

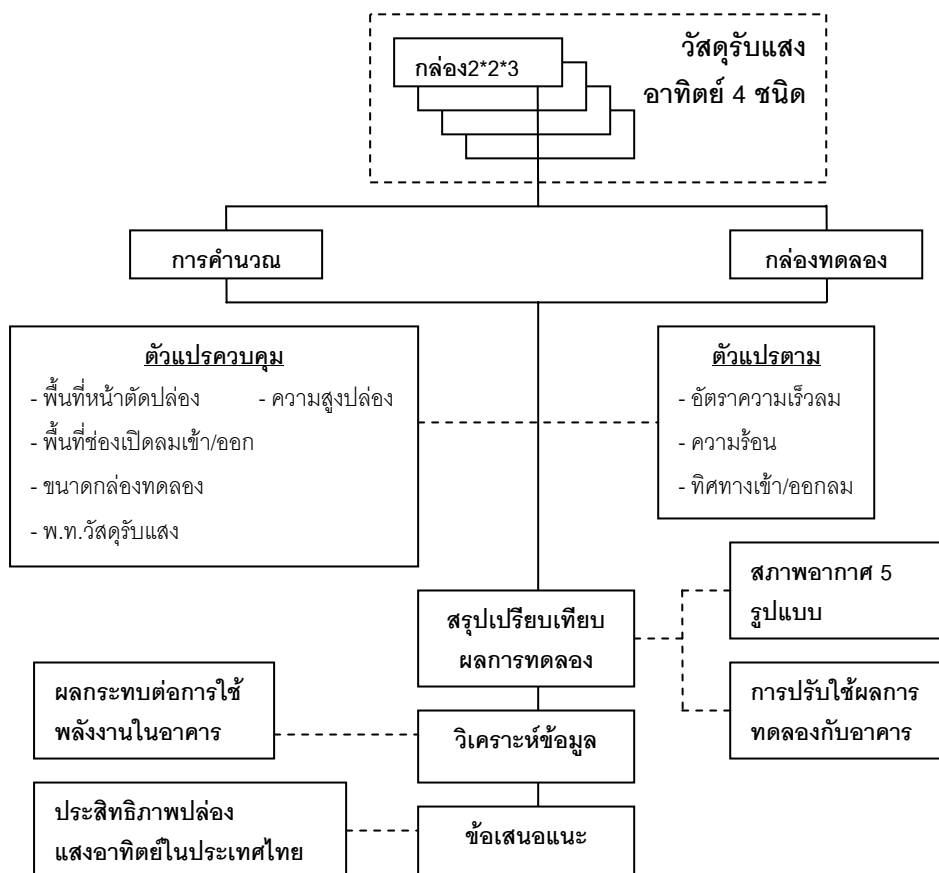
บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องแสงอาทิตย์ โดยผลของการศึกษานี้นำไปสู่การเสนอแนะแนะวิธีการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ก่อให้เกิดอากาศภายในอาคารที่มีความเร็วลมเหมาะสม และอุณหภูมิอยู่ในสภาวะน่าสบาย โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

ภาพที่ 3.1
ขั้นตอนงานวิจัยทั้งหมด



ตารางที่ 3.1
ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาเบื้องต้นเพื่อกำหนดกรอบและหัวข้อวิจัย												
2. รับอนุมัติให้ดำเนินโครงการ (สอบหัวข้อ)												
3. ศึกษาแนวความคิด ทฤษฎี จากบทความทางวิชาการ การระบายอากาศด้วยปล่องแสงอาทิตย์ -รูปแบบการระบายอากาศแบบธรรมชาติ -งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง -ทฤษฎีการคำนวณการระบายอากาศในอาคาร												
4. กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง -รวบรวมข้อมูลเพื่อสรุปลักษณะตึกแถว -สรุปแนวทางและจำนวนกล่องทดลอง -ออกแบบกล่องทดลอง												
5. การทดลอง 5.1 การคำนวณด้วยสมการเบื้องต้น 5.2 การทดลองด้วยกล่องทดลอง 5.4 สรุปผลการทดลองเชิงเปรียบเทียบ 5.5 ตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาดในการจำลอง												
6. เลือกความสูงที่ระบายอากาศดีที่สุดมาจำลองใน สภาพอากาศทั่วโลก												
7. ตรวจสอบและแก้ไขความผิดพลาดในการจำลอง												
8. ประมวลผล												
9. สรุปผลและวิเคราะห์ข้อมูล												
10. เขียนรายงานผลการวิจัย												
11. จัดทำแนวทางการออกแบบ/ข้อเสนอแนะ												
12. ส่งรายงานการวิจัยและแนวทางการออกแบบ												

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.1 ประชากร

ประชากร คือ วัสดุโปร่งใสในปล่องแสงอาทิตย์และประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างในที่นี้เป็นการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจง คือ วัสดุโปร่งใสในปล่องแสงอาทิตย์มี 4 ชนิด คือ

1. กระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร 1 ชั้น
2. กระจกสะท้อนความร้อนวางกลับด้านหนา 6 มิลลิเมตร
3. กระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร 2 ชั้น
4. บล็อกแก้ว

ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนภูมิอากาศทั่วโลกนั้น มีการเลือกแบบจำเพาะเจาะจงเช่นกัน โดยจะมีประเทศต่าง ๆ ดังนี้

1. กรุงเทพฯ ประเทศไทย ตัวแทนภูมิอากาศเขตร้อนชื้น
2. การาจี่ ประเทศปากีสถาน ตัวแทนภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง
3. ลอนดอน ประเทศอังกฤษ ตัวแทนภูมิอากาศเขตอบอุ่น เหนือเส้นศูนย์สูตร
4. ซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ตัวแทนภูมิอากาศเขตอบอุ่น ได้เส้นศูนย์สูตร
5. เฮลซิงกิ ประเทศฟินแลนด์ ตัวแทนภูมิอากาศเขตหนาว

3.3 การทดลอง

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่ต้องการทราบการเกิดการระบายอากาศในปล่องแสงอาทิตย์ วัสดุโปร่งใสที่มีผลต่อการเกิดการระบายอากาศในปล่องแสงอาทิตย์ และ การใช้ปล่องแสงอาทิตย์ในภูมิอากาศต่าง ๆ ทั่วโลก เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางการออกแบบปล่องแสงอาทิตย์ในตึกแถวต่อไป จึงเกิดการทดลองย่อยในงานวิจัยนี้ทั้งสิ้น 4 การทดลอง โดย

จากตารางที่ 3.2 จะทำให้สามารถสรุปได้ว่า มีการใช้ทั้งกล่องทดลองและสมการในการทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองจากเกิดตัวแปรในการทดลองที่แตกต่างกันออกไป

ตารางที่ 3.2

การทดลองและการคำนวณในงานวิจัย

การทดลองที่	ลักษณะการทดลอง	การศึกษา
1	ใช้กล่องทดลองกว้าง 2.00 m. ยาว 2.00 m. สูง 1.50 m. (ปล่องสูง 1.00 m.)	การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการเกิดการระบายอากาศจริงเบื้องต้น โดยใช้กล่องทดลอง
2	ใช้กล่องทดลองกว้าง 2.00 m. ยาว 2.00 m. สูง 2.40 m. (ปล่องสูง 2.00 m.)	การทดลองเพื่อหาการเกิดอัตราการระบายอากาศที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน
3	ใช้สมการที่ 3.1 ในการคำนวณ	การทดลองเพื่อหาวัสดุกระจับแสงที่ทำให้เกิดอัตราการระบายอากาศที่มากที่สุด
4	ใช้สมการที่ 3.1 ในการคำนวณ	การทดลองเพื่อหาอัตราการระบายอากาศในปล่องแสงอาทิตย์เมื่อมีภูมิอากาศแตกต่างกัน

3.3.1 รูปแบบการวิจัยเพื่อทดลอง

การวิเคราะห์อิทธิพลของแรงผลักดันอากาศภายในอาคารจากความร้อนที่วัสดุได้รับจากแสงอาทิตย์ โดยจะเกิดความร้อนที่พื้น และผนังที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ซึ่งงานวิจัยนี้จัดเป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งศึกษาวิจัยในเชิงปริมาณ (quantitative research) และเชิงคุณภาพ (qualitative research) โดยนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี

3.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษา และวิเคราะห์ผลของ Chenvidyakarn and Woods (2004) ในบทที่ 2 ซึ่งได้สมการที่จะนำมาคำนวณ 2 สมการ คือ

$$Q = [A^*]^{\frac{2}{3}} \cdot \left[\frac{g \cdot \infty}{\rho \cdot C_p} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot [H_v]^{\frac{1}{3}} \cdot (h_1 + h_2)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{สมการ 3.1})$$

$$H_V = H_{in} + H_{w-g} - H_r - H_g + \gamma H_g - H_{inf} \quad (\text{สมการ 3.2})$$

โดยที่	g	= แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)
	h_1	= ระยะระหว่างช่องเปิดด้านล่างและฐานปล่องระบายอากาศ (m.)
	h_2	= ความสูงปล่องระบายอากาศ (m.)
	ρ	= ความหนาแน่น (kg/m^3)
	Q	= อัตราการระบายอากาศ (m^3/s)
	A^*	= ผลคูณของพื้นที่ช่องเปิดกับสัมประสิทธิ์ความฝืดของช่องเปิด (m^2)
	∞	= ค่าคงที่อัตราการขยายตัวของอุณหภูมิ ($1/\text{K}$)
	C_p	= ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kgK)
	H_V	= ความร้อนจากดวงอาทิตย์ (W)
	H_g	= ความร้อนจากกระจก (Watt)
	H_{in}	= ความร้อนเข้ามาในปล่อง (Watt)
	H_{w-g}	= ความร้อนสูญเสียของระบบ (Watt)
	H_r	= ความร้อนที่วัสดุรับแสงอาทิตย์ (โลหะ) (Watt)
	H_V	= ความร้อนที่ทำให้เกิดการลอยตัวของอากาศ (Watt)
	H_{inf}	= ความร้อนที่สูญเสียไปกับการรั่วซึม (Watt)

ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการที่ 3.1 ในการคำนวณหาค่าอัตราความเร็วลม และอุณหภูมิภายในอาคาร และสมการที่ 3.2 ในการคำนวณหาความร้อนที่เกิดขึ้นในปล่องแสงอาทิตย์ โดยตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดในสมการคำนวณเหล่านี้จะเป็นตัวแปรในการทดลองทั้งสิ้น ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจริง และจากการคำนวณจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและสรุปผลต่อไป

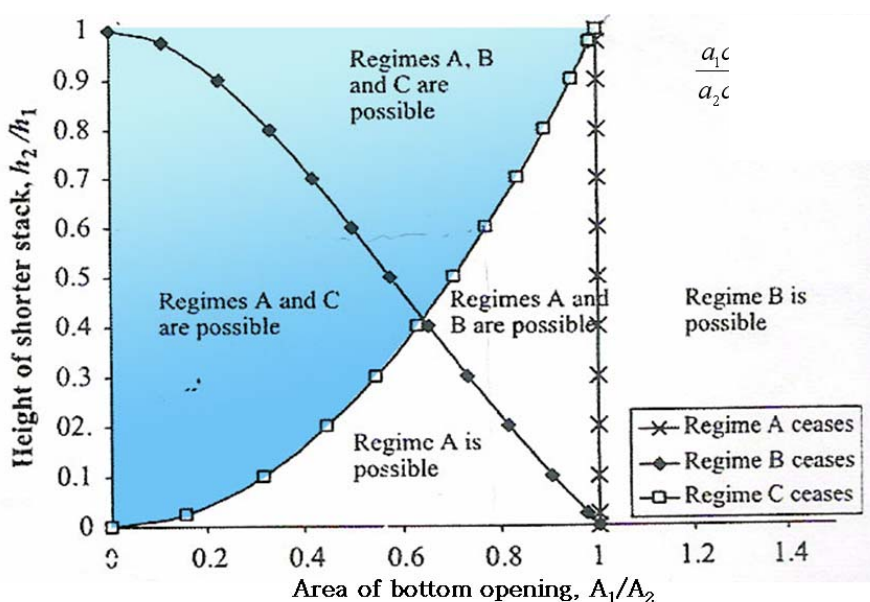
3.3.3 กล่องทดลอง

จากการสรุปการทดลองในตารางที่ 3.2 จะมีการทดลองที่ใช้กล่องทดลองอยู่ 2 การทดลอง ซึ่งมีรูปแบบกล่องแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนี้

1) การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองเบื้องต้นที่มีการใช้กล่องทดลองขนาด กว้าง 2.00 เมตร ยาว 2.00 เมตร สูง 1.50 เมตร ต่อบล็อกแสงอาทิตย์ระบายนอากาศกว้าง 0.20 เมตร ยาว 2.00 เมตร สูง 1.00 เมตร เพื่อทดสอบการเกิดการระบายนอากาศในกล่องทดลองจริง โดยขนาดและช่องเปิดของกล่องทดลองจะกำหนดตามภาพที่ 3.2 ให้เกิดความสัมพันธ์ในรูปแบบ C เพื่อบังคับให้เกิดการระบายนอากาศออกจากปล่องในทิศทางขึ้นข้างบนเท่านั้น

ภาพที่ 3.2

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความสูงปล่องกับอัตราพื้นที่ช่องเปิดกล่อง

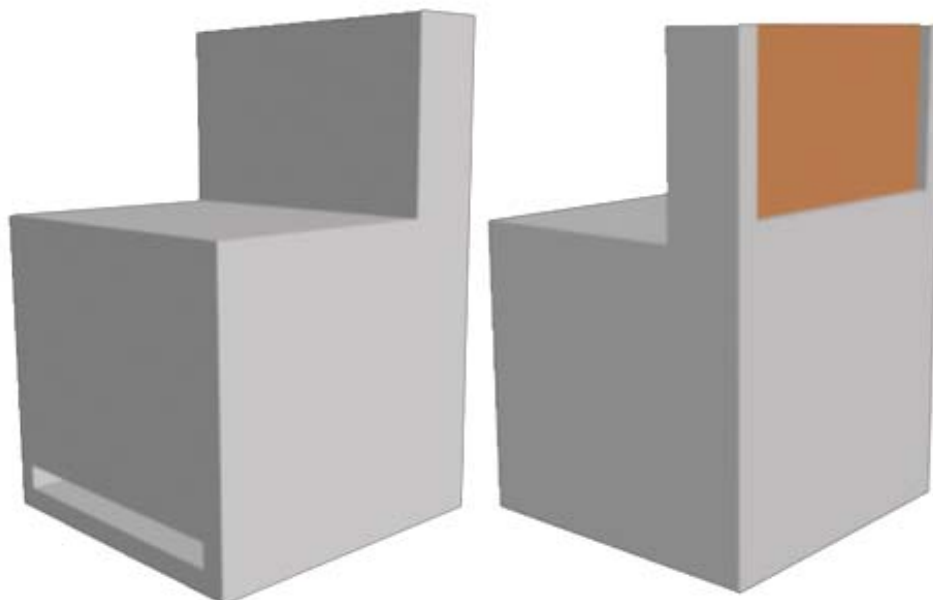


ที่มา: Chenvidyakarn and Woods, 2004.

2) การทดลองที่ 2 กล่องทดลองที่ใช้มีความกว้าง 2.00 เมตร ยาว 2.00 เมตร สูง 2.40 เมตร ต่อบล็อกแสงอาทิตย์ระบายนอากาศกว้าง 0.20 เมตร ยาว 2.00 เมตร สูง 2.00 เมตร โดยให้ผนังปล่องด้านหนึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ คือ กระจก 1 ชั้นใส ผนังกล่องทดลองด้านที่ใช้วัสดุกระจกไปในทิศทางรับแสง ซึ่งในที่นี้ใช้ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ 500 วัตต์ จำนวน 8 ดวง แทนแสงอาทิตย์ ผนังปล่องด้านตรงข้ามกระจกใช้เป็นวัสดุอลูมิเนียมพ่นสีดำ ด้านเพื่อเพิ่มความร้อนในปล่องแสงอาทิตย์ ส่วนผนังด้านอื่นเป็นผนังที่ทนความร้อนได้ดี และไม่มี การสูญเสียความร้อน (heat loss) เข้าออกภายในและภายนอกอาคาร คือ วัสดุโฟมหนา 6 นิ้ว ฉาบปูนผสมเบสโค้ด เนื่องจากในการทดลองจะสนใจปัจจัยสำคัญด้านความร้อนและความเร็วลม

ภายในอาคารเป็นหลัก และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณ เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุและปัจจัยดังกล่าว การออกแบบกล่องทดลองดังกล่าวอ้างอิงมาจากการทดลองของ Chenvidyakarn and Woods (2004) ซึ่งแสดงค่าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความสูงปล่องกับอัตราพื้นที่ขนาดช่องเปิดด้านบนและล่าง ดังภาพที่ 3.2 ด้วย

ภาพที่ 3.3
จำลองกล่องทดลองที่ใช้ศึกษา

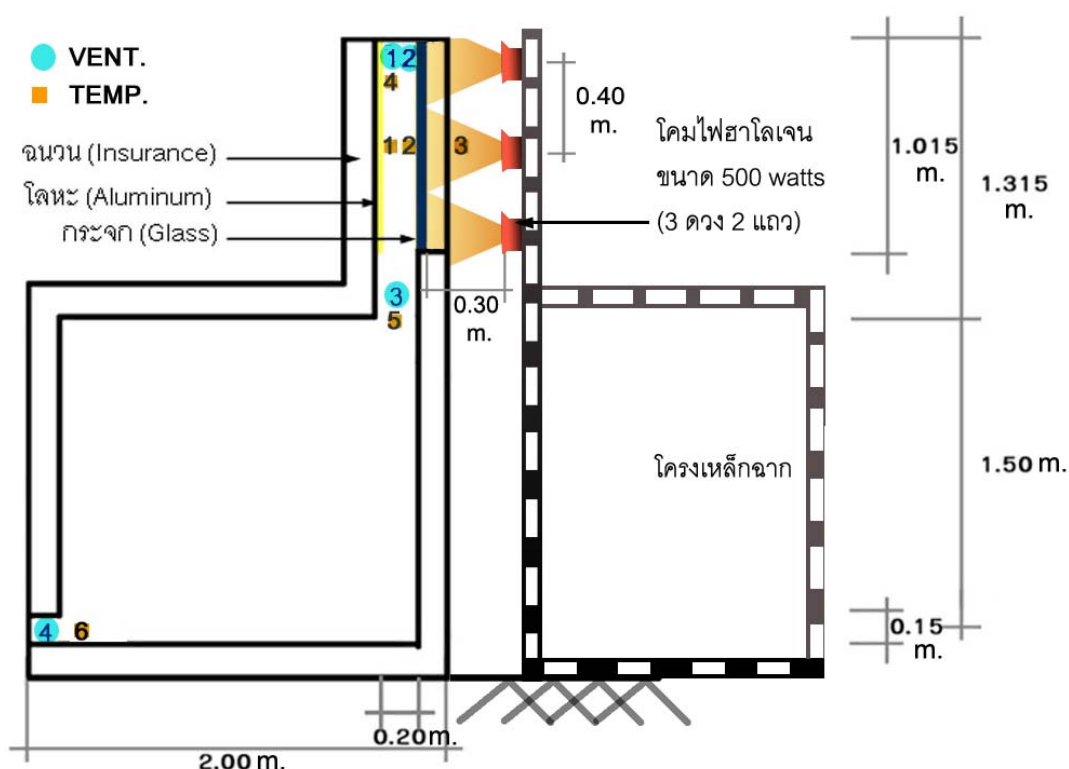


3.3.4 วิธีการทดลอง

1) ใช้กล่องทดลองที่ 1 ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งผิวอุณหภูมินิ่ง ผิวกระจกด้านใน ผิวกระจกด้านนอก ลมออก ลมเข้า ฐานปล่องแสงอาทิตย์ ห่างฐานปล่องแสงอาทิตย์ 0.30 เมตร ห่างฐานปล่องแสงอาทิตย์ 0.60 เมตร และอากาศนอกกล่องทดลอง จำนวนทั้งสิ้น 9 จุด เพื่อทดสอบกล่องทดลองในสภาพแวดล้อมจริงเบื้องต้น และสังเกตความร้อนจากปล่องแสงอาทิตย์ว่าส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองหรือไม่ และติดตั้งเซนเซอร์วัดความเร็วลมที่ตำแหน่งลมเข้า ฐานปล่องแสงอาทิตย์ และลมออก จำนวน 3 จุด แล้วให้ความร้อนแก่ปล่องแสงอาทิตย์ด้วยโคมไฟฮาโลเจนขนาด 500 วัตต์ จำนวน 8 ดวง และติดตั้งอุปกรณ์ลดความเข้มแสง (dimmer) ไว้เพื่อกำหนดค่าความเข้มแสงก่อนเข้าปล่องแสงอาทิตย์ที่ 0 วัตต์ 200

วัตต์ 400 วัตต์ 600 วัตต์ และ 800 วัตต์ เพื่ออ่านค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นแล้ววิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองที่สองต่อเนื่องจากการทดลองนี้ต่อไป

ภาพที่ 3.4
การติดตั้งเครื่องมือในกล่องทดลองที่ 1

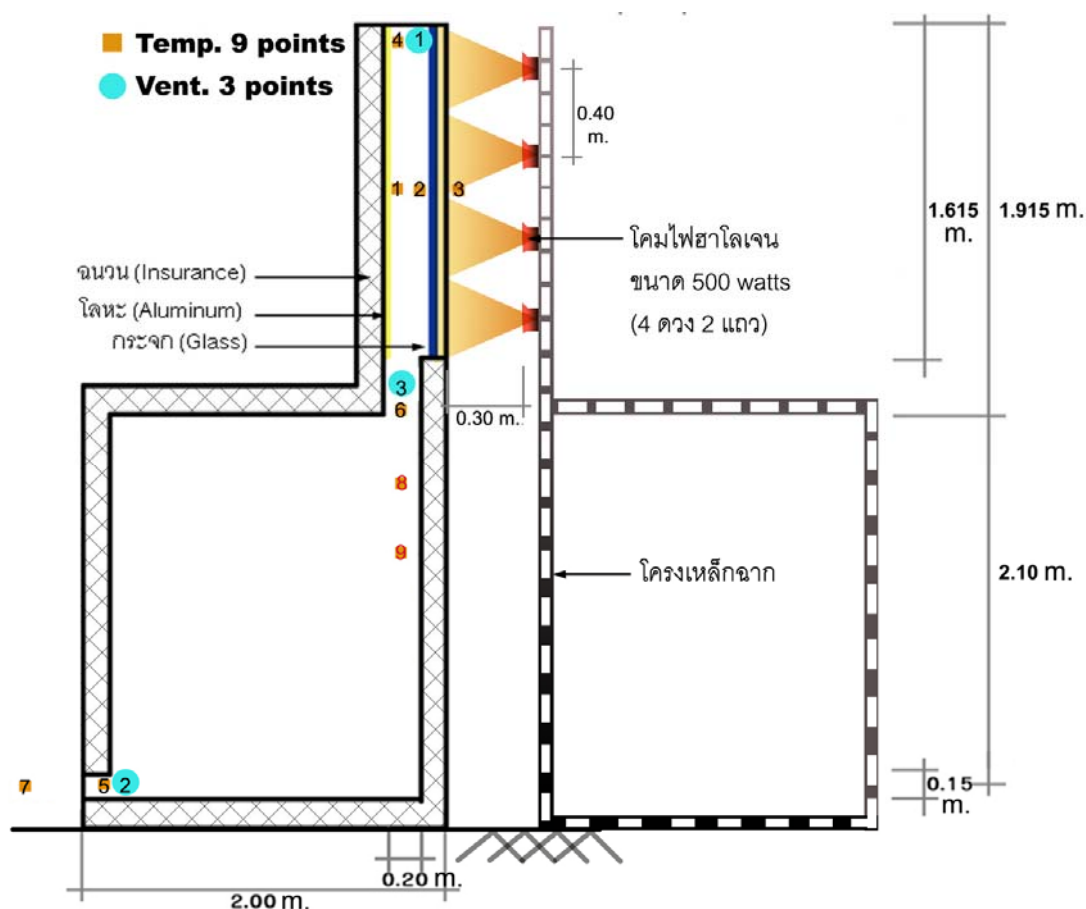


2) จากผลการทดลองที่ 1 ทำการปรับปรุงกล่องทดลองเพื่อให้เกิดอัตราการระบายอากาศในกล่องทดลองที่มากขึ้น จึงได้กล่องทดลองที่ 2 ดังภาพที่ 3.4 ที่เพิ่มความสูงกล่องทดลองและปล่อยแสงอาทิตย์ขึ้นไป เพื่อให้เกิดสัดส่วนที่จะเกิดการระบายอากาศขึ้นด้านบนได้ ในการทดลองที่ 2 นี้ จะเปลี่ยนค่าความร้อนที่ให้แก่ปล่อยแสงอาทิตย์เป็น 300 วัตต์ 400 วัตต์ 500 วัตต์ 600 วัตต์ 700 วัตต์ และ 800 วัตต์ เมื่ออ่านค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นแล้ว จึงนำไปคำนวณหาค่าอัตราการระบายอากาศเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบที่ได้จากการคำนวณ

การติดตั้งเซนเซอร์ในกล่องทดลองที่ 2 นั้น ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งผิวอุณหภูมิผิวกระจกด้านใน ผิวกระจกด้านนอก ลมออก ลมเข้า ฐานปล่อยแสงอาทิตย์ และอากาศนอกกล่องทดลอง จำนวนทั้งสิ้น 7 จุด เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองและ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ความร้อนจากวัสดุ และอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน และติดตั้ง เซนเซอร์วัดความเร็วลมที่ตำแหน่งลมเข้า ฐานปล่องแสงอาทิตย์ และลมออก จำนวน 3 จุด ดังต่อไปนี้

ภาพที่ 3.5
การติดตั้งเครื่องมือในกล่องทดลองที่ 2



จากนั้นอ่านค่าจากเครื่องวัดความเร็วลม (anemometer air velocity meter) แล้วจดบันทึกเอง ส่วนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (data locker) และเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อการอ่านค่าข้อมูลอุณหภูมิในลักษณะตารางและกราฟ เพื่อนำผลที่ได้ไปสรุปและวิเคราะห์ผล จากนั้นทำการทดลองในส่วนคำนวณโดยในวัสดุโปร่งแสงในปล่องแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด และจำลองกล่องทดลองใน 5 ประเทศ ที่เป็นตัวแทนภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก เพื่อทำการเปรียบเทียบต่อไป

ภาพที่ 3.6
กล่องทดลองที่ใช้ศึกษา



3) ทำการออกแบบปล่องแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคารตึกแถวในภูมิภาคที่แตกต่างกัน 5 ประเทศ แล้วทำการคำนวณอัตราการระบายอากาศ และอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่เกิดขึ้น เพื่อเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงของปล่องแสงอาทิตย์ระบายอากาศ

3.4 ตัวแปรในงานวิจัย

เนื่องจากการทดลองแบ่งย่อยเป็น 4 การทดลอง ทั้งจากการทำการทดลองจริงในกล่องทดลอง (กล่องทดลองเบื้องต้นและกล่องทดลองที่ 2 ที่ศึกษาปริมาณความร้อนที่มีต่ออัตราการระบายอากาศ) และการคำนวณค่าที่ได้จากสมการ (ทำการคำนวณอัตราการระบายอากาศเพื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองและการคำนวณอัตราการระบายอากาศในภูมิภาคที่แตกต่างกัน 5 ประเทศ) ซึ่งจะมีตัวแปรที่แตกต่างกันออกไป ดังตารางที่ 3.3 ถึง 3.5 ดังนี้

ตารางที่ 3.3

ตัวแปรต้น

การทดลอง	ตัวแปรต้น
1. กล้องทดลองเบื้องต้น	ปริมาณความเข้มรังสีที่ 0 วัตต์ 200 วัตต์ 400 วัตต์ 600 วัตต์ และ 800 วัตต์
2. กล้องทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณความร้อนที่มีผลต่ออัตราการระเหยอากาศ	ปริมาณความเข้มรังสีที่ 300 วัตต์ 400 วัตต์ 500 วัตต์ 600 วัตต์ 700 วัตต์ และ 800 วัตต์
3. ทำการคำนวณอัตราการระเหยอากาศเพื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง	1. ปริมาณความเข้มรังสีที่ 300 วัตต์ 400 วัตต์ 500 วัตต์ 600 วัตต์ 700 วัตต์ และ 800 วัตต์ 2. วัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ กระดาษ TAGC หนา 6 มิลลิเมตร (ค่า $\tau = 0.80$, $U = 5.83$ Watt/m ² K, SC = 0.96) กระดาษสะท้อนความร้อนสีฟ้า TAGC (วางกลับด้าน) หนา 6 มิลลิเมตร (ค่า $\tau = 0.30$, $U = 5.67$ Watt/m ² K, SC = 0.52) กระดาษสองชั้น TAGC หนา 18 มิลลิเมตร (ค่า $\tau = 0.61$, $U = 3.56$ Watt/m ² K, SC = 0.81) บล็อกแก้ว (ค่า $\tau = 0.75$, $U = 2.87$ Watt/m ² K)
4. การคำนวณอัตราการระเหยอากาศในภูมิภาคที่แตกต่างกัน 5 ประเทศ	1. ปริมาณความเข้มรังสีที่ 300 วัตต์ 400 วัตต์ 500 วัตต์ 600 วัตต์ 700 วัตต์ และ 800 วัตต์ 2. อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารของภูมิภาคที่แตกต่างกัน 5 ประเทศ ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย, การาจี้ ประเทศปากีสถาน, ลอนดอน ประเทศอังกฤษ, ซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย และเฮลซิงกิ ประเทศฟินแลนด์

ตัวแปรต้นตามการทดลองทั้ง 4 จะมีปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ให้แก่ปล่องแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรหลัก โดยในกล้องทดลองที่ 2 มีการปรับเปลี่ยนค่าปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์ให้เกิดความเหมาะสมมากขึ้นโดยตัดปริมาณความเข้มที่ 0-200 วัตต์ ทั้ง และ ทำการศึกษาละเอียดขึ้นโดยเพิ่มความถี่ในการให้ปริมาณความเข้มแสงจากเดิมทุก ๆ 200 วัตต์ เป็นทุก ๆ 100 วัตต์ ส่วนค่าปริมาณความเข้มรังสีมากที่สุด 800 วัตต์ ยังคงใช้เหมือนเดิมเนื่องจากอุณหภูมิภายในกล้องทดลองที่สูงมากในช่วงความเข้มรังสีนี้ เริ่มจะเกิดความร้อนเคลือบในการอ่านค่าความเร็วลมจากเครื่องมือวัดความเร็วลมแล้ว ส่วนการคำนวณจะมีการเพิ่มตัวแปรต้นเพื่อทำการเปรียบเทียบวัสดุกระจก และสภาพอากาศที่แตกต่างกัน โดยตัวแปรต้นทั้งหมดจะทำให้เกิดตัวแปรตามตารางที่ 3.4 ต่อไป

ตารางที่ 3.4

ตัวแปรตาม

การทดลอง	ตัวแปรตาม
1. กล้องทดลองเบื้องต้น	- ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน
2. กล้องทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณความร้อนที่มีผลต่ออัตราการระเหยอากาศ	- อัตราการระเหยอากาศ (m^3/s) - แรงดันอากาศในกล้องทดลอง (kg/ms^2)
3. ทำการคำนวณอัตราการระเหยอากาศเพื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง	- ความหนาแน่นของอากาศภายในอาคาร (kg/m^3) - ความร้อนที่ทำให้เกิดการลอยตัวของอากาศ (Watt), H_v
4. การคำนวณอัตราการระเหยอากาศในภูมิภาคที่แตกต่างกัน 5 ประเทศ	

ตารางที่ 3.5

ตัวแปรควบคุม

การทดลอง	ตัวแปรควบคุม	
1. กล้องทดลองเบื้องต้น	- วัสดุกระจก 1 ชั้น	- ความหนาแน่นอากาศภายนอกกล้อง (kg/m^3)
2. กล้องทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณความร้อนที่มีผลต่ออัตราการระเหยอากาศ	- อุณหภูมิอากาศนอกกล้องทดลอง	- ผลคูณของพื้นที่ช่องเปิดกับสัมประสิทธิ์ความฝืดของช่องเปิด - แรงโน้มถ่วงของโลก
3. ทำการคำนวณอัตราการระเหยอากาศเพื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง	- อุณหภูมิอากาศนอกกล้องทดลอง	- ระยะระหว่างช่องเปิดด้านล่างและฐานปล่องระบายอากาศ - ความสูงปล่องระบายอากาศ พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิด
4. การคำนวณอัตราการระเหยอากาศในภูมิภาคที่แตกต่างกัน 5 ประเทศ	- วัสดุกระจก 1 ชั้น	- สัมประสิทธิ์ความฝืดของช่องเปิด - ค่าคงที่อัตราการขยายตัวของอุณหภูมิ ($1/\text{K}$) - ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kgK) - วัสดุอุลูนัม

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรควบคุม เนื่องจากตัวแปรต้นของการทดลองทั้ง 4 ที่ไม่เหมือนกัน จึงทำให้เกิดตัวแปรควบคุมที่แตกต่างกันไป 3 รูปแบบ คือ ควบคุมทั้งอุณหภูมิอากาศภายนอกและวัสดุกระจก หรือควบคุมอย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรต้น

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 3.7
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



Anemometer Air Velocity Meter



Data Locker



Computer



Pyranometer

1) เครื่องวัดความเร็วลม (anemometer air velocity meter) แบบขดลวดมือถือยี่ห้อ เทสโต (testo) รุ่น 405-V1 ความละเอียด 0.01 m/s และ อุณหภูมิ 0.1 °C ค่าความคลาดเคลื่อนที่ $\pm 5\%$ วัดได้ที่อุณหภูมิ -20°C ถึง 70°C จำนวน 2 เครื่อง

จากภาพที่ 3.8 สามารถทำการปรับผลค่าที่ได้จากผลการทดลองในเส้นอื่น ๆ ได้ตามตารางค่าสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยใช้กราฟเส้นที่ 7 เป็นตัวเปรียบเทียบการคำนวณ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.6
ค่าสัมประสิทธิ์สมการ Coefficients (a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	
		B	Std. Error	Beta	B	Std. Error
1	(Constant)	0.458	1.022		0.448	0.656
	VAR00001	1.074	0.035	0.980	30.971	0.000
2	(Constant)	3.133	1.458		2.149	0.038
	VAR00002	0.925	0.046	0.954	19.905	0.000
3	(Constant)	2.485	1.580		1.572	0.124
	VAR00003	0.921	0.049	0.949	18.752	0.000
4	(Constant)	3.022	1.085		2.786	0.008
	VAR00004	0.977	0.036	0.974	26.878	0.000
5	(Constant)	1.787	1.703		1.049	0.301
	VAR00005	0.906	0.051	0.944	17.798	0.000
6	(Constant)	3.689	2.017		1.828	0.075
	VAR00006	0.879	0.062	0.914	14.081	0.000
8	(Constant)	3.834	1.501		2.555	0.015
	VAR00008	0.894	0.047	0.949	18.873	0.000

a. Dependent Variable: VAR00007

จากตารางที่ 3.6 สามารถเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากการทดลองด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$Y = a + b(X) \quad (\text{สมการ 3.3})$$

โดยที่ Y = ค่าที่ปรับจากการใช้สมการ
 X = ค่าที่ได้จากการวัดจริง

โดยจะมีค่าตัวแปร a และ b ตามสมการในตารางที่ 3.7 เพื่อปรับค่าที่อ่านได้จริงจากเทอร์โมคอปเปิลแต่ละเส้น

ตารางที่ 3.7
 การปรับค่าอุณหภูมิที่สายเทอร์โมคอปเปิล

หัวเซนเซอร์ที่	a	b	สมการ
1	0.458	1.074	$Y = 0.458 + 1.074(X)$
2	3.133	0.925	$Y = 3.133 + 0.925(X)$
3	2.485	0.921	$Y = 2.485 + 0.921(X)$
4	3.022	0.977	$Y = 3.022 + 0.977(X)$
5	1.787	0.906	$Y = 1.787 + 0.906(X)$
6	3.689	0.879	$Y = 3.689 + 0.879(X)$
7	หัวเซนเซอร์ที่ใช้เปรียบเทียบ		
8	3.834	0.894	$Y = 3.834 + 0.894(X)$

ตารางที่ 3.8 ค่า R ที่ได้จากการตรวจสอบค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมคอปเปิล แบบ เค ทั้งสิ้น 8 เส้น ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ ปรากฏว่าเทอร์โมคอปเปิลเส้นที่ 7 มีค่าใกล้เคียงเทอร์โมมิเตอร์มากที่สุด จึงใช้เป็นเส้นหลักในการปรับค่าเส้นอื่นเพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการอ่านค่ามากที่สุดโดยใช้สมการรีเกรสชั่น สามารถสรุปได้ว่าการปรับค่าที่ได้จากค่าที่อ่านได้จริงด้วยค่าสัมประสิทธิ์สมการในตารางที่ 3.8 แล้วทำให้ค่า R มีค่าใกล้เคียง 1 ผลที่ได้จึงถือว่าน่าเชื่อถือ และผลการทดลองที่ได้มาสามารถปรับค่าได้โดยการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ (unstandardized coefficients) ในตารางที่ 3.6 เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในผลการทดลองที่มากขึ้น

ตารางที่ 3.8

สรุปค่าความน่าเชื่อถือของกราฟแต่ละเส้นเทียบกับเส้นที่ 7 Model Summary (b)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0.980(a)	0.961	0.960	1.42701	0.804
2	0.954(a)	0.910	0.908	2.16118	1.127
3	0.949(a)	0.900	0.898	2.28115	0.740
4	0.974(a)	0.949	0.947	1.63390	1.352
5	0.944(a)	0.890	0.888	2.39031	0.796
6	0.914(a)	0.836	0.831	2.92688	0.579
8	0.949(a)	0.901	0.899	2.26792	0.777

a Predictors: (Constant), VAR00001

b Dependent Variable: VAR00007