การใช้แสงธรรมชาติในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง.
Daylighting in Retails Stores Through Vertical Light Pipes.

วัชรินทร์ วิมานจตุรงค์[1] และ ธาริณี รามสูต[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเหมาะสมและ ความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบท่อนำแสงแนวดิ่งภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย เพื่อลดภาระการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าส่องสว่าง โดยศึกษาความส่องสว่างเฉลี่ย, Daylight Factor และปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ประหยัดได้จากการลดการใช้ไฟฟ้า การศึกษาใช้การคำนวณด้วยสูตรสมการทางคณิตศาสตร์ (Zastrow and Wittwer, 1986) เพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงแนวดิ่งและ เปรียบเทียบกับมาตรฐานความส่องสว่างของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย จากผลการทดลองพบว่า แสงภายนอกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แสงเข้าสู่ท่อนำแสงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของแสงภายนอกตกกระทบตั้งฉากกับท่อนำแสง (θ) ยิ่งมุมมีขนาดเล็กจะทำให้มีประสิทธิภาพในการนำพาแสงเข้าสู่ภายในอาคารมีค่ามากขึ้น, ขนาดหน้าตัดท่อนำแสง (d) ที่เพิ่มขึ้นในระยะความยาวท่อ (l) และการติดตั้งที่เท่ากัน ทำให้ได้ปริมาณแสงเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น, ส่วนความยาวท่อนำแสง (l) เกิดการชดเชยกันของปริมาณแสงที่ได้ 2 กรณีคือ ท่อนำแสงที่สั้นจะทำให้เกิดจำนวนครั้งในการสะท้อนแสงภายในท่อน้อยจึงลดการสูญเสียปริมาณแสงภายในท่อทำให้ได้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มากขึ้น ในขณะเดียวกันท่อนำแสงที่ยาวทำให้ลดระยะห่างระหว่างปลายท่อกับพื้นที่ทำงาน (Mounting Height) ลงส่งผลให้ความส่องสว่างเฉลี่ยมากขึ้น ผลการทดลองท่อนำแสงแนวดิ่งที่เหมาะสมคือ ขนาดหน้าตัดท่อนำแสง 0.35, 0.46, 0.53 เมตร ควรติดตั้งในความยาวท่อ 1.00 เมตร และขนาดหน้าตัดท่อนำแสง 1.00 เมตร ควรติดตั้งความยาวท่อที่ 6.00 เมตร การติดตั้งท่อนำแสงในขนาดหน้าตัดท่อที่แคบเป็นจำนวนมากจะมีประสิทธิภาพการส่องสว่างที่มากกว่าขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างแต่จำนวนที่น้อยกว่า ในด้านการประหยัดพลังงานเมื่อติดตั้งท่อนำแสงควบคู่กับแสงประดิษฐ์ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าส่องสว่างได้ 26.47% ต่อปี

ABSTRACT

This research studies the application of vertical light pipe system for retail stores in Thailand. The study aims to determine the effectiveness and energy efficiency of the system in the context of a retail store. The study investigates average illuminance in different times of the day, daylight factor and the reduction of CO_2 emission. The results of the experiments were calculated using mathematic formulas from previous research (Zastrow and Wittwer, 1986). It was found that an increase of external illuminance leads to increasing amount of internal illuminance. However the levels of internal illuminance depend largely on the angle of incidence (θ) at the time; the smaller angle, the more performance of the light pipe. The study also found that among the light

[1] นิสิตมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาลัยศิลปากร
Email: watcharin_wma@hotmail.com

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาลัยศิลปากร

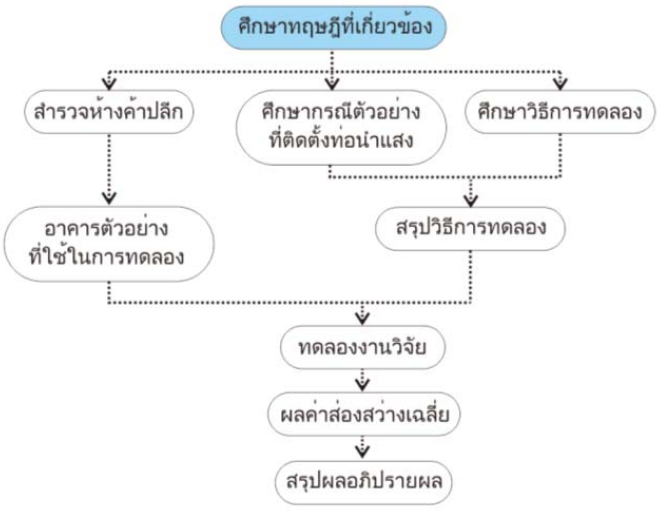
pipes of the same length (l) and same installation distance, the light pipes with larger diameters (d) can bring more light into a building. However, In addition to this, the study found that the increasing length of light pipe (l) affects the internal illuminance. The resulted illuminance was due to the balancing effects between two factors: the transmission factor and the mounting height. Shorter light pipe reduces the number of reflection within the light pipe, thereby minimizing loss light output and increasing transmission factor. Longer light pipe reduces the distance between the light diffuser into the work plane making them much more average illuminance. Therefore the suitable lengths for the vertical light pipes with diameters of 0.35, 0.46, 0.53 meters is 1.00 meter. The suitable length for light pipes with diameter 1.00 meters is 6.00 meters. In general, the study found that installing light pipes with smaller diameter in a large number works much better than installing light pipes with larger diameter in a small number. In terms of the energy efficiency, it was found that when integrated with artificial lighting system, the energy that can be saved from using light pipe system is 26.47%

คำสำคัญ: แสงธรรมชาติ ท่อนำแสง ห้างค้าปลีกขนาดใหญ่
Keywords: Daylight, Light pipe, Retail Stores

บทนำ

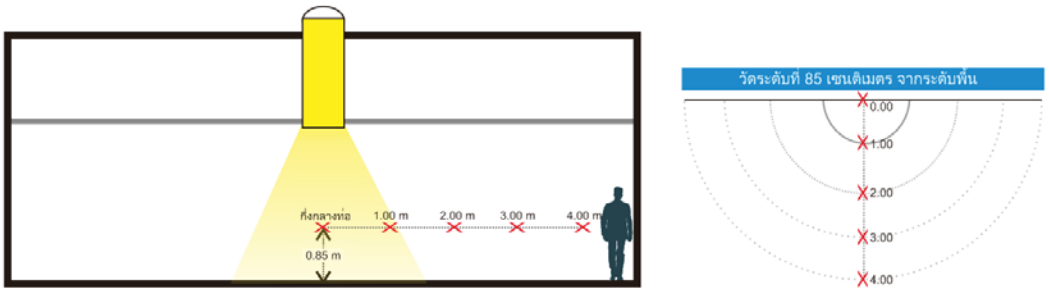
การประหยัดพลังงานควรมีการดำเนินงานเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากเทคโนโลยีที่ง่ายที่สุดคือการนำแสงธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ท่อนำแสงธรรมชาติ (Light pipe) เป็นอีกทางเลือกในการให้แสงสว่างจากภายนอกสู่ภายในอาคารเพื่อมาทดแทนการให้แสงสว่างด้วยแสงประดิษฐ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าท่อนำแสงช่วยให้อาคารสามารถใช้แสงธรรมชาติได้ในตำแหน่งที่ไม่ได้อยู่ติดกับกรอบอาคารหรือชั้นบนสุดของหลังคาและนอกจากประโยชน์ในด้านประหยัดพลังงานเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมแล้ว แสงธรรมชาติจากท่อนำแสงยังมีผลต่อพฤติกรรมความรู้สึกในเชิงบวกของมนุษย์ ทั้งในด้านของประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น 2% การมองเห็น การสัมผัสรับรู้ที่เร็วขึ้น 20% (Warren E, 1992) และจากงานวิจัยสรุปได้ว่าแสงธรรมชาติมีผลต่อสภาวะการตัดสินใจในการซื้อสินค้าในร้านค้าและ มีผลต่อยอดขายที่เพิ่มขึ้นของห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ถึง 40% (Heschong Mahone Group HMG, 1999) สำหรับอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่มีพฤติกรรมการใช้งานที่ไม่ต้องใช้สายตามาก ประกอบกับรูปแบบอาคารที่มีช่วงกว้างมีผนังส่วนที่ติดกับภายนอกน้อย ทำให้ไม่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารได้อย่างเพียงพอ และด้วยความสูงจากพื้นถึงฝ้าภายในค่อนข้างสูง จึงต้องมีการเปิดไฟฟ้าส่องสว่างตลอดทั้งวัน ท่อนำแสงจึงเป็นทางเลือกเพื่อตอบสนองต่อปัญหาการบริโภคพลังงานที่สูงและสิ้นเปลืองของการส่องสว่างในช่วงเวลากลางวัน ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้และ แนวทางในการนำท่อนำแสงมาใช้ในอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย ซึ่งท่อนำแสงสามารถช่วยลดข้อจำกัดจากกรอบอาคารในการใช้แสงธรรมชาติได้บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนแนวทาง และวิธีการต่างๆ มาใช้ในการศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพระบบท่อนำแสงเพื่อศึกษารูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่งและแนวทางการนำมาใช้ให้เหมาะสมกับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย และเปรียบเทียบปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงจากท่อนำแสงและแสงจากหลอดไฟฟ้าถึงความเหมาะสมของการประหยัดพลังงานและความคุ้มทุน

วิธีการวิจัย



ภาพที่ 1 สรุปขั้นตอนการวิจัยทั้งหมด

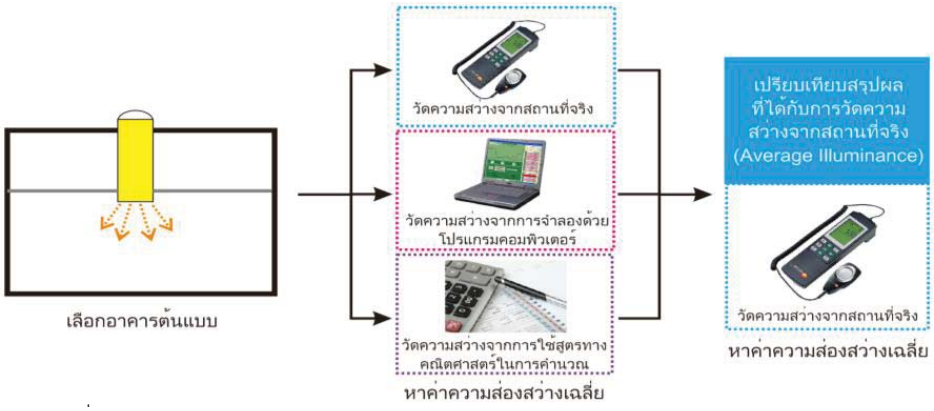
1. ศึกษากรณีตัวอย่างของอาคารที่ติดตั้งระบบท่อนำแสง



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการวัดค่าความสว่างของแสงที่ได้จากท่อนำแสงในอาคารตัวอย่าง

โดยการสำรวจลักษณะการติดตั้งและ ใช้เครื่อง Lux meter TESTO 545 ในการเข้าไปวัดถึงประสิทธิภาพความสว่างของท่อนำแสงธรรมชาติแนวดิ่งในสถานที่จริง เพื่อกำหนดอาคารต้นแบบในการทดลอง จากการวิเคราะห์อาคารที่เหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์เป็นอาคารต้นแบบในการทดลองเพื่อนำไปศึกษาถึงวิธีการหาปริมาณค่าความส่องสว่างจากท่อนำแสงด้วยวิธีการต่างต่อไปคือ อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ

2. ศึกษาการหาปริมาณค่าความส่องสว่างจากท่อนำแสงด้วยวิธีการต่างๆ



ภาพที่ 3 การหาปริมาณค่าความส่องสว่างจากท่อนำแสงด้วยวิธีการต่างๆ

2.1 การวัดค่าความส่องสว่างด้วยเครื่องมือ Lux meter TESTO 545 ในอาคารต้นแบบ โดยวัดแสงในระดับที่สูงจากพื้น 0.85 เมตร (Work plane) ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2558 เวลา 16.30 น. และสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆประมาณ 30-70% (Average Sky)

2.2 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DiaLUX evo 5.1 จำลองภายในอาคารต้นแบบ

2.3 การใช้สูตรสมการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ จากการศึกษาภายในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย 2 กรณีเพื่อทำการเปรียบเทียบ คือ กรณีที่ 1 สูตรสมการที่พัฒนาโดย Jenkins and Muneer, (2005) และ กรณีที่ 2 สูตรสมการที่พัฒนาโดย Zastrow and Wittwer, (1986) คำนวณปริมาณแสงที่ได้รับภายในอาคารต้นแบบ

จากการศึกษาวิธีการหาค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสง โดยศึกษาวิธีคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์, การคำนวณด้วยสูตรสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างกับการวัดค่าจริงในสถานที่จริง ผลที่ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตารางการเปรียบเทียบในวิธีการหาข้อมูล

วิธีการคำนวณข้อมูล	วัดค่าจริงด้วย Lux meter	DiaLUX evo 5.1	การคำนวณด้วยสูตร	
			กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย	456.44 lx	550.00 lx	430.79 lx	437.94 lx
ค่าความต่างเมื่อเทียบกับการวัดด้วย Lux meter	-	20.49 %	5.62 %	4.05 %

วิธีการคำนวณหาค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะนำมาใช้ในขั้นต่อไปของงานวิจัยคือ วิธีการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย โดยใช้สูตรตามกรณีที่ 2 ที่มีการพัฒนาโดย Zastrow and Wittwer, 1986 เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเมื่อเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมือ Lux meter อยู่ในระดับที่น้อย และสูตรที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณนั้นเป็นสูตรที่ได้มีการยอมรับและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายดังสมการที่ 1 และ 2

$$\tau = \rho^{int\frac{l\tan\theta}{d}}$$ สมการที่ 1

$$E_{pr} = \frac{n.E_{ex}.A_d.\tau.UF.MF}{A}$$ สมการที่ 2

โดยแสดงตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวแปร

τ = ผลรวมการส่องผ่านของแสงโดยคำนวณจากสูตร (ในการคำนวณใช้)

ρ = ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในท่อนำแสง (ในการคำนวณใช้ 95% หรือ ρ = 0.95)

θ = ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใดๆ (ในการคำนวณใช้)

d = ขนาดหน้าตัดของท่อนำแสงที่ติดตั้งภายในอาคาร (ในการคำนวณใช้ 69.65 องศา)

n = จำนวนของท่อนำแสงที่ติดตั้งภายในอาคาร (ในการคำนวณใช้ 1 ตัว)

E_{ex} = ค่าความส่องสว่างภายนอกอาคารที่วัดได้ (ในการคำนวณใช้ 58,800 lx)

Ad = พื้นที่ของหน้าตัดท่อนำแสงขนาด 1.10 เมตร (ในการคำนวณใช้ 0.95 m^2)

l = ความยาวท่อนำแสง (ในการคำนวณใช้ 8.40 m.)

UF = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง (Utilization Factor) (ในการคำนวณใช้ 0.49)

MF = ค่าการบำรุงรักษาในระดับความสะอาดปานกลาง (maintenance factor) (ในการคำนวณใช้ 0.72)

A = ขนาดของพื้นที่ห้องจำลอง (ในการคำนวณใช้ 16.20 m^2)

3. สำรวจลักษณะการใช้ไฟฟ้าส่องสว่างและ ค่าปริมาณแสงสว่างภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

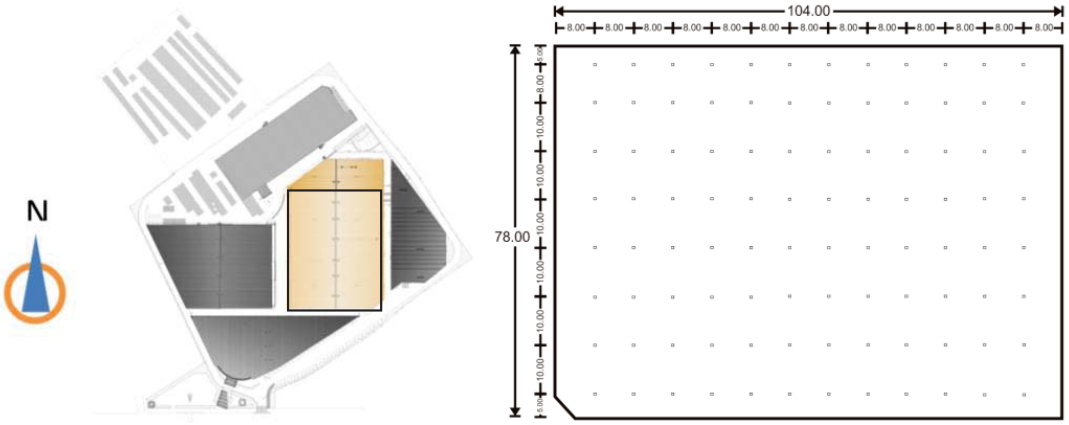
ลักษณะห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ 10 แห่งภายในกรุงเทพฯที่ทำการสำรวจคือ มีลักษณะของส่วน Retail stores ขนาดใหญ่ พื้นที่มากกว่า 10,000 ตารางเมตร ชั้นเดียวโดยมีลักษณะความสูงจากระดับพื้นถึงฝ้าประมาณ 5.00-10.00 เมตร ภายในจะมีการติดตั้งไฟฟ้าส่องสว่าง 2 ลักษณะคือ ให้แสงแบบเฉลี่ยทั่วทั้งพื้นที่ (General lighting) โดยใช้หลอดไฟ LED T5 รางคู่ ติดตั้งสูงจากพื้นอยู่ในระหว่าง 3.50-5.00 เมตร และมีการจัดดวงโคมเพื่อเน้นความสว่างเฉพาะจุดสำคัญ (Effect Lighting) หลอดไฟดาวไลท์ส่องตามจุดต่างๆ ปริมาณของแสงสว่างที่ได้รับภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ได้จากการสำรวจ โดยผู้วิจัยพบว่าค่าความส่องสว่างเฉลี่ยทั่วทั้งบริเวณ (General lighting) จะมีค่าที่ 300-1,000 lx ซึ่งมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ (มาตรฐานในการออกแบบแสงสว่างของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย 300-500 lx) ในครั้งนี้ค่าของแสงที่วัดได้อาจได้รับอิทธิพลของแสงประดับตกแต่งเข้ามาเสริมด้วย และมีห้างค้าปลีกบางรายเท่านั้นที่มีค่าความส่องสว่างที่น้อยกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้

จากการสำรวจและวิเคราะห์ห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ภายในกรุงเทพฯทำให้ได้อาคารต้นแบบที่เหมาะสมต่อการทดลองในครั้งนี้ การติดตั้งท่อนำแสงจะเป็นการติดตั้งเพื่อใช้งานในลักษณะ General lighting เพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากหลอดไฟในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 7.00-18.00 น.

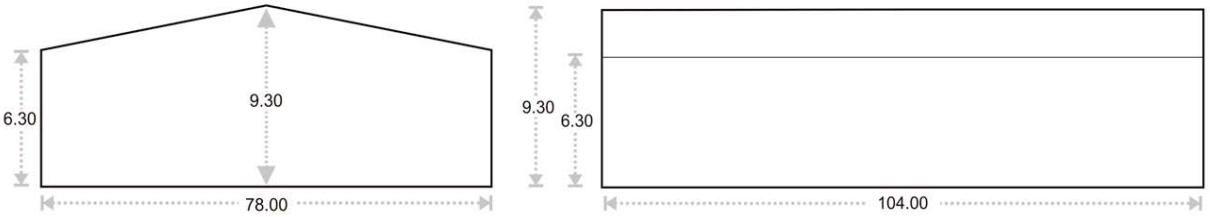
4. การทดลองงานวิจัย

4.1 ลักษณะของอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ใช้ในการวิจัย

ลักษณะทางสถาปัตยกรรมเป็นอาคารเดี่ยว ชั้นเดียว ที่มีช่วงเสา 8.00-10.00 เมตร ซึ่งงานวิจัยจะนำเฉพาะในส่วนค้าปลีก (Retail Stores) มาใช้ในการวิเคราะห์เท่านั้น พื้นที่อาคาร 78 x 104 เมตร พื้นที่รวม 8,112 ตารางเมตร มีลักษณะเป็นหลังคาจั่ว โดยระดับสูงสุดอยู่ที่ 6.30-9.30 เมตร ดังภาพที่ 4



(ก) ผังอาคารโดยรวม (ข) ผังอาคารห้างค้าปลีกที่ใช้ในการทดลอง

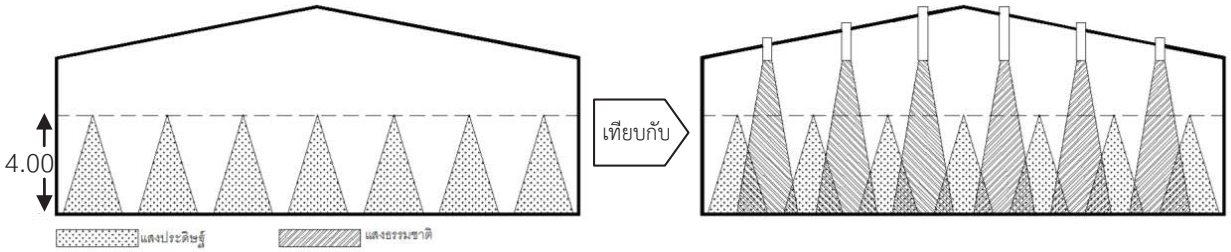


(ค) ระดับความสูงของอาคาร (ง) ระดับความสูงของอาคาร

ภาพที่ 4 ลักษณะของอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ที่ใช้ในการวิจัย

4.2 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้ภายในอาคาร

ภายในอาคารได้มีการใช้หลอด T5 Osram 28 W รางคู่ สำหรับเป็นไฟฟ้าส่องสว่างทั่วทั้งพื้นที่ (General Light) และในการวิจัยจะคิดระยะเวลาในการชดเชยแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟด้วยแสงธรรมชาติจากท่อนำแสงในช่วงเวลา 7.00-18.00 น. เพื่อใช้ในการคิดคำนวณถึงพลังงานที่ประหยัดได้ โดยการติดตั้งท่อนำแสงจะอยู่เหนือหลอดไฟประดิษฐ์โดยท่อนำแสงจะมีระยะความยาวท่อตั้งแต่ 1.00-6.00 เมตร ซึ่งเป็นระยะความยาวท่อที่สั้นที่สุดจนถึงระยะความยาวท่อที่ยาวอยู่ในระดับใกล้เคียงกับหลอดไฟประดิษฐ์ ดังภาพที่ 5

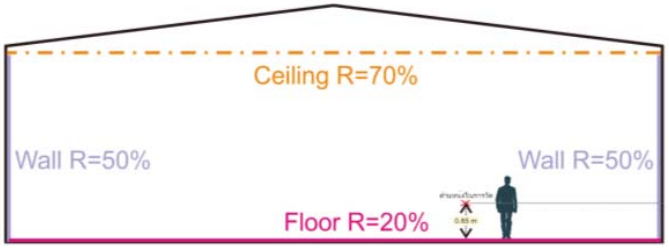


(ก) ใช้แสงประดิษฐ์เต็มเวลาเปิดทำการ (ข) ใช้แสงประดิษฐ์ควบคู่แสงธรรมชาติจากท่อนำแสงในช่วง 7.00 – 18.00 น.

ภาพที่ 5 ภาพลักษณะการติดตั้งระบบไฟฟ้าส่องสว่างและท่อนำแสงภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่

4.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคาร (Utilization Factor)

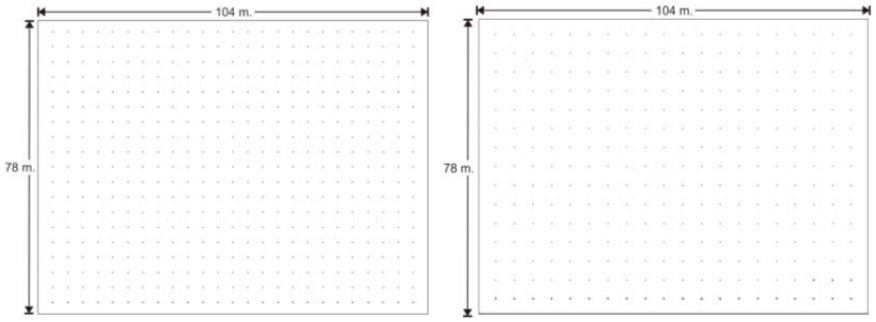
ในครั้งนี้จะคิดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงภายในอาคารจาก 2 ส่วนที่มีผลโดยตรงคือ จากตำแหน่งการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติ (แหล่งกำเนิดแสง) โดยคิดจากส่วนปลายท่อนำแสง (ส่วนกระจายแสง) ถึงระดับที่ใช้วัดค่าความส่องสว่าง 0.85 เมตร จากระดับพื้นภายในอาคาร (Work plane) อีกส่วนคือ ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวภายในห้อง คิดจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงส่วน พื้น ผนังและฝ้าภายในอาคารดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวห้องห้องภายในอาคารและ ระยะในการวัดค่าความส่องสว่างที่ 0.85 เมตร

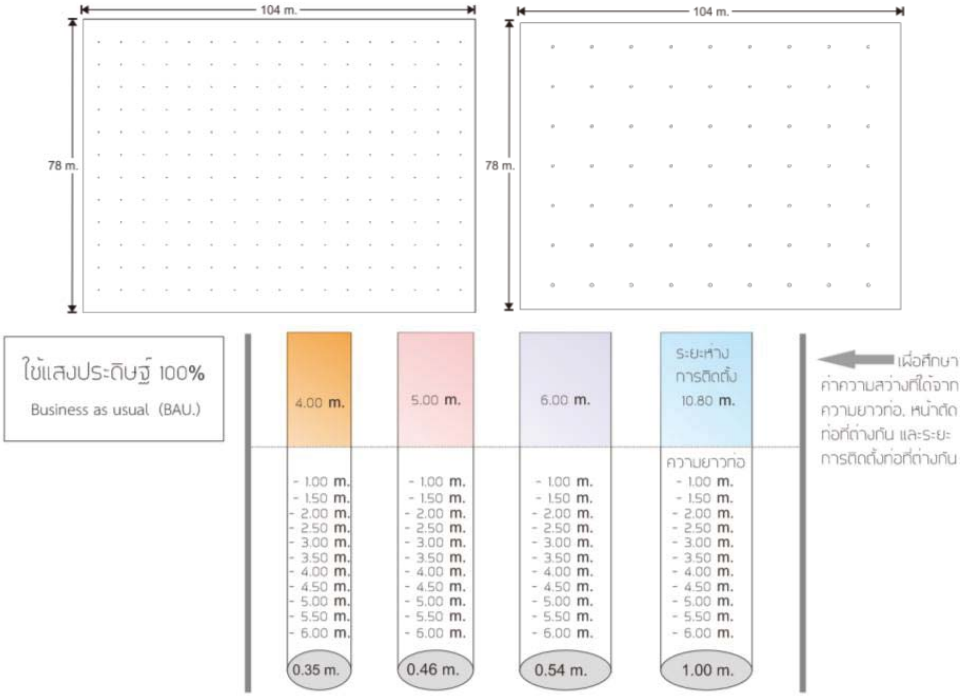
5. รูปแบบการทดลอง

5.1 การทดลองกรณีการติดตั้งท่อนำแสงแนวดิ่งรูปแบบต่างๆ ในระยะห่างการติดตั้งที่ต่างกัน โดยขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่ต่างกัน คือ 0.35, 0.46 และ 0.54 เมตร (ขนาดท่อที่ขายตามท้องตลาด) และขนาดหน้าตัดท่อ 1.00 เมตร (กำหนดเพื่อการทดลอง) โดยในการวิจัยได้กำหนดระยะห่างในการติดตั้งระหว่างท่อนำแสงที่ต่างกันเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างท่อนำแสงกับปัจจัยแสงภายนอกอาคาร ขนาดหน้าตัดท่อ และความยาวของท่อนำแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพความส่องสว่างเฉลี่ย (Average Illuminance) ภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ และทดลองระยะเวลาเป็นรายปีเพื่อหารูปแบบการติดตั้งที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการลงทุนดังนี้



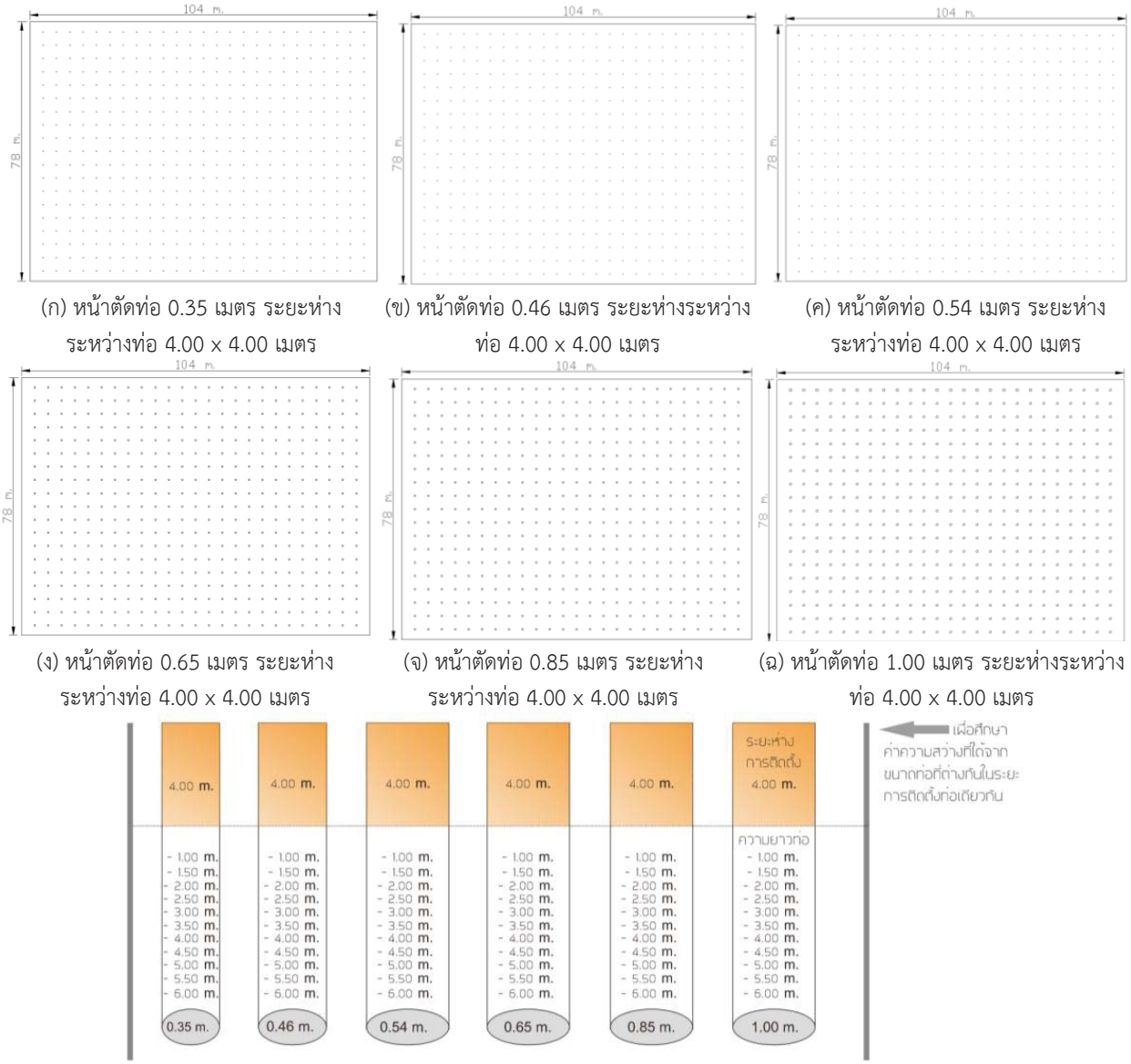
(ก) หน้าตัดท่อ 0.35 เมตร ระยะห่างระหว่างท่อ 4.00 x 4.00 เมตร

(ข) หน้าตัดท่อ 0.46 เมตร ระยะห่างระหว่างท่อ 5.00 x 5.00 เมตร



ภาพที่ 7 สรุปรูปแบบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 1

5.2 การทดลองกรณีติดตั้งท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ โดยใช้ระยะห่างที่เท่ากัน โดยกำหนดระยะการติดตั้งท่อทุกขนาดหน้าตัดท่อคือ ท่อขนาดหน้าตัด 0.35, 0.46 และ 0.54 เมตร (ขนาดท่อที่ขายตามท้องตลาด) และขนาดหน้าตัดท่อ 0.65, 0.85, 1.00 เมตร (กำหนดเพื่อให้เห็นระดับการเปลี่ยนแปลงของผลการทดลองที่ชัดเจนยิ่งขึ้น) ในระยะที่เท่ากัน 4.00 x 4.00 เมตร เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดหน้าตัดท่อที่เปลี่ยนไปและ ระดับความยาวท่อที่เปลี่ยนไปที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของค่าความส่องสว่างเฉลี่ยดังนี้



ภาพที่ 8 สรุปรูปแบบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง 2

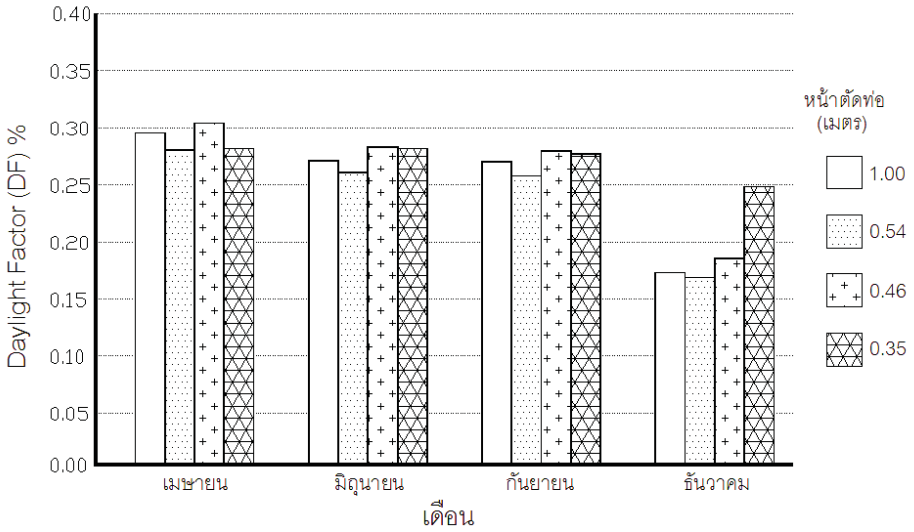
โดยในงานวิจัยจะใช้วิธีการคำนวณหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ย โดยใช้สูตรสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีการพัฒนาโดย Zastrow and Wittwer, 1986 ดังสมการที่ 1 และ 2

6. ผลการวิจัย

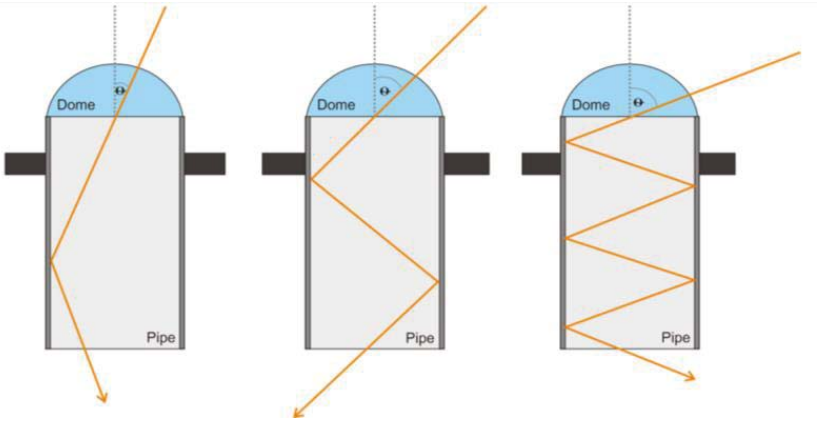
6.1 ผลการทดลองกรณีการติดตั้งท่อนำแสงแนวดิ่งรูปแบบต่างๆ ในระยะห่างการติดตั้งที่ต่างกัน (หัวข้อ 5.1)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างภายนอกกับภายใน ค่าความส่องสว่างภายนอกมีผลกับแสงสว่างภายในโดยตรงและมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงภายในต่อภายนอกค่อนข้างคงที่ในทุกขนาดหน้าตัดท่อ และมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเดือน

ธันวาคมมีค่าความส่องสว่างที่น้อยกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ประมาณ 50% จากความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้ของช่วงเดือนอื่นๆ ทั้งนี้เป็นผลมาจากมุมตำแหน่งองศาของดวงอาทิตย์ (Altitude angle) ที่ส่งมายังท่อนำแสงที่ต่ำกว่าเดือนอื่นๆ ทำให้มีจำนวนการสะท้อนแสงมากจึงเกิดการสูญเสียปริมาณแสงมาก และจากภาพที่ 9 ในขนาดหน้าตัดท่อที่ 0.35 เมตร นั้นมีค่า Daylight Factor ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันที่สุดในทุกๆเดือนทั้งนี้เป็นผลมาจากการติดตั้งด้วยระยะห่างที่ค่อนข้างน้อยและจำนวนท่อที่มากกว่าขนาดหน้าตัดท่ออื่นๆ ซึ่งทำให้มีค่าความส่องสว่างที่ค่อนข้างเสถียร



ภาพที่ 9 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Daylight Factor ในแต่ละเดือนของท่อนำแสงขนาดต่างๆ

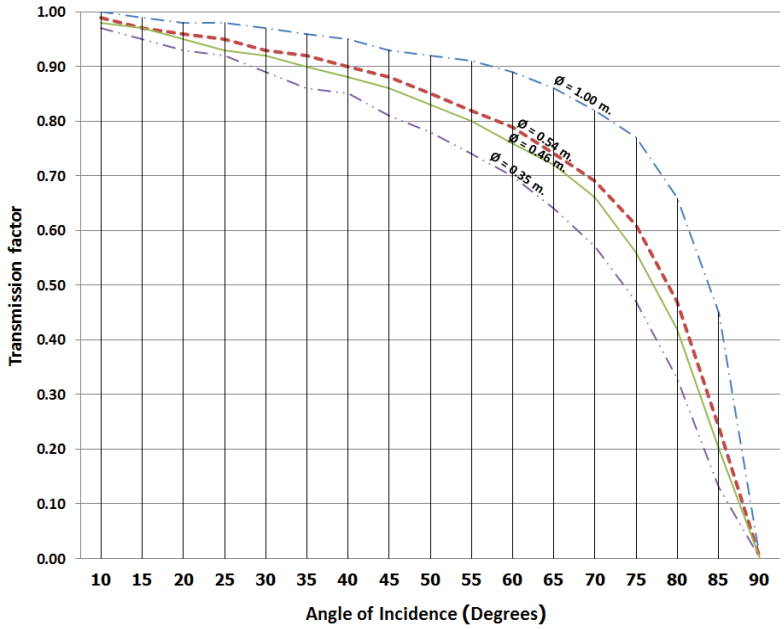


(ก) เวลา 12.00 น. (ข) เวลา 9.00 น. (ค) เวลา 6.00 น.

ภาพที่ 10 แสดงมุมองศาของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อท่อปริมาณแสงในท่อนำแสง

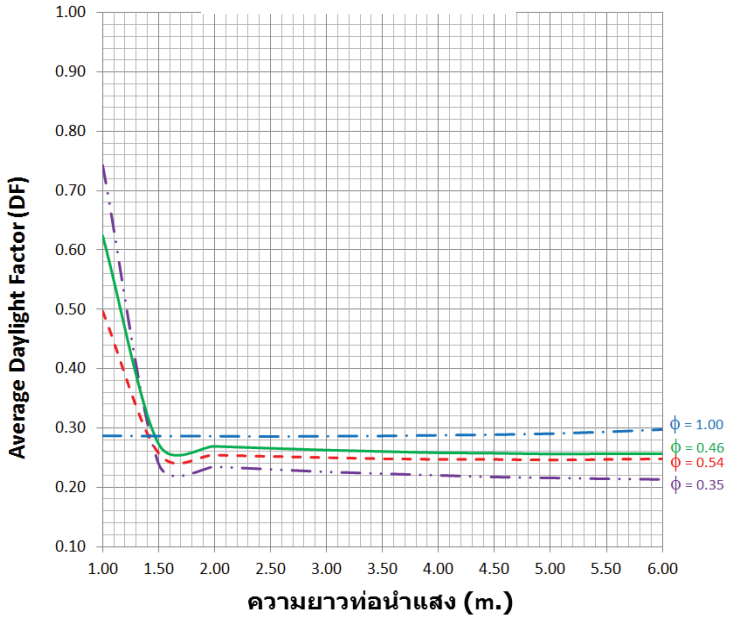
(1) มุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ต่อค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) จากการทดลองพบว่ามุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ยิ่งเล็กยิ่งส่งผลให้ค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) มากขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเกิดจากมุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสงที่เล็กทำให้จำนวนครั้งในการสะท้อนภายในท่อน้อย จึงเกิดการสูญเสียปริมาณแสงในการสะท้อนน้อย จึงทำให้แสงเข้าสู่อาคารได้มากดังภาพที่ 10 และช่วงเวลาที่มุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสงได้ดีที่สุดคือช่วงเวลา 11.00-13.00 น.

จากภาพที่ 11 จะสังเกตได้ว่าขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่ต่างกัน ทำให้มีรูปแบบกราฟมุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ต่อค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) ที่ต่างกันออกไป โดยท่อขนาดหน้าตัด 1.00 เมตร จะมีค่าการส่องผ่านของแสงรวมที่สูงที่สุดและ ตามด้วย 0.54, 0.46, 0.35 เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดหน้าตัดท่อเป็นตัวแปรในการรับปริมาณแสงสว่างจากภายนอกซึ่งขนาดหน้าตัดท่อที่ใหญ่กว่ามีพื้นที่ในการรับแสงที่มากกว่าก็จะสามารถรับปริมาณแสงสว่างจากภายนอกมาสู่ภายในได้มากกว่าจึงทำให้มีค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) ที่มากกว่า และค่อยๆลดตามขนาดหน้าตัดท่อที่เล็กลง



ภาพที่ 11 แสดงมุมองศาของแสงที่เข้าสู่ท่อนำแสง (Incident angle, θ) ต่อค่าการส่องผ่านของแสงรวม (Transmission factor) ในหน้าตัดท่อขนาดต่างๆ

(2) ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าตัดท่อ ความยาวท่อ และความส่องสว่างภายใน ผลที่ได้ในการติดตั้งระยะห่างท่อนำแสง ตามที่กำหนดในการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงหน้าตัดขนาดต่างๆ ติดตั้งตามรูปแบบที่ต่างกันกับความยาวท่อนำแสง 1.00-6.00 เมตร โดยคิดจากปริมาณแสงที่ได้เฉลี่ยทั้งปี

ผลการศึกษาพบว่าขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่เพิ่มขึ้นในระยะความยาวท่อและการติดตั้งที่เท่ากันทำให้ได้ปริมาณแสงเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น (ภาพที่ 13) แต่เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 12 ผลการของการติดตั้งท่อนำแสงในขนาดหน้าตัดท่อที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้นด้วย อาจเกิดจากการติดตั้งท่อนำแสงในระยะห่างและจำนวนท่อที่ไม่เท่ากันตามระยะการติดตั้งที่กำหนด ขนาดหน้าตัดท่อที่เพิ่มขึ้นระยะการติดตั้งท่อจะยิ่งห่างออกไปตามลำดับ ทำให้จำนวนท่อในการติดตั้งลดลงค่าความส่องสว่างจึงลดลง จึงสรุปได้ว่าการกำหนดระยะติดตั้งท่อนำแสงที่กำหนดมีค่าความส่องสว่างที่ได้ใกล้เคียงกันเนื่องจากกราฟของผลการทดลองที่ออกมามีค่า Daylight Factor ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในทุกขนาดหน้าตัดท่อที่ใช้ในการทดลอง

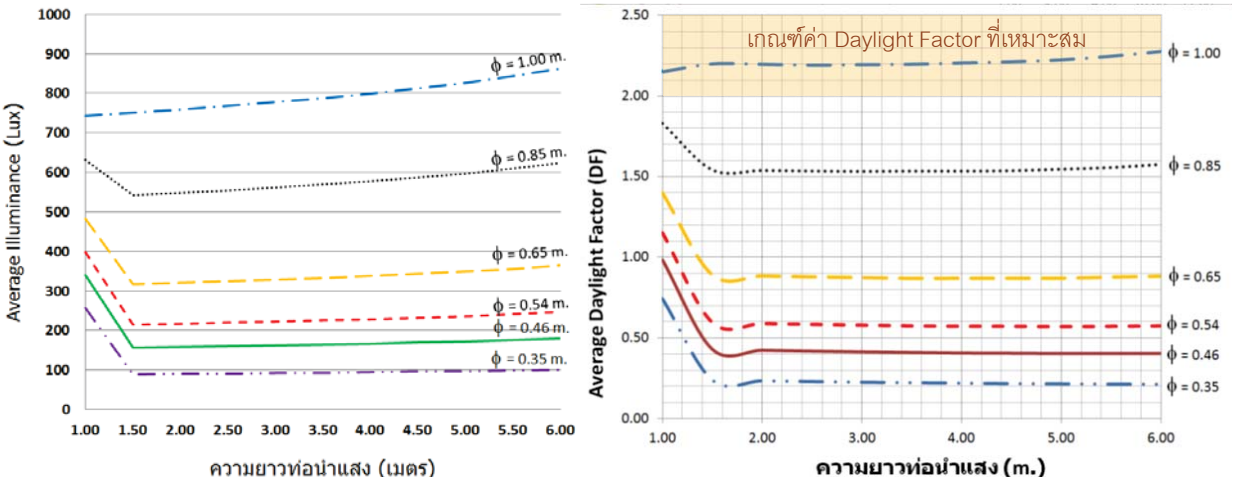
สรุปได้ว่าความสัมพันธ์ของขนาดหน้าตัดท่อกับความยาวท่อมีผลต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้ ดังภาพที่ 12 เมื่อสังเกตจากกราฟจะเห็นได้ว่าการติดตั้งท่อนำแสงที่มีหน้าตัด 0.35, 0.46, 0.54 เมตร จะได้รับปริมาณแสงที่มากเมื่อใช้ความยาวท่อ 1.00 เมตร อย่างเห็นได้ชัด เมื่อความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนปริมาณของแสงที่ได้ภายในอาคารลดลงจากช่วงความยาวท่อ 1.00 เมตร เป็น 40-50% โดยผลที่ได้จากความยาวท่อ 1.50-6.00 เมตร จะมีอัตราส่วนของแสงที่ได้อยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นหน้าตัดท่อขนาด 1.00 เมตร ซึ่งค่าของกราฟค่อนข้างที่จะคงที่และปริมาณของแสงที่ได้ในช่วงความยาวท่อที่ 1.00 เมตร มีปริมาณที่น้อยที่สุดแต่กลับค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อความยาวท่อเพิ่มขึ้น และมีปริมาณของแสงที่มากที่สุดในช่วงความยาวท่อ 6.00 เมตร ซึ่งมีแนวโน้มของผลการทดลองต่างจากหน้าตัดท่อขนาด 0.35, 0.46, 0.54 ที่มีค่า Daylight Factor สูงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อติดตั้งโดยใช้ท่อยาว 1.00 เมตร แต่อย่างไรก็ต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ขั้นต่ำจะต้องมีค่ามากกว่า 2% โดยคิดเป็น 80% ของพื้นทั้งหมดภายในห้างค้าปลีก (BREEAM, 2011)

(3) ระยะและจำนวนท่อนำแสงในการติดตั้ง การติดตั้งจำนวนท่อที่มากกว่าเปรียบได้กับการเพิ่มตำแหน่งส่วนกระจายแสงหรือแหล่งกำเนิดแสงที่มากกว่า ทำให้ปริมาณค่าความส่องสว่างที่ได้มากขึ้น ซึ่งการติดตั้งใน

จำนวนท่อที่มากจะได้ปริมาณแสงที่มากและลดลงตามลำดับจำนวนท่อที่ติดตั้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร, (2550) ซึ่งการติดตั้งท่อนำแสงควรมีระยะห่างที่เหมาะสม เช่น ระยะห่างระหว่างพื้นที่ทำงานกับท่อนำแสงห่างกันมาก ต้องใช้ท่อนำแสงจำนวนมากขึ้น หรือถ้าระยะห่างระหว่างพื้นที่กับท่อนำแสงน้อยเกินไป ต้องลดขนาดท่อนำแสงลงเพื่อให้ได้แสงที่มีความสม่ำเสมอและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 ผลการทดลองในกรณีการติดตั้งท่อนำแสงรูปแบบต่างๆ โดยใช้ระยะห่างที่เท่ากัน (หัวข้อ 5.2)

เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความส่องสว่างเมื่อเพิ่มหน้าตัดท่อนำแสงในการติดตั้งด้วยระยะที่เท่าๆ กันในความยาวท่อที่ต่างกัน จึงทำการทดลองโดยกำหนด หน้าตัดท่อ 0.35, 0.46, 0.54, 0.65, 0.85, 1.00 เมตร เพื่อเห็นระดับความเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของแสงในขนาดท่อที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น รูปแบบการติดตั้งระยะห่างของท่อนำแสงในระยะห่างท่อที่เท่ากันคือ 4.00 x 4.00 เมตร ในช่วงเดือนเมษายน เวลา 12.00 น. (ตามภาพที่ 10) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สามารถเห็นแนวโน้มของปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงได้ชัดเจนดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของหน้าตัดท่อต่อความยาวท่อนำแสงที่ติดตั้งระยะห่าง 4.00 x 4.00 เมตร และ พฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่า Daylight Factor (DF)

เมื่อเพิ่มขนาดหน้าตัดท่อนำแสง ค่าความส่องสว่างที่ได้จะเพิ่มขึ้น ในความยาวท่อนำแสงที่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเกิดจากขนาดหน้าตัดท่อนำแสงที่กว้างขึ้นสามารถเพิ่มพื้นที่ในการรับแสงจากภายนอกทำให้มีปริมาณแสงสว่างเข้าสู่ภายในได้มากกว่าท่อที่มีขนาดเล็กกว่า

แต่เมื่อเพิ่มความยาวท่อนำแสงนั้น ค่าความส่องสว่างที่ได้จากท่อนำแสงจะมีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงที่ต่างออกไปตามหน้าตัดของท่อนำแสง ในกรณีที่ขนาดหน้าตัดท่อนำแสงมีขนาดไม่เกิน 0.85 เมตร การเปลี่ยนแปลงของค่าความส่องสว่างจะเป็นลักษณะที่ความส่องสว่างสูงที่สุดเมื่อติดตั้งที่ความยาวท่อ 1.00 เมตร และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นเป็น 1.50 เมตร และความส่องสว่างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความยาวท่อถึง 6.00 เมตร ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากขนาดหน้าตัดท่อนำแสงและ ความยาวของท่อนำแสง ในกรณีที่ท่อนำแสงมีขนาดเล็กทำให้ส่วนโดมรับแสงรับปริมาณแสงที่ส่งผ่านมายังท่อนำแสงค่อนข้างน้อยกว่าขนาดหน้าตัดท่อที่ใหญ่กว่าตามลำดับ ส่วนในกรณีผลของแสง ที่เกิดจากความยาวท่อสามารถอธิบายได้ 2 สาเหตุคือ เมื่อท่อนำแสงมีความยาวของท่อที่สั้นส่งผลให้เกิดการสะท้อนภายในท่อที่น้อยทำให้การสูญเสียแสงภายในท่อน้อย แต่ท่อนำแสงที่สั้น

นั้นจะส่งผลให้ระยะห่างระหว่างปลายท่อกับพื้นผิวทำงานที่มากกว่าทำให้วัดปริมาณแสงได้ค่าที่น้อยลงโดยผลที่เกิดจากความยาวท่อทั้ง 2 สาเหตุเกิดจากการซดเซยกันของแสงทำให้ลักษณะของกราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่าความส่องสว่างเฉลี่ย ในช่วงความยาวท่อที่ 1.50-6.00 เมตร มีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นท่อนำแสงที่มีขนาดหน้าตัดที่เล็กเหมาะสมที่จะติดตั้งด้วยความยาวท่อที่สั้นเพื่อลดการสูญเสียของปริมาณแสงที่ได้โดยสังเกตได้จากกราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมของแสงจากแนวโน้มค่าความส่องสว่างเฉลี่ย สอดคล้องกับงานวิจัยของ บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร, 2550 ซึ่งท่อนำแสงที่มีขนาดที่สั้นจะให้ปริมาณแสงสว่างที่มากแต่แสงไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอ อาจใช้งานกับแสงประดิษฐ์เพื่อให้แสงสว่างมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น ส่วนท่อที่มีความยาวนั้นมีปริมาณแสงที่ได้น้อยกว่าแต่แสงที่ได้จะมีความสม่ำเสมอมากกว่า

เมื่อท่อมีขนาดหน้าตัดที่ใหญ่ขึ้นเป็นขนาด 1.00 เมตร ความยาวท่อจึงมีผลในการช่วยเพิ่มปริมาณค่าความส่องสว่างของแสงได้เมื่อสังเกตจากภาพที่ 13 ทำให้เห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความยาวท่อนำแสงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดหน้าตัดท่อที่กว้างทำให้ส่วนโดมรับแสงสามารถรับปริมาณแสงจากภายนอกได้ค่อนข้างมากและ ความยาวท่อที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะห่างระหว่างท่อกับพื้นที่ทำงานลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ บริรักษ์ อินทรกุลไชย, ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์, (2552). ภิษโญ ชุมมณี, (2549) และ ศิวดล อุปพงษ์, ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, (2556) ซึ่งหน้าตัดท่อนำแสงขนาดใหญ่กว่าจะสามารถนำพาแสงได้ในปริมาณที่มากกว่า

6.3 รูปแบบการใช้งานระบบท่อนำแสงที่เหมาะสมสำหรับห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ สำหรับกรณีการติดตั้งโดยใช้ระยะห่างการติดตั้งที่ต่างกันตามที่กำหนดไว้

(1) ท่อนำแสงขนาดหน้าตัด 0.35, 0.46, 0.54 เมตร (ขนาดท่อที่ขายตามท้องตลาด) หากติดตั้งระยะห่างระหว่างท่อนำแสงตามที่กำหนดไว้นั้น ควรติดตั้งในความยาวท่อที่ 1.00 เมตร ซึ่งเป็นการติดตั้งที่ได้ปริมาณค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่มากที่สุด

(2) ส่วนท่อนำแสงขนาดหน้าตัด 1.00 เมตร (กำหนดเพื่อการทดลอง) ควรติดตั้งในความยาวท่อที่ 6.00 เมตร การพิจารณาติดตั้งท่อนำแสงในอาคารนั้นอาจต้องพิจารณาระยะการติดตั้งตามข้อจำกัดของงานระบบอื่นๆ บนฝ้าเพดานในส่วนที่จะทำการติดตั้ง เช่น ระบบปรับอากาศ, ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง, ระบบป้องกันอัคคีภัย เป็นต้น ตามตารางที่ 2

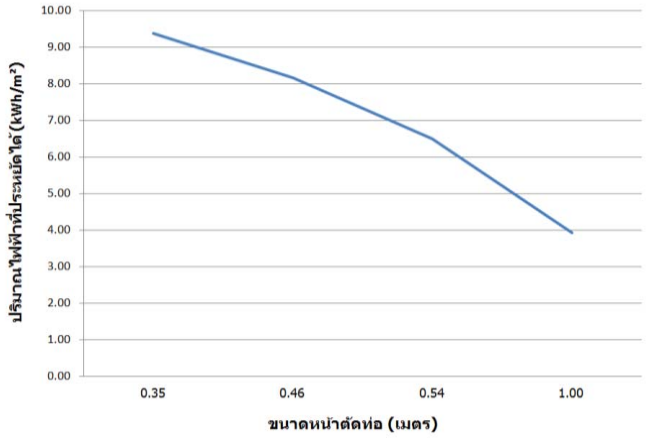
ตารางที่ 2 สรุปรูปแบบท่อนำแสงที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารประเภท ห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย

หน้าตัดท่อนำแสง (m)	ความยาวท่อ (m)	ระยะห่างระหว่างท่อ (m)	จำนวนท่อที่ติดตั้ง	ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสง (lux)	งบประมาณในการลงทุน (บาท)	หน่วยไฟฟ้าที่ประหยัดได้/ปี (kWh)	ประหยัด/ปี (บาท)	ระยะคืนทุน (ปี)	ช่วยลด Co_2 (kg)
0.35	1.00	4.00 x 4.00	473	21-256	11,825,000	76,069.86	350,880	34	42,675
0.46	1.00	5.00 x 5.00	300	18-215	10,500,000	66,224.13	305,412	34	37,152
0.54	1.00	6.00 x 6.00	204	14-172	9,180,000	52,726.62	243,168	38	29,580
1.00	6.00	10.80 x 10.80	63	4-115	-	31,824.87	146,727	-	17,854

*หมายเหตุ : ขนาดหน้าตัดท่อนำแสง 1.00 เมตร ไม่สามารถคิดราคาได้ เนื่องจากต้องสั่งผลิตเป็นพิเศษ

6.4 การลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

จากตารางที่ 2 ทำให้เห็นได้ว่าการชดเชยแสงสว่างในพื้นที่ใช้งานเมื่อเทียบกับมาตรฐานระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย พบว่าแสงที่ได้จากการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาตินั้นอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้ต้องใช้ควบคู่กับแสงประดิษฐ์เพื่อประสิทธิภาพของแสงสว่างที่เพียงพอต่อการใช้งานจริง ระบบท่อนำแสงธรรมชาตินั้นสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของไฟฟ้าส่องสว่างได้ถึง 26.47% ต่อปี และยังช่วยลดปริมาณการเกิดของก๊าซคาร์บอนจากการผลิตไฟฟ้าได้มากถึง 42,675 กิโลกรัมต่อปีอย่างไรก็ตามหากมองในมุมธุรกิจกับการลงทุนซึ่งการติดตั้งระบบท่อนำแสงทั่วทั้งอาคารนั้นมีระยะคืนทุน 34 -38 ปี เป็นช่วงเวลาที่ยาว ดังนั้นการพิจารณาติดตั้งท่อนำแสงจึงอาจมีอุปสรรคอันเนื่องมาจากราคาในปัจจุบันที่ยังสูงอยู่หากในอนาคตระบบท่อนำแสงได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น แนวโน้มของราคาและ ค่าติดตั้งอาจต่ำลง อาจทำให้ระบบท่อนำแสงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าส่องสว่าง แต่ในปัจจุบันที่ราคายังสูงอยู่อาจทำได้โดยการเลือกติดตั้งเฉพาะส่วนที่สำคัญๆ ให้เหมาะสมต่อการใช้งานภายในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ได้



ภาพที่ 14 แสดงปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ในท่อนำแสงขนาดหน้าตัดต่างๆ (ความยาวท่อที่เหมาะสม) ต่อพื้นที่

ในกรณีที่ผลิตท่อนำแสงด้วยผู้รับเหมาภายในประเทศจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตและติดตั้งได้มากกว่าการสั่งท่อนำแสงจากบริษัทผู้ผลิตโดยตรง โดยการสั่งผลิตท่อนำแสงที่มีลักษณะที่กำหนดไว้ในการทดลองโดยผู้รับเหมาดังตารางที่ 3 แต่ในกรณีที่ผลิตท่อนำแสงด้วยผู้รับเหมาจะต้องคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปดังนี้คือ ข้อดีคือ สามารถสั่งทำขนาดท่อนำแสงในหน้าตัดที่ต้องการได้, ราคาถูกกว่ามาก และ ข้อเสียคือ ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบท่อนำแสงจะน้อยลงตามค่าความสะท้อนภายในท่อที่เป็นไปตามวัสดุที่ผลิต

ตารางที่ 3 แสดงราคาท่อนำแสงของผู้รับเหมาภายในประเทศไทยเทียบกับบริษัทผู้ผลิตโดยตรง

ความยาวท่อ (m)	ขนาดหน้าตัดท่อ/ราคารวมค่าติดตั้ง							
	0.35		0.46		0.54		1.00	
	บริษัท	ผู้รับเหมา	บริษัท	ผู้รับเหมา	บริษัท	ผู้รับเหมา	บริษัท	ผู้รับเหมา
1.00	25,000	4,870	35,000	4,870	45,000	4,870	-	8,740
2.00	28,000	4,870	39,000	8,740	50,000	8,740	-	16,480
3.00	31,000	8,740	43,000	12,610	55,000	12,610	-	24,220
4.00	34,000	8,740	47,000	16,480	60,000	16,480	-	31,960
5.00	37,000	12,610	51,000	20,350	65,000	20,350	-	39,700
6.00	40,000	12,610	55,000	24,220	70,000	24,220	-	47,440

หมายเหตุ: การคิดราคาผลิตท่อนำแสงโดยผู้รับเหมาได้รวมค่า วัสดุ, ค่าภาษี, ค่าการสั่งทำส่วนรับแสงและกระจายแสงของท่อนำแสง, ค่าติดตั้ง ในปี พ.ศ. 2559

สรุปและ ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยถึงการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ในประเทศไทย อย่างมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานและการลงทุน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ การติดตั้งรูปแบบท่อนำแสงตามระยะที่กำหนดในการทดลอง และการติดตั้งรูปแบบท่อนำแสง ในระยะที่เท่ากันคือ 4.00 x 4.00 เมตร มาใช้ในการทดลองและคำนวณด้วยสูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยภายในที่ได้จากท่อนำแสง มาเพื่อชดเชยการใช้พลังงานจากไฟฟ้าส่องสว่าง จากผลของการทดลองทำให้เห็นได้ว่าการติดตั้งระบบท่อนำแสงสามารถนำมาใช้กับอาคารประเภทห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ได้จริง โดยคิดเป็นพลังงานที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 78,816 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็นเงิน 350,880 บาทต่อปี และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพลังงานไฟฟ้าส่องสว่างที่ประหยัดได้ 26.47% ต่อปี นอกจากนั้นยังช่วยลดปริมาณการเกิดของก๊าซคาร์บอนในการผลิตไฟฟ้าได้มากถึง 42,675 กิโลกรัมต่อปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบในการติดตั้งท่อนำแสงที่เหมาะสมกับลักษณะของอาคารและการใช้งานในกิจกรรมนั้นๆ

จากการทดลองโดยท่อนำแสงที่เหมาะสมในการติดตั้งในอาคารห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ขนาด 78.00 x 104.00 เมตร ระยะจากพื้นถึงฝ้า 9.30 เมตร คือติดตั้งท่อนำแสงที่ระยะความยาวท่อ 1.00 เมตร หน้าตัดท่อนำแสงขนาด 0.35, 0.46, 0.54 เมตร (ติดตั้งตามระยะที่กำหนด) ตามลำดับ จากการวิจัยระยะความยาวท่อนำแสงมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแสงที่ได้โดยระยะความยาวท่อตั้งแต่ 1.50-6.00 เมตร มีค่าความส่องสว่างภายในที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยประมาณ 1-15 lx ซึ่งอยู่ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับมูลค่าในการลงทุน ในภาพรวมของการทดลองการติดตั้งระบบท่อนำแสงภายในอาคารห้างค้าปลีกตัวอย่างนั้นมีระดับความส่องสว่างต่ำกว่ามาตรฐานในส่วนของความต้องการแสงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมการใช้งานตลอดเวลาควรใช้แสงประดิษฐ์ควบคู่กับแสงธรรมชาติ เพื่อให้มีความส่องสว่างที่เหมาะสมกับความต้องการ

สำหรับการวิจัยการติดตั้งระบบท่อนำแสงธรรมชาติภายในอาคารตัวอย่างห้างค้าปลีกขนาดใหญ่นั้น มีระยะเวลาในการศึกษาที่จำกัด มีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางการวิจัยเพิ่มเติม การหาค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ได้รับเมื่อใช้ระบบท่อนำแสง (uniformity) ควรมีการทดลองและเก็บข้อมูลปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ในสถานที่จริงมาใช้ในการทดลองถึงปริมาณแสงที่ได้ภายในผ่านท่อนำแสง เนื่องจากการวัดค่าความส่องสว่างแสงจากสถานที่จริงอาจจะ

วัดค่าปริมาณแสงสว่างที่ได้จากภายนอกในปริมาณที่มากกว่าค่าเฉลี่ย (Mean) ในการทดลองนี้ และการวัดค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงยังได้คำนึงถึงปัจจัยภายนอกรอบข้างที่อาจมีผลต่อปริมาณแสงได้อย่างแท้จริง เช่น สีของอาคารข้างเคียง, ขนาดและเงาที่ตกกระทบ, รวมถึงปริมาณเมฆและสภาพอากาศบริบทต่างๆ ในช่วงเวลาและฤดูกาลต่างๆตลอดทั้งปีและ ปัจจัยภายใน เช่น เฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ตำแหน่งที่ตั้งและความสูงของชั้นวางของภายในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ซึ่งมีผลต่อปริมาณแสงที่วัดได้ อาจทำให้ผลการทดลองการใช้ระบบท่อนำแสงธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอาคารนั้นๆ และอาจส่งผลให้การทดลองที่ได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาเปรียบถึงความร้อนของแสงที่เกิดจากรังสีของดวงอาทิตย์ ภายในท่อนำแสงที่มีระยะความยาวท่อที่ต่างกัน และในวัสดุส่วนท่อนำแสงที่ต่างกัน ข้อดีข้อเสียของส่วนรับแสง และกระจายแสงที่ต่างกัน รวมถึงขนาดหน้าตัดท่อนำแสงต่อความยาวท่อนำแสงที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้เกิดแสงบาดตา ซึ่งการใช้ท่อนำแสงในระยะที่สั้น ในขนาดหน้าตัดท่อที่ใหญ่อาจจะทำให้เกิดแสงบาดตามากกว่าการใช้ท่อนำแสงที่มีความยาวท่อที่ยาวในขนาดหน้าตัดท่อที่เล็กหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2558. **แผนปฏิบัติราชการสี่ปีและแผนปฏิบัติราชการประจำปีงบประมาณ 2558.** กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน.

บรรณสิทธิ์ จิตตะยโศธร. 2550. “การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยการใช้ระบบท่อนำแสงทางด้านข้างของอาคาร”. ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

บริรักษ์ อินทรกุลไชย. 2552. “การออกแบบและพัฒนาระบบท่อนำแสงแนวนอนสำหรับอาคารประเภทสำนักงาน”. ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิรุณห์รัตน์ บุริประเสริฐ. 2543. “รูปแบบของช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน”. ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภิญโญ ชุมมณี. 2549. “การออกแบบและทดสอบการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงในอาคาร”. ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศิวดล อุปพงษ์. 2556 “การใช้แสงธรรมชาติในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง”. ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Anders Schou. 2012. “Investigation of light pipe simulation algorithms”. Bachelor of Science degree in engineering Technical University of Denmark.

Bruno Malet-Damour, Harry Boyer, Ali Hamada Fakra, Milorad Bojic. 2013. “Light Pipes Performance Prediction: inter model and experimental confrontation on vertical circular light-guides”. **Journal of Cleam Energy Technologies.** 1(5): 1-13.

Garcia, Veronica Hansen and Edmonds Ian. 2003. **Natural illumination of deepplan office buildings: light pipe strategies.** ISES Solar World Congress 2003. : Göteborg, Sweden.

George Loisos. 1999. **Skylighting and Retail Sales and Investigation into the Relationship between Daylighting and Human Performance.** (1) Fair Oaks California.

Hathaway, Warren E. 1992. **A Study into the Effects of Light on Children of Elementary School-Age-A Case of Daylight Robbery.** Alberta Canada.

L. MANKOVÁ, J. HRAŠKA, M. JANÁK. 2009. “Simplified Determination of Indoor Daylight Illumination by Light pipe”. **Slovak journal of Civil engineering.** 1(4): 22-30

S. Chirarattananon, V.D. Hien, P. Chaiwiwatworakul, P. chirarattananon. 2010. **Simulation of Transmission of Daylight through Cylindrical Light Pipes.** Journal of Sustainable Energy & Environment, Energy Program, Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand.

Surapong Chirarattananon; Pipat Chaiwiwatworakul; Singthong Pattanasethanon. 2002. **Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok.** A Technical Report of a Research Project on Station Investigation of Daylighting, the National Energy Conservation Promotion Fund, Bangkok, Thailand.

The SLL Lighting Handbook. 2009. **The Society of Light and Lighting.** The Society of Light and Lighting is part of the Chartered Institution of Building Services Engineers London: Entiveon Ltd.