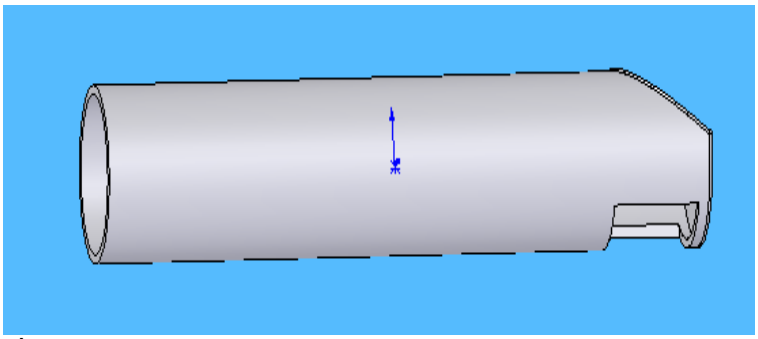
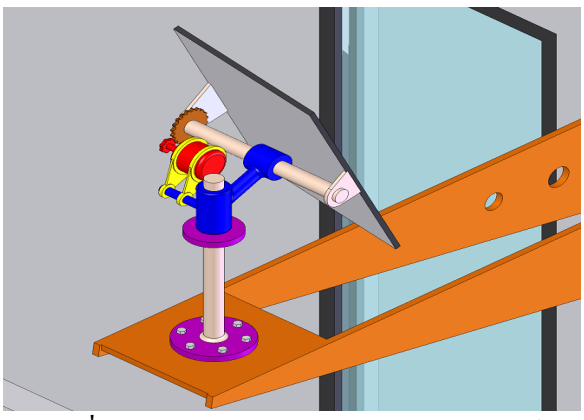
บทที่ 3

การออกแบบท่อนำแสง

การออกแบบท่อนำแสงคือการคำนวณหาค่าความส่องสว่าง และการกระจายแสงของการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะภูมิอากาศของจังหวัดสงขลา ซึ่งการออกแบบท่อนำแสงที่ทำให้ความส่องสว่างภายในอาคารได้มาตรฐาน จะคำนึงถึงการนำแสง และสะท้อนแสงภายในท่อนำแสง โดยใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงแต่มีค่าการกระจายแสงต่ำ เพื่อให้แสงเกิดการสะท้อนเป็นเส้นตรงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Chummanee et al, 2006) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โครงสร้างของท่อนำแสงแบบทรงกระบอกปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง เพื่อช่วยในการสะท้อนแสงลงสู่พื้น โดยการสะท้อนแสงผ่านผนังท่อที่ขนานกันจะทำให้ความส่องสว่างกระจายลงสู่พื้นมากที่สุด ซึ่งท่อนำแสงแบบนี้สามารถรับปริมาณแสงได้มาก และมีจำนวนสะท้อนภายในท่อน้อย เนื่องจากท่อมีความกว้างและสูงกว่าแบบอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 3.1 และระบบติดตามดวงอาทิตย์ในการช่วยเพิ่มปริมาณแสงสว่างในแต่ละช่วงเวลา แสดงดังรูปที่ 3.2 รูปแบบท่อนำแสง และระบบติดตามดวงอาทิตย์อย่างละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

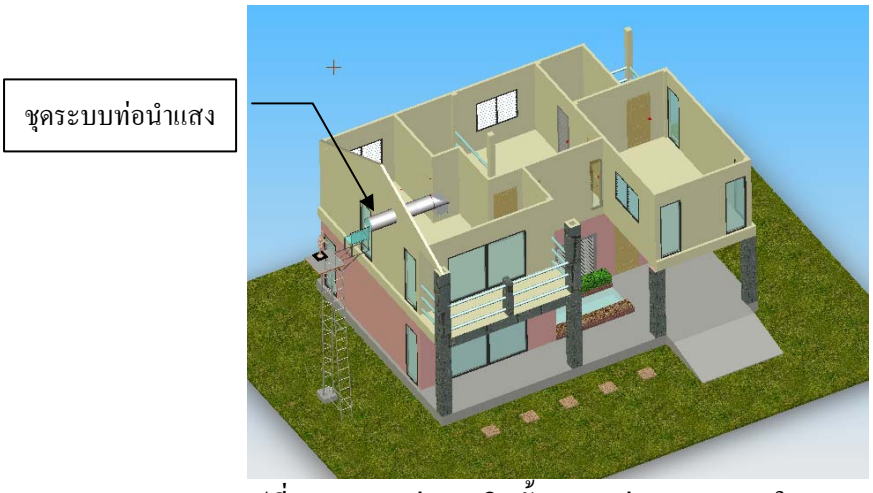


รูปที่ 3.1 โครงสร้างท่อนำแสงทรงกระบอกปลายท่อด้านออกปาดมุมเอียง



รูปที่ 3.2 โครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์

การนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแสงสว่างภายในอาคารขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงที่เหมาะสม โดยความส่องสว่างในสภาวะการทำงานของพนักงานบริเวณสำนักงาน ค่ามาตรฐานของความส่องสว่างสำหรับห้องที่ใช้สายตาปานกลางมีค่าเท่ากับ 300 ถึง 500 ลักซ์ โดยการออกแบบท่อนำแสงจะต้องมีรูปแบบ และขนาดเส้นผ่านศูนย์ที่เหมาะสมในการใช้งานกับห้องวิจัยขนาด 4 เมตร × 4 เมตร ท่อนำแสงจะต้องมีขนาดความยาวเท่ากับ 3 เมตร เพื่อให้การติดตั้งช่องเปิดอยู่กึ่งกลางห้องวิจัยพอดี และทำให้การกระจายแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการติดตั้งระบบท่อนำแสงภายในอาคาร

ขั้นตอนการออกแบบท่อนำแสง เพื่อการนำแสงสว่างจากภายนอกอาคารมาใช้ในอาคารและลดภาระการทำความเย็น มีดังนี้

(1) การจำลองต้นแบบเพื่อเลือกวัสดุท่อนำแสงด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2

(2) ศึกษาข้อมูลตามช่วงฤดูกาลของจังหวัดสงขลา

(3) การคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์

(4) การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงที่เหมาะสม

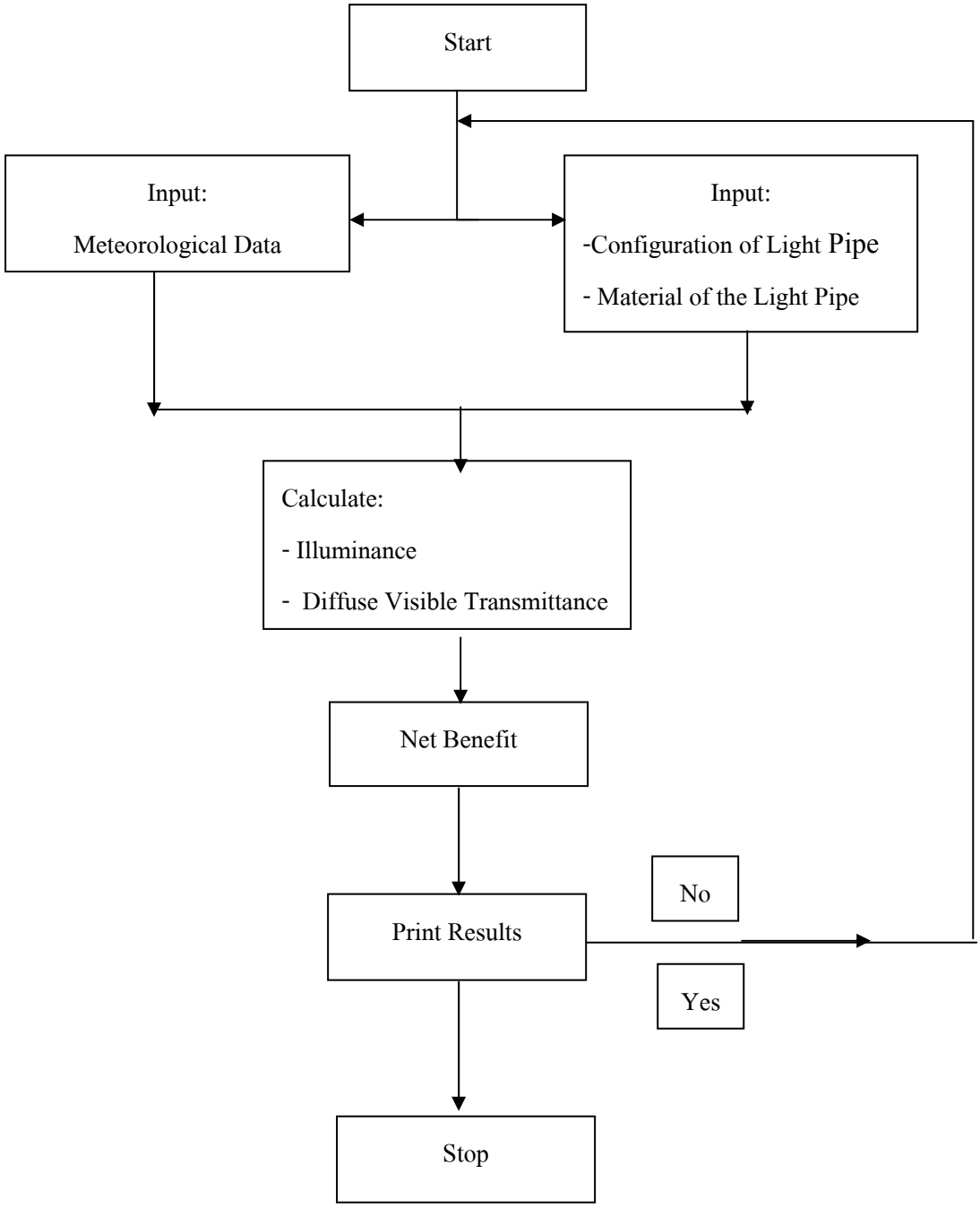
(5) ผลการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง

(6) สรุปการออกแบบท่อนำแสง

3.1 การจำลองต้นแบบเพื่อเลือกวัสดุท่อนำแสงด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2

การวิเคราะห์ความถูกต้องของต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรม EnergyPlus เพื่อเลือกวัสดุในการสร้างระบบท่อนำแสง โดยนำวัสดุจากการวิเคราะห์ในต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรมที่ดีที่สุด 1 แบบมาติดตั้งในอาคาร ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณความส่องสว่าง การส่องผ่านแสง และ

การกระจายแสง สำหรับขั้นตอนการเขียนโปรแกรมคำนวณ และวิเคราะห์ของEnergyPlus แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังกระบวนการของโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2

นอกจากนี้ยังพบว่าโปรแกรม EnergyPlus มีความสามารถที่จะใช้งานได้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะใช้กับอาคารขนาดเล็ก อาคารพาณิชย์หรือศูนย์การค้าขนาดใหญ่ เนื่องจากโปรแกรมมีศักยภาพในการคำนวณพื้นผิว วัสดุหรือโซนของอาคารได้อย่างไม่จำกัด โดยทั้งนี้ในการใช้งานโปรแกรมจะต้องมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบดังต่อไปนี้คือ

3.1.1 ตัวแปรที่ป้อน เช่น ข้อมูลกรอบอาคาร ข้อมูลสภาวะอากาศ ข้อมูลปริมาณแสงสว่างภายในอาคารของบริเวณที่วิเคราะห์ ข้อมูลของอุปกรณ์ระบบท่อนำแสง และข้อมูลการติดตั้งระบบท่อนำแสง สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้นำโปรแกรมมาช่วยในการวิเคราะห์หาจุดด้อยของระบบ เพื่อปรับปรุงระบบท่อนำแสงให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการจำลองต้นแบบครั้งนี้ได้ศึกษาท่อนำแสงเป็นวัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ ท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบอลูมิเนียมผิวขัดมัน (Aluminum) มีสัมประสิทธิ์ผิวสะท้อนแสงเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ (ข้อมูลวัสดุจากการผลิตของโรงงานที่สามารถทำได้ดีที่สุด) และท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบอะคริลิก (Clear acrylic) มีสัมประสิทธิ์ผิวสะท้อนแสงเท่ากับ 78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะพิจารณาการทำงานในช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 18.00 น.และมีตัวแปรที่ป้อนในการจำลองต้นแบบจากโปรแกรม EnergyPlus ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1

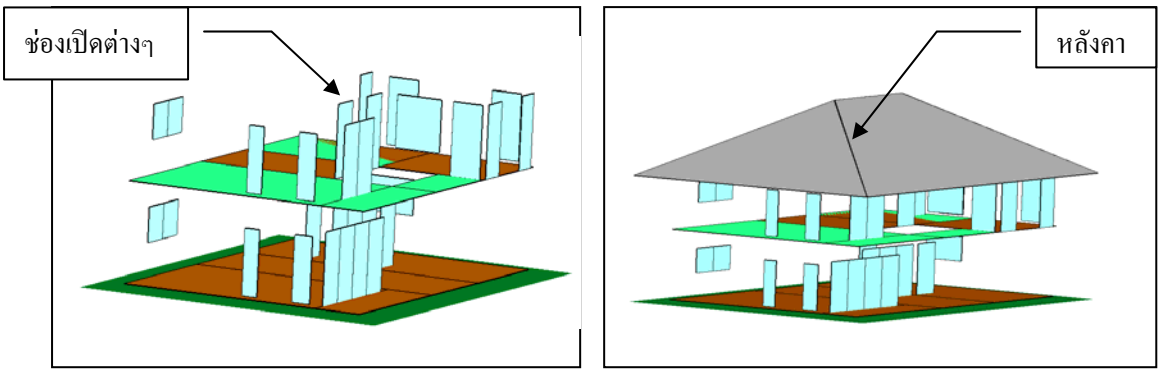
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการจำลองต้นแบบท่อนำแสงจากโปรแกรม EnergyPlus

	Parameter	Aluminum	Clear acrylic
1	Diameter (m)	0.3	
2	Total Length (m)	3	
3	Thickness of Material (mm)	4	
4	Solar Transmittance	0.84	
5	Solar Reflectance	0.95	0.78
6	Weather Data	Songkhla	Songkhla

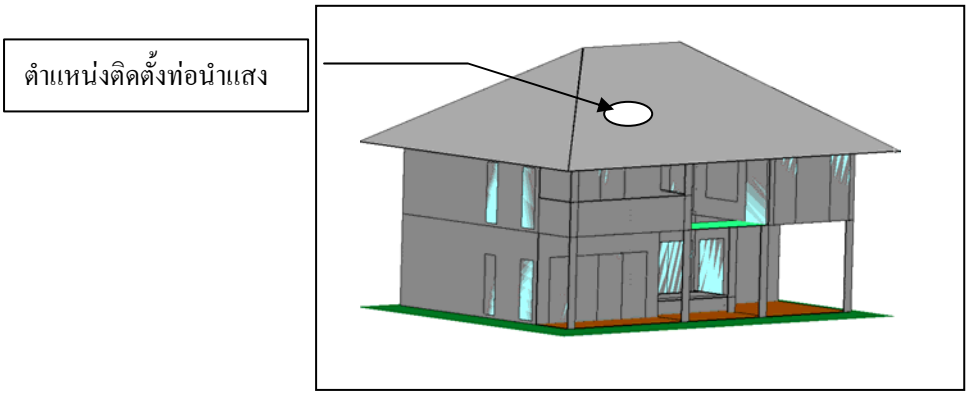
3.1.2 ตัวแปรที่ได้ เช่น กรอบอาคาร ความส่องสว่าง การกระจายแสง และการคำนวณทางด้านเศรษฐ์ศาสตร์ โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้สะท้อนแสงจากภายนอกผ่านเข้ามาภายในอาคารจะต้องเป็นลักษณะของการสะท้อนแสงที่ดี โดยมีขั้นตอนการจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus ดังนี้

(1) การจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus ในส่วนของการสร้างกรอบอาคารจากงานวิจัย โดยนำข้อมูลจากโครงการบ้านประหยัดพลังงานประเภทบ้านเดี่ยวของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์มาเขียนในโปรแกรม โดยกำหนดขนาด รูปร่างทิศทางของอาคาร ลักษณะองค์ประกอบ และวัสดุที่ใช้ในอาคาร สำหรับ

ห้องทดลองจะใช้ห้องด้านบนของอาคาร ซึ่งกำหนดขนาดของห้องเท่ากับ 16 ตารางเมตร และมีผู้ปฏิบัติงานอยู่ 2 คน แสดงผลของกรอบอาคารจากการจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6

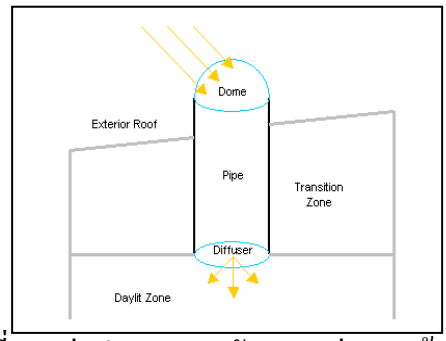


รูปที่ 3.5 ช่องเปิดและหลังคาของห้องทดลอง



รูปที่ 3.6 กรอบอาคารของห้องทดลอง

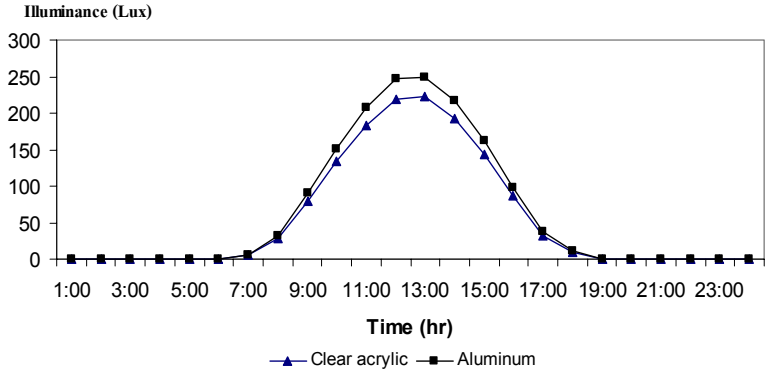
(2) การจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus ในส่วนของท่อนำแสงเป็นการนำข้อมูลจากการออกแบบ และกำหนดลักษณะการติดตั้งระบบท่อนำแสง ซึ่งมีการติดตั้งท่อนำแสง 2 ชุดด้วยกัน โดยจะทดลองจากวัสดุท่อนำแสงทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบอลูมิเนียมผิวขัดมัน และท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบอะคริลิก จากการคำนวณต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรม ซึ่งหาค่าความส่องสว่าง และการกระจายแสงของท่อนำแสง เพื่อนำข้อมูลต่างๆที่ได้จากผลของโปรแกรมไปสร้างชุดทดลองและติดตั้งในงานวิจัย โดยใช้ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 เซนติเมตร และความยาวเท่ากับ 1 เมตร มีลักษณะท่อนำแสงดังรูปที่ 3.7 สำหรับการจำลองต้นแบบท่อนำแสงทางด้านข้างด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2 มีข้อจำกัดของการป้อนรูปแบบการติดตั้ง ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ได้วิเคราะห์เลือกวัสดุจากท่อนำแสงแบบติดตั้งทางด้านบน



รูปที่ 3.7 ท่อนำแสงแบบรับแสงสว่างทางด้านบน

(3) ผลการจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus มีดังนี้

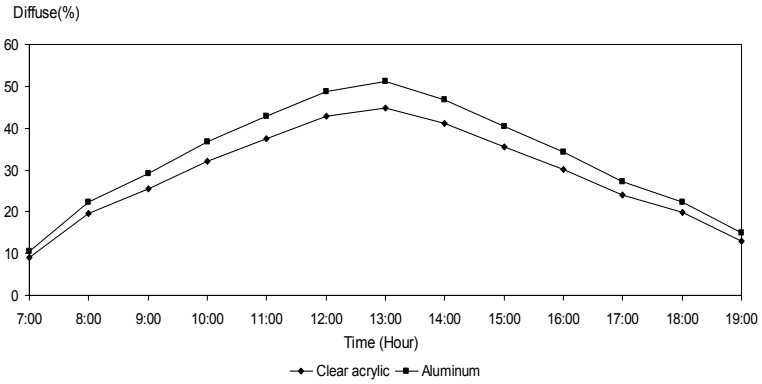
- ค่าความส่องสว่างของท่อนำแสง สามารถดูได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับเวลา โดยมีการจำลองต้นแบบท่อนำแสงด้วยโปรแกรม EnergyPlus ในช่วงที่มีปริมาณเมฆปานกลางเท่ากับ 30 – 70 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.8 สำหรับผลการจำลองต้นแบบ แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.8 ค่าความส่องสว่างท่อนำแสงจากโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2

ผลการวิเคราะห์ค่าความส่องสว่าง พบว่า วัสดุที่ทำท่อนำแสงแบบอลูมิเนียมผิวขัดมันมีค่าความส่องสว่างสูงสุดในช่วงเวลา 11:00 ถึง 13:00 น. เท่ากับ 250 ลักซ์ สำหรับท่อนำแสงที่ใช้วัสดุแบบอะคริลิก มีค่าความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 222 ลักซ์ ดังนั้นนำค่าความส่องสว่างทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกัน จะมีความแตกต่างของค่าความส่องสว่างอยู่ที่ 28 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างจากการคำนวณต้นแบบจำลองด้วยโปรแกรมจะแปรผันกับมุมดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบท่อนำแสง โดยมุมดวงอาทิตย์ที่ส่องมากระทบท่อนำแสงมีมุมมากก็จะทำให้ค่าความส่องสว่างมีค่าสูงขึ้น

- การกระจายแสงสว่างของท่อนำแสง สามารถดูได้จากกราฟความสัมพันธ์การกระจายแสงกับเวลาโดยจำลองต้นแบบท่อนำแสงในช่วงมีปริมาณเมฆปานกลางเท่ากับ 30 – 70 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.9 สำหรับผลการจำลองต้นแบบ แสดงในภาคผนวก ข



รูปที่ 3.9 การกระจายแสงของท่อนำแสงจากโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2

ผลการวิเคราะห์การกระจายแสง พบว่า ท่อนำแสงผิวภายในสร้างจากแผ่นอลูมิเนียมผิวขัดมันมีค่าการกระจายแสงมากที่สุดในช่วงเวลา 10:00 ถึง 15:00น. มีค่าเท่ากับ 51.2 เปอร์เซ็นต์ สำหรับท่อนำแสงสร้างจากแผ่นอะคริลิก มีค่าการกระจายแสงเท่ากับ 44.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการกระจายแสงที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันอยู่ที่ 6.3 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาการนำแสงด้วยท่อนำแสงที่ใช้วัสดุเป็นแผ่นอลูมิเนียมผิวขัดมัน มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ 95 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการกระจายแสงต่ำประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยนำมาม้วนเป็นวงกลม จากการศึกษาพบว่า การนำไปใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารทางด้านข้าง สำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงจะขึ้นอยู่กับปริมาณความส่องสว่างที่ต้องการจากพื้นที่ใช้งาน และสามารถนำแผ่นสะท้อนแสงนี้มาดัดแปลงใช้ในงานวิจัยตามความต้องการ โดยมีข้อดี และข้อเสียดังต่อไปนี้

ข้อดีของการนำแสงด้วยท่อนำแสงโดยใช้ผิวภายในเป็นแผ่นอลูมิเนียมสะท้อนแสง คือ

(1) การติดตั้งสามารถกำหนดขนาดความกว้าง ความยาวได้ตามความต้องการ เนื่องจากการใช้แผ่นอลูมิเนียมไม่ต้องสั่งทำพิเศษเฉพาะจากโรงงานผลิต
(2) ท่อนำแสงทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบา เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ท่อนำแสงที่ทำด้วยกระจก อะคริลิกหรือพลาสติกใส ทำให้น้ำหนักที่จะบรรทุกโครงสร้างอาคารได้
(3) การติดตั้งทำได้ง่าย และสะดวก อีกทั้งราคาไม่สูงมากนัก
(4) แผ่นสะท้อนแสงเกิดการสูญเสียระหว่างทางต่ำ เนื่องจากการสะท้อนภายใน และวัสดุเคลือบผิวภายในจะทำให้แสงเกิดการกระจายได้น้อย
(5) สามารถประกอบเป็นโครงสร้างทรงกลมหรือสี่เหลี่ยมได้ง่าย
(6) สามารถใช้ข้อต่อปิดด้วยกระจกหรือการอุดรอยต่อด้วยซิลิโคนได้

ข้อเสียของการนำแสงด้วยท่อนำแสงโดยผิวภายในเป็นแผ่นอลูมิเนียมสะท้อนแสง คือ

(1) การกำหนดทิศทางและตำแหน่งการให้แสงจากท่อนำแสงไม่เป็นอิสระ เนื่องจากท่อนำแสงเป็นวัสดุแข็ง ไม่สามารถดัด งอ โค้งได้สะดวก การหักมุมจึงต้องมีข้อต่อ ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียแสงในบริเวณนี้มาก

(2) ข้อควรระวังในการติดตั้ง คือ สิ่งสกปรกจะจับที่ผิวของอลูมิเนียมภายในท่อนำแสง เพราะจะทำให้ลดประสิทธิภาพของการสะท้อนแสงได้

(3) การสะท้อนแสงภายในปัจจุบันสามารถพบวัสดุที่เป็นอลูมิเนียมผิวขัดมันมีค่าการสะท้อนแสงเพียง 95 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งทำให้แสงธรรมชาติเกิดการสูญเสียปริมาณของแสงทุกๆ 5 เปอร์เซ็นต์ต่อการสะท้อนแสงในแต่ละครั้ง

(4) ต้องสูญเสียพื้นที่ และเนื้อที่ในการติดตั้งเนื่องจากท่อนำแสงมีขนาดใหญ่ตามปริมาณแสง และระยะทางการนำพาแสงไปใช้งาน

(5) ไม่สามารถให้ความส่องสว่างกับพื้นที่ใต้ท่อนำแสงได้ โดยแสงออกที่ปลายท่อเท่านั้น

ข้อดีของการใช้แผ่นอลูมิเนียมผิวขัดมันมีส่วนดีหลายอย่าง ดังนั้นจึงเลือกใช้วัสดุนำแสงด้วยแผ่นอลูมิเนียมผิวขัดมันที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 95 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแสงที่ตกกระทบและสะท้อนกลับมีลักษณะเป็นแสงตรง สามารถกำหนดทิศทางการสะท้อนได้ง่าย มีราคาไม่สูงมากนัก และวัสดุที่ใช้ออกแบบท่อนำแสงสามารถหาได้ง่ายภายในประเทศ ซึ่งเหมาะกับการทำงานวิจัย โดยพิจารณาเป็น 2 ประเภท คือ วัสดุโครงสร้างผนังทึบ และวัสดุโปร่งแสง แสดงตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติวัสดุของท่อนำแสง

	Dimension	Surface property		Material
	(m×m)	Property	Value	
Light pipe	0.4×3	Specular reflective	0.95	Aluminum sheet
Aperture	0.4	Transmittance	0.84	Clear glazing
Opening	0.4×0.5	Diffuse reflective	0.84	Clear glazing
Tiltable mirror 1	0.8×0.5	Specular reflective	0.95	Aluminum sheet
Tiltable mirror 2	0.5×0.5	Specular reflective	0.95	Aluminum sheet

3.2 ศึกษาข้อมูลตามช่วงฤดูกาลของจังหวัดสงขลา

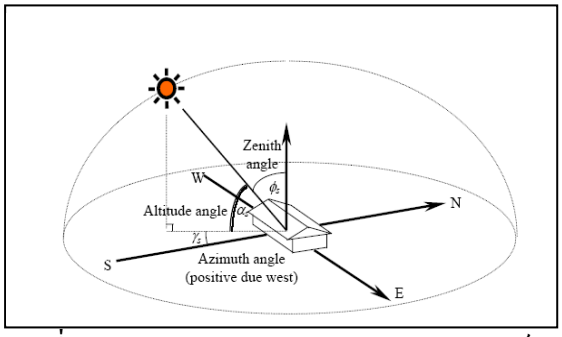
จากข้อมูลสภาวะภูมิอากาศของจังหวัดสงขลา พบว่า มีปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงไปใช้งานเป็นอย่างมาก จากข้อมูลในตารางที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณความเข้มแสงที่สูงสุดในเดือน มีนาคม และ มิถุนายน ซึ่งทำให้มีปริมาณความส่องสว่างสูงมากตามไปด้วย

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลภูมิอากาศของจังหวัดสงขลา

Monthly	Temperature	humidity	Cloud	Solar radiation (W/m^2)		
	ºC	(%)		Global	Direct	Diffuse
January	25.47	78.06	3.77	238.90	192.62	99.16
February	26.22	76.30	4.10	269.00	213.59	103.39
March	27.39	75.53	3.95	295.02	230.24	106.24
April	27.53	80.27	5.70	279.09	201.13	111.00
May	27.53	82.24	5.76	234.11	148.14	111.88
June	27.23	83.50	5.76	231.42	141.10	118.10
July	27.29	82.42	6.60	209.93	103.42	124.50
August	26.74	82.66	6.52	232.32	125.66	126.83
September	26.71	82.92	6.50	239.11	131.88	128.86
October	26.08	86.36	6.70	214.80	128.37	113.71
November	25.71	87.33	6.41	180.96	119.45	91.47
December	24.78	87.83	6.84	141.95	76.03	87.03

3.3 การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์ (การคำนวณแสดงในภาคผนวก ค)

ค่าของมุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Altitude angle;αs) และมุมอะซิมุทดวงอาทิตย์ (Azimuth angle; γs) คือ การพิจารณาทิศทาง และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใดๆบนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยอาศัยมุมเงยเป็นมุมที่แนวรังสีตรงดวงอาทิตย์กระทำกับระดับบนพื้นโลกและมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์เป็นมุมของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก (Shao et al, 1997) แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์

(Source: Shao et al, 1997)

ค่าของ Solar Time คือ เวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยเวลาที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีค่ามุมเงย หรือมุมยกขึ้นสูงสุด คือ solar noon สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 (Shao et al, 1997)

$$t_s = t_l - 4(L_{gs} - L_{gl}) + E_{qt} \quad (3.1)$$

โดยที่ t_s คือ Solar noon (ชั่วโมง)

t_l คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชั่วโมง)

L_{gs} คือ เส้นแวงหลักมาตรฐาน (องศา)
(สำหรับประเทศไทยเท่ากับ 105 องศาตะวันออก)

L_{gl} คือ เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณา (องศา)

E_{qt} คือ สมการของเวลา (Equation of Time) ผลต่างของเวลาสุริยะกับเวลาปกติ (นาที)

สมการของเวลาคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 และ 3.3

$$E_{qt} = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (3.2)$$

$$B = 360^{o} (j_d - 81) / 364, \ 1 \leq j_d \leq 365 \quad (3.3)$$

โดยที่ j_d คือ วันจูเลียน (Julian Date)ซึ่งเป็นลำดับที่ของวันในหนึ่งปี เช่น 1 = วันที่ 1 มกราคม หรือ 152 = วันที่ 1 มิถุนายน เป็นต้น

ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของตำแหน่งดวงอาทิตย์ มุมเงย และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Source: Shao et al, 1997) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5

$$\sin \alpha_s = \sin L_t \cdot \sin\delta + \cos Lt. \cos\delta \cdot \cos\omega \quad (3.4)$$

$$\sin \gamma_s = \cos\delta \cdot \sin\omega / \cos \alpha_s \quad (3.5)$$

โดยที่ L_t คือ เส้นรุ้ง ตำแหน่งที่พิจารณาของจังหวัดสงขลา (องศา)

δ คือ มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ (องศา)

ω คือ มุมแทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (องศา)

(Solar hour angle) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6

$$\omega = \pi\ (t_s - 12)/12 \qquad (3.6)$$

มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ คือ มุมที่แนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกกระทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตรมุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์สำหรับวันจูเลียน (j_d)ใดๆ คำนวณได้จากสมการที่ 3.7

$$\delta = 23.45 \sin [360(284+j_d) / 365] \qquad (3.7)$$

3.4 การคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสงที่เหมาะสม

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงจะขึ้นอยู่กับปริมาณความส่องสว่างที่ต้องการ แต่ในขณะเดียวกันความส่องสว่างจะแปรผันตามสภาวะภูมิอากาศ ดังนั้นการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความส่องสว่างที่เกิดขึ้นภายนอก และภายในอาคาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.1 การคำนวณสภาพท้องฟ้าแบบต่างๆ

สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ

แบบที่ 1 คือ สภาพท้องฟ้าแบบ overcast sky เป็นสภาพท้องฟ้าที่ไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ โดยมีปริมาณเมฆปกคลุมมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป (ท้องฟ้าต้องฝนไม่ตก) ด้วยเหตุนี้สภาพท้องฟ้าลักษณะนี้จะให้ความสว่างในปริมาณที่ไม่สม่ำเสมอกัน (Jones et al, 2005) สามารถหาได้จากสมการที่ 3.8

$$E_H = 300 + 21000 \sin \alpha_s \qquad (3.8)$$

โดยที่ E_H คือ ความส่องสว่างภายนอก (ลักซ์)

แบบที่ 2 คือ สภาพท้องฟ้าแบบ Clear sky สภาพท้องฟ้าโปร่งเป็นสภาวะท้องฟ้าที่เมฆปกคลุมไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยความสว่างของท้องฟ้าที่ระดับขอบฟ้าจะมีค่าเป็น 3 เท่าของความส่องสว่างจากท้องฟ้าที่ระดับยอดฟ้า หรือเป็นสภาพของท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆปกคลุม ซึ่งความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้เกิดจากแสงมีการกระจายจากท้องฟ้าในแบบ Diffuse Illumination และแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์เกิดขึ้น ความส่องสว่างของพื้นแนวระนาบจากแสงกระจายของท้องฟ้าพิจารณาเพียงครึ่งท้องฟ้าจะมีความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 300 ถึง 2,000 ฟุตแลมเบิร์ต ท้องฟ้าประเภทนี้มีระดับความส่องสว่างที่เกิดจากแสงโดยตรงของดวงอาทิตย์ สำหรับแสงกระจายจากท้องฟ้า พบว่า ความส่องสว่างสามารถแยกออกเป็น 2 สมการ คือแสงกระจายของท้องฟ้าไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Jones et al, 2005) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.9

$$E_H = 1345 + 14795 \sin \alpha_s \qquad (3.9)$$

และแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ไม่รวมแสงกระจายจากท้องฟ้าสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.10

$$\log E_H = 4.466 + 0.31 \log \alpha_s \qquad (3.10)$$

แบบที่ 3 คือ สภาพท้องฟ้าแบบ partly cloudy sky สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนปกคลุม 30 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความแปรปรวนของระดับความส่องสว่างสูง เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของเมฆอยู่ตลอดเวลา ระดับความส่องสว่างของท้องฟ้าแบบนี้จะมากกว่าท้องฟ้าแบบโปร่งประมาณ 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลของการสะท้อนแสงจากเมฆแบบโปร่ง (Jones et al, 2005) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.11

$$E_H = 570 \alpha_s \qquad (3.11)$$

3.4.2 การคำนวณฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous Flux : φ)

เป็นพลังงานของแสงสว่างที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งมีหน่วยเป็น ลูเมน (Smith et al, 1998) ค่าฟลักซ์ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแสงแผ่อยู่ภายในมุมเชิงของแข็ง (Solid angle) โดยแหล่งกำเนิดแสงจะมีความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดลา (Candela) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.12

$$\varphi = \tau E_H \pi r^2 \qquad (3.12)$$

โดยที่ φ = ฟลักซ์ส่องสว่างของท่อนำแสง (ลูเมน)

τ = ผลรวมการส่งผ่านของท่อนำแสง (%)

E_H = ความส่องสว่างภายนอก (ลักซ์)

r = รัศมีของท่อนำแสง (เมตร)

3.4.3 การคำนวณจำนวนของการสะท้อนแสง (Number of reflection)

เป็นจำนวนการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสง โดยมีการเปลี่ยนแปลงมุมแหล่งกำเนิดตามระยะเวลาของแต่ละวัน (Edmonds et al, 1995) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของพื้นที่ (A) ต่อรัศมี (r) โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวย ซึ่งจุดศูนย์กลางของทรงกลมอยู่ที่ส่วนแหลมสุดของท่อนำแสง แสดงตามสมการที่ 3.13

$$n = \mathrm{int}\left[\frac{L \tan \theta}{s}\right] \qquad (3.13)$$

โดยที่ n = จำนวนการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสง (ครั้ง)

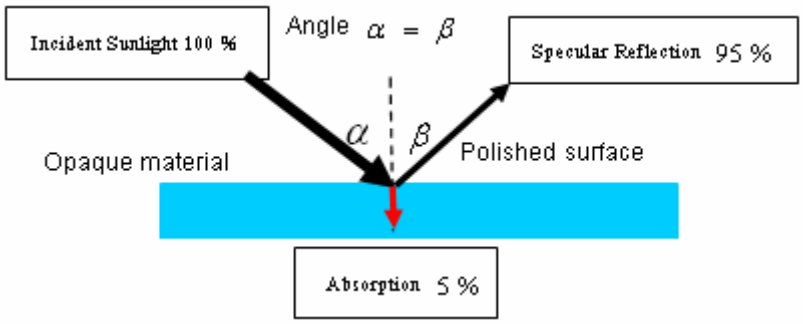
L = ความยาวของท่อนำแสง (เมตร)

θ = มุมของการสะท้อน (องศา)

S = ความกว้างของท่อนำแสง (เมตร)

3.4.4 การศึกษาพฤติกรรมแสง (Behavior)

สำหรับพฤติกรรมแสงที่ทำให้เกิดการสูญเสียของปริมาณความเข้มแสงภายในท่อนำแสง เพราะค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของวัสดุท่อนำแสงมีค่าไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียเมื่อแสงเดินทางจากแหล่งกำเนิดมากระทบพื้นผิวของท่อนำแสง (Edmonds et al, 1996) แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลักษณะพฤติกรรมแสงกระทำกับผิววัสดุ

3.4.5 การคำนวณการส่งผ่านของแสง (Transmission)

เป็นแสงที่ตกกระทบทางด้านหนึ่งของตัวกลาง แต่แสงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและอีกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ โดยทั่วไปแล้วมุมของแสงก่อนจะส่องผ่านตัวกลางจะเท่ากับมุมของแสงหลังจากทะลุผ่านตัวกลางไปแล้ว สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจากวัสดุกับจำนวนการสะท้อนแสงภายในท่อนำแสง (Beltrán et al, 1997) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการที่แสงเกิดการสะท้อนภายใน 1 ลำแสงและ 2 ลำแสง ที่มุมเท่ากัน แสดงด้วยสมการที่ 1.1 และ 1.2

3.4.6 การคำนวณความส่องสว่าง (Illumination: E)

เป็นปริมาณความส่องสว่างบนพื้นที่ผิววัตถุแปรผันตรงกับความเข้มแสง และแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสองระหว่างพื้นที่ผิวมีหน่วยเป็นลักซ์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.14

$$E = (I / d^2) \qquad (3.14)$$

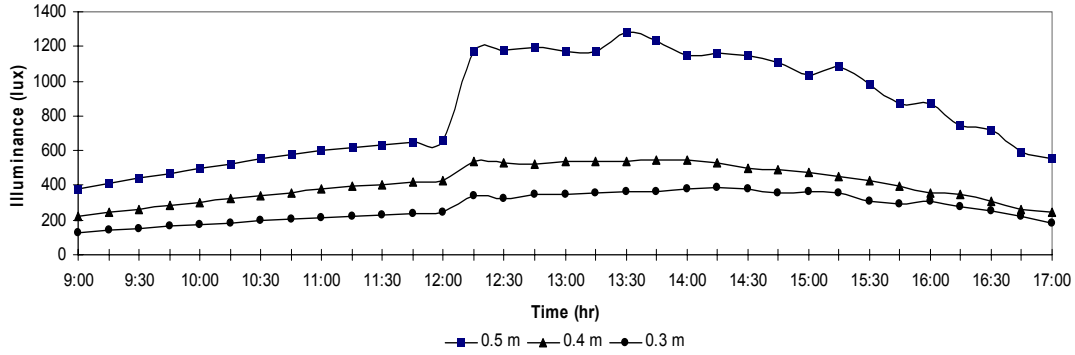
โดยที่ E คือ ปริมาณการส่องสว่างบนพื้นที่ผิว (ลักซ์)

I คือ ความเข้มแสงในทิศทางที่พุ่งไปหาพื้นที่ (แคนเดลา)

d คือ ระยะห่างระหว่างพื้นพิจารณากับแหล่งกำเนิดแสง (เมตร)

3.5 ผลการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสง

การออกแบบระบบท่อนำแสงเป็นวิธีการนำแสงธรรมชาติจากภายนอกอาคารมาใช้ภายในอาคาร จะต้องคำนึงถึงปริมาณความส่องสว่างของการทำงานในบริเวณต่างๆที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และไม่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดปัญหาเรื่องความจ้าของแสงหรือแสงบาดตา ดังนั้นการออกแบบในงานวิจัยนี้จะออกแบบเพื่อใช้งานในส่วนของสำนักงาน โดยใช้ความส่องสว่างอยู่ที่ 300 ถึง 500 ลักซ์ ตามค่ามาตรฐานที่กำหนดได้ และมีพื้นที่เท่ากับ 4 เมตร × 4 เมตร เพื่อสามารถเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการคำนวณของท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.3 เมตร, 0.4 เมตร และ 0.5 เมตร แสดงผลวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.12 ตัวอย่างการคำนวณจะแสดงในภาคผนวก ค



รูปที่ 3.12 ความส่องสว่างของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 m, 0.4 m และ 0.5 m

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เมตร, 0.4 เมตร และ 0.5 เมตร ของช่วงปริมาณเมฆ 30 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 3.12 พบว่า ค่าความส่องสว่างแตกต่างกัน คือ ท่อนำแสงที่มีความยาวเท่ากัน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า จะมีปริมาณความส่องสว่างมากกว่าท่อนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก พบว่า ท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.3 เมตร มีค่าความส่องสว่างโดยรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 200 ถึง 300 ลักซ์ ซึ่งมีปริมาณความส่องสว่างน้อยกว่าค่ามาตรฐาน สำหรับความส่องสว่างของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 เมตร พบว่า มีความส่องสว่างโดยรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 800 ถึง 1100 ลักซ์ ซึ่งมีปริมาณความส่องสว่างมากกว่าค่ามาตรฐาน และการคำนวณความส่องสว่างของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์เท่ากับ 0.4 เมตร พบว่า มีความส่องสว่างโดยรวมเฉลี่ยอยู่ที่ 300 ถึง 500 ลักซ์ ซึ่งเป็นปริมาณความส่องสว่างที่ได้มาตรฐาน และเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานกับสำนักงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้นำท่อแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4 เมตร ไปใช้ในสร้างชุดทดลองและติดตั้งในงานวิจัยต่อไป

3.6 สรุปการออกแบบท่อนำแสง

ในบทที่ 3 นี้ได้เสนอในส่วนการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำแสง เพื่อให้ได้ความส่องสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งานในสำนักงาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวัสดุที่ใช้สร้างชุดทดลองของท่อนำแสงจากการจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.2 และการคำนวณสภาวะภูมิอากาศของจังหวัดสงขลาในแต่ละช่วงเวลา สำหรับบริเวณสำนักงานที่ใช้ทำงานวิจัยมีพื้นที่เท่ากับ 4 เมตร × 4 เมตร ซึ่งต้องมีค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานอยู่ที่ 300 ถึง 500 ลักซ์ โดยมีการจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรมเพื่อหาวัสดุที่เหมาะสมกับการใช้งาน พบว่า การนำแสงด้วยท่อนำแสงที่ใช้วัสดุเป็นแผ่นอลูมิเนียมผิวขัดมัน มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ 95 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการกระจายแสงต่ำประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ให้ระดับการส่องสว่างดีกว่าอะครีลิกใส ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุเป็นแผ่นอลูมิเนียมผิวขัดมัน เพื่อนำไปคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแสงที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยการศึกษาพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4 เมตร สามารถนำแสงสว่างจากภายนอกอาคารผ่านท่อนำแสงเข้ามาภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม และมีปริมาณความส่องสว่างตามมาตรฐานที่กำหนดไว้