีการบริโภคพลังงาน 739.90 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 2,693.23 บาท/ปี ซึ่งลดลงจากกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเลย 1,588.21 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 5,781.09 บาท/ปี (68.22 % ต่อปี) ลดลงจากกรณี base case (ที่ใช้หิ้งสะท้อนแสงแบบเรียบที่ช่องเปิดเพียงอย่างเดียว) 630.66 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 2,295.61 บาท/ปี (46.01% ต่อปี) และลดลงจากกรณีใช้ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานโค้งระนาบนอนร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงเรียบตรง 158.91 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 578.45 บาท/ปี (17.68 % ต่อปี)

ในกรณีที่ใช้กับช่องเปิดทิศใต้จะมีการบริโภคพลังงาน 1,175.97 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 4,280.53 บาท/ปีซึ่งลดลงจากกรณีที่ไม่ใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเลย 1,152.14 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 4,193.79 บาท/ปี (49.49% ต่อปี) ลดลงจากกรณี base case 387.36 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 1,410 บาท/ปี (24.78 % ต่อปี)และลดลงจากกรณีใช้แผงสะท้อนแสงโค้งระนาบนอนร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงเรียบตรง 193.50 kW-hr/year คิดเป็นเงิน 704.35 บาท/ปี(14.13 % ต่อปี)

ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพในด้านการประหยัดพลังงาน , ค่าไฟฟ้า และค่าความร้อน (heat gain) จากแสงประดิษฐ์ที่ลดลงได้จากกรณีต่าง ๆ

1. ประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน

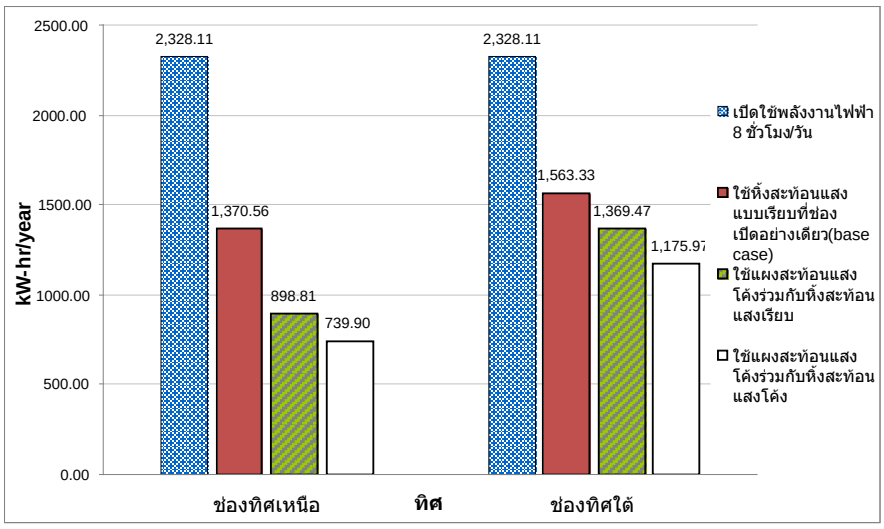
	กรณี	ท้องฟ้า overcast sky ทิศ	บริโภคพลังงาน kW-hr/ปี	ประหยัดจากกรณีเปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง		ประหยัดจากกรณี base case		ประหยัดจากกรณีใช้ lighting panel ร่วมกับ lightshelves เรียบ	
				kW-hr/ปี	%	kW-hr/ปี	%	kW-hr/ปี	%
1)	เปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง ต่อวัน	เหนือ	2,328.11	-	-	-	-	-	-
		ใต้	2,328.11	-	-	-	-	-	-
2)	ใช้ lightshelves เรียบอย่างเดียว (base case)	เหนือ	1,370.56	957.55	41.13	-	-	-	-
		ใต้	1,563.33	764.78	32.85	-	-	-	-
3)	ใช้ lighting panel โค้งร่วมกับ lightshelves เรียบตรง	เหนือ	898.81	1,429.30	61.39	471.75	34.42	-	-
		ใต้	1,369.47	958.64	41.18	193.86	12.40	-	-
4)	ใช้ lighting panel โค้งร่วมกับ lightshelves โค้ง	เหนือ	739.90	1,588.21	68.22	630.66	46.01	158.91	17.68
		ใต้	1,175.97	1,152.14	49.49	387.36	24.78	193.50	14.13

2. ประสิทธิภาพด้านการประหยัดค่าไฟฟ้า

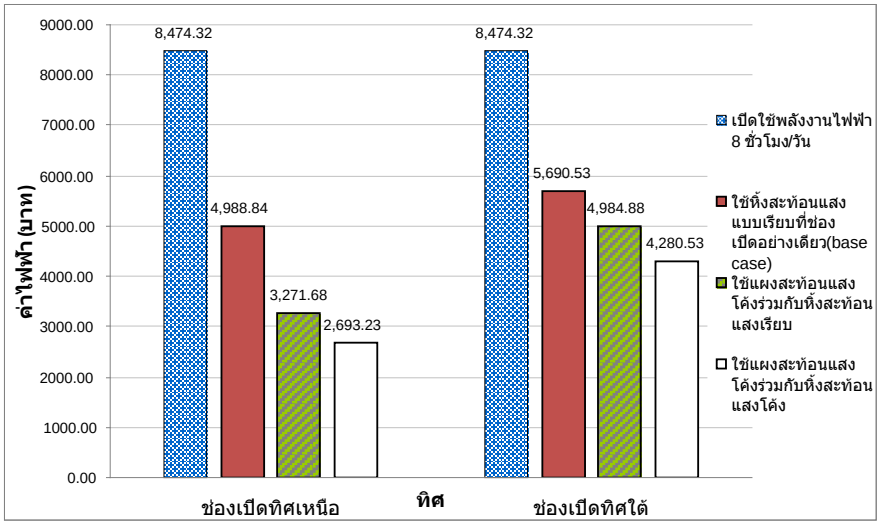
	กรณี	ท้องฟ้า overcast sky ทิศ	ค่าไฟฟ้า บาท/ปี	ประหยัดจากกรณีเปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง		ประหยัดจากกรณี base case		ประหยัดจากกรณีใช้ lighting panel ร่วมกับ lightshelves เรียบ	
				บาท/ปี	%	บาท/ปี	%	บาท/ปี	%
1)	เปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง ต่อวัน	เหนือ	8,474.32	-	-	-	-	-	-
		ใต้	8,474.32	-	-	-	-	-	-
2)	ใช้ lightshelves เรียบอย่างเดียว (base case)	เหนือ	4,988.84	3,485.48	41.13	-	-	-	-
		ใต้	5,690.53	2,783.79	32.85	-	-	-	-
3)	ใช้ lighting panel โค้งร่วมกับ lightshelves เรียบตรง	เหนือ	3,271.68	5,202.64	61.39	1,717.16	34.42	-	-
		ใต้	4,984.88	3,489.44	41.18	705.65	12.40	-	-
4)	ใช้ lighting panel โค้งร่วมกับ lightshelves โค้ง	เหนือ	2,693.23	5,781.09	68.22	2,295.61	46.01	578.45	17.68
		ใต้	4,280.53	4,193.79	49.49	1,410.00	24.78	704.35	14.13

3. ประสิทธิภาพด้านการลดค่า Heat gain จากแสงประดิษฐ์

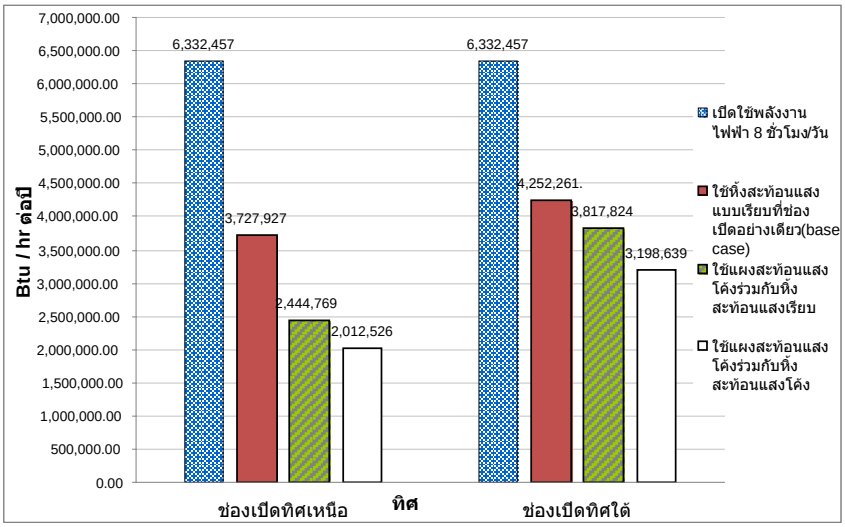
	กรณี	ท้องฟ้า overcast sky ทิศ	ค่า heat gain Btu/hr/ปี	ลดลงจากกรณีเปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง		ลดลงจากกรณี base case		ลดลงจากกรณีใช้ lighting panel ร่วมกับ lightshelves เรียบ	
				Btu/hr/ปี	%	Btu/hr/ปี	%	Btu/hr/ปี	%
1)	เปิดใช้ไฟฟ้า 8 ชั่วโมง ต่อวัน	เหนือ	6,332,457.68	-	-	-	-	-	-
		ใต้	6,332,457.68	-	-	-	-	-	-
2)	ใช้ lightshelves เรียบอย่างเดียว (base case)	เหนือ	3,727,927.69	2,604,529.99	41.13	-	-	-	-
		ใต้	4,252,261.60	2,080,196.08	32.85	-	-	-	-
3)	ใช้ lighting panel โค้งร่วมกับ lightshelves เรียบตรง	เหนือ	2,444,769.86	3,887,687.82	61.39	1,283,157.83	34.42	-	-
		ใต้	3,724,965.31	2,607,492.37	41.18	527,296.29	12.40	-	-
4)	ใช้ lighting panel โค้งร่วมกับ lightshelves โค้ง	เหนือ	2,012,526.50	4,319,931.18	68.22	1,715,401.19	46.01	432,243.36	17.68
		ใต้	3,198,639.79	3,133,817.89	49.49	1,053,621.81	24.78	526,325.52	14.13



แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบการบริโภคพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี (kW-hr/year) ของการศึกษาแต่ละกรณี



แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าตลอดทั้งปี (บาท)ของการศึกษาแต่ละกรณี

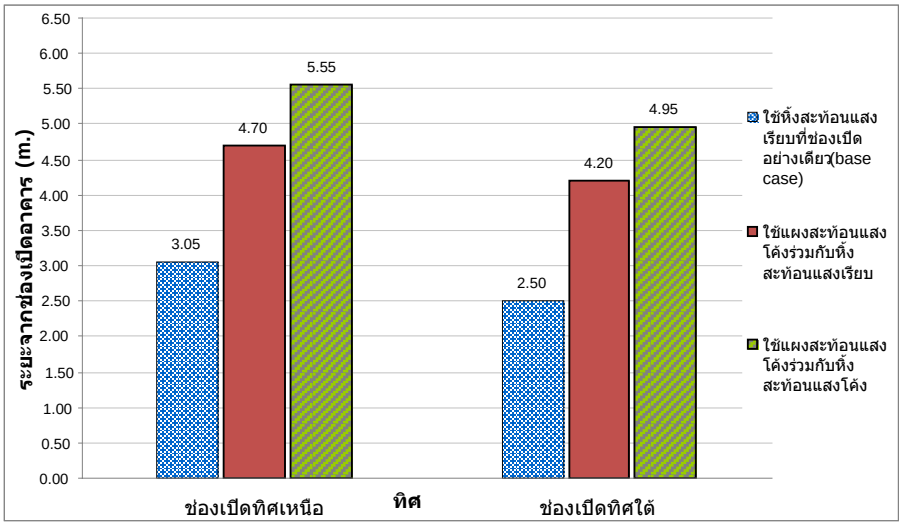


แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบค่า heat gain (btu/hr) จากแสงประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นตลอดปีจากการศึกษาแต่ละกรณี

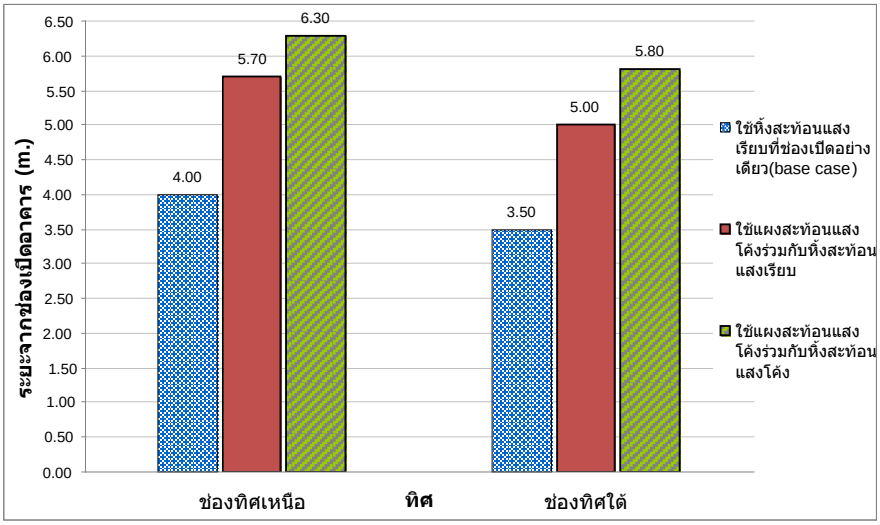
5. สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

งานศึกษาวิจัยประสิทธิภาพแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานภายในอาคารได้ทำการทดลองตัวแปรกายภาพและตัวแปรแวดล้อมที่ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของแผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน สามารถสรุปผลได้ว่าการเลือกใช้ แผงสะท้อนแสงที่มีรูปแบบโค้งระนาบนอน พื้นผิววัสดุกระเจิงแสง ติดตั้งที่ระดับประมาณ 2.75 เมตร นั้นจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความส่องสว่างภายในและสร้างระยะจากช่องเปิดอาคารที่มีค่าความส่องสว่างเพียงพอต่อการใช้งานได้ดีกว่ารูปแบบอื่นๆเนื่องจากรูปแบบโค้งจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนองศาในการสะท้อนแสงได้ในทุกส่วนโค้งที่แสงตกกระทบ จึงทำให้สามารถเกลี่ยและสะท้อนแสงได้ไกล ในส่วนของพื้นผิววัสดุกระเจิงแสงที่สามารถเพิ่มความส่องสว่างได้ดีเพราะเกิดจากผลรวมประสิทธิภาพของพื้นผิวสะท้อนแสงเสมือนกระจกเงาซึ่งมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงและพื้นผิวกระจายแสงที่ช่วยสร้างความสม่ำเสมอของค่าความส่องสว่างภายในอาคารเข้าไว้ด้วยกัน และระดับติดตั้งที่ประมาณ 2.75 เมตรนั้นเป็นระยะที่ทำให้เกิดช่วงเพื่อให้แผงสะท้อนแสงรับแสงจาก หิ้งสะท้อนแสงและสะท้อนแสงลงสู่ระนาบทำงานได้ดีกว่าระดับอื่นๆ

นอกจากนี้ยังพบว่าหากมีการใช้ แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงาน ร่วมกับ หิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดลักษณะโค้งจะสามารถเพิ่มค่าความส่องสว่างภายในได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นรูปทรงมีประสิทธิภาพในการนำแสงเข้ามาได้ลึกกว่ารูปแบบอื่นๆ



แผนภูมิที่ 9 สรุปประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารด้วยกรณีต่างๆ ผ่านช่องเปิดเหนือ-ใต้ ภายใต้สภาพท้องฟ้า clear sky

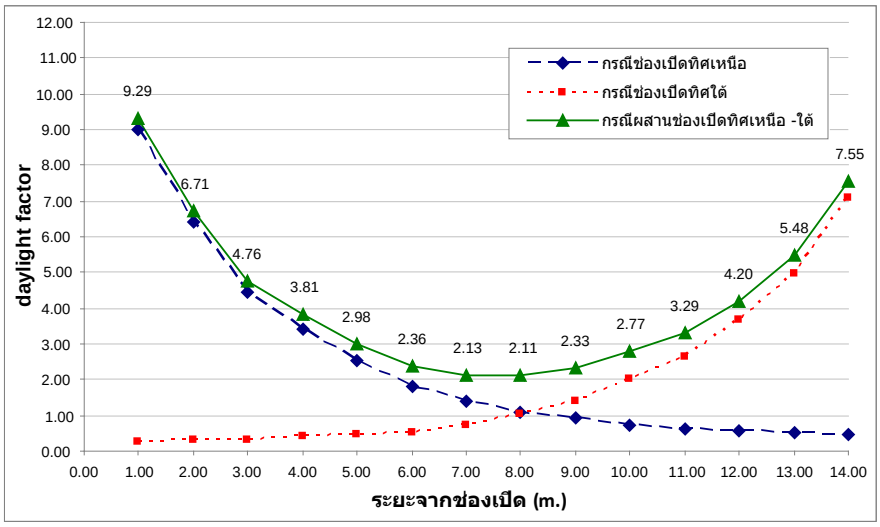


แผนภูมิที่ 10 สรุปประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารด้วยกรณีต่างๆ ผ่านช่องเปิดเหนือ-ใต้ ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky

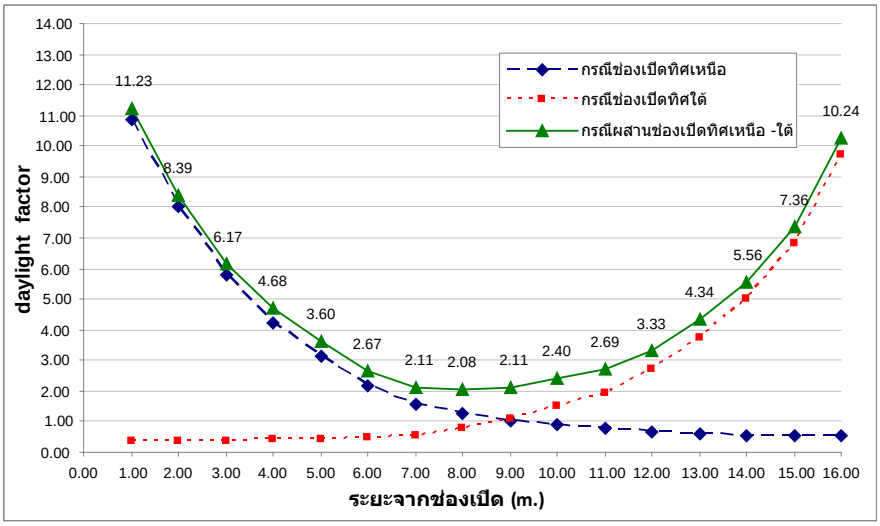
6. การนำไปประยุกต์ใช้งาน

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่าการใช้ช่องแสง 2 ด้านในห้องเดียวกันสามารถเพิ่มปริมาณความส่องสว่างและลดความจ้าภายในที่เกิดจากช่องแสงด้านเดียวได้ [9] ดังนั้นหากมีความต้องการนำผลไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบขนาดห้องที่มีช่องแสงทั้งในทิศเหนือ -ใต้ ก็สามารถทำได้ด้วยการผสานค่าเดย์ไลท์ แฟคเตอร์ ที่วัดผลได้ภายใต้สภาพท้องฟ้า overcast sky ของช่องเปิดทิศเหนือ-ใต้ของแต่ละกรณีศึกษามารวมกันเพื่อนำผลมากำหนดขนาดห้องได้ดังนี้

หากพิจารณาใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานโค้งระนาบนอนร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงที่ช่องเปิดแบบเรียบตรงในการออกแบบนั้น พบว่าสามารถนำแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) เข้ามาทางทิศเหนือได้ระยะ 5.70 เมตร และทางทิศใต้ได้ระยะ 5.00 เมตรตามลำดับ เมื่อผสานค่า เดย์ไลท์ แฟคเตอร์ เข้าด้วยกันจะทำให้สามารถกำหนดขนาดห้องที่เหมาะสมต่อการใช้งานได้ที่ประมาณ 14.00 เมตร และหากพิจารณาใช้แผงสะท้อนแสงเหนือระนาบทำงานโค้งระนาบนอนร่วมกับหิ้งสะท้อนแสง ที่ช่องเปิดแบบโค้งในการออกแบบนั้น พบว่าสามารถนำแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน (2%DF) เข้ามาทางทิศเหนือได้ระยะ 6.30 เมตร และทางทิศใต้ได้ระยะ 5.80 เมตรตามลำดับ เมื่อผสานค่า เดย์ไลท์ แฟคเตอร์ เข้าด้วยกันจะทำให้สามารถกำหนดขนาดห้องที่เหมาะสมต่อการใช้งานได้ที่ประมาณ 16.00 เมตร ซึ่งจะทำให้มีค่าความส่องสว่างภายในที่ทุกระยะจากช่องเปิดเพียงพอต่อเกณฑ์มาตรฐาน 2%DF



แผนภูมิที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ-ใต้ร่วมกันของกรณีใช้แผงสะท้อนแสงโค้งร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงแบบเรียบตรง



แผนภูมิที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %DF กับระยะจากช่องเปิดในการประยุกต์ใช้ช่องเปิดเหนือ-ใต้ร่วมกันของกรณีใช้แผงสะท้อนแสงโค้งร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงแบบโค้ง

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนทุนเพื่องานวิจัยรวมถึงลงบทความเผยแพร่ในวารสารวิจัยพลังงาน และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือในงานวิจัย มา ณ โอกาสนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Evans,B.H. Daylight in Architecture. New York : McGraw-Hill Book Co., 1981.

[2] Lechner, N. Heating ,Cooling , Lighting; Design Method for Architects. 2nd ed. New York : John Wiley&Sons , 2001.

[3] Kaufman, J. E. IES LIGHTING HANDBOOK 1981 Reference Volume . New York : Illuminating Engineering Society of North America ,1981.

[4] Stein,B.,and Reynolds,J.S. Mechanical and Electrical Equipment for building. New York : John Wiley&Sons, 1992.

[5] Surapong Jirattananon and Pipat Chaiwiwatworakul. Daylight Availality Models for Global and Diffuse Horizontal illuminance and Irradiance and models for Sky Luminance for Bangkok. Bangkok : Asian institute of Technology, 2001.

[6] Egan,M.D., and Olgyay,V.W. Architectural Lighting. New York : McGraw-Hill ,2002.

[7] ธนิต จินดาวณิค . การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

[8] ชัยวัฒน์ มุติศานต์. ปัจจัยกายภาพหิ้งสะท้อนแสงที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

[9] ชำนาญ ห่อเกียรติ . เทคนิคการส่องสว่าง .กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540 .