การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

การออกแบบและประยุกต์การใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงในอาคาร

Design and Application of Use of Daylighting through Light Pipe for Buildings

ภิญโญ ชุมมณี* จันทกานต์ ทวีกุล ชูเกียรติ คุปตานนท์ ปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทรศัพท์(074) 287-035 โทรสาร (074) 212-893 Email*:s4712079@psu.ac.th

Pinyo Chummanee*, Juntakan Taweekun, Chukiat Kooptarnond, Panyarak Ngamsritragul
Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112 , Tel (074) 287-035 ,Fax (074) 212-893 Email*:s4712079@psu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและประยุกต์ท่อนำแสงมาใช้ในการติดตั้งบริเวณภายในอาคาร เพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในการส่องสว่าง ซึ่งศึกษาความส่องสว่างและการกระจายแสงของการใช้ท่อนำแสงในสภาวะภูมิอากาศของเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยทำการจำลองสภาพการใช้งานด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2 พบว่า ความสว่างภายนอกอาคารมีผลต่อปริมาณความเข้มของแสงที่ผ่านท่อนำแสงเข้ามาภายในอาคารเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งของในช่วง 7.00 ถึง 18.00 น. สำหรับความส่องสว่างและการกระจายแสงสว่างของท่อนำแสงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับมุมของดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบ, วัสดุของโครงสร้างท่อนำแสงและขนาดพื้นที่ของท่อนำแสง การศึกษานี้ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณความส่องสว่างของท่อนำแสงที่ใช้วัสดุที่แตกต่างกัน เพื่อนำข้อมูลปริมาณความส่องสว่างที่ได้จากผลการคำนวณของโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2 ไปสร้างท่อนำแสงต่อไป อีกทั้งจากการศึกษาพบว่า การใช้ท่อนำแสงจะช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ลดลงได้ 15-20%

Abstract

This paper presents the design and application of the use of daylighting through light pipe for a building. EnergyPlus Version 1.2.2 program was used to simulate light illuminance and distribution using Bangkok weather climate. The results showed that the outdoor illuminance flux affects the light intensity significantly in between 7.00 a.m. to 6.00 p.m. The amounts of light illuminance and distribution through light pipe depend on incident angle of sunlight, the material of light pipe and the area of light pipe. The analyzed and comparison the light illuminance of the use of light pipe from EnergyPlus Version 1.2.2 program will be used to construct of light pipe for further study. Results showed that light pipe had the electric energy saving approximately 15-20%.

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งด้านการผลิต การอยู่อาศัย และทุกกิจกรรมความเป็นอยู่ของมนุษย์ ซึ่งทำให้โลกของเราตกอยู่ในสภาพสังคมบริโภคทั้งสินค้า ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงาน ซึ่งจากสถานการณ์การใช้พลังงานในปัจจุบันของประเทศไทยนับวันจะมีความต้องการสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยมีข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารปี 2547 พบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบแสงสว่างมีปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 30% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดและมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารคิดเป็นร้อยละ 60% จะเห็นได้ว่าการนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้งานในส่วนของระบบแสงสว่างและระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากและยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นมาก จากข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย [2] พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงในการออกแบบและก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน วิศวกรและสถาปนิกต่างตระหนักถึงประโยชน์จากการใช้แสงธรรมชาติ

ดังนั้นการออกแบบท่อนำแสง (Light pipe) มาใช้ในการติดตั้งภายในอาคาร เพื่อจะใช้ประโยชน์ของแสงธรรมชาติในการส่องสว่างภายในบริเวณอาคาร ซึ่งการออกแบบท่อนำแสงเป็นทาง

เลือกหนึ่งของพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติที่สะอาดและสามารถแก้ปัญหาด้านพลังงานลงได้ [3] ซึ่งแหล่งพลังงานธรรมชาติที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆที่นำแสงสว่างมาใช้ภายในอาคารและยังเป็นพลังงานที่ดีที่สุด ย่อมเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการใช้พลังงานที่ได้มาจากแหล่งของพลังงานทุกรูปแบบในอนาคต เนื่องจากระบบท่อนำแสงเป็นระบบที่นำพลังงานแสงอาทิตย์จากบริเวณภายนอกอาคารนำมาใช้ทดแทนพลังงานของไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร ในการทำวิจัยนี้จะทำการออกแบบและจำลอง การใช้ระบบดังกล่าวของโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2 โดยพิจารณาทั้งในด้านของการให้แสงสว่างที่เหมาะสมภายในอาคาร การเลือกใช้วัสดุของท่อนำแสงและประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยการใช้ท่อนำแสง

2. ทฤษฎี

แสงเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีแหล่งกำเนิดของแสงจากดวงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แหล่งกำเนิดแสงทางตรง (Direct) และแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (Indirect) [4] ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงทางตรงเป็นแสงที่ส่องตรงมาจากดวงอาทิตย์ ได้แก่ แสงแดด หรือ Sunlight ที่ส่องโดยตรงสู่ยังพื้นโลก หรือแสงที่เกิดจากการสะท้อนแสงในชั้นบรรยากาศของโลก และสะท้อน หรือหักเหลงสู่พื้นโลก ส่วนแหล่งกำเนิดแสงทางอ้อมนั้นเป็นแสงที่ส่องมาจากดวงอาทิตย์ และเกิดการสะท้อน ซึ่งทำให้วัตถุนั้นเปรียบเหมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง (Secondary source) แสงที่ส่องแสงมายังโลกและเมื่อกระทบกับพื้นผิววัตถุในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามพฤติกรรม และคุณสมบัติของแสงในการดูดซึม (Absorption) การสะท้อน (Reflection) และการส่องผ่าน (Transmission) ของวัตถุที่แสงตกกระทบกับพื้นผิววัตถุ การที่นำเอาแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารนั้นเพื่อเกิดความสว่าง[5] ช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้แสงของดวงอาทิตย์ผ่านช่องแสงอาคารได้แก่ หน้าต่าง หรือช่องแสงด้านบนของหลังคา (Skylight) ซึ่งจะต้องมีการควบคุมปริมาณแสงให้มีความพอดีต่อความต้องการ และต้องมีการป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation) การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารนั้นมีวิธีหลักๆคือ

1. แสงที่เข้ามาจากทางด้านข้าง (Side lighting)
2. แสงที่เข้ามาจากทางด้านบน (Top lighting)

ดังนั้นจากหลักการพื้นฐานในการใช้แสงธรรมชาติให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดคือ การที่นำแสงเข้าสู่ตัวอาคารโดยที่หลีกเลี่ยงการใช้แสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่มากับรังสีความร้อน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดปัญหาเรื่องของความจ้าของแสง จึงต้องนำแสงเข้าสู่อาคารในลักษณะของแสงที่ตกกระทบหรือแสงกระจายทางอ้อม (Indirect diffuse light) ซึ่งเป็นการให้แสงอาทิตย์ผ่านการสะท้อนแสงและตกกระทบกับผิวสะท้อนรอบข้างจุดที่ต้องใช้สายตา จะทำให้ได้แสงที่นุ่มนวลกว่า และเกิดการเฉลี่ยของแสงบนพื้นที่ได้อย่างสม่ำเสมอ

3.การคำนวณขนาดท่อนำแสง

การศึกษานี้ได้คำนวณปริมาณความส่องสว่างภายในห้อง โดยใช้ Lumen Method [6] ซึ่งวิธีนี้ได้รวมถึงการพิจารณาค่าการสะท้อนแสงของผิวภายในห้องอีกด้วย
องค์ประกอบที่สำคัญต่อแสงธรรมชาตินั้นพิจารณา 3 ส่วนคือ
องค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component) พิจารณาจากสภาพของท้องฟ้าโปร่งหรือมีเมฆปกคลุม ซึ่งมีอิทธิพลต่อความสว่างได้
องค์ประกอบภายนอก(Extemally reflected component) พิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนวัตถุเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งปริมาณแสงที่เกิดขึ้นอยู่กับทิศทางและค่าการสะท้อนของวัตถุนั้นๆ
องค์ประกอบภายใน(Intemally reflected component) พิจารณาแสงจากการสะท้อนวัตถุภายในเมื่อได้รับแสงจากองค์ประกอบจากท้องฟ้า (Sky component) และองค์ประกอบภายนอก (Extemally reflected component: ERC) แล้วเข้าสู่พื้นที่ภายใน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับทิศทาง และค่าการสะท้อนของวัตถุหรือผิวภายในของอาคาร มีสมการคำนวณความส่องสว่าง [7] ดังนี้

$$E_i = \frac{[(Exh_{sky})(T_d) + (Exh_{sun})(TD)](N)(CU)(A)}{A_w} \quad (1)$$

โดยที่ E_i = ความส่องสว่างภายใน (lux)
Exh_{sky}=ค่าความส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้า (lux)
Td= การกระจายแสง
Exh_{sun}= ค่าความส่องสว่างภายนอกจากแสงอาทิตย์ (lux)
TD= การส่งผ่านของแสงสว่างของดวงอาทิตย์โดยตรง
N= จำนวนของท่อนำแสง
CU=ค่าสัมประสิทธิ์การใช้งาน
A= พื้นที่ของท่อนำแสง
A_w= พื้นที่ของห้องวิจัย

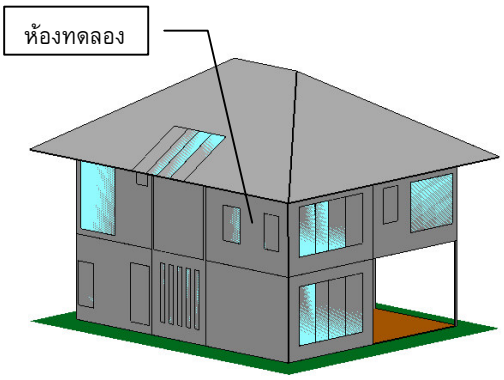
การหาขนาดท่อนำแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนึงถึงความส่องสว่างที่ใช้ในสภาวะการทำงานของคนทำงานบริเวณนั้น ซึ่งมีค่ามาตรฐานของความส่องสว่างที่เหมาะสมกับห้องที่ใช้สายตาปานกลางมีค่าเท่ากับ 300-500 lux ดังนั้นการหาขนาดของท่อนำแสงจะกำหนดความส่องสว่างให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนด เพื่อจะหาขนาดท่อนำแสงที่ใช้ติดตั้งในห้องวิจัย แสดงสมการที่ (1) การคำนวณหาขนาดของท่อนำแสงที่เหมาะสม โดยกำหนดความส่องสว่างที่ 300 - 500 lux และกำหนดจำนวนการใช้ท่อนำแสงไว้เท่ากับ 2 ชุด เพื่อให้ความส่องสว่างสามารถกระจายแสงได้ทั่วถึงทั้งภายในบริเวณห้องวิจัยและช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าอาคารได้ พบว่าผลการคำนวณหาพื้นที่ของท่อนำแสงมีค่าเท่ากับ 0.1165 ตารางเมตร หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.385 m ซึ่งขนาดของท่อนำแสงท่อนำไปจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ต่อไป

4.การคำนวณและจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus

การคำนวณหาค่าความส่องสว่าง (Luminance) และการกระจายแสงของท่อนำแสงในสภาวะภูมิอากาศของเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร สามารถช่วยในการวิเคราะห์หาจุดด้อยของระบบเพื่อใช้ทำการปรับปรุงระบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยตรง การจำลองนี้ได้ศึกษาท่อนำแสงที่ทำด้วยวัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ ท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบ Aluminum และท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบ Silver และคำนวณค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่าง โดยพิจารณางานในช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีแสงอาทิตย์มีขั้นตอนการจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus มีดังนี้

1.การป้อนกรอบอาคาร

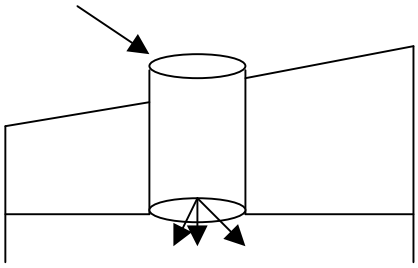
การนำรูปแบบของอาคารที่ใช้ในการทำงานวิจัยจริงมาเขียนด้วยโปรแกรม เพื่อให้มีลักษณะที่ตรงตามอาคารที่กำหนดโดยกำหนดขนาด, รูปร่างทิศทางของอาคาร, ลักษณะองค์ประกอบและวัสดุที่ใช้ในอาคารในส่วนของห้องทดลองจะใช้ห้องด้านบนของอาคาร ซึ่งกำหนดขนาดของห้องเท่ากับ 15.2 ตารางเมตร และมีผู้ปฏิบัติงานอยู่ 2 คน ในช่วงการปฏิบัติงาน 8:00 -17:00 น. และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหลอดไฟส่องสว่างทั้งหมด 4 หลอด มีค่าของการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 184W แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบอาคารของห้องทดลอง

2. การจำลองต้นแบบท่อนำแสง

การออกแบบและกำหนดการติดตั้งระบบท่อนำแสง ซึ่งมีการติดตั้งท่อนำแสง 2 ชุดด้วยกัน โดยจะทดลองจากวัสดุท่อนำแสงทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ Aluminum และ Silver จากการคำนวณต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ซึ่งจะคำนวณหาค่าความส่องสว่าง การประหยัดพลังงานไฟฟ้าและการกระจายแสงของท่อนำแสง เพื่อนำข้อมูลต่างๆที่ได้จากผลการคำนวณของโปรแกรม EnergyPlus ไปสร้างชิ้นงานและติดตั้งจริง ซึ่งลักษณะของท่อนำแสงที่ใช้ในแสดงดังรูปที่ 2

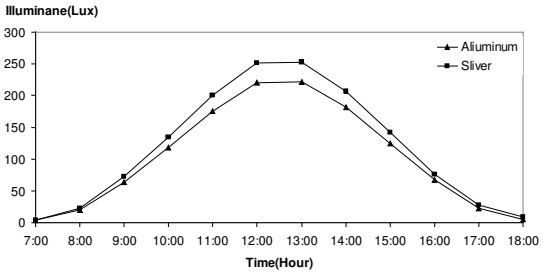


รูปที่ 2 ท่อนำแสงแบบรับแสงสว่างที่เข้ามาจากทางด้านบน

5. สรุปผลการทดลองและวิเคราะห์

5.1 ความส่องสว่างของท่อนำแสงกับเวลา

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลาที่ได้ ของวัสดุทั้ง 2 ชนิด คือ Aluminum กับ Silver แสดงดังรูปที่ 3

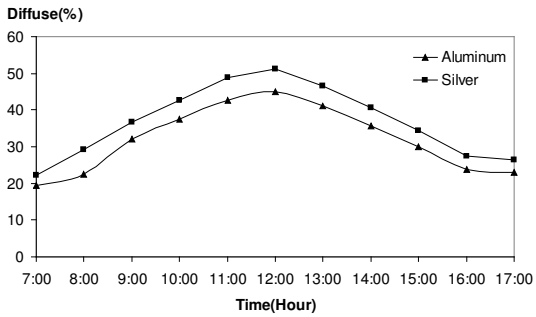


รูปที่ 3 ค่าความส่องสว่างท่อนำแสง

จากค่าความส่องสว่าง พบว่า วัสดุที่ทำท่อนำแสงแบบ Silver จะให้ค่าความส่องสว่างสูงสุดในช่วงเวลา 11:00 ถึง 13:00น. มีค่าเท่ากับ 253 lux สำหรับท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบ Aluminum มีค่าความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 200 lux ดังนั้นนำค่าความส่องสว่างทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกัน จะมีความแตกต่างของค่าความส่องสว่างอยู่ที่ 53 lux ซึ่งค่าความส่องสว่างจากการคำนวณต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus จะแปรผันกับมุมของดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบท่อนำแสง โดยมุมของดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบท่อนำแสงมีมุมมากก็จะทำให้ค่าความส่องสว่างมีค่ามากสูงขึ้น

5.2 การกระจายแสงสว่างของท่อนำแสงกับเวลา

กราฟความสัมพันธ์การกระจายแสงกับเวลาที่ได้จากต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ของวัสดุทั้ง 2 ชนิด คือ Aluminum กับ Silver แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกระจายแสงของท่อนำแสง

จากรูปที่ 4 วัสดุที่ทำท่อนำแสงแบบ Silver จะให้ค่าการกระจายแสงมากที่สุดในช่วงเวลา 10:00 ถึง 15:00น. มีค่าเท่ากับ 51.2% สำหรับท่อนำแสงแบบ Aluminum มีค่าการกระจายแสงเท่ากับ 44.9 % ดังนั้นนำค่าการกระจายแสงทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบจะมีความแตกต่างของค่าการกระจายแสงอยู่ที่ 6.3%

5.3 การประหยัดพลังงานไฟฟ้าของท่อนำแสง

การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 0.183 Kw.hr ต่อวัน ในการเปิดเพื่อให้ความส่องสว่างกับผู้ทำงานในช่วงตอนกลางวัน ดังนั้นเมื่อมีการติดตั้งระบบท่อนำแสงเข้าไปในห้องทดลอง โปรแกรม EnergyPlus พบว่า ท่อนำแสงสามารถประหยัดในส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารได้เท่ากับ 0.13 Kw.hr ต่อวัน

ดังนั้นการคำนวณต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus ที่ได้แสดงในกราฟต่างๆ พบว่า ฟลักซ์ของความสว่างภายนอกอาคารมีผลต่อปริมาณความเข้มของแสงที่ผ่านท่อนำแสงเข้ามาภายในอาคารเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 10.00 ถึง 15.00 น. สำหรับความส่องสว่างและการกระจายแสงของท่อนำแสงที่เหมาะสมขึ้นอยู่ด้วยกัน 3 ส่วนคือ (1) มุมของดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบมีมุม 70 – 110 องศา จะทำให้ปริมาณความส่องสว่างสูงขึ้นมาอีกด้วย (2) วัสดุของโครงสร้างท่อนำแสง ซึ่งผลคำนวณด้วยโปรแกรม EnergyPlus พบว่า ท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบ Silver จะดีกว่าท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบ Aluminum เพราะท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบ Silver จะมีปริมาณความส่องสว่างสูงกว่าท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบ Aluminum เฉลี่ยเท่ากับ 53 Lux และมีค่าการกระจายแสงที่แตกต่างกันเฉลี่ยเท่ากับ 6.3 % (3) ขนาดพื้นที่ของท่อนำแสง อีกทั้งจากการศึกษาพบว่า การใช้ท่อนำแสงช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงประดิษฐ์ลงได้ 15-20%

6.กิตติกรรมประกาศ

คณะทำงานขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์งบในการทำวิจัยในครั้งนี้

7.เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานแสงธรรมชาติที่AIT: 1988: ปริมาณและระดับความเข้มของแสงธรรมชาติ; 89-107

[2] http//.www.dede.go.th.ของกระทรวงพลังงาน กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน; 2547; ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

[3] ดำรงค์ บัวย้อม: 2537 การออกแบบระบบส่องสว่างภายในอาคาร: วารสารเทคนิค; 130-143

[4] Swift, P.D. and Smith, G.B: 1994.Cylindrical mirror light pipe.Solar Energy Materials and Solar Cells 36:159-168

[5] Surapong Chirarattananon , Siriwat Chedsiri and Liu Renshen : 1998.Daylighting Through Light Pipe in the Tropics.Solar Energy 69 (4):.331-341

[6] David Jenkins and Tariq Muneer; 2004.Light Pipe Prediction methods; 77-86

[7] Vu Duc Hien and Surapong Chirarattananon, 2004. Daylighting Through light pipe for Deep Interior space of Buildings with consideration of Heat gain The Joint Internatinal Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE) 1-3 December 2004; 522-529

[8] สุนทร บุญญาธิการ; 2537.การใช้แสงธรรมชาติในการอนุรักษ์พลังงานอาคาร