

การประเมินและออกแบบท่อแสงสำหรับอาคารในประเทศไทย

The Assessment and Design of Light Duct for Buildings in Thailand

อวิรุทธิ์ ศรีสุธาพรรณ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะและเสนอแนวทางในการนำแสงธรรมชาติผ่านระบบท่อแสง ในการวิจัยจะใช้โปรแกรม DIALux สำหรับการสร้างห้องจำลองเพื่อจำลองและวิเคราะห์สภาพแสง โดยจะพิจารณาสมรรถนะจากความส่องสว่างและค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติภายในห้อง ผลการวิจัยทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในเบื้องต้นของระบบท่อแสงว่ามีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานในประเทศไทย โดยการใช้ท่อแสงร่วมกับการใช้ช่องเปิดด้านข้างสามารถนำแสงธรรมชาติให้เข้ามาได้ในระยะ 7 - 8 เมตร และทำให้ส่วนที่ลึกที่สุดของห้องมีความส่องสว่างประมาณ 300 ลักซ์ ในสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ โดยสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้าโปร่ง และสภาพท้องฟ้าครึ้ม จะส่งผลต่อปริมาณแสงที่เข้ามาในห้องมากตามลำดับ แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบท่อแสงในมุมต่ำจะทำให้แสงสะท้อนเข้ามาในท่อแสงได้ดีกว่าแสงที่มาจากมุมสูง สำหรับแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบท่อแสงสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์มุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ในแต่ละทิศทางที่ต้องการใช้งานท่อแสง และกำหนดระยะยื่นของแผ่นสะท้อนแสงให้สัมพันธ์และสอดคล้องกับดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม การใช้ท่อแสงร่วมกับอุปกรณ์บังแดดประเภทอื่น ๆ ยังเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อช่วยในการป้องกันและลดแสงจ้าบริเวณริมช่องเปิด

คำสำคัญ: ท่อแสง แสงธรรมชาติ สถาปัตยกรรม

Abstract

This research aims to assess the performance and propose the design guidelines of using light duct. DIALux's models were used to simulate and analyze various variables including orientations and sky conditions. In terms of performance, the illuminance and daylight factor were assessed. The results indicated that the light duct is a potential mean to transport daylight into the deep inside area of a room. On the working plane at the distance of 7 - 8 meters from the window, the illuminance is approximately 300 lux under the clear sky with direct sun condition. For the light duct, the sky conditions with direct sun, clear sky, and overcast sky

have a significant effect on the illuminance level in a space respectively. The daylight penetrating into the light duct in the lower angle performs better than that of the higher angle. To generate the better daylight performance, the vertical shading angle in each orientation should be considered, and the dimension of reflector should be related to the sun position. However, the integration of light duct and shading devices is required to shield and reduce the excessive daylight at perimeter zone.

Keywords: light duct, daylighting, architecture

1. ความเป็นมาของปัญหา

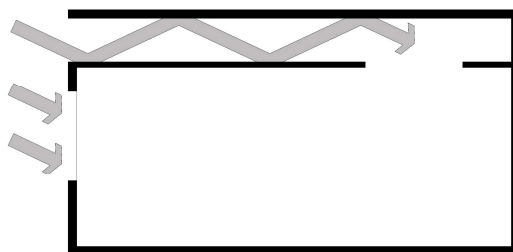
การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญสำหรับการออกแบบสถาปัตยกรรมในปัจจุบัน เนื่องจากแสงธรรมชาติเป็นพลังงานที่ได้เปล่าจากธรรมชาติและมีคุณประโยชน์หลากหลาย เช่น ทำให้มองเห็นวัตถุที่อยู่ภายในได้แสงอาทิตย์มีสีที่ถูกต้อง มีความสบายตากว่าการใช้แสงประดิษฐ์ ฯลฯ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการเสนอแนวทางต่าง ๆ เพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้งาน แต่ก็ยังคงพบปัญหาสืบเนื่องอีกหลายประเด็น เช่น ความส่องสว่างริมช่องเปิดมีมากเกินไปจนความต้องการ [1] ในขณะที่ความส่องสว่างที่ลึกเข้าไปในห้องกลับมีไม่เพียงพอ สำหรับห้องที่มีช่องเปิดด้านเดียวจะมีข้อจำกัดในการนำแสงเข้ามาใช้งานได้ในระยะ 3 - 4 เมตร เท่านั้น นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดแสงจ้าและความเปรียบต่างของแสงมากเกินไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสบายทางการมองเห็นของผู้ใช้อาคาร และเมื่อมีการใช้อุปกรณ์บังแดด ก็จะยิ่งทำให้ความส่องสว่างในอาคารลดลงตามไปด้วย โดยเฉพาะสำหรับห้องที่มีความลึกมากขึ้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะและแนวทางในการนำแสงธรรมชาติผ่านระบบท่อแสงเข้ามาใช้งานในอาคาร

2. การศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษา สามารถสรุปแนวคิดที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติได้ดังนี้

2.1 แนวคิดของวิธีการนำแสงแบบท่อแสง

วิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารมีหลายวิธี สำหรับการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้ท่อแสง (Light duct) แนวนอน ซึ่งเป็นวิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามายังส่วนลึกของอาคาร โดยอาศัยหลักการสะท้อนแสงผ่านระบบท่อหรือองค์ประกอบของอาคารที่อยู่เหนือฝ้าเพดานที่ปูด้วยวัสดุที่มีการสะท้อนแสงสูง และเป็นการใช้พื้นที่ที่มีอยู่แล้วให้เกิดประโยชน์มากขึ้น (รูปที่ 1)



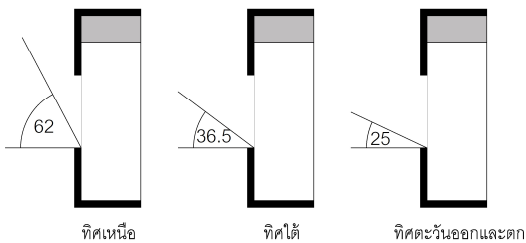
รูปที่ 1 แนวคิดของระบบท่อแสงคือการนำแสงผ่านพื้นที่ว่างเหนือฝ้าเพดานโดยใช้หลักการสะท้อนแสง

2.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ที่ตั้ง และมุมที่กระทำกับช่องเปิด

จากการวิเคราะห์แผนผังการโคจรของดวงอาทิตย์ ที่ 14 องศาเหนือ ในช่วงเวลา 08:00 - 16:00 น. จะพบว่ามุมเงยจะนาบตั้ง (Vertical Shadow Angle: VSA) ที่ต่ำที่สุดในแต่ละทิศจะมีค่าดังนี้ (รูปที่ 2)

- ทิศเหนือ อยู่ที่ประมาณ 62 องศา ณ เวลา 08:00 และ 16:00 น. ของวันที่ 22 มิถุนายน
- ทิศใต้ อยู่ที่ประมาณ 36.50 องศา ณ เวลา 08:00 และ 16:00 น. ของวันที่ 22 ธันวาคม
- ทิศตะวันออก อยู่ที่ประมาณ 25 องศา ณ เวลา 08:00 น. ของวันที่ 22 ธันวาคม
- ทิศตะวันตก อยู่ที่ประมาณ 25 องศา ณ เวลา 16:00 น. ของวันที่ 22 ธันวาคม

ซึ่งมุมในแต่ละทิศทางจะส่งผลต่อการสะท้อนแสงอาทิตย์ภายในห้องแสง

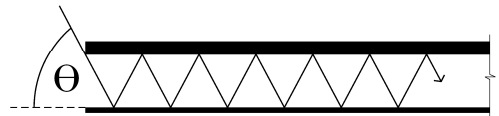
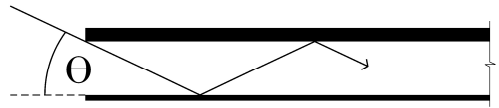


รูปที่ 2 มุมเงยนาบตั้งที่สูงที่สุดในแต่ละทิศทาง

2.3 ความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในอาคาร

ความส่องสว่างในอาคารจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการ [2, 3] คือ สภาพของท้องฟ้า มุมตกกระทบของแสง (รูปที่ 3) ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ในห้องแสงและภายในอาคาร จำนวนครั้งที่สะท้อน หากจำนวนครั้งที่สะท้อนมากขึ้น ความส่องสว่างก็จะลดลงตามไปด้วย และระยะทางที่

แสงเดินทาง แสงที่เดินทางเป็นระยะทางมากขึ้น จะทำให้ความส่องสว่างลดลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 3 มุมตกกระทบของแสงที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดลักษณะการสะท้อนที่แตกต่างกัน

2.4 เกณฑ์ในการพิจารณาสมรรถนะ

สำหรับเกณฑ์การพิจารณาสมรรถนะของการนำแสงธรรมชาติมาใช้งาน นั้น จะพิจารณาจาก [4, 5]

- ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor: DF) ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ใช้งานประเภทห้องเรียน มีค่าระหว่าง 2 - 5 เปอร์เซนต์
- ความส่องสว่าง (Illuminance) ที่ระดับใช้งาน (0.75 ซม. จากระดับพื้น) มีค่าระหว่าง 300 - 750 ลักซ์

3. ตัวแปรและขอบเขตการวิจัย

ตัวแปรที่กำหนดในการวิจัยมีดังนี้

- ห้องที่ใช้ในการจำลองมีขนาด 6.00 x 8.00 ม. ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 2.40 ม. ใช้กระจกที่มีค่า VT = 75 ความสูงกระจก 1.10 ม. กว้าง 6.00 ม. สูงจากระดับพื้นห้อง 0.80 ม. (รูปที่ 4)

- ความสูงของท่อแสง = 0.60 ม. ความสูงกระจก 0.55 ม. กว้าง 6.00 ม. ใช้กระจกที่มีค่า VT = 75
- ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผนัง ฝ้าเพดาน มีค่า 20 50 และ 80 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ค่าการสะท้อนแสงภายในท่อแสงมีค่า 80 เปอร์เซนต์ และค่าการสะท้อนแสงของแผ่นสะท้อนแสงมีค่า 80 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4 มิติของห้องจำลองที่ใช้ในการทดลองผ้งพื้น (รูปบน) และรูปตัด (รูปล่าง)

โดยในการวิจัยได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

- พิจารณาเฉพาะทิศใต้และทิศตะวันตก (สำหรับทิศตะวันออกนั้น สามารถอ้างอิงข้อมูลจากทิศตะวันตกได้)
- ช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์ คือเวลา 12:00 และ 16:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงานปกติ และเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรเป็นมุมสูงสุดและต่ำสุดในช่วงที่ศึกษา

(สำหรับในช่วงเช้าคือ เวลา 8:00 น. นั้นสามารถอ้างอิงข้อมูลจากเวลา 16:00 น. ได้) และข้อมูลของเดือนที่นำมาวิเคราะห์คือเดือนมิถุนายนและธันวาคม ซึ่งเป็นเดือนที่ดวงอาทิตย์โคจรเป็นมุมสูงสุดและต่ำสุดในช่วงปี ตามลำดับ

- พิจารณาเฉพาะเรื่องแสงสว่าง ไม่รวมถึงเรื่องพลังงานและการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
- ช่องแสงจะไม่ได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนแสงของสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยโปรแกรม DIALux เวอร์ชัน 4.7 และเครื่องวัดแสง (รูปที่ 5) มีช่วงของการวัดอยู่ที่ 0 - 200,000 ลักซ์ มีความละเอียดในการวัด 0.1 ลักซ์ มีความคลาดเคลื่อนในการวัด 2 เปอร์เซนต์



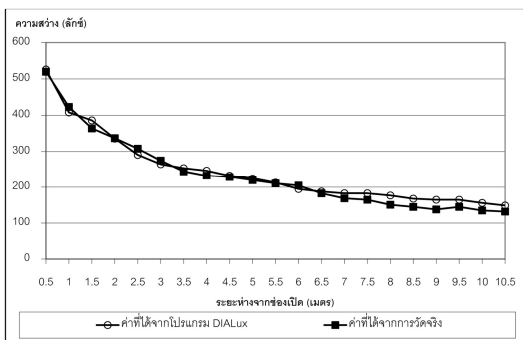
รูปที่ 5 เครื่องวัดแสง (Lux meter) ที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน คือ 1) การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ 2) การจำลองสภาพแสงภายในห้อง 3) การวิเคราะห์พฤติกรรมแสงภายในท่อแสง 4) การใช้ท่อแสงร่วมกับแผ่นสะท้อนแสง และ 5) การพัฒนาการออกแบบท่อแสง

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

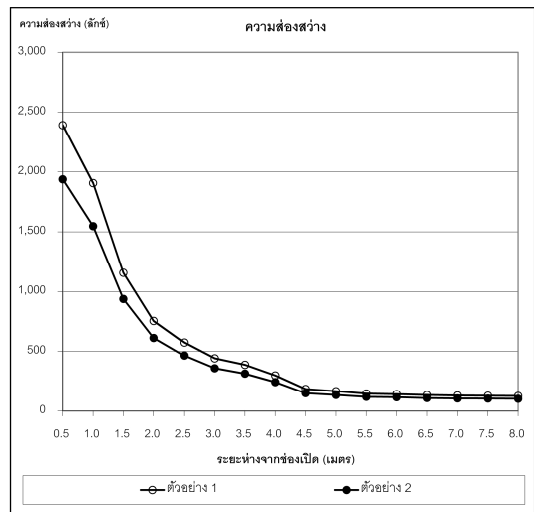
ขั้นตอนการทดสอบดำเนินการโดยใช้ข้อมูลจากการวัดความส่องสว่างของพื้นที่จริงเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการจำลองโดยใช้โปรแกรม DIALux (รูปที่ 6) ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย ผลที่ได้พบว่าข้อมูลจากการจำลองด้วยโปรแกรม DIALux สามารถทำนายชุดข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงได้ร้อยละ 98.63 (R^2) แสดงว่าการใช้โปรแกรมมีความน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์และคาดการณ์ปริมาณแสงที่จะเกิดขึ้นจากการจำลองได้



รูปที่ 6 ผลที่ได้จากโปรแกรม DIALux และจากการวัดจริง

4.2 การจำลองสภาพแสงภายในห้อง

จากการจำลองสภาพแสงที่เกิดขึ้นภายในห้องทั่วไป (รูปที่ 7) จะพบว่าที่ระยะ 0 - 2.0 ม. จากระยะเปิดจะมีความส่องสว่างมากเกินความต้องการใช้งานที่ระยะ 2.0 - 4.0 ม. มีความส่องสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งาน และที่ระยะ 4.0 ม. เป็นต้นไปจะเริ่มมีความส่องสว่างที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานและลดลงไปเรื่อย ๆ จนถึงส่วนลึกสุดของห้อง



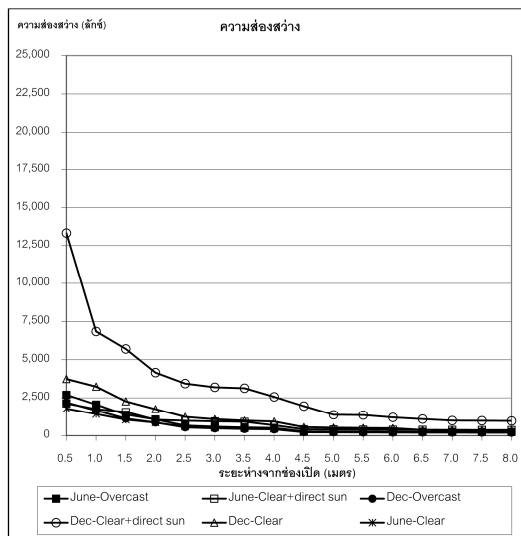
รูปที่ 7 พฤติกรรมทั่วไปของแสงที่เกิดขึ้นภายในห้อง

4.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมแสงภายในห้อง

การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ความส่องสว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำแสงมาใช้งาน จากการวิเคราะห์ความส่องสว่างที่ผ่านเข้ามาในห้องแสงในแต่ละช่วงเวลา ช่วงเดือน และสภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกันได้ผลดังนี้

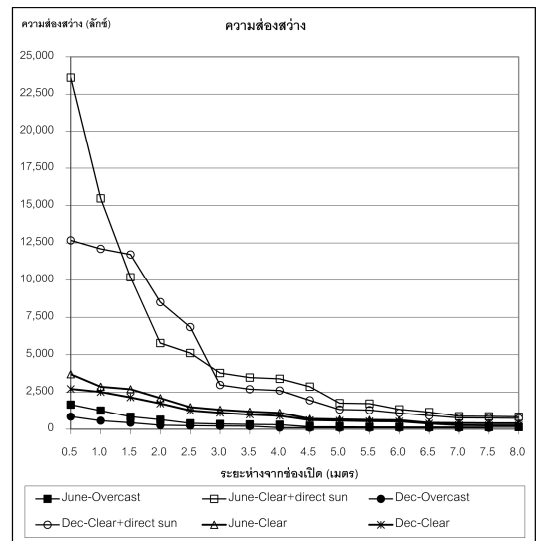
ห้องแสงทางทิศใต้ (รูปที่ 8) มีแสงเข้ามาในห้องแสงตลอดทั้งวัน โดยที่บริเวณริมช่องเปิดของห้องแสงมีความส่องสว่างสูงสุดที่ประมาณ 13,000 ลักซ์ 3,700 ลักซ์ และ 2,700 ลักซ์ ในสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) ที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้าโปร่ง และสภาพท้องฟ้าครึ้ม (Overcast sky) ตามลำดับ และลดลงเรื่อย ๆ จนถึงบริเวณส่วนลึกสุดของห้องแสงมีความส่องสว่าง 970 ลักซ์ 350 ลักซ์ และ 240 ลักซ์ ในสภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้าโปร่ง และสภาพท้องฟ้าครึ้ม ตามลำดับ โดยความส่องสว่างมากที่สุดเกิดขึ้นในช่วงเดือนธันวาคม ส่วนในช่วงเดือนมิถุนายนจะมีแสงเข้ามาน้อยกว่าในช่วงเดือนอื่นเนื่องจากช่องเปิดของห้องแสงอยู่ใน

ทิศตรงข้ามกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ซึ่งโคจรอ้อม
ไปทางทิศเหนือ



รูปที่ 8 ความส่องสว่างในท่อแสงด้านทิศใต้ในแต่ละ
ช่วงเดือน ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกัน

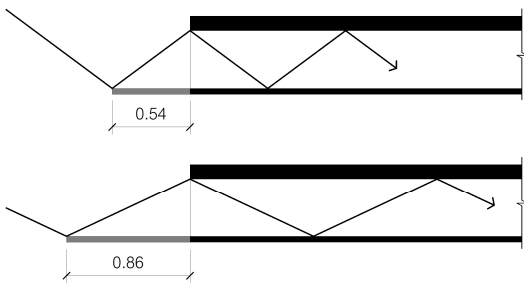
ท่อแสงทางทิศตะวันตก (รูปที่ 9) บริเวณริม
ช่องเปิดมีความส่องสว่างสูงสุดประมาณ 23,000 ลักซ์
3,700 ลักซ์ และ 1,600 ลักซ์ สำหรับสภาพท้องฟ้า
โปร่งที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้าโปร่ง
และสภาพท้องฟ้าครึ้ม ตามลำดับ โดยที่จะมีความส่อง
สว่างลดลงเรื่อย ๆ จนถึงบริเวณส่วนลึกสุดของท่อแสง
มีความส่องสว่าง 850 ลักซ์ 400 ลักซ์ และ 140 ลักซ์ ใน
สภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ สภาพ
ท้องฟ้าโปร่ง และสภาพท้องฟ้าครึ้ม ตามลำดับ โดย
ความส่องสว่างที่มากที่สุดเกิดขึ้นในช่วงที่ดวงอาทิตย์
อยู่ในทิศทางเดียวกับช่องเปิด



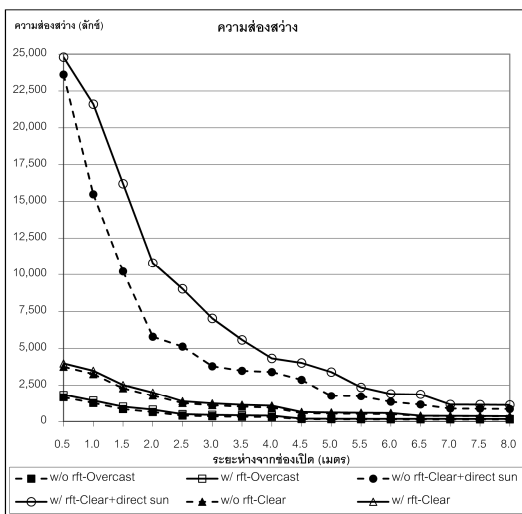
รูปที่ 9 ความส่องสว่างในท่อแสงด้านทิศตะวันตกใน
แต่ละช่วงเดือน ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกัน

4.4 การใช้ท่อแสงร่วมกับแผ่นสะท้อนแสง

จากที่มีแนวคิดในการใช้แผ่นสะท้อนแสง
(Reflector) หรือหิ้งแสง (Light shelf) เพื่อช่วยในการ
สะท้อนแสงให้เข้ายังส่วนลึกของห้องได้มากขึ้น ช่วยลด
ความส่องสว่างบริเวณริมช่องเปิดได้ [6, 7] และส่งผล
ต่อความส่องสว่างน้อยที่สุด [8] ในการทดลองนี้จึงเป็น
การนำแผ่นสะท้อนแสงมาใช้ร่วมกับท่อแสง โดยระยะของ
แผ่นสะท้อนแสงจะสัมพันธ์กับมุมเงยระนาบตั้งของ
ดวงอาทิตย์ที่กระทำกับช่องเปิดในทิศทางนั้น ๆ โดย
ทางทิศใต้ ใช้แผ่นสะท้อนแสงที่มีระยะขึ้นอย่างน้อย
0.54 ม. และทางทิศตะวันตก ใช้แผ่นสะท้อนแสงที่มี
ระยะขึ้นอย่างน้อย 0.86 ม. (รูปที่ 10) ซึ่งเป็นระยะที่สั้น
ที่สุดที่ทำให้เกิดการสะท้อนแสงเข้ามายังท่อแสงได้
และกำหนดให้ค่าการสะท้อนแสงของแผ่นสะท้อนแสง
มีค่า 80 เปอร์เซนต์



รูปที่ 10 ระยะขึ้นของแผ่นสะท้อนแสงทางทิศใต้ (รูปบน) และทางทิศตะวันตก (รูปล่าง)



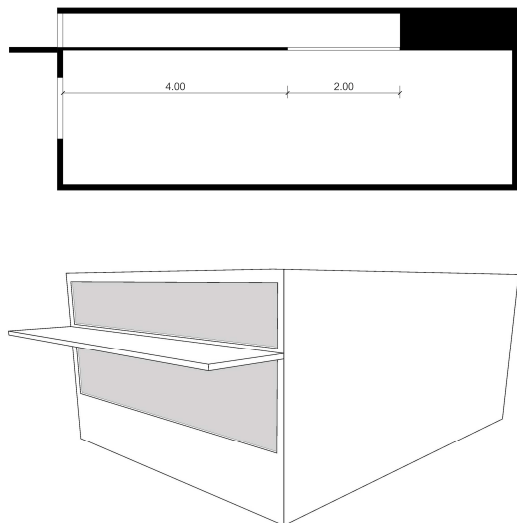
รูปที่ 11 ความส่องสว่างที่เกิดขึ้นในท่อแสงระหว่างท่อแสงที่มี (เส้นทึบ) และไม่มีแผ่นสะท้อนแสง (เส้นประ)

ผลจากการทดลองพบว่า การใช้แผ่นสะท้อนแสงช่วยให้ความส่องสว่างในท่อแสงเพิ่มขึ้นได้เมื่อเปรียบเทียบกับท่อแสงที่ไม่มีแผ่นสะท้อนแสง โดยเฉพาะภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (รูปที่ 11)

4.5 การพัฒนาการออกแบบท่อแสง

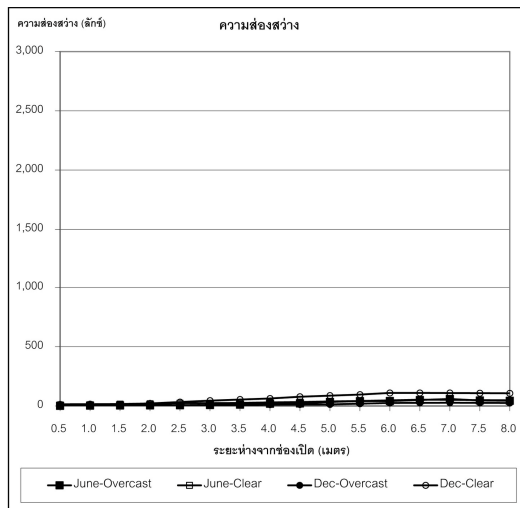
จากการทดลองที่ผ่านมาพอสรุปได้ว่า ความส่องสว่างภายในห้องจะเริ่มไม่เพียงพอตั้งแต่ระยะโดยประมาณ 3 - 3.50 ม. จากริมช่องเปิดเป็นต้นไป ดังนั้น การเปิดช่องแสงเพื่อนำแสงลงมามีควรจะให้

ครอบคลุมตั้งแต่บริเวณดังกล่าว เมื่อพิจารณาความส่องสว่างภายในท่อแสง พบว่าทั้งในด้านทิศใต้และทิศตะวันตก ปริมาณแสงในช่วงระยะตั้งแต่ 4 ม. จากช่องเปิดเป็นต้นไป มีเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสะท้อนแสงลงมามีครอบคลุมพื้นที่ใช้งานด้านล่างได้ ดังนั้น ในการจำลองจะใช้การเปิดช่องแสงที่ระยะ 4 - 6 ม. จากช่องเปิด (รูปที่ 12) ใช้กระจกที่มีค่า VT = 75 โดยผลที่ได้จากการจำลองมีดังนี้

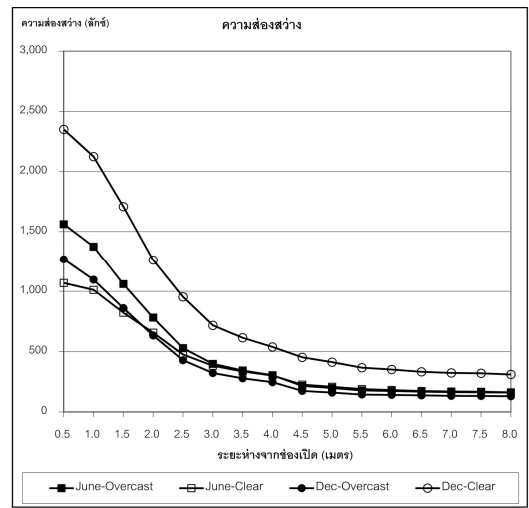


รูปที่ 12 รูปตัดแสดงการเปิดช่องแสงเพื่อนำแสงจากท่อแสงลงมายังพื้นที่ใช้งานด้านล่าง (รูปบน) และการใช้แผ่นสะท้อนแสงภายนอกอาคาร (รูปล่าง)

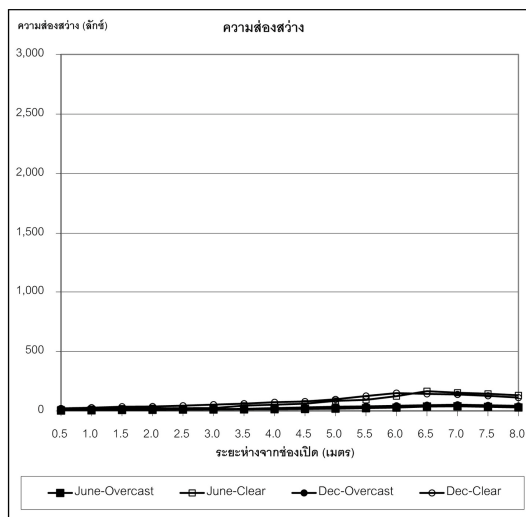
สำหรับทิศใต้ (รูปที่ 13) จะพบว่า แสงที่ผ่านท่อแสงลงมาจะสามารถช่วยเพิ่มความส่องสว่างที่ส่วนลึกของห้องได้ โดยความส่องสว่างที่เกิดจากสภาพท้องฟ้าโปร่งมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 110 ลักซ์ ในขณะที่ความส่องสว่างที่เกิดจากสภาพท้องฟ้าครึ้มมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 60 ลักซ์



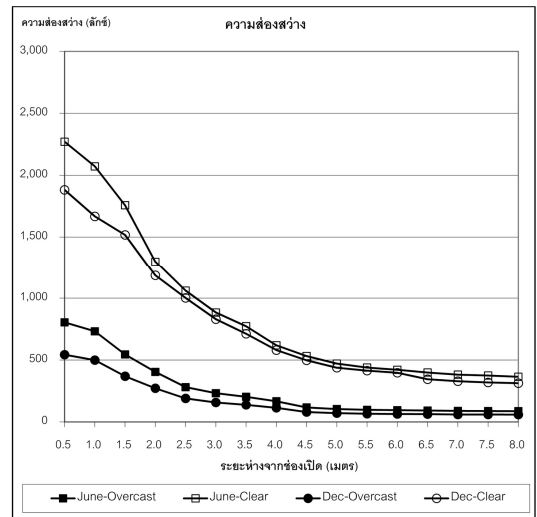
รูปที่ 13 ความส่องสว่างภายในห้องที่ได้จากท่อแสงทางด้านทิศใต้



รูปที่ 15 ความส่องสว่างภายในห้องที่ได้จากช่องเปิดด้านข้างและท่อแสงทางด้านทิศใต้



รูปที่ 14 ความส่องสว่างภายในห้องที่ได้จากท่อแสงทางด้านทิศตะวันตก



รูปที่ 16 ความส่องสว่างภายในห้องที่ได้จากช่องเปิดด้านข้างและท่อแสงทางด้านทิศตะวันตก

สำหรับทิศตะวันตก (รูปที่ 14) พบว่า ความส่องสว่างที่เกิดจากสภาพท้องฟ้าโปร่งมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 160 ลักซ์ ในขณะที่ความส่องสว่างที่เกิดจากสภาพท้องฟ้าครึ้ม มีค่าสูงสุดที่ประมาณ 50 ลักซ์

เมื่อพิจารณาความส่องสว่างที่เกิดจากช่องเปิดด้านข้างและท่อแสงทางด้านทิศใต้ร่วมกัน (รูปที่ 15) พบว่า ความส่องสว่างที่ส่วนลึกของห้องมีค่าสูงสุดประมาณ 310 ลักซ์ ที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง และประมาณ 160 ลักซ์ ที่สภาพท้องฟ้าครึ้ม

สำหรับทิศตะวันตก (รูปที่ 16) ความส่องสว่างที่ส่วนลึกของห้องมีค่าสูงสุดประมาณ 360 ลักซ์ ที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง และประมาณ 85 ลักซ์ ที่สภาพท้องฟ้าครึ้ม

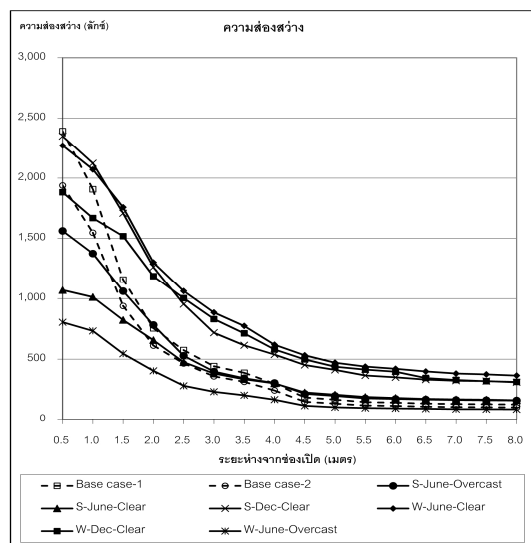
อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่แล้ว ความส่องสว่างที่ระยะ 0 - 3.5 ม. จาคริมช่องเปิดจะมีค่ามากกว่า 1,000 ลักซ์ ทั้งทางด้านทิศใต้และทิศตะวันตก ซึ่งเป็นความส่องสว่างที่มากเกินไปความต้องการสำหรับการใช้งาน

5. อภิปรายผล

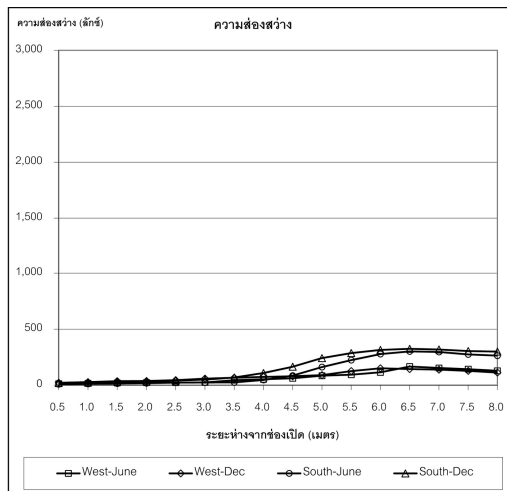
หากพิจารณาในเรื่องของความส่องสว่าง พบว่า การใช้วิธีการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารโดยใช้ท่อแสงร่วมกับการใช้ช่องเปิดด้านข้างนั้น สามารถช่วยให้แสงธรรมชาติส่องเข้ามาได้ลึกขึ้นถึงระยะห่าง 7 - 8 เมตรจาคริมช่องเปิดและมีความส่องสว่างเพียงพอต่อการใช้งาน (มากกว่า 300 ลักซ์) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ช่องเปิดด้านข้างเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 17) โดยที่ความส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับช่องเปิด กล่าวคือ แสงที่ส่องมาในมุมต่ำ เช่น ในช่วงเวลาระหว่าง 8:00 - 10:00 น. และ 14:00 - 16:00 น. จะทำให้เกิดการสะท้อนกับแผ่นสะท้อนแสงเข้ามาภายในอาคารได้ดีกว่าแสงที่มาจากมุมสูง เช่น ในช่วงเวลาระหว่าง 10:00 - 14:00 น. ซึ่งดวงอาทิตย์จะอยู่ที่มุมมากกว่า 55 องศาขึ้นไป และสภาพท้องฟ้าโปร่งโดยเฉพาะในขณะที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ จะทำให้แสงเข้ามาได้มากกว่าสภาพท้องฟ้าครึ้ม (รูปที่ 18)

หากพิจารณาค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ (รูปที่ 19) พบว่า การใช้ท่อแสงร่วมกับแผ่นสะท้อนแสงจะสามารถช่วยให้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติที่บริเวณริมหน้าต่างมีค่าลดลงจาก 11 เปอร์เซนต์ เป็น

5 - 6 เปอร์เซนต์ เนื่องจากแผ่นสะท้อนแสงจะช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมาจากทางช่องเปิดด้านข้างได้ และแม้ว่าท่อแสงจะทำให้พื้นที่ที่มีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ 2 - 5 เปอร์เซนต์ มีสัดส่วนของพื้นที่เพิ่มขึ้นจาก 14.06 เปอร์เซนต์ เป็น 17.97 เปอร์เซนต์ แต่พื้นที่ประมาณ 70 เปอร์เซนต์ของห้องยังมีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติน้อยกว่า 2 เปอร์เซนต์ ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการใช้งานตามเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนด กล่าวคือพื้นที่หลักของอาคารมากกว่า 25 เปอร์เซนต์ ควรมีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติมากกว่าหรือเท่ากับ 2 เปอร์เซนต์ [9] ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้ท่อแสงจะไม่เกิดผลมากนักสำหรับสภาพท้องฟ้าครึ้ม และรังสีจากดวงอาทิตย์เป็นรังสีกระจาย



รูปที่ 17 การเปรียบเทียบความส่องสว่างของห้องทั่วไป (เส้นประ) และห้องที่มีการใช้ท่อแสง (เส้นทึบ)



รูปที่ 18 ความส่องสว่างภายในห้องที่ได้จากท่อแสงเพียงอย่างเดียวในสภาพท้องฟ้าโปร่งและมีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

8.15	6.21	3.84	2.74	1.97	1.62	1.48	1.37	0.75	0.70	0.64	0.63	0.61	0.59	0.59	0.58
10.00	7.78	4.50	3.02	2.16	1.72	1.55	1.42	0.78	0.72	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59	0.58
11.00	8.50	4.95	3.27	1.62	1.80	1.59	1.43	0.80	0.75	0.67	0.65	0.62	0.60	0.60	0.59
11.00	8.86	5.24	3.42	1.43	1.85	1.65	1.47	0.81	0.76	0.67	0.65	0.62	0.61	0.60	0.60
11.00	8.85	5.23	3.36	1.49	1.92	1.67	1.50	0.85	0.77	0.67	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59
11.00	8.90	5.27	3.60	1.56	1.95	1.71	1.51	0.86	0.78	0.68	0.65	0.63	0.61	0.60	0.60
11.00	8.94	5.33	3.46	2.60	1.96	1.71	1.54	0.86	0.77	0.69	0.67	0.63	0.61	0.60	0.59
11.00	8.98	5.34	3.47	2.59	1.99	1.72	1.54	0.87	0.78	0.69	0.66	0.63	0.61	0.60	0.60
11.00	8.97	5.34	3.46	2.59	1.99	1.73	1.53	0.88	0.79	0.69	0.66	0.63	0.61	0.61	0.60
11.00	8.95	5.32	3.45	2.60	1.98	1.71	1.53	0.87	0.78	0.68	0.66	0.63	0.61	0.61	0.60
11.00	8.90	5.26	3.41	2.56	1.95	1.69	1.52	0.84	0.77	0.69	0.66	0.63	0.61	0.60	0.59
11.00	8.78	5.17	3.33	2.51	1.92	1.67	1.49	0.85	0.77	0.68	0.66	0.63	0.61	0.60	0.59
11.00	8.88	5.23	3.41	2.46	1.86	1.64	1.47	0.83	0.75	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59
11.00	8.45	4.98	3.26	2.32	1.81	1.60	1.43	0.80	0.75	0.66	0.65	0.62	0.60	0.60	0.59
10.00	7.71	4.50	3.05	2.16	1.72	1.55	1.42	0.78	0.73	0.66	0.64	0.61	0.60	0.59	0.59
8.39	6.41	3.87	2.73	2.00	1.64	1.48	1.37	0.74	0.70	0.65	0.63	0.60	0.59	0.59	0.58

DF	> 10	5-10	2-5	1-2	< 1
%	4.69	11.72	14.06	19.53	50.00

4.89	4.21	2.99	2.51	1.62	1.38	1.24	1.14	0.82	0.77	0.71	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65
6.29	5.31	3.46	2.76	1.78	1.48	1.32	1.19	0.85	0.79	0.72	0.70	0.68	0.67	0.66	0.65
6.37	5.70	3.76	2.96	1.93	1.56	1.35	1.20	0.87	0.82	0.74	0.72	0.69	0.67	0.67	0.66
6.23	5.84	3.96	3.08	2.02	1.60	1.41	1.24	0.88	0.83	0.74	0.72	0.69	0.68	0.67	0.67
6.02	5.76	3.97	3.11	2.06	1.68	1.44	1.27	0.92	0.84	0.74	0.72	0.70	0.68	0.67	0.67
5.90	5.68	3.96	3.13	2.12	1.71	1.49	1.28	0.93	0.85	0.75	0.73	0.70	0.68	0.67	0.67
5.83	5.66	3.99	3.16	2.14	1.72	1.49	1.32	0.93	0.84	0.76	0.74	0.70	0.68	0.67	0.66
5.82	5.65	3.99	3.17	2.13	1.75	1.50	1.31	0.94	0.85	0.76	0.73	0.70	0.68	0.67	0.67
5.84	5.65	3.98	3.16	2.13	1.74	1.50	1.31	0.95	0.85	0.75	0.73	0.70	0.68	0.67	0.67
5.90	5.67	3.99	3.14	2.13	1.73	1.48	1.30	0.94	0.84	0.75	0.73	0.70	0.68	0.67	0.66
5.92	5.67	3.95	3.13	2.10	1.70	1.47	1.29	0.91	0.84	0.75	0.73	0.70	0.68	0.67	0.66
6.01	5.64	3.92	3.09	2.04	1.67	1.45	1.26	0.92	0.84	0.74	0.72	0.69	0.67	0.66	0.66
6.25	5.85	3.94	3.08	2.04	1.61	1.41	1.24	0.90	0.82	0.73	0.71	0.69	0.67	0.67	0.66
6.40	5.66	3.81	2.97	1.90	1.56	1.37	1.20	0.87	0.81	0.73	0.71	0.69	0.67	0.67	0.66
6.16	5.20	3.45	2.80	1.77	1.47	1.32	1.19	0.85	0.80	0.73	0.71	0.68	0.66	0.66	0.66
5.13	4.38	3.01	2.52	1.62	1.38	1.24	1.14	0.81	0.76	0.71	0.69	0.67	0.66	0.65	0.65

DF	> 10	5-10	2-5	1-2	< 1
%	-	10.94	17.87	21.09	50.00

รูปที่ 19 ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติของห้องทั่วไป (รูปบน) และห้องที่มีการใช้ท่อแสง (รูปล่าง)

1584	1081	723	568	389	340	306	276	169	155	146	140	136	130	129	125
1834	1240	809	618	414	353	253	279	172	157	149	142	136	131	129	126
1903	1339	875	663	432	368	268	290	176	159	150	144	137	130	129	126
1933	1388	912	691	457	383	283	294	180	162	154	146	137	131	130	127
1864	1325	855	627	466	387	287	293	181	165	156	147	139	133	132	129
1874	1342	871	643	473	399	299	298	186	166	155	147	139	134	132	129
1877	1348	879	648	476	402	300	188	167	157	147	140	134	132	128	
1874	1351	882	645	483	399	302	187	166	157	149	140	133	131	128	
1887	1356	893	659	495	412	313	186	166	157	149	139	133	131	128	
1886	1347	885	659	484	412	311	186	166	156	147	139	133	132	129	
1884	1342	870	641	479	400	308	185	163	153	145	139	133	131	129	
1871	1326	858	633	463	395	302	179	161	153	146	137	132	130	127	
1887	1326	852	638	423	356	270	177	159	152	145	135	129	128	126	
1841	1260	797	610	396	338	338	266	173	153	147	142	135	130	127	125
1706	1132	728	564	375	321	321	255	167	152	145	140	134	130	128	124
1330	900	627	507	347	306	306	251	164	150	144	139	133	130	127	124

> 269 48.83 % < 269 51.17 %

1333	1170	873	717	463	382	345	312	250	231	218	209	205	201	198	195
1586	1375	1001	774	504	399	353	319	253	236	221	213	210	204	202	198
1632	1471	1080	826	531	419	370	331	261	238	220	213	209	204	200	198
1623	1509	1114	869	560	440	378	337	270	244	224	216	210	204	202	198
1540	1462	1070	815	584	447	393	345	268	246	229	219	208	204	203	200
1540	1470	1087	836	588	459	395	349	276	249	229	218	211	208	206	201
1534	1476	1093	839	598	461	402	350	280	253	229	219	213	207	205	201
1529	1474	1096	842	602	464	401	355	278	252	231	220	212	208	206	200
1534	1473	1098	845	588	451	390	344	287	264	244	234	219	213	210	205
1538	1471	1093	841	581	449	387	340	290	264	244	232	218	213	208	204
1540	1467	1082	828	571	442	378	337	280	263	239	229	215	212	210	205
1555	1463	1062	816	561	430	374	330	280	257	239	228	213	210	209	206
1633	1508	1102	852	536	419	363	324	271	250	232	223	208	203	200	196
1656	1474	1053	806	517	400	353	319	265	246	228	219	206	201	198	195
1635	1365	980	748	477	386	336	302	254	238	223	216	206	201	198	195
1326	1119	848	678	427	359	324	297	252	235	222	214	204	201	197	193

> 269 53.91 % < 269 46.09 %

รูปที่ 20 ความส่องสว่างของห้องทั่วไป (รูปบน) และห้องที่มีการใช้ท่อแสง (รูปล่าง) โดยใช้เกณฑ์ของ LEED ในการพิจารณา

เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินของ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ที่กำหนดให้พื้นที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของห้องต้องมีความส่องสว่าง 25 ฟุตแคนเดิล (Footcandle: fc) หรือ 269 ลักซ์ (เมื่อเทียบ 1 ฟุตแคนเดิล = 10.76 ลักซ์) จำลองในสภาพท้องฟ้าโปร่ง ที่เวลาเที่ยงของวันที่ เวลาสมดุ (Equinox) (วันที่ 21 มีนาคม หรือ 23 กันยายน) โดยวัดความส่องสว่างที่ระดับ 30 นิ้ว (หรือ 0.70 ม.) จากระดับพื้น [10] ผลจากการจำลองพบว่า แม้ว่าพื้นที่ที่มีความส่องสว่างมากกว่าเกณฑ์จะเพิ่มขึ้น จาก 48.83 เป็น 53.91 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ยังไม่ผ่านตามที่ เกณฑ์กำหนด อย่างไรก็ตาม จากข้อมูลจะเห็นว่าข้อดีที่

เกิดจากการใช้ท่อแสง คือ ความส่องสว่างบริเวณริมช่องเปิดจะลดลง และความส่องสว่างภายในห้องเพิ่มขึ้น อีกทั้ง ในการวิจัยได้ควบคุมขนาดห้องอยู่ที่ 6.00×8.00 ม. ซึ่งหากห้องมีความลึกน้อยลง อาจทำให้เกิดผลให้ดีขึ้นได้

ทั้งนี้ ประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งาน คือ การลดแสงจ้าบริเวณริมช่องเปิด และเพิ่มการสะท้อนแสงธรรมชาติเข้ามายังส่วนลึกของอาคารให้มากขึ้น เช่น การใช้เทคนิคการปรับมุมเพื่อลดแสงจ้าและเพิ่มการสะท้อนแสงเข้ามาในห้อง [11] การเลือกและจัดวางรูปทรงอาคารอย่างเหมาะสม การควบคุมสัดส่วนช่องเปิดเป็นต้น เพื่อให้มีความส่องสว่างที่เพียงพอและมีความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถช่วยให้ได้คะแนนจากการประเมินอาคารในระบบต่าง ๆ ได้เช่นกัน [12] ซึ่งแนวคิดนี้อาจนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารโดยการลดพื้นที่ช่องเปิดด้านข้างของอาคารที่หันไปยังทิศตะวันตกและทิศใต้ ซึ่งเป็นทิศที่มีแสงจ้ามากหรือสำหรับอาคารที่สามารถเปิดช่องเปิดด้านข้างได้เพียงทางเดียว โดยที่จะใช้ระบบท่อแสงเพื่อนำแสงธรรมชาติจากทางด้านบนเข้ามาทดแทน เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดความยืดหยุ่นมากขึ้น และนับเป็นทางเลือกหนึ่งในการออกแบบอาคารใหม่หรือปรับปรุงอาคารเก่าโดยใช้ระบบท่อแสงที่ไม่มีความซับซ้อนมากนัก

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้สามารถทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในเบื้องต้นของระบบท่อแสงว่ามีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานในประเทศไทย โดยแนวทางในการออกแบบสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์มุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ในทิศทางที่

ต้องการใช้งานท่อแสง และใช้แผ่นสะท้อนแสงที่มีระยะขึ้นสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม ควรที่จะทำการทดลองกับหุ่นจำลองหรืออาคารจริงเพื่อให้ได้ผลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น รวมถึงการวิเคราะห์เรื่องการถ่ายเทความร้อน การใช้พลังงาน การติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน การออกแบบประสานกับงานระบบอาคาร ลักษณะและสัดส่วนของท่อแสงแบบอื่น ๆ ฯลฯ เพื่อให้เกิดความเหมาะสม ประสิทธิภาพ และการใช้งานจริงมากขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Courret, G., Scartezzini, J. L., Francioli, D., and Meyer, J. J., Design and Assessment of an Anidolic Light-duct, Energy and Buildings, Vol. 28, pp. 79 - 99, 1998.
- [2] Scartezzini, J. L. and Gourret, G., Anidolic Daylighting Systems, Solar Energy, Vol. 73, No. 2, pp. 123 - 135, 2002.
- [3] Wittkopf, S. K. Daylight Performance of Anidolic Design under Different Sky Conditions, Solar Energy, Vol. 81, pp 151 - 161, 2007.
- [4] Illuminating Engineering Society of North America, IES Lighting Handbook, 1981 Reference Volume. New York, Illuminating Engineering Society, 1981.
- [5] Egan, M. D. and Olgyay, V., Architectural Lighting, 2 ed., New York, McGraw-Hill, 2002.
- [6] Lechner, N., Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects, New York, John Wiley & Sons, 1991.

- [7] Olgyay, V., Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism, New Jersey, Princeton University Press, 1963.
- [8] Chou, C. P., The Performance of Daylighting with Shading Device in Architecture Design, Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 7, No. 4, pp. 205 - 212, 2004.
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัย, กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [10] U.S. Green Building Council, LEED Reference Guide for New Construction version 2.2, Washington D.C., Author, 2005.
- [11] น้ำผึ้ง สายหงส์ และอวิรุทธ์ ศรีสุชาพรรณ, แนวทางการออกแบบระบบแสงสว่างในห้องเรียนสื่อผสม, วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง, 5(1), น. 67 - 81, 2551.
- [12] Varodompun, J., Energy & Environmental Rating Systems for Measuring Green Building Performances, Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 6(1), pp. 121 -152, 2009.