

การพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรเนล

Development of a simple light pipe from a Fresnel lens

สรวิศ สอนสารี^{1*}, เอกภูมิ บุญธรรม¹

Sorawit Sonsaree^{1*}, Eakpoom Boonthum¹

Received: 6 September 2019 ; Revised: 11 November 2019 ; Accepted: 20 November 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรเนล โดยในการศึกษาได้นำเลนส์เฟรเนลมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรวมแสงร่วมกับท่อนำแสงที่ทำจากแผ่นสังกะสีที่ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยในการศึกษา (1) จะเป็นการหาระยะรวมแสง หรือ ระยะโฟกัส ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรเนลขนาด 28.5 เซนติเมตร × 28.5 เซนติเมตร (2) ระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุดจากการทดสอบ (3) จากนั้นจะนำท่อนำแสงดังกล่าวไปทดสอบการใช้งานจริงกับห้องจำลองขนาด 1 ตารางเมตร ผลการศึกษาพบว่า ระยะรวมแสง หรือ ระยะโฟกัส ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรเนลจะอยู่ในช่วงความสูงระหว่าง 15 ถึง 20 เซนติเมตร โดยจะมีค่าความส่องสว่างอยู่ในช่วง 399 ถึง 553 ลักซ์ ระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุดจะต้องมีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อช่วยสะท้อนแสงในบริเวณข้อของท่อนำแสง โดยความยาวที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ที่ 200 เซนติเมตร และมีค่าความส่องสว่าง 292 ลักซ์ ผลที่ได้จากการทดสอบจริงกับห้องจำลอง พบว่า การติดตั้งหลอดไฟ LED จะช่วยเพิ่มศักยภาพของท่อนำแสงให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทั้งในอาคาร หรือภายนอกอาคารได้ โดยค่าความส่องสว่างที่สามารถนำท่อนำแสงไปใช้งานจริงนั้นจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 400 ลักซ์ นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า ท่อนำแสงจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 18.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และเมื่อนำท่อนำแสงดังกล่าวไปใช้งานจะมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ประมาณ 10.8 ปี

คำสำคัญ: ท่อนำแสง เลนส์เฟรเนล

Abstract

This research developed a simple light pipe from using a Fresnel lens as a light source to supply natural light to a light pipe made of a zinc sheet. The objectives of the study were to (1) find the best focal length or focal distance of the Fresnel lens (size 28.5 cm × 28.5 cm), (2) the best range of the horizontal shaped tube, and (3) the light pipe was tested actual use with a 1 m² simulation room. The results showed that the optimum focal distance of the Fresnel lens was in the range of 15 to 20 cm with the luminance between 339 and 553 Lux. The best horizontal distance of the light pipe requires that mirrors be installed in the bend of the light pipe so as to reflect light. The optimum length was 200 cm with the luminance is 292 Lux. The results from the actual test with the simulation room indicated that the installation of the LED lamps increased the potential of the light pipe to be able to apply in the buildings or outside the buildings. Appropriate illumination for the light pipe was approximately 400 Lux. The study indicated that a light pipe could save electricity of 18.5 kWh/year, and the payback period of the light pipe is around 10.8 years.

Keywords: light pipe, Fresnel lens.

¹ อาจารย์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Lecturers, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok Province, 65000

* Corresponding author Tel.: 061-8299892, E-mail address: sorawitsonsaree@gmail.com

บทนำ

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานได้ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงทำให้ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในส่วนของพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar energy) อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของความร้อน (Thermal energy) เช่น เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar water heating system) การอบแห้ง (Solar drying) หรือแม้กระทั่งในรูปแบบของไฟฟ้า (Electrical energy) เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีแบบรวมแสง (Concentrating Solar Power (CSP) Technologies) และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell technologies) เป็นต้น¹ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสูงประมาณ 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน² นอกเหนือจากเทคโนโลยีที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ยังคงมีอีกเทคโนโลยีที่น่าสนใจ คือ เทคโนโลยีท่อนำแสง (Light pipe) โดยจะเป็นการนำเอาแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เข้ามาใช้เพื่อส่องสว่างภายในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย เนื่องมาจากอาคารส่วนใหญ่มีการใช้แสงสว่างในช่วงเวลากลางวัน จึงทำให้สามารถนำเอาแสงจากธรรมชาติเข้ามาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งยังเป็นการช่วยในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย³⁻⁵

กัญญ์ ชุมมณี และคณะ⁶ ได้นำเสนอการนำแสงธรรมชาติจากภายนอกอาคารมาใช้ภายในอาคารในบริเวณที่ความส่องสว่างไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ผลการศึกษาพบว่า ระบบรวมแสงจะต้องคำนึงถึงมุม ทิศทางการสะท้อนของแสงและอิทธิพลของมุมเปิดเห็นท้องฟ้าเป็นหลัก เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพของการรวมแสงสูงถึงร้อยละ 70 นอกจากนี้ยังพบว่า แสงที่ขนานกับแนวท่อจะมีประสิทธิภาพการนำแสงสูงสุด โดยจะแปรผกผันตามอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อต่อความยาวของท่อนำแสง นศมา เพ็ญนภักตร์⁷ เสนอผลการศึกษาถึงรูปแบบและขนาดของท่อนำแสงแนวตั้งที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์ โดยในการศึกษาได้แบ่งตัวแปรออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (2) อัตราส่วนระหว่างความยาวของท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) และ (3) ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้ง ผลการศึกษาพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ส่งผลให้ท่อนำแสงแนวตั้งมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 0.90 เมตร ที่ค่า Aspect ratio เท่ากับ 2 และที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวตั้งมีความสูงประมาณ 3 เมตร Jitka Mohelnikova⁸ ศึกษาประสิทธิภาพการสะท้อนของแสงที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งและลักษณะการกระจายตัวของแสงที่ผ่านตัวกระจายแสงของท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 0.50 และ 0.75

เมตร ที่ความยาว 5 เมตร ในสภาพท้องฟ้าลักษณะต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า ในสภาพท้องฟ้าแบบ Cloudy sky แสงที่วัดได้จะมีความสม่ำเสมอ และลักษณะการกระจายแสงจะเป็นวงกลมแบบสมมูล 2 ข้างเท่ากันจากศูนย์กลางของตัวกระจายแสง นอกจากนี้ยังพบว่า ในสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky จะเกิดจุดที่มีความสว่างสูง และแสงที่ได้จะมีความสม่ำเสมอต่ำ บริรักษ์ อินทรกุลไชย และวรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์⁹ ออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน โดยได้ศึกษารูปแบบและทิศทางการรับแสงธรรมชาติของระบบท่อนำแสงแนวนอนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการนำพาแสงธรรมชาติและปริมาณแสงภายในอาคารสำนักงานผ่านการจำลองสภาพแสงธรรมชาติและระบบท่อนำแสงแนวนอนด้วยโปรแกรม Photopia 3.0 โดยมีแบบจำลองประสิทธิภาพด้านแสงสว่างจำนวน 5 รูปแบบ ที่มีลักษณะของส่วนรวมแสงและส่วนนำพาแสงแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบท่อนำแสงแนวนอน ได้แก่ (1) ทิศทางการรับแสงธรรมชาติ (2) ลักษณะของส่วนรวมแสง และ (3) ลักษณะของส่วนนำพาแสง นอกจากนี้ ศิวตล อุปพงษ์ และ ยิงสวัสดิ์ ไชยะกุล¹⁰ ได้นำเสนอความสัมพันธ์ของค่าปริมาณแสงสว่างกับขนาดและความยาวท่อนำแสง แนวทางการนำท่อนำแสงแนวตั้งมาใช้ในอาคาร โดยสร้างแบบจำลองคำนวณปริมาณแสงสว่างจากโปรแกรม DIALux 4.9 ที่กำหนดให้ขนาดห้องกว้าง 20.0 เมตร ยาว 20.0 เมตร และสูง 3.0 เมตร ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 0.8 และ 1.0 เมตร ความยาวท่อขนาด 0.5 ถึง 6.0 เมตร (โดยเพิ่มความยาวท่อครั้งละ 0.5 เมตร) และมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (R) ของผิวท่อนำแสงเท่ากับ 0.9 และตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณปริมาณแสงสว่าง ได้แก่ ปากท่อนำแสง ปลายท่อนำแสง ระนาบพื้นที่ใช้งาน และระนาบพื้นห้อง ผลการศึกษาพบว่า ขนาดท่อ ความยาวท่อ และปริมาณความส่องสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวตั้งสู่อาคารมีความสัมพันธ์กัน

จากผลการศึกษาทางานวิจัยข้างต้น และงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา พบว่า สามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้ท่อนำแสงในอาคาร หรือห้างสรรพสินค้าได้ ทั้งนี้ก็เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า และ/หรือ ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร แต่ทั้งนี้การศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาในเชิงโมเดล หรือการทำนายความส่องสว่างที่ได้จากโปรแกรมเพียงอย่างเดียว อีกทั้งผลการศึกษาที่ได้จากการทดลองจริงในประเทศไทยนั้นยังมีผลการศึกษาที่ค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า สาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ท่อนำแสงยังไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้เนื่องจากราคาของท่อนำแสงที่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงจะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีในการนำแสงธรรมชาติมาใช้จากเลนส์เฟรเนล (Fresnel lens) ที่ซึ่งเป็นเลนส์ที่หาง่าย และราคาไม่แพง ร่วมกับท่อนำแสงที่ทำ

จากแผ่นสังกะสีที่เป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยเทคโนโลยีที่กำลังพัฒนาดังกล่าวสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อส่องสว่างได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ไม่ว่าจะเป็นอาคารเก็บสินค้า บริเวณทางเดิน และ/หรือ สถานที่จอดรถ ทั้งนี้นอกจากจะเป็นเทคโนโลยีที่สามารถพัฒนาได้เองภายในประเทศแล้ว ก็จะทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานจากการลดการใช้พลังงานในอาคาร หรือในโรงงานอุตสาหกรรมได้อีกด้วย ในการศึกษาจะเป็นการหาระยะนำแสงที่ดีที่สุดของท่อนำแสงแนวนอน โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการประยุกต์นำเอาท่อนำแสงแนวนอนไปใช้ รวมถึงจะมีการศึกษาผลทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานท่อนำแสงอีกด้วย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดของแสงออกเป็น 2 แบบ คือ แหล่งกำเนิดแสงทางตรง และแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม ซึ่งสามารถนำแสงธรรมชาติดังกล่าวมาใช้งานเพื่อการประหยัดพลังงานได้ด้วยการนำแสงสว่างผ่านท่อนำแสง แต่ทั้งนี้เพื่อให้การนำแสงที่ได้จากธรรมชาติมาใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด จะต้องนำค่าความส่องสว่างที่ได้จากแสงธรรมชาติมาเปรียบเทียบกับ “ค่าแสงสว่างแนะนำในแต่ละพื้นที่” ที่ซึ่งเป็นค่าแสงสว่างตามกฎหมายมาตรฐานความเข้มแสงสว่าง 2561 กำหนด¹¹ แสดงดัง Table 1

Table 1 Recommended lighting in each area¹¹

Outside the building	Average illumination (Lux)
Parking	50
Road	21
Inside the building	Average illumination (Lux)
Walkway	100
Stair	100
Warehouse	200
Canteen	300
Office	400
Rough work (Raw material preparation area for packing products)	300
Medium work (Automotive assembly, and Spray painting)	500
Detailed work (Quality inspection work, Sorting and Color matching work)	800
Very detailed work (Inspection of small parts)	1200

ความส่องสว่างภายนอกอาคาร (External illuminance)

ดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ความสว่างของท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปสามารถพิจารณาสภาพของท้องฟ้าได้เป็น 3 แบบ^๑ ดังนี้

1. สภาพท้องฟ้าแบบ Overcast sky เป็นลักษณะของท้องฟ้าที่ไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงจากดวงอาทิตย์ได้ คำนวณได้จาก

$$E_H = 300 + (21000) \sin A \quad (1)$$

เมื่อ E_H คือ ความส่องสว่างภายนอก (ลักซ์) และ A คือ Solar altitude (องศา)

2. สภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky เป็นสภาพท้องฟ้าโปร่งหรือเป็นสภาวะท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมไม่เกินร้อยละ 30 โดยความส่องสว่างของสภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) แสงกระจายจากท้องฟ้าไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ คำนวณได้จาก

$$E_H = 1345 + (14795) \sin A \quad (2)$$

(2) แสงตรงจากดวงอาทิตย์ไม่รวมแสงกระจายจากท้องฟ้า คำนวณได้จาก

$$\log E_H = 4.466 + (0.31) \log A \quad (3)$$

3. สภาพท้องฟ้าแบบ Partly cloudy sky เป็นสภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆบางส่วนปกคลุมประมาณร้อยละ 30 ถึง 70 คำนวณได้จาก

$$E_H = 570A \quad (4)$$

ฟลักซ์ส่องสว่างของท่อนำแสง (Luminous flux of pipe)

เป็นพลังงานสว่างที่ผ่านออกมาจากแหล่งกำเนิดต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น “ลูเมน” ค่าฟลักซ์จากแหล่งกำเนิดแสงก่อนเกิดการสะท้อนภายในท่อนำแสง¹² หาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างภายนอกกับขนาดของท่อนำแสง แสดงดังสมการ (5)

$$\Phi_{SP} = \tau E_{ex} \pi r^2 \quad (5)$$

เมื่อ Φ_{SP} คือ ฟลักซ์ส่องสว่างของท่อนำแสง (ลูเมน), τ คือ การส่งผ่านของท่อนำแสง, E_{ex} คือ ความส่องสว่างภายในอาคาร (ลักซ์) และ r คือ รัศมีของท่อนำแสง (เมตร)

จำนวนของการสะท้อนแสง (Number of reflection)

การเกิดการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงตามมุมของแหล่งกำเนิดในช่วงระยะเวลาของแต่ละวัน¹³ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการสะท้อน ความยาว และขนาดของท่อนำแสงคำนวณได้จาก

$$n = \text{int} \left[\frac{L \tan \theta}{S} \right] \quad (6)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของการสะท้อนแสง, L คือ ความยาวของท่อนำแสง (เมตร), θ คือ มุมของการสะท้อนแสง (องศา) และ S คือ ความกว้างของท่อนำแสง (เมตร)

พฤติกรรมของแสง (Behavior)

พฤติกรรมของแสงที่ทำให้เกิดการสูญเสียของปริมาณความเข้มของแสงภายในท่อนำแสง ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุที่ทำท่อนำแสงมีค่าไม่ถึงร้อยละ 100 ซึ่งจะส่งผลให้มีการสูญเสียเกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดมากระทบพื้นผิวของท่อนำแสง¹⁴ โดยพฤติกรรมของแสงที่เกิดขึ้นดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดัง Figure 1

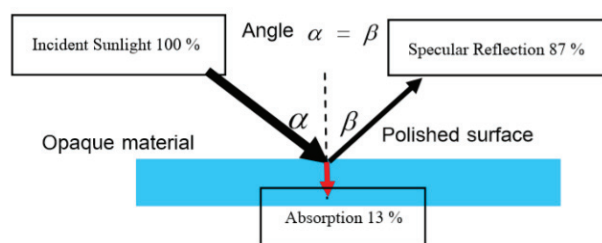


Figure 1 Behavior⁶

การส่งผ่านของแสง (Transmission)

เป็นลักษณะของแสงที่ตกกระทบทางด้านหนึ่งของตัวกลาง โดยแสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและอีกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ มุมของแสงก่อนจะส่องผ่านตัวกลางจะเท่ากับมุมของแสงหลังจากทะลุผ่านตัวกลางไปแล้ว¹³ ซึ่งความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในท่อ 1 ลำแสงคำนวณได้จาก

$$T = R^{\text{int}[L \tan \theta / S]} \quad (7)$$

เมื่อ T คือ การส่งผ่านของแสงแบบส่วนเดียว, R คือ การสะท้อนของท่อนำแสง และ θ คือ มุมของการสะท้อนแสง

ความส่องสว่างภายในอาคาร (Internal illuminance)

การส่องสว่างของวัตถุซึ่งเกิดจากการที่แสงจากแหล่งกำเนิดของแสงตกกระทบลงบนวัตถุ และเกิดการสะท้อนของแสงเข้าสู่ดวงตา โดยค่าความส่องสว่างต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มของค่าส่องสว่างที่มีหน่วยเป็นลูเมนต่อพื้นที่ของวัตถุ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$E = \frac{I}{A} \quad (8)$$

เมื่อ E คือ ความส่องสว่างภายใน (ลักซ์), I คือ ความสว่าง (ลูเมน) และ A คือ พื้นที่ของห้อง (ตารางเมตร)

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรเนล โดยเลนส์ดังกล่าวเป็นวัสดุเหลือใช้จากเครื่องฉายแผ่นใส (Overhead projector) ที่ไม่ได้ถูกใช้งาน ร่วมกับแผ่นสังกะสีที่ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด โดยในการศึกษาได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้ (1) ทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรเนล, (2) หาระยะของท่อนำแสงแนวนอนที่ดีที่สุด และ (3) ทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง โดยการจำลองห้องที่มีขนาด 1 เมตร x 1 เมตร (พื้นที่รวม 1 ตารางเมตร)



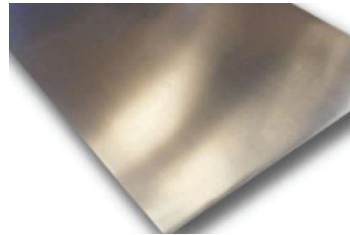
(a) Fresnel lens



(b) Lux/Light meter



(c) Solar power meter



(d) Zinc sheets



(e) Mirror



(f) Solar simulator



(g) Solar cell



(h) LED Lamp

Figure 2 Tools and equipment

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย:

แสดงดัง Figure 2

(a) เลนส์เฟรเนล ขนาด 28.5 เซนติเมตร × 28.5 เซนติเมตร, (b) เครื่องวัดแสง (Lux/Light Meter) ยี่ห้อ Nicety รุ่น LX-802, (c) เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (Solar power meter) ยี่ห้อ CEM รุ่น LA-1017, (d) แผ่นสังกะสี (Zinc sheets), (e) กระจกเงา (Mirror) ขนาด 19.0 เซนติเมตร × 24.0 เซนติเมตร สำหรับสะท้อนแสงที่ได้จากเลนส์เฟรเนล, (f) แสงอาทิตย์เทียม (Solar simulator) ขนาด 20 วัตต์ จำนวน 25 หลอด, (g) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ยี่ห้อ Sun Solar

Ecotech ขนาด 5 วัตต์ 17 โวลต์ สำหรับจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับหลอด LED และ (h) หลอดไฟ LED แบบเส้น ขนาด 14.4 วัตต์

การดำเนินการทดลอง

(1) ทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรเนล: จะเป็นการตรวจวัดเพื่อหาค่าความส่องสว่างที่ได้จากการรวมแสงของเลนส์เฟรเนลที่ระยะ 0 ถึง 50 เซนติเมตร (เพิ่มระยะห่างในการวัดครั้งละ 5 เซนติเมตร) การทดลองโดยใช้แสงอาทิตย์เทียมแสดงดัง Figure 3



Figure 3 (a) The distance used for testing the total distance of light (focus distance), and (b) Measure the luminance of light

(2) หาระยะของท่อนำแสงรูปแวนนอนที่ดีที่สุด: โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ (1) แบบที่ไม่มีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อสะท้อนแสงบริเวณข้องอ (แสดงดัง Figure 4) และ (2) แบบที่มีการติดตั้งกระจกเงาเอียงทำมุม 45 องศา เพื่อสะท้อนแสงบริเวณข้องอ (แสดงดัง Figure 5) ในการทดสอบได้นำแผ่นสังกะสีม้วนเป็นท่อกลมให้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 เซนติเมตร (10 นิ้ว) จากนั้นนำเลนส์เฟรเนลมาวางไว้บนปากท่อ และใช้แสงอาทิตย์เทียมส่องลงบนแผ่นรวมแสงแล้วทำการวัดค่าความส่องสว่างที่ระยะ 0 ถึง 500 เซนติเมตร (เพิ่มระยะห่างในการวัดครั้งละ 50 เซนติเมตร)

(3) ทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง หรือสภาวะการใช้งานจริง: การทดสอบนี้ท่อนำแสงที่

ถูกติดตั้งกระจกเงาบริเวณข้องอ (แสดงดัง Figure 5) ถูกติดตั้งร่วมกับท่อสังกะสีที่มีระยะความยาวที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ (1) และ (2) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ (1) แบบที่ไม่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED (แสดงดัง Figure 6

(a) และ (2) แบบที่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED (แสดงดัง Figure 6

(b)) จากนั้นจะดำเนินการเก็บค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติทั้งภายในและภายนอกห้อง รวมถึงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ซึ่งเปรียบเสมือนปริมาณความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับแสงธรรมชาติ

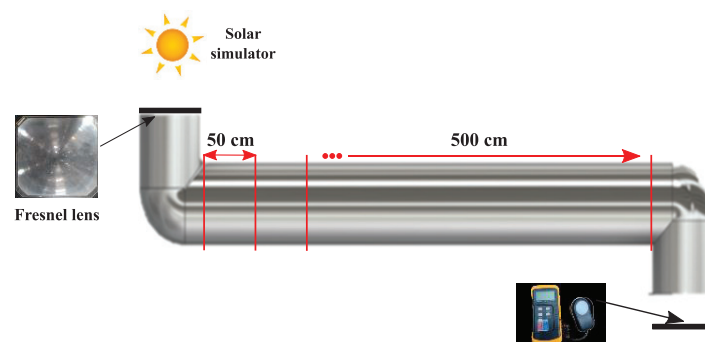


Figure 4 The distance used to test the horizontal light pipe distance (Without mirror installation)

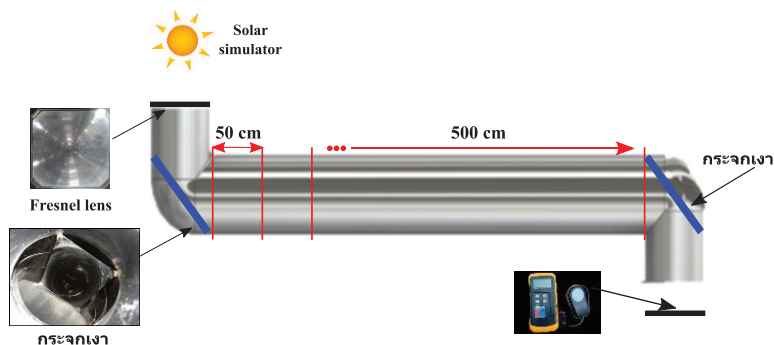


Figure 5 The distance used to test the horizontal light pipe distance (With mirror installation)

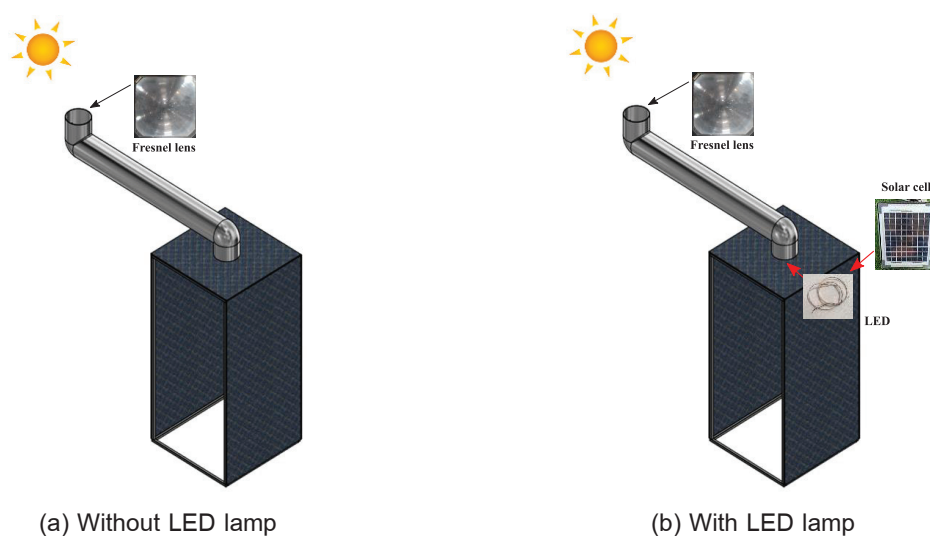


Figure 6 Natural light conduction testing of horizontal light tubes

ผลการศึกษา และวิจารณ์

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรเนล โดยในงานวิจัยจะเป็นการนำเอาเลนส์เฟรเนลมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแผ่นสังกะสีที่สามารถหาได้โดยทั่วไปตามท้องตลาดมาขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อใช้เป็นท่อนำแสง ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) ผลการทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) (2) ผลการทดสอบหาระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุด (3) ผลการทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง และ (4) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างง่ายของการประยุกต์ใช้ท่อนำแสง โดยสามารถแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาได้ดังนี้

(1) ผลการทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรเนล: แสดงดัง Table 2

พบว่า ความสูงที่หมายถึงระยะรวมแสงหรือระยะโฟกัสจะมีผลต่อค่าความส่องสว่าง โดยค่าความส่องสว่างจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะความสูงเพิ่มขึ้นจากระยะความสูง 5

เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร และค่าความส่องสว่างจะลดลงเมื่อระยะความสูงสูงกว่าระยะที่มีความเหมาะสม คือ 20 เซนติเมตร ซึ่งจาก Table 2

ความสูงที่เหมาะสมที่จะช่วยให้ค่าความส่องสว่างมีค่าสูงที่สุดจะอยู่ในช่วงความสูง 15 ถึง 20 เซนติเมตร โดยจะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 399 ถึง 553 ลักซ์

(2) ผลการทดสอบหาระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุด: ผลการทดสอบในส่วนนี้แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

(2.1) กรณีที่ไม่มีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อสะท้อนแสงแสดงดัง Table 3

พบว่า ความยาวของท่อจะมีผลต่อค่าความส่องสว่าง โดยค่าความส่องสว่างจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะความยาวท่อที่มีความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีค่าความส่องสว่างสูงที่สุดเมื่อท่อนำแสงรูปแนวนอนมีความยาวของท่อประมาณ 200 เซนติเมตร โดยจะมีค่าความส่องสว่างเท่ากับ 253 ลักซ์

Table 2 Illumination (Lux) at different heights

High (cm)	Illumination (Lux)
5	94
10	190
15	399
20	553
25	318
30	91
35	51
40	28

(2.2) กรณีที่มีการติดตั้งกระจกเงาเพื่อสะท้อนแสงแสดงดัง Table 3

พบว่า กระจกเงาช่วยให้ค่าความส่องสว่างที่ระยะความยาวต่างๆ ของท่อนำแสงรูปแนวนอนเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการติดตั้งกระจกเงาจะช่วยให้สามารถประยุกต์ใช้ท่อนำแสงในพื้นที่ต่างๆ และรวมถึงสามารถเพิ่มความยาวของท่อนำแสงได้ โดยที่ระยะความยาวเดียวกัน (200 เซนติเมตร) เมื่อติดตั้งกระจกเงาจะช่วยให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มสูงขึ้นเป็น 292 ลักซ์

อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้ถูกแสดงไว้ใน Table 3 กับค่าแสงสว่างแนะนำในแต่ละพื้นที่แสดงดัง Table 1

พบว่า ที่ความยาวท่อ 200 เซนติเมตร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ส่องสว่างภายในอาคาร (คลังสินค้า) ได้ และที่ความยาวท่อ 400 เซนติเมตร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ส่องสว่างได้ทั้งภายในอาคาร (ทางเดิน บันได และห้องน้ำ) และภายนอกอาคาร (ถนน และลานจอดรถ) ได้ เป็นต้น

(3) ผลการทดสอบการใช้งานท่อนำแสงในสภาวะแวดล้อมจริง: เป็นการนำผลการทดสอบจากการทดสอบหาระยะรวมแสง (ระยะโฟกัส) ที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรเนล และผลการทดสอบหาระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ดีที่สุดมาทดสอบกับห้องจำลองที่มีขนาด 1 ตารางเมตร โดยผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(3.1) ท่อนำแสงที่ไม่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED แสดงดัง Figure 7

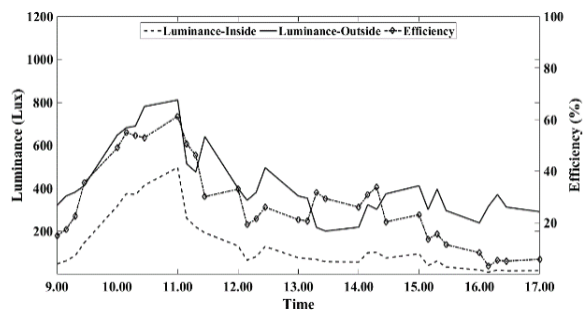
พบว่า ท่อนำแสงที่ได้ถูกพัฒนาสามารถนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาในห้องได้ โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มแสงจากภายนอก (แสงธรรมชาติ) ท่อนำแสงจะสามารถนำแสงได้ดีในช่วงเวลา 9.00 ถึง 14.00 น. หลังจากนั้นความเข้มแสงจะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณความเข้มแสงธรรมชาติที่ลดลง ดังนั้นการที่จะนำท่อนำแสงไปประยุกต์ใช้เพื่อทดแทนแสงสว่างจากหลอดไฟเพียงอย่างเดียวจึงอาจไม่เหมาะสม แต่หากนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแสงสว่างจากหลอดไฟในบางช่วงเวลาก็จะช่วยก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ผลการพิจารณาประสิทธิภาพ (Efficiency) ของท่อนำแสงในช่วงเวลา 9.00-14.00 น. พบว่า ท่อนำแสงที่ได้ถูกพัฒนาจะมีประสิทธิภาพการนำแสงอยู่ที่ร้อยละ 56

ผลการทดสอบยังได้ให้ความสนใจไปที่ความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับการประยุกต์นำท่อนำแสงมาใช้งานแสดงดัง Figure 7

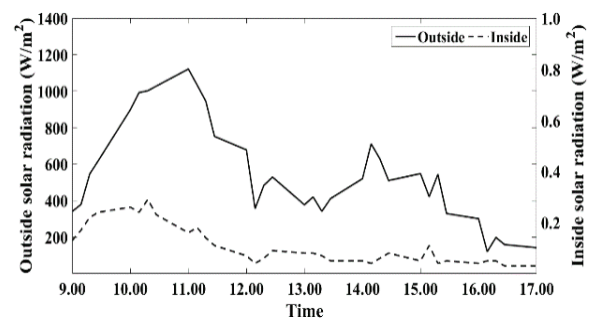
พบว่า แสงสว่างธรรมชาติที่เข้ามาตามท่อนำแสงนั้นได้นำเอาความร้อนจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาด้วย แต่ถือว่ามีย่าน้อยมากหรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าไม่จำเป็นที่จะต้องคิดปริมาณความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับการนำแสงของท่อนำแสง จึงจะเห็นได้ว่าสามารถที่จะประยุกต์ท่อนำแสงดังกล่าวในการนำแสงจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร บ้านพักอาศัย ได้เป็นอย่างดี

Table 3 Illumination (Lux) at different heights (with and without mirror)

Length (cm)	Illumination (Lux)	
	Without mirror	With mirror
50	224	268
100	236	280
150	249	286
200	253	292
250	198	246
300	173	234
350	148	226
400	132	198

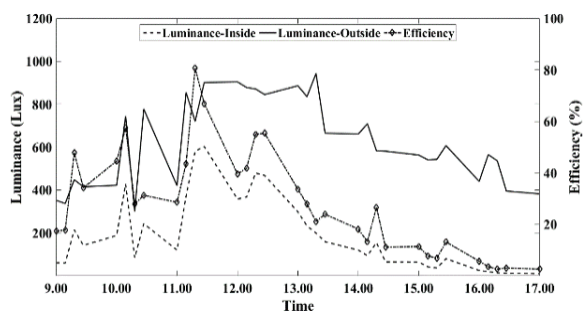


a - 1

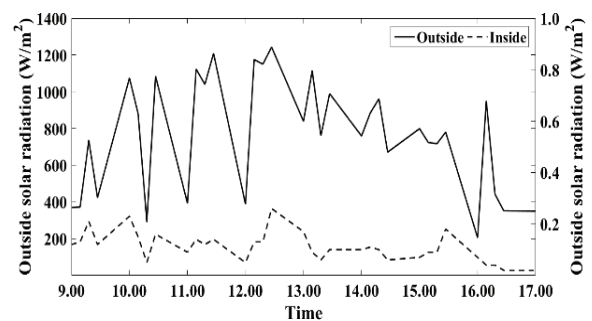


b - 1

22 June 2019

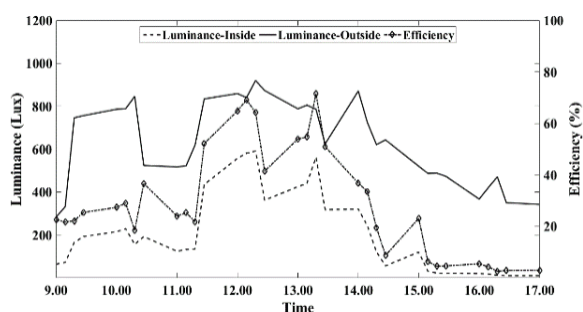


a - 2

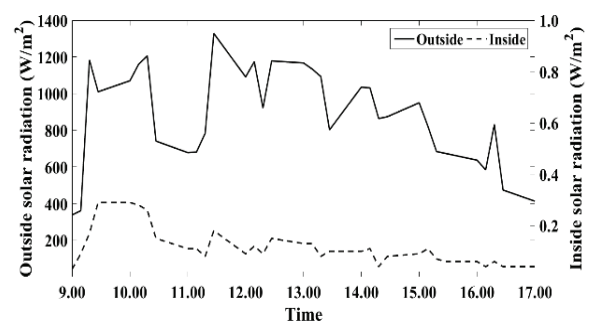


b - 2

23 June 2019



a - 3



b - 3

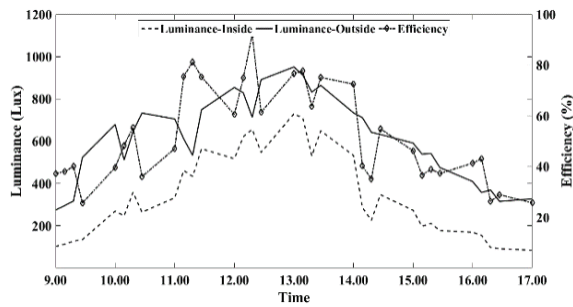
24 June 2019

Figure 7 (a) Luminance and efficiency of light pipe, and (b) Outside and inside solar radiation (Without LED lamp)

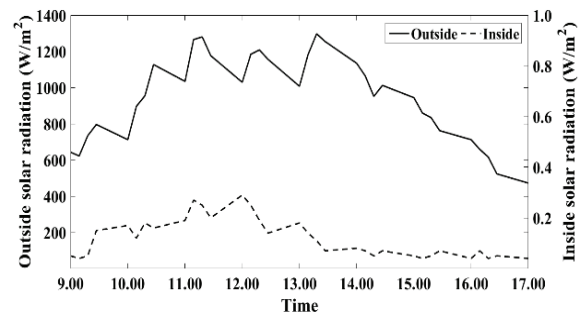
(3.2) ท่อนำแสงที่มีการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED แสดงดัง Figure 8

พบว่า เมื่อนำเอาหลอดไฟ LED ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับท่อนำแสง ค่าความเข้มแสงของท่อนำแสงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาระหว่างวัน แม้ว่าช่วงเช้าและช่วงบ่ายค่าความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์จะลดลง

จึงอาจกล่าวได้ว่าการใช้งานท่อนำแสงร่วมกับการติดตั้งชุดหลอดไฟ LED จะช่วยให้คุณภาพ หรือความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้กับห้องหรือสถานที่ที่ต้องการปริมาณที่มีค่าความส่องสว่างที่สูงได้ อีกทั้งการใช้งานร่วมกับหลอดไฟ LED ยังช่วยลดความเสี่ยงที่จะต้องพึ่งพาแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงอย่างเดียวได้อีกด้วย

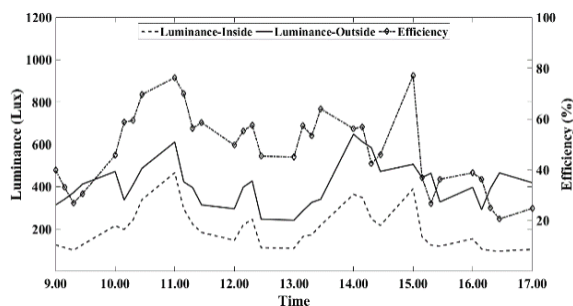


a - 1

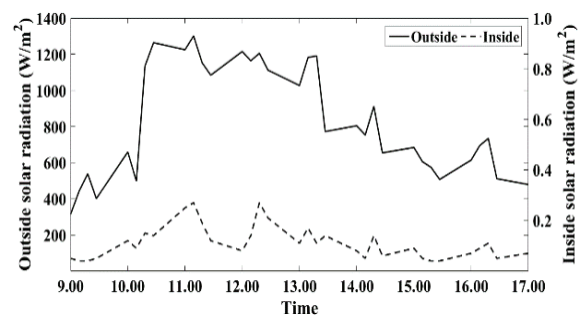


b - 1

30 June 2019

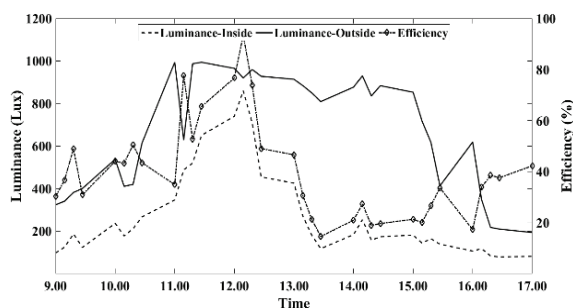


a - 2

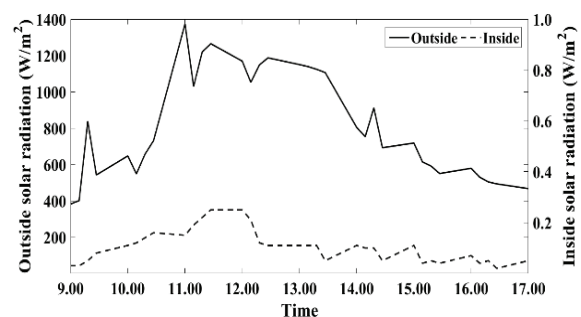


b - 2

3 July 2019



a - 3



b - 3

4 July 2019

Figure 8 (a) Luminance and efficiency of light pipe, and (b) Outside and inside solar radiation (With LED lamp)

(4) ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อย่างง่าย: ตัวแปรสำคัญที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์คือ “ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple pay-back period)” โดยในงานวิจัยได้คิดค่าใช้จ่ายในส่วนของเงินลงทุนของแผ่นสังกะสีเพียงอย่างเดียวเนื่องจากได้กำหนดให้เลนส์เฟรเนลเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ โดยได้กำหนดให้เงินลงทุนทั้งหมดเท่ากับ 1,000 บาท (รวมราคาของวัสดุ ค่าจ้างสำหรับปั๊ม และม้วนท่อสังกะสีที่มีความยาว 2 เมตร ค่าใช้จ่ายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และหลอดไฟ LED) เมื่อพิจารณาค่าความส่องสว่างของท่อนำแสง คือ 400 ลักซ์ ซึ่งสามารถเทียบกับหลอดไฟขนาด 8 วัตต์ และใน 1 ปี กำหนดให้ท่อนำแสงทำงานได้ 330 วัน วันละ 7 ชั่วโมง ดังนั้นท่อนำแสงจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 18.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หากค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ท่อนำแสงจะช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 92.5 บาทต่อปี และเมื่อคิดเป็นระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายพบว่า ระยะเวลาคืนทุนของท่อนำแสงจะมีระยะเวลาประมาณ 10.8 ปี

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาท่อนำแสงอย่างง่ายจากเลนส์เฟรเนล (Fresnel lens) โดยในการศึกษาได้นำเลนส์เฟรเนลที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นรวมแสงร่วมกับท่อนำแสงที่ทำจากแผ่นสังกะสีซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป ในการศึกษาจะเป็นการทดสอบเพื่อหาระยะการนำแสงที่ดีที่สุดของท่อนำแสงแนวนอน จากนั้นจะนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะในการนำเอาท่อนำแสงไปใช้ในบริเวณต่างๆ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ระยะรวมแสง หรือ ระยะโฟกัสที่ดีที่สุดของเลนส์เฟรเนลจะอยู่ในช่วงความสูงระหว่าง 15 ถึง 20 เซนติเมตร โดยช่วงความสูงดังกล่าวจะส่งผลให้มีค่าความส่องสว่าง (ลักซ์) อยู่ในช่วงที่สูงที่สุดคือ 399 ถึง 553 ลักซ์

(2) ระยะของท่อนำแสงรูปแนวนอนที่ระยะความยาวประมาณ 200 เซนติเมตร จะเป็นระยะที่ดีที่สุด และการติดตั้งกระจกเงาเพื่อช่วยการสะท้อนแสงตรงบริเวณช่องของท่อนำแสงจะช่วยให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มสูงขึ้น

(3) การติดตั้งหลอดไฟ LED จะช่วยเพิ่มศักยภาพหรือความสามารถในการที่จะนำเอาท่อนำแสงมาประยุกต์ใช้งานในอาคาร หรือภายนอกอาคารได้ โดยค่าความส่องสว่างที่สามารถนำท่อนำแสงไปใช้งานนั้นจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 400 ลักซ์

(4) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย พบว่า ระยะเวลาคืนทุนของท่อนำแสงจะมีระยะเวลาประมาณ 10.8 ปี โดยที่ท่อนำแสงจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 18.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี หรือประมาณ 92.5 บาทต่อปี เมื่อคิดค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก สำหรับสถานที่ทำวิจัย และขอขอบคุณ นายสิปปกร เพ็ชรอ่อน, นายภูวนาท ยอดเพชร, นายโชติวรวิทย์ งามจิตร, และนายกิตติยศ อินทนนท์ ที่ช่วยดำเนินการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

1. Sonsaree S, Asaoka T, Jiajitsawat S, Aguirre H, Tanaka K. A small-scale solar Organic Rankine Cycle power plant in Thailand: Three types of non-concentrating solar collectors. *Solar energy*. 2018;162: 541-60.
2. DEDE. Solar hot water: Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE); 2017 [cited 2017 1 January]. Available from: <http://www.solarhotwaterdede.com/en/>.
3. Kocifaj M, Petržala J. Designing of light-pipe diffuser through its computed optical properties: A novel solution technique and some consequences. *Solar Energy*. 2019; 190: 386-95.
4. Vasilakopoulou K, Kolokotsa D, Santamouris M, Kousis I, Asproulas H, Giannarakis I. Analysis of the experimental performance of light pipes. *Energy and Buildings*. 2017; 151: 242-9.
5. Sharma L, Ali SF, Rakshit D. Performance evaluation of a top lighting light-pipe in buildings and estimating energy saving potential. *Energy and Buildings*. 2018; 179: 57-72.
6. ภิญโญ ชุมมณี, จันทกานต์ทวิกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์ และปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล, editor การออกแบบการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงในอาคารในภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย. การประชุมเสนอผลงานการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 4; 2549 31 มีนาคม 2549; มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

7. นศมา เพ็ญนภักตร์. รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงที่หลังคาเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทซูเปอร์สโตร์. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2552.
8. Mohelnikova J. Tubular light guide evaluation. Building and environment. 2009; 44(10): 2193-200.
9. บริรักษ์ อินทรกุลไชย. การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 7 ฉบับที่ 2. 2553: 14-26.
10. ศิวดล อุปพงษ์, ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. การใช้แสงธรรมชาติในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง (Daylighting in Building Through a Vertical Light Pipe). วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2556: 78-85.
11. กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง. 2561.
12. Swift P, Smith G. Cylindrical mirror light pipes. Solar Energy Materials and Solar Cells. 1995;36(2): 159-68.
13. Chirarattananon S, Chedsiri S, Renshen L. Daylighting through light pipes in the tropics. Solar energy. 2000;69(4): 331-41.
14. Jenkins D, Muneer T. Light-pipe prediction methods. Applied energy. 2004;79(1): 77-86.