รูปแบบและขนาดช่องเปิดของช่องแสงที่หลังคาเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์

นศมา เพี้ยนภักตร์[1], รศ. ธนิต จินดาวณิค[2], ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์[3]

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานได้ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ การใช้แสงธรรมชาติซึ่งเป็นพลังงานทดแทนจากธรรมชาติ จึงเป็นทางเลือกที่ช่วยในด้านการประหยัดพลังงาน โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับท่อนำแสงแนวดิ่ง ซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบ และขนาดของท่อนำแสงแนวดิ่งที่เหมาะสม และมีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอแนะแนวทางในการออกแบบท่อนำแสงแนวดิ่งที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาตัวแปร 3 ประเภทคือ 1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งประกอบด้วยขนาด 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร 2) ค่าความยาวของท่อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (aspect ratio) ซึ่งประกอบด้วยค่า 2, 4, 6, 8 และ 10 และ 3) ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง โดยเก็บข้อมูลในวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม ในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. โดยใช้เครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์ และ Heliodon และศึกษาในห้องกรณีศึกษาขนาด 16 x 16 เมตร ผ่านหุ่นจำลอง มาตราส่วน 1:20

จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของท่อนำแสงที่มีประสิทธิภาพคือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากค่า aspect ratio ต่ำ และระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งน้อย ซึ่งจะวัดระดับความส่องสว่างได้มากกว่า โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ 0.90 เมตร ที่ค่า aspect ratio = 2 และที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งที่ 3 เมตร โดยที่แสงมีความเหมาะสมสำหรับใช้งานภายในช่วงเวลา 12.00 น. – 16.00 น. ที่ 66.66 - 88.88 % และจากการศึกษาตัวแปรทั้งหมดแสงสว่างมีขอบเขตพื้นที่ที่มีความเหมาะสมเฉลี่ยที่เส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกินกว่า 6.00 เมตร โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบท่อนำแสงแนวดิ่งที่เหมาะสมกับซุปเปอร์สโตร์ที่มีขนาดและความสูงฝ้าเพดานที่แตกต่างกัน

---

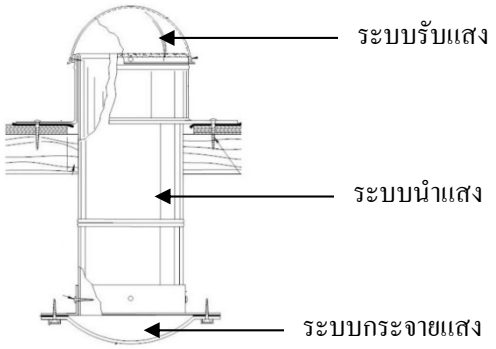
[1] นิสิตมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] รองศาสตราจารย์ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3] อาจารย์ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นมาของการศึกษา

ในปัจจุบันการเติบโตของร้านค้าขนาดต่างๆเป็นไปอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ร้านค้าขนาดเล็กไปจนถึงซุปเปอร์สโตร์ขนาดใหญ่ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากขึ้น การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารจึงมีแนวโน้มในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนระบบแสงสว่างได้ การเปิดช่องแสงที่หลังคาของอาคาร เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหา การนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคาร เช่น การใช้ท่อนำแสงแนวดิ่ง (vertical light pipe) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของท่อนำแสงแนวดิ่ง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยมีความเห็นว่า ประเทศไทยยังมีข้อมูลด้านท่อนำแสงแนวดิ่งค่อนข้างน้อย งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งศึกษาการใช้ท่อนำแสงแนวดิ่งสำหรับอาคารที่ตั้งอยู่บนละติจูดที่ 14 องศาเหนือ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ตั้งของกรุงเทพมหานคร ในด้านขนาดและรูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่ง รวมไปถึงระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งที่ส่งผลต่อปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสง เพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้งานกับอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์ ซึ่งมีแนวโน้มที่เติบโตอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งสามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้กับร้านค้าที่มีขนาดและความสูงฝ้าเพดานที่แตกต่างกัน เพื่อให้อาคารได้รับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมในการใช้งาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบ และขนาดของท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีความเหมาะสมในการรับแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคาร รวมถึงระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งาน และก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานของอาคาร
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ (efficiency) ของแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคาร ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง โดยศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของแสงและศึกษาเปรียบเทียบค่า Daylight Factor (DF) ของท่อนำแสงแนวดิ่งลักษณะต่างๆ
3. เพื่อเสนอแนะแนวทางที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานในอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์ขนาดต่างๆ ผ่านทางท่อนำแสงแนวดิ่ง

ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลองในการศึกษา โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์ และเก็บข้อมูลพื้นฐานของการวิจัย ทั้งด้านมาตรฐานการส่องสว่างสำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์ รวมถึงศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่ศึกษาในแนวทางเดียวกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างสมมติฐานในการศึกษา
2. ศึกษาและค้นคว้าตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านท่อนำแสง

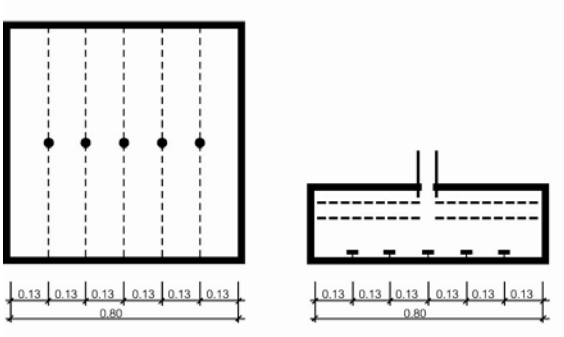
แนวดิ่งเข้ามาในอาคาร โดยตัวแปรที่ทำการพิจารณามีดังนี้

2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง ซึ่งประกอบด้วยท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร 0.60 เมตร และ 0.90 เมตร

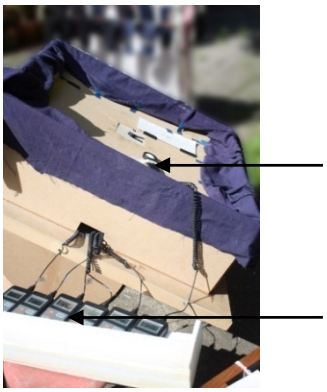
2.2 อัตราส่วนของความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง (aspect ratio) ซึ่งประกอบด้วยค่า 2, 4, 6, 8 และ 10

2.3 ระยะความสูงจากระดับใช้งาน (working plane)ที่สูงจากพื้น 0.75 เมตร ถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลที่ระยะ 3 เมตร 4 เมตร และ 5 เมตร

3. กำหนดรายละเอียดของการวิจัย โดยในส่วนของการเก็บข้อมูลนั้นใช้เครื่องมือวัดแสงที่มีช่วงในการวัดแสงอยู่ระหว่าง 0 – 200,000 ลักซ์ จำนวน 5 เครื่อง ติดตั้งในหุ่นจำลองขนาด 0.80 x 0.80 เมตร ที่ระยะ 0.13, 0.26, 0.39, 0.52 และ 0.65 เมตร จากผนังของหุ่นจำลอง ดังรูปที่ 2 และติดตั้งเครื่องมือภายนอกหุ่นจำลอง 1 เครื่อง เพื่อวัดค่าความส่องสว่างภายนอก ดังรูปที่ 3



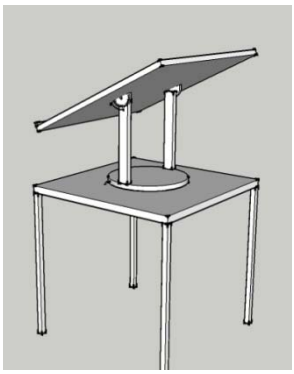
รูปที่ 2 แสดงขนาดหุ่นจำลองและตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องมือวัดแสง



รูปที่ 3 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดแสง

จากนั้นทำการวัดแสงจากหุ่นจำลองภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง โดยลักษณะท้องฟ้าเป็นแบบ clear sky โดยการเก็บข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม โดยใช้เครื่องมือดวงอาทิตย์จำลอง (Heliodon) ดังรูปที่ 4 เป็นอุปกรณ์ในการวัดแสงตามวันและเวลาดังกล่าว



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของ Heliodon

เก็บข้อมูลเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่างที่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งเข้าสู่อาคาร กับความส่องสว่างภายนอกอาคาร (Daylight Factor) เพื่อศึกษาลักษณะของแสง และประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวดิ่งตามตัวแปรที่กำหนดไว้

จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์ โดยอ้างอิงจากมาตรฐานในการส่องสว่าง ของสมาคมแสงสว่างแห่งประเทศไทย (TIEA-GD003:2003) ในส่วนของพื้นที่ขายขนาดใหญ่ และตามมาตรฐานของประเทศนิวซีแลนด์ (NZS 6703:1984) ในส่วนของซุปเปอร์มาเก็ต ที่ต้องการค่าความส่องสว่างที่ 500 ลักซ์

3.2 วิเคราะห์และสรุปผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต่างๆที่กำหนดไว้

4 การประเมินผล

4.1 การวิเคราะห์และประเมินผลด้านระดับความส่องสว่าง โดยระดับความส่องสว่างต้องอยู่ในระดับที่พอเพียงต่อการใช้งาน

4.2 วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของแสงสว่างที่ตกกระทบอาคารในแนวระนาบ

4.3 วิเคราะห์ขอบเขตระยะที่แสงสว่างสามารถใช้งานได้ เพื่อนำมาหาระยะห่างระหว่างท่อนำแสงแนวดิ่งต่อไป

5 การสรุปผลการวิจัย

ทำการสรุปและประมวลผลข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อค่าความส่องสว่างที่ผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งในรูปแบบแผนภูมิ เพื่อหาข้อดี-ข้อเสีย และข้อเสนอแนะในการนำท่อนำแสงแนวดิ่งไปพัฒนาเพื่อใช้งานในลำดับต่อไป

ขอบเขตในการศึกษา

1. ศึกษาเฉพาะปริมาณของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งเท่านั้น โดยศึกษาผ่านทางหุ่นจำลอง

2. สถานที่ที่ทำการศึกษา กำหนดให้อยู่ในกรุงเทพมหานคร โดยเก็บข้อมูลอยู่ในช่วงเวลา 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม โดยใช้อุปกรณ์ Heliodon สำหรับวัดค่าความส่องสว่างตามวันและเวลาที่กำหนดไว้

3. ศึกษาเฉพาะระบบนำแสง (transportor) ของท่อนำแสงเท่านั้น โดยไม่รวมระบบรับแสง (collector) และระบบกระจายแสง (distributor)

4. ศึกษาตัวแปรเฉพาะด้านขนาด และรูปแบบ อันประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงแนวดิ่ง อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของท่อนำแสงแนวดิ่ง (aspect ratio) และระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งเท่านั้น

5. การศึกษาครั้งนี้พิจารณาแสงธรรมชาติที่ตกกระทบพื้นที่ใช้งานในแนวระนาบ (horizontal plane) ที่ระดับความสูงจากพื้น 0.75 เมตร

6. สภาพท้องฟ้าขณะที่ทำการศึกษาเป็นลักษณะ clear sky

7. การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นในด้านค่าความส่องสว่างเท่านั้น ไม่พิจารณาในด้านปริมาณความร้อนและภาระการทำความเย็นของอาคาร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงแนวทางในการเลือกใช้ขนาดและรูปแบบของท่อนำแสงแนวดิ่ง ในการนำแสง

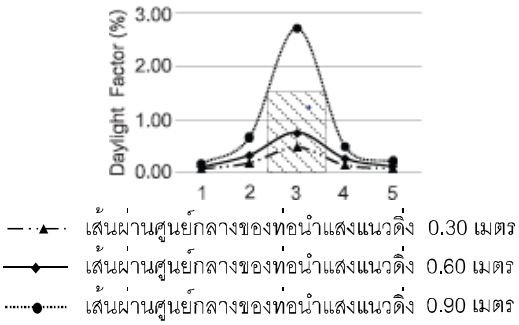
ธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร รวมถึงสามารถนำข้อมูลด้านระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งมาประยุกต์ใช้งาน ให้เหมาะสมกับซุปเปอร์สโตร์ขนาดต่างๆ

2. เข้าใจในเรื่องประสิทธิภาพ (efficiency) ของแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคาร ด้านการกระจายตัวของแสง และทราบถึงค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งาน

3. เกิดแนวทางในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานผ่านท่อนำแสงแนวดิ่งเพื่อการประหยัดพลังงานของอาคารประเภทซุปเปอร์สโตร์

ผลการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการเก็บข้อมูลโดยวัดค่าความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานที่ส่องผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง ณ จุดต่างๆที่กำหนด เปรียบเทียบกับค่าความส่องสว่างภายนอกในเวลาเดียวกัน เพื่อหาค่า Daylight Factor และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนภูมิซึ่งมีรูปแบบดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงแผนภูมิในการวิเคราะห์ผล

แกน x แสดงตำแหน่งในการวัดแสง และแกน y แสดงค่า Daylight Factor จากนั้นจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของ Daylight Factor ทั้ง 5 ตำแหน่งที่ทำการวัดค่าความส่องสว่างภายในหุ่นจำลอง แล้วนับจำนวนครั้งที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดและต่ำที่สุด โดยในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวดิ่ง ด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 1 ส่วนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของค่า aspect ratio ได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 2 และการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่างที่สัมพันธ์กับระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ย Daylight Factor ที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดของท่อนำแสงที่ขนาดแตกต่างกัน

	จำนวนครั้ง		
	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง(เมตร)		
	0.30	0.60	0.90
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 3 เมตร			
DF สูงที่สุด	-	2	43
DF ต่ำที่สุด	45	-	-
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 4 เมตร			
DF สูงที่สุด	-	2	43
DF ต่ำที่สุด	44	1	-
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 5 เมตร			
DF สูงที่สุด	-	2	43
DF ต่ำที่สุด	45	-	-
รวม			
DF สูงที่สุด	-	6	129
DF ต่ำที่สุด	134	1	-

จากตารางที่ 1 ขนาดของท่อนำแสงมีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารสูงที่สุด รองลงมาคือท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตรมีประสิทธิภาพในการนำแสงต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ย Daylight Factor ที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดของท่อนำแสงที่มีค่า aspect ratio ที่แตกต่างกัน

	จำนวนครั้ง				
	aspect ratio				
	2	4	6	8	10
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร					
DF สูงที่สุด	11	4	7	5	-
DF ต่ำที่สุด	2	4	2	5	14
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร					
DF สูงที่สุด	11	4	4	2	6
DF ต่ำที่สุด	5	3	3	11	6
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร					
DF สูงที่สุด	18	4	1	3	1
DF ต่ำที่สุด	4	2	10	3	8
รวม					
DF สูงที่สุด	40	12	12	10	7
DF ต่ำที่สุด	11	9	15	19	28

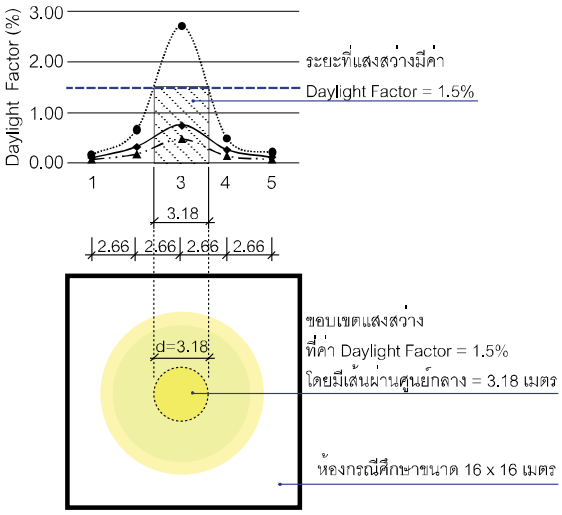
จากตารางที่ 2 ค่า aspect ratio มีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยค่า aspect ratio ที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารสูงที่สุดมีค่าที่ 2 รองลงมาคือ 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนครั้งของค่าเฉลี่ย Daylight Factor ที่วัดได้สูงที่สุดและต่ำที่สุดของท่อนำแสงที่ระยะใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแตกต่างกัน

	จำนวนครั้ง		
	ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำ		
	3 เมตร	4 เมตร	5 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร			
DF สูงที่สุด	30	11	4
DF ต่ำที่สุด	1	5	39
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร			
DF สูงที่สุด	31	6	8
DF ต่ำที่สุด	1	8	36
เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร			
DF สูงที่สุด	27	10	8
DF ต่ำที่สุด	1	7	37
รวม			
DF สูงที่สุด	88	27	20
DF ต่ำที่สุด	3	20	112

จากตารางที่ 3 ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงมีผลต่อความส่องสว่างที่ผ่านเข้าสู่อาคาร โดยสามารถวัดค่าความส่องสว่างได้มากที่สุดที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 3 เมตร รองลงมาคือระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งที่ 4 เมตร และระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่งที่ 5 เมตร สามารถวัดค่าความส่องสว่างได้ต่ำที่สุด

ในส่วนของการวิเคราะห์ด้านค่าความส่องสว่างที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับซุปเปอร์สโตร์นั้น ได้ทำการวิเคราะห์จากแผนภูมิ โดยมีรูปแบบดังนี้



รูปที่ 6 แสดงรูปแบบของแผนภูมิในการประเมินขอบเขตพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบ

จากรูปที่ 6 แกน X แทนตำแหน่งในการวัดแสงสว่าง และแกน Y แทนค่า Daylight Factor จากนั้นกำหนดค่า Daylight Factor ที่ 1.5% ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความส่องสว่างสำหรับซุปเปอร์สโตร์กับค่าความสว่างของกรุงเทพมหานครตลอดทั้งปี เมื่อแผนภูมิไปตัดเส้นแสดงค่า Daylight Factor ณ จุดใด พื้นที่ใต้

แผนภูมินั้นคือระยะที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบที่มีค่า Daylight Factor ขั้นต่ำตามที่ต้องการ โดยในการเก็บข้อมูล ท่อนำแสง 1 รูปแบบ จะวัดค่าความส่องสว่าง 3 วันคือ วันที่ 21 มิถุนายน 21 กันยายน และ 21 ธันวาคม โดยในแต่ละวันจะวัดแสง 3 ช่วงเวลาคือ 12.00 น. 14.00 น. และ 16.00 น. รวมแล้วท่อนำแสง 1 รูปแบบ จะทำการวัดค่าความส่องสว่าง 9 ช่วง เมื่อนำเสนอในรูปแบบตาราง จะได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4 โดยนำเสนอในหัวข้อต่างๆดังนี้

1. ช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในระดับ DF = 1.5% คือช่วงเวลาที่ค่าความส่องสว่างมีค่า DF $\geq$ 1.5% โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่ทำการวัดแสง 9 ช่วง ดังที่กล่าวไปข้างต้น

2. เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่แสงตกกระทบ คือระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบ ที่ระดับใช้งานสูง 0.75 เมตร

3. พื้นที่ที่แสงตกกระทบ คือพื้นที่ที่แสงสว่างที่มีค่า DF ที่เหมาะสมแก่การใช้งาน

4. พื้นที่แสงตกกระทบ : พื้นที่หน้าตัดท่อนำแสงแนวดิ่ง คือการเปรียบเทียบพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบกับพื้นที่ของท่อนำแสงที่รับแสงสว่าง โดยพื้นที่ของท่อนำแสงที่ใช้ในการวิจัยเป็นดังนี้

ก) ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีพื้นที่ 0.07 ตารางเมตร

ข) ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร มีพื้นที่ 0.28 ตารางเมตร

ค) ท่อนำแสงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีพื้นที่ 0.64 ตารางเมตร

ตารางที่ 5 แสดงช่วงเวลาและขอบเขตของแสงสว่างในแนวระนาบที่ค่า Daylight Factor =1.5%

ระยะจากผนังด้านหน้าถึงศูนย์กลางช่องแสงในแนวระนาบ(เมตร)		aspect ratio	12.00 21 Jun	12.00 21 Sep	12.00 21 Dec	14.00 21 Jun	14.00 21 Sep	14.00 21 Dec	16.00 21 Jun	16.00 21 Sep	16.00 21 Dec	ช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในระดับ DF = 1.5%	เส้นผ่านศูนย์กลางที่แสงตกกระทบพื้นที่ใช้งาน(ม.)	พ.ท.แสงตกกระทบ (ตร.ม.)	พท.แสงตกกระทบ: พ.ท.หน้าตัดท่อ
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 3 เมตร															
	0.30	2	■									11.11%	3.33	8.70	124.3
		4	■									11.11%	3.39	9.02	128.9
		6	■									11.11%	4.29	14.45	206.4
		8										0%	-	-	
		10	■									11.11%	4.19	13.78	196.9
	0.60	2	■	■								22.22%	3.59 – 4.09	10.12 - 13.13	36.1 – 46.9
		4	■	■								22.22%	3.02 – 4.32	7.16 – 15.65	25.6 – 55.9
		6	■	■	■							33.33%	1.77 – 4.41	2.46 – 15.58	8.78 – 55.6
		8	■	■								22.22%	1.26 – 4.59	1.24 – 16.54	4.5 – 59.0
		10	■									11.11%	4.50	15.90	56.8
	0.90	2	■	■	■	■	■	■	■	■		88.88%	1.64 – 5.13	2.11 – 20.66	3.3 – 32.3
		4	■	■	■		■	■		■		66.66%	0.83 – 5.13	0.54 – 20.66	0.8 – 32.3
		6	■	■		■	■	■	■			66.66%	1.32 – 4.64	1.37 – 16.90	2.1 – 26.4
		8	■	■	■	■	■	■				66.66%	1.04 – 5.08	0.85 – 20.26	1.3 – 31.7
		10	■	■	■	■	■	■	■			77.77%	1.39 – 4.87	1.52 – 18.62	2.4 – 29.1
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 4 เมตร															
	0.30	2										0%	-	-	-
		4										0%	-	-	-
		6	■									11.11%	1.72	2.32	33.1
		8	■	■								22.22%	0.79 – 2.02	0.49 – 3.20	7 – 45.7
		10										0%	-	-	-
	0.60	2	■		■							22.22%	1.37 – 6.33	1.47 – 31.45	5.25 – 112.3
		4			■							11.11%	3.12	36.40	130
		6	■		■							22.22%	2.74 – 4.26	5.89 – 14.25	21 – 50.9
		8	■									11.11%	2.35	4.34	15.5
		10	■		■							22.22%	3.40 – 3.56	9.07 – 9.95	32.4 – 35.5
	0.90	2	■	■		■	■		■			55.55%	0.76 – 4.22	0.45 – 13.98	0.7 – 21.8
		4	■		■	■	■		■			55.55%	0.78 – 5.04	0.48 – 19.94	0.8 – 31.2
		6	■		■		■					33.33%	2.31 – 4.88	4.19 – 18.70	6.5 – 29.2
		8	■	■	■		■					44.44%	2.38 – 4.83	4.45 – 18.31	6.9 – 28.6
		10	■	■	■		■					44.44%	2.84 – 5.09	6.33 – 20.34	22.6 – 31.8
ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง5 เมตร															
	0.30	2										0%	-	-	-
		4										0%	-	-	-
		6										0%	-	-	-
		8										0%	-	-	-
		10										0%	-	-	-
	0.60	2						■				11.11%	5.91	27.42	97.9
		4				■	■					22.22%	2.11 – 3.49	3.49 – 9.56	12.5 – 34.1
		6					■					11.11%	3.26	8.34	29.8
		8										0%	-	-	-
		10				■	■					22.22%	2.11 – 2.52	3.49 – 4.99	12.5 – 17.8
	0.90	2	■		■		■					33.33%	2.86 – 5.62	6.42 – 24 79	10.0 – 38.7
		4	■			■	■					33.33%	2.85 – 4.06	6.38 – 24.79	9.9 – 38.7
		6	■	■		■	■					44.44%	1.04 – 3.32	0.85 – 8.65	1.3 – 13.5
		8	■	■		■	■					44.44%	2.24 – 6.01	3.94 – 28.35	6.2 – 44.3
		10	■			■	■					33.33%	2.57 – 4.04	5.18 – 12.81	8.0 – 20.0

■ ช่วงเวลาที่แสงสว่างอยู่ในระดับ DF = 1.5% ■ ช่วงเวลาที่แสงสว่างมีระดับ DF< 1.5%

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองและทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของท่อนำแสงแนวดิ่ง ตามตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุด รองลงมาคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตรมีประสิทธิภาพในการนำแสงได้ต่ำที่สุด

2. ค่า aspect ratio ที่มีประสิทธิภาพในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคารได้สูงที่สุดมีค่าที่ 2 รองลงมาคือ 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ

3. ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงที่วัดค่าความส่องสว่างได้มากที่สุดคือที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสงแนวดิ่ง 3 เมตร รองลงมาคือที่ 4 เมตร และที่ระยะ 5 เมตร สามารถวัดค่าความส่องสว่างได้ต่ำที่สุด

4. ท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 3 เมตร มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด และมีช่วงเวลาที่มีค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ 66.66 % - 88.88 % รองลงมาคือท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 4 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงมีค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน 33.33 % - 55.55 % และท่อนำแสงแนวดิ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ที่ระยะความสูงจากระดับใช้งานถึงปลายท่อนำแสง 5 เมตร มีช่วงเวลาที่แสงมีค่า Daylight Factor ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน 33.33 % - 44.44 % โดยท่อนำแสงของทุกตัวแปรจะครอบคลุมระยะที่แสงส่องลงมาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ที่แสงสว่างตกกระทบในแนวระนาบที่ 0.76 – 6.01 เมตร

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ มีข้อจำกัดในการศึกษา ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาในครั้งต่อไป ดังนี้

<u>แนวทางการวิจัยครั้งต่อไป</u>

- ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบนำแสงของท่อนำแสงแนวดิ่งเท่านั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องระบบรับแสง และระบบกระจายแสง เพื่อนำผลการศึกษามาพัฒนาท่อนำแสงแนวดิ่งให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากที่สุด
- ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรเพิ่มตัวแปรในการเก็บข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น วัสดุและรูปทรงของท่อนำแสง สีของห้องกรณีศึกษา เป็นต้น รวมไปถึงตัวแปรด้านความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางท่อนำแสงแนวดิ่ง
- งานวิจัยชิ้นนี้ได้เก็บข้อมูลภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความแปรปรวนสูงและไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการศึกษาได้ ประกอบกับใน

งานชิ้นนี้ได้ศึกษาสภาพท้องฟ้าเพียงรูปแบบเดียว คือ Clear sky ซึ่งมีโอกาสเกิดเพียง 23% (พิรุฬห์ รัตน์ บุรีประเสริฐ, 2543) การศึกษาครั้งต่อไปควรเก็บข้อมูลในสภาพท้องฟ้ารูปแบบอื่นเพื่อนำมาเปรียบเทียบ และหาแนวทางในการพัฒนาท่อนำแสงแนวดิ่งต่อไป

<u>ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการศึกษาอันเนื่องมากจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์</u>

- ข้อมูลในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการเก็บข้อมูลโดยใช้หุ่นจำลอง ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของระดับความส่องสว่างที่วัดได้ เนื่องมาจากขนาดและผิวของวัสดุของหุ่นจำลอง

- ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลนั้น ได้ทำการวัดค่าความส่องสว่างเพียง 5 ตำแหน่ง ในการศึกษาครั้งต่อไปควรกำหนดตำแหน่งในการวัดแสงให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

- งานวิจัยชิ้นนี้อาจมีข้อผิดพลาดในด้านของอุปกรณ์ ที่อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของข้อมูล คือท่อนำแสงแนวดิ่งที่มีการประกอบและติดตั้งโดยผู้วิจัย การศึกษาครั้งต่อไปควรใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้นในการประกอบท่อนำแสง

- งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องมือ Heliodon จำลององศาของดวงอาทิตย์ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการเก็บข้อมูลตามวันและเวลาจริงตลอดทั้งปี เพื่อทำการเปรียบเทียบให้ข้อมูลมีความถูกต้องมากที่สุด

เนื่องมาจากข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และระยะเวลา งานวิจัยชิ้นนี้อาจยังมีข้อผิดพลาดและไม่สมบูรณ์ในบางส่วน ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นแนวทาง และสามารถนำข้อมูลพื้นฐานไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาท่อนำแสงแนวดิ่ง เพื่อนำมาใช้ในอาคารให้เกิดการประหยัดพลังงานต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

รัฐพล รุญเจริญ. <u>การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารโดยใช้ระบบท่อนำแสง.</u> วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ชำนาญ ห่อเกียรติ . <u>เทคนิคการส่องสว่าง</u> . กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540 .

ปัทมาพร ศิริผลวุฒิชัย. <u>เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติผ่านแผงควบคุมช่องเปิดด้านบน.</u> วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

พรรณชลัท สุริโยธิน. การใช้อุปกรณ์จำลองการโคจรของดวงอาทิตย์.<u>คู่มือการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัยทางเทคโนโลยีอาคาร</u> ,33 - 48, 2544.

พรรณชลัท สุริโยธิน. <u>วัสดุและการก่อสร้าง : หลอดไฟฟ้า</u>**.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2548.

พิบูลย์ ดิษฐอุดม. <u>การออกแบบระบบแสงสว่าง.</u> กรุงเทพฯ : เอช-เอน การพิมพ์ , 2535.

สุนทร บุญญาธิการ.เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

เสริม จันทร์ฉายและคณะ. การพัฒนาแผนที่และฐานข้อมูลศักยภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน / กระทรวงพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

ภาษาอังกฤษ

Energy design resources. Design brief : DAYLIGHTING, 1998.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา : www.energydesignresources.com. [27/08/2008]

Evans, Benjamin H. Daylight in Architecture. New York : McGraw-Hill, 1981.

G. Oakley, S. B. Riffat and L. Shao. Daylight performance of lightpipes, Solar Energy 69 , 2000.

G.Z. Brown and Mark Dekay. Sun,Wind & Light : Architectural design strategies . New york : John Wiley & Sons, 2001.

Jitka Mohelnikova. Tubular light guide evalution, Building and Environment 44, 2009.

Joel Callow. Daylighting Using Tubular Light Guide Systems, Doctoral dissertation, University of Nottingham, 2003.

Lisa Heschong and others. Skylighting Guidelines: Energy design resources, 1998 [ออนไลน์] แหล่งที่มา : www.energydesignresoruces.com [27/08/2008]

Magali Bodaut and Arnaud Deneyer. A guide for the building of daylight scale models,The 23 th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Switzerland,2006.