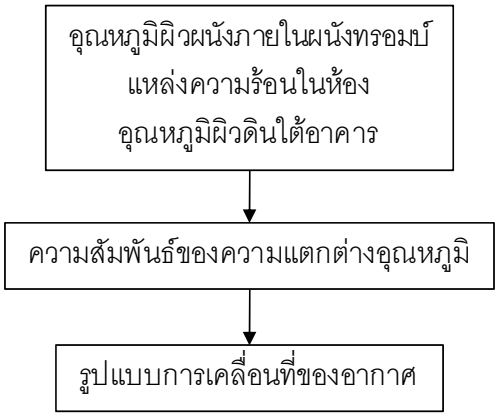
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

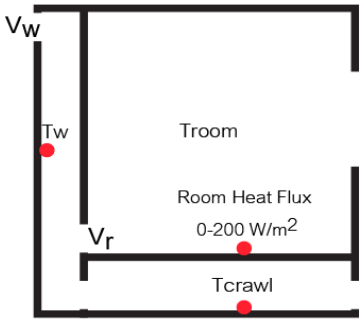
การจำลองในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic; CFD) ศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ เมื่อนำอากาศใต้อาคารมาใช้ประโยชน์ร่วมกับระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เพื่อการลดการถ่ายเทความร้อน และเหนี่ยวนำอากาศในห้อง ให้เกิดการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งเป็นระบบซึ่งมีความซับซ้อน และไม่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเบื้องต้นด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล โดยมุ่งหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของอากาศ กับความแตกต่างของอุณหภูมิผิวผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงด้านช่องว่างอากาศ (Tw) อุณหภูมิ ห้อง (Troom) ที่เกิดจากแหล่งความร้อนในห้อง (room heat flux) และอุณหภูมิผิวดินใต้อาคาร (Tcrawl) ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยการจำลอง

ภาพที่ 4.1
ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการศึกษาด้วยการจำลอง



กำหนดค่าอุณหภูมิและแหล่งความร้อน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และบันทึกค่าความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งช่องเปิดอากาศของห้อง (V_r) และช่องเปิดอากาศของระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง (V_w) ดังภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.2
ตำแหน่งการกำหนดค่าอุณหภูมิและแหล่งความร้อน
และการบันทึกค่าความเร็วอากาศ



โดยทำการจำลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงด้านช่องว่างอากาศ แหล่งความร้อนในห้อง และอุณหภูมิผิวดินใต้อาคาร 35 รูปแบบการจำลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1
แบบการจำลอง การศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ

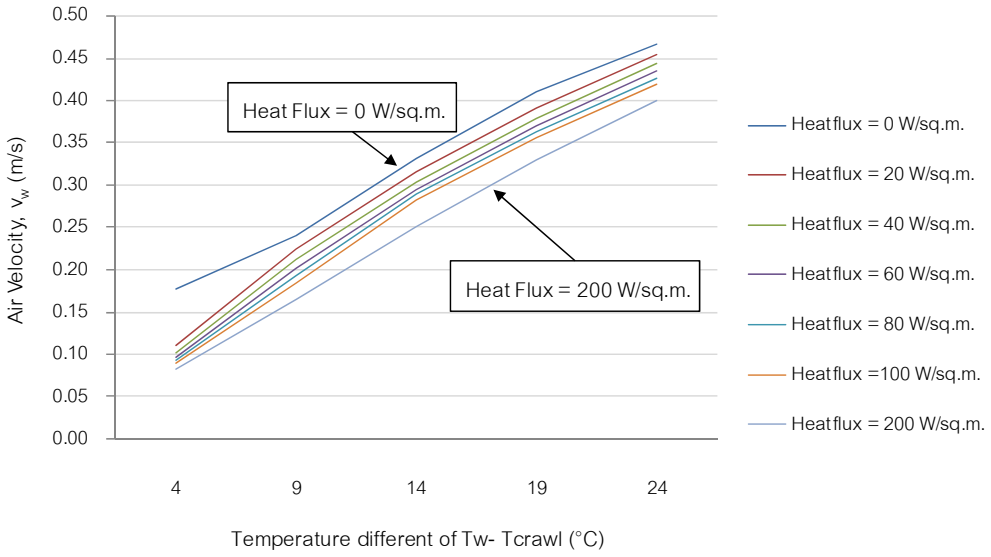
แบบการจำลองที่	อุณหภูมิผิวผนัง Tw(°C)	แหล่งความร้อนในห้อง room heat flux (w/m^2)	อุณหภูมิผิวดินใต้อาคาร Tcrawl(°C)
1-5	30,35,40,45,50	0	26
6-10	30,35,40,45,50	20	
11-15	30,35,40,45,50	40	
16-20	30,35,40,45,50	60	
21-25	30,35,40,45,50	80	
26-30	30,35,40,45,50	100	
31-35	30,35,40,45,50	200	

ผลที่ได้จากการศึกษา นำมาวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ กับความสัมพันธ์ของความแตกต่างของ อุณหภูมิผิวผนัง อุณหภูมิอากาศใต้อาคาร และอุณหภูมิอากาศในห้อง และวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน ดังนี้

4.1.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ กับความสัมพันธ์ของความแตกต่างของ อุณหภูมิผิวผนัง อุณหภูมิอากาศใต้อาคาร และอุณหภูมิอากาศในห้อง

ผลการจำลองพบว่ารูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศของอากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิผิวผนังทรอมบ์ด้านช่องว่างอากาศ (Tw) และความร้อนภายในห้อง (heat flux) คือ เมื่ออุณหภูมิผิวผนังมีค่าสูงมากขึ้น ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศใต้อาคาร และอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์ (Vw) เพิ่มมากขึ้น แต่ในทางกลับกัน เมื่อมีแหล่งความร้อนในห้องเพิ่มสูงขึ้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์ ลดต่ำลง แสดงความพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนทีอากาศ ความแตกต่างอุณหภูมิ และแหล่งความร้อน ดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3
ความเร็วอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
อุณหภูมิและแหล่งความร้อน



ทั้งนี้ เนื่องจาก การเพิ่มขึ้นแหล่งความร้อนในห้อง ทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และเหนี่ยวนำอากาศให้เคลื่อนที่เข้าสู่ห้องมากกว่าที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ผนังทรอมบ์ จึงทำให้ค่าความเร็วอากาศ ดังภาพที่ 4.3 มีการเปลี่ยนแปลงลดลง เมื่อแหล่งความร้อนในห้องมีค่าเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาด้วยการจำลองด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล จำนวน 35 รูปแบบ ซึ่งมีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และแหล่งความร้อน ดังตารางที่ 4.1 ข้างต้น พบว่า สามารถแบ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศจากข้อมูลอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าสู่ระบบผนัง และอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าสู่ห้อง ออกได้แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ดังนี้

1) อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจากช่องว่างใต้อาคารออกไปสู่ช่องเปิดผนังทรอมบ์มากกว่า อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าช่องเปิดในห้อง $(\dot{V}_w > \dot{V}_r)$

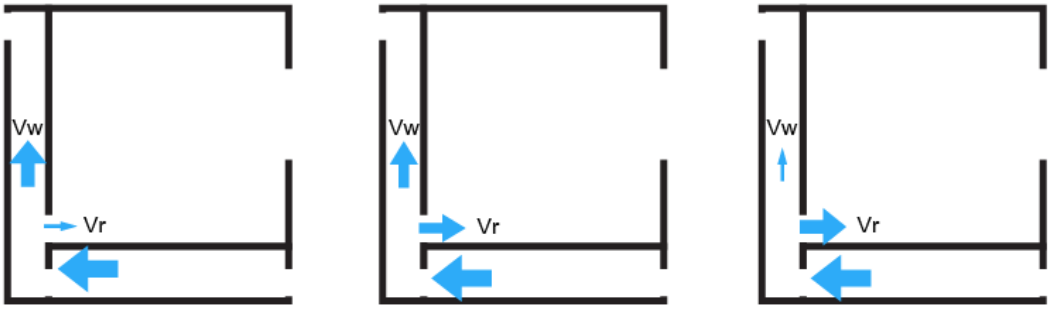
2) อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจากช่องว่างใต้อาคารออกไปสู่ช่องเปิดผนังทรอมบ์เท่ากับ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าช่องเปิดในห้อง $(\dot{V}_w = \dot{V}_r)$

3) อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศจากช่องว่างใต้อาคารออกไปสู่ช่องเปิดผนังทรอมบ์น้อยกว่า อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าช่องเปิดในห้อง $(\dot{V}_w < \dot{V}_r)$

ดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4

รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ 3 แบบ จากการจำลองด้วยโปรแกรม CFD



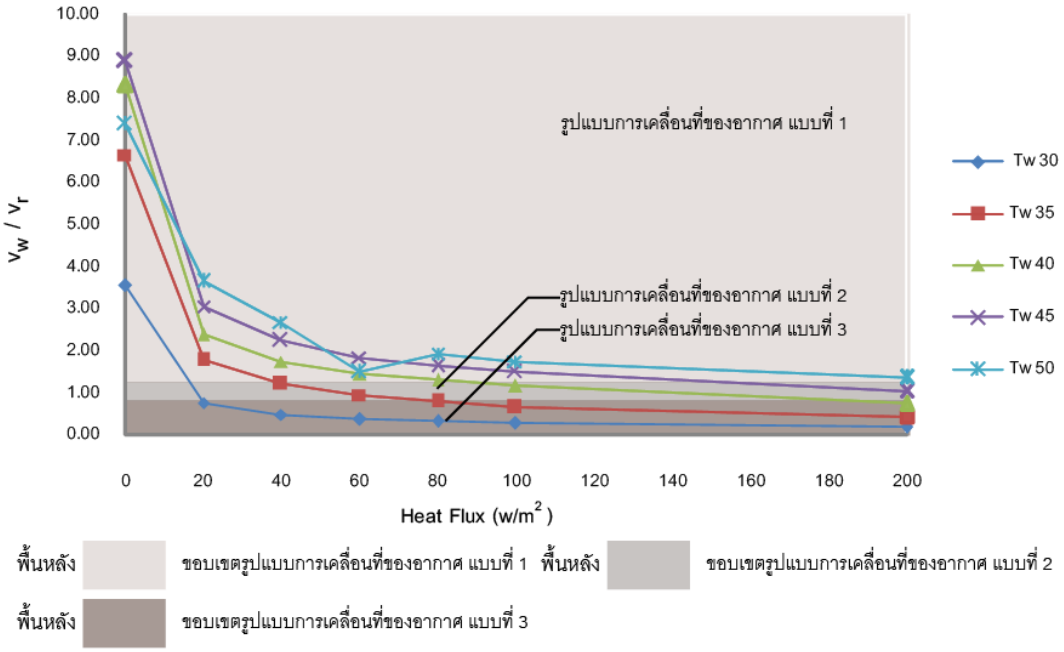
รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ แบบที่ 1 $(\dot{V}_w > \dot{V}_r)$

รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ แบบที่ 2 $(\dot{V}_w = \dot{V}_r)$

รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ แบบที่ 3 $(\dot{V}_w < \dot{V}_r)$

รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศข้างต้น มีความสัมพันธ์ของค่าความแตกต่างอุณหภูมิผิวผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงด้านช่องว่างอากาศ (Tw) ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) และอุณหภูมิผิวดินใต้อาคาร (Tcrawl) ที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจัดขอบเขตของการเคลื่อนที่ของอากาศทั้ง 3 รูปแบบ ดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.5
ขอบเขตรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ



จากภาพแสดงขอบเขตของการเคลื่อนที่ของอากาศในช่องว่างอากาศผนังทรอมบ์ เมื่ออุณหภูมิผิวผนัง (Tw) คงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ความร้อน จะมีผลต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยค่าที่นำมาแสดง คือ ค่าสัดส่วนความเร็วอากาศของช่องเปิดผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง (Vw) ต่อ ความเร็วอากาศของช่องเปิดห้อง (Vr)

รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ แบบที่ 1 คือ สัดส่วนอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศในระบบผนัง ต่อ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าสู่ห้อง มากกว่า 1 ($\dot{V}_w/\dot{V}_r > 1$) จะเกิดขึ้นในช่วงที่มีอุณหภูมิผนังประมาณ 40-50°C มีแหล่งความร้อนภายในห้อง 0-200 W/m^2 และช่วงที่มีอุณหภูมิผิวผนังประมาณ 30-35°C ไม่มีแหล่งความร้อนภายในห้อง

รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ แบบที่ 2 คือ สัดส่วนอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศในระบบผนัง ต่อ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าสู่ห้อง ใกล้เคียง 1 ($\dot{V}_w/\dot{V}_r \sim 1$) จะเกิดขึ้นในช่วงที่มีอุณหภูมิผิวผนังประมาณ 35°C และมีแหล่งความร้อนภายในห้อง 40-80 W/m^2

รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ แบบที่ 3 คือ สัดส่วนอัตราการเคลื่อนที่ของอากาศในระบบผนัง ต่อ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าสู่ห้อง น้อยกว่า 1 ($\dot{V}_w/\dot{V}_r < 1$) จะเกิดขึ้นในช่วงที่ผนังมีอุณหภูมิต่ำ 30°C และมีแหล่งความร้อนภายในห้อง 20-200 W/m^2

4.1.2 สรุปรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน ของการใช้ประโยชน์จากอากาศใต้อาคารร่วมกับผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง

จากรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศทั้ง 3 รูปแบบ ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงร่วมกับอากาศใต้อาคาร เพื่อการลดการถ่ายเทความร้อน และเหนี่ยวนำให้เกิดการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ สำหรับพื้นที่ใช้งานในอาคารทั่วไปนั้น ยังคงมีความไม่เหมาะสม อันเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ใช้งาน ซึ่งทำให้เกิดความไม่เหมาะสมของคุณภาพอากาศ เช่น ความชื้น กลิ่น และความสะอาด แต่อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของอากาศในระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิผิวผนัง และอุณหภูมิอากาศใต้อาคารยังคงสามารถเกิดขึ้นได้

ดังนั้นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากอากาศใต้อาคารร่วมกับผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เพื่อการลดการถ่ายเทความร้อน และการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ จึงทำการศึกษาแยกออกเป็น 2 ระบบ คือ

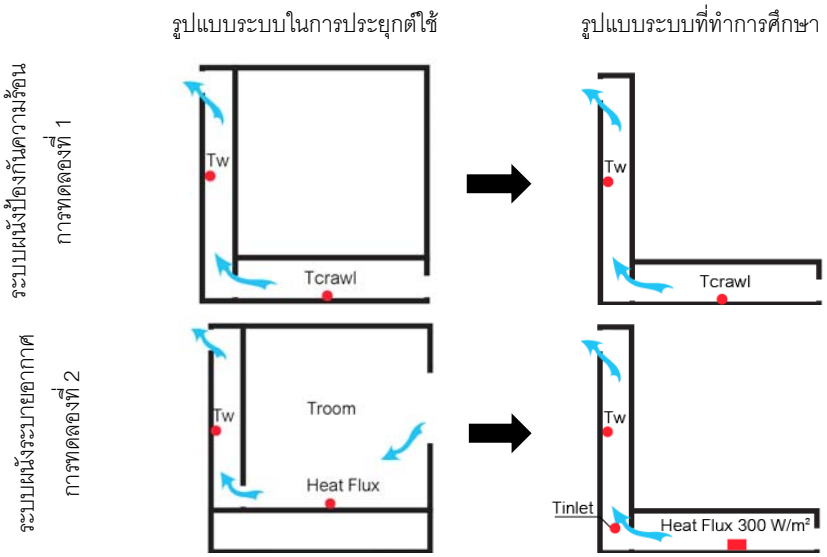
1) ระบบผนังป้องกันความร้อน คือ ศึกษาการใช้ประโยชน์จากอากาศใต้อาคารร่วมกับผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เพื่อการลดการถ่ายเทความร้อน

2) ระบบผนังระบายอากาศ คือ ศึกษาผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เพื่อการระบายอากาศ โดยวิธีธรรมชาติ

ระบบการเคลื่อนที่ของอากาศที่แยกออกเป็น 2 ระบบข้างต้น นำไปสู่การศึกษาด้วยการทดลองระบบผนังจริง ในห้องทดลองที่มีการควบคุมปัจจัยภายนอก โดยเป็นการศึกษาตัวแปรด้านการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวผนัง และอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศระบบผนังทรอมบ์จริง ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยที่การศึกษาทั้ง 2 ระบบนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดการถ่ายเทความร้อน และการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งทั้ง 2 วัตถุประสงค์นี้มีความแตกต่างกันที่การจำลองค่าอุณหภูมิอากาศ ในพื้นที่ที่อากาศจะเคลื่อนจากพื้นที่นั้น ๆ เข้าสู่ระบบผนัง ผู้วิจัยจึงทำการปรับรูปแบบการทดลอง ให้สามารถทดลองกับผนังจำลองชุดเดียวกัน ดังภาพที่ 4.5

ภาพที่ 4.6

รูปแบบระบบผนังที่ทำการศึกษา 2 ระบบ

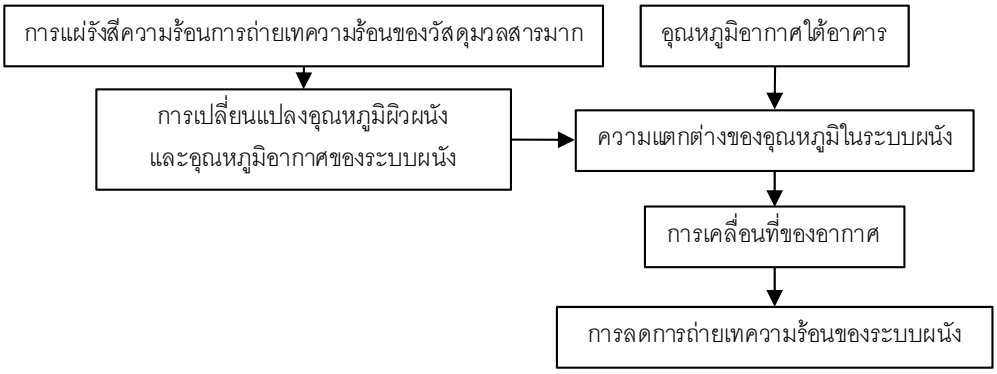


4.2 <u>การทดลองที่ 1: การศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยการใช้ประโยชน์จากอากาศใต้อาคารร่วมกับผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เพื่อการลดการถ่ายเทความร้อน (ระบบผนังป้องกันความร้อน)</u>

การทดลองนี้เป็นการทดลองระบบผนังจำลองซึ่งตั้งอยู่ในห้องที่ควบคุมปัจจัยภายนอกอื่น ๆ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยการใช้ประโยชน์จากอากาศใต้อาคารร่วมกับผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงที่มีวัสดุมวลสารเป็นผนังชั้นนอก มีความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษาดังภาพที่ 4.7

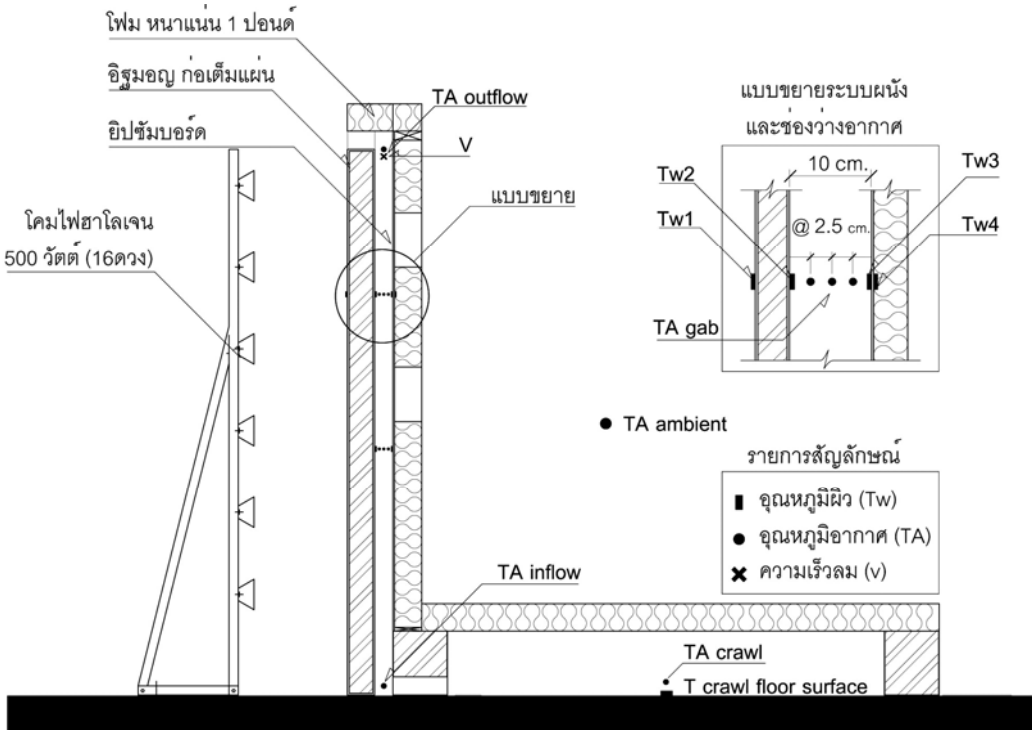
ภาพที่ 4.7

ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา



ระบบผนังจำลองประกอบด้วย ผนังก่ออิฐมอญเต็มแผ่นฉาบปูน 1 ด้าน ความหนารวม 15 เซนติเมตร (ผนังด้านนอก) ช่องว่างอากาศ 10 เซนติเมตร และ ยิปซัมบอร์ด ความหนา 9 มิลลิเมตร (ผนังด้านใน) เพื่อการป้องกันความร้อนของระบบผนัง จำลองการแผ่รังสีความร้อนด้วยดวงโคมฮาโลเจนให้เป็นไปตามช่วงเวลาของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และป้องกันปัจจัยภายนอกที่จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้านอื่น ๆ ด้วยการติดตั้งโฟมความหนาแน่น 1 ปอนด์ หนา 6 นิ้ว รูปแบบผนังจำลอง และแผนภาพตำแหน่งการเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความเร็วอากาศ ดังภาพที่ 4.8

ภาพที่ 4.8
รูปแบบผนังจำลอง การทดลองที่ 1 และตำแหน่งของข้อมูล



การทดลองที่ 1 นี้ แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวผนัง และอุณหภูมิอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ และการลดการถ่ายเทความร้อนของผนัง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จำลอง การทดลองที่ 1

การทดลอง	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จำลอง
การทดลองที่ 1.1	ฤดูร้อน
การทดลองที่ 1.2	ฤดูหนาว

4.2.1 <u>อิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อน และการหน่วงความร้อนของวัสดุมวลสาร ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวผนัง อุณหภูมิอากาศในระบบผนัง และอุณหภูมิอากาศใต้อาคาร ณ เวลาต่าง ๆ</u>

จำลองการแผ่รังสีความร้อนให้เป็นไปตามช่วงเวลาของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยจำลองค่าการแผ่รังสีความร้อนของ 2 ฤดูกาล คือ

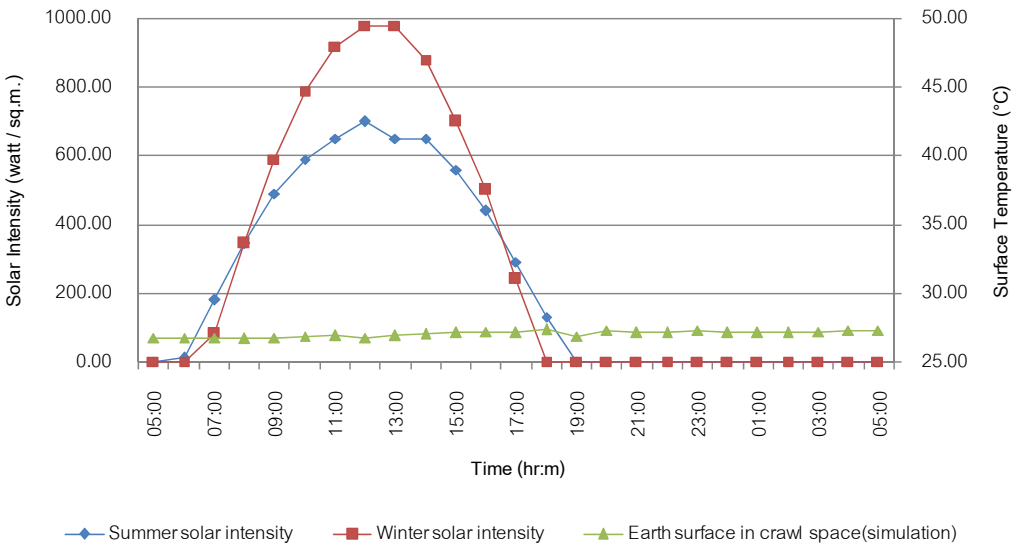
1) เดือนมิถุนายน (Summer Equinox) มีค่าตั้งแต่ 0-700 วัตต์ / ตารางเมตร

2) เดือนธันวาคม (Winter Equinox) มีค่าตั้งแต่ 0-980 วัตต์ / ตารางเมตร

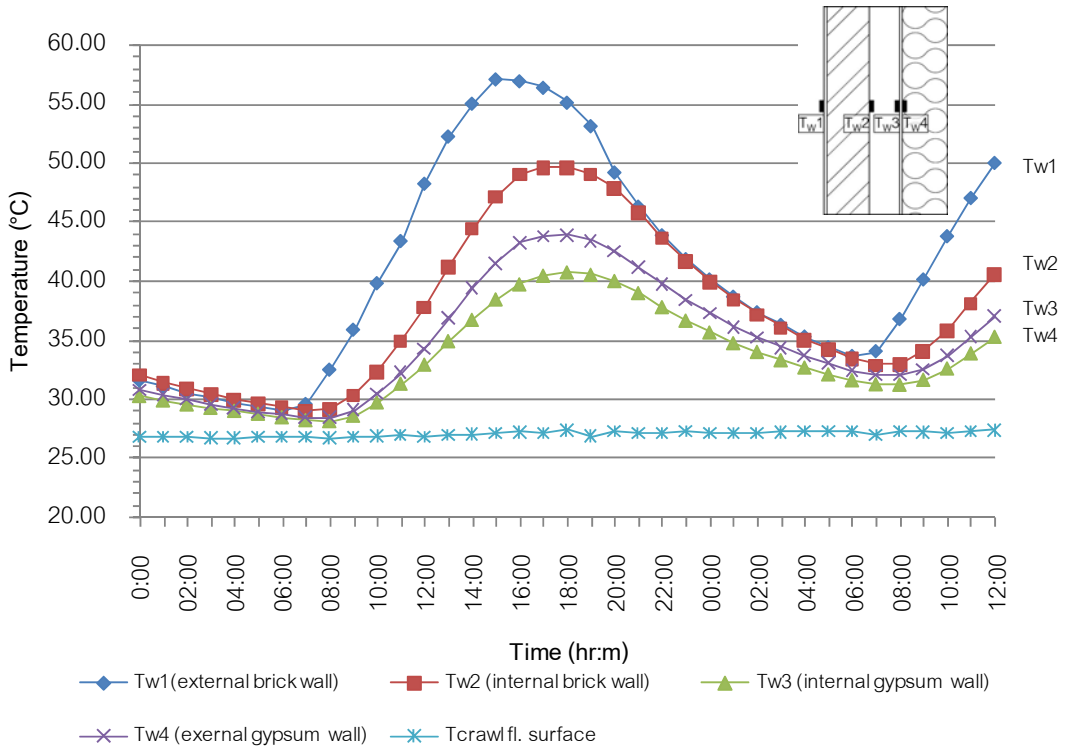
และจำลองอุณหภูมิอากาศใต้อาคาร ดังภาพที่ 4.9

ภาพที่ 4.9

การแผ่รังสีความร้อนและอุณหภูมิผิวดินใต้อาคาร ณ เวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 4.10
อุณหภูมิผิวผนังชั้นต่าง ๆ ของผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เมื่อได้รับอิทธิพล
จากการแผ่รังสีความร้อน



จากภาพที่ 4.10 เมื่อผนังได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวตามเวลาต่าง ๆ คือ

ผิวผนังอิฐภายนอก (Tw1) มีอุณหภูมิสูงสุด 57.08 องศาเซลเซียส ณ เวลา 15.00 น.

ผิวผนังอิฐด้านใน (Tw2) มีอุณหภูมิสูงสุด 49.58 องศาเซลเซียส ณ เวลา 18.00 น. ซึ่งมีการหน่วงความร้อนของผนังชั้นนอก 3 ชั่วโมง และทำให้อุณหภูมิสูงสุดลดลง 7.50 องศาเซลเซียส เนื่องจากคุณสมบัติด้านมวลสาร และการต้านทานความร้อนของวัสดุ

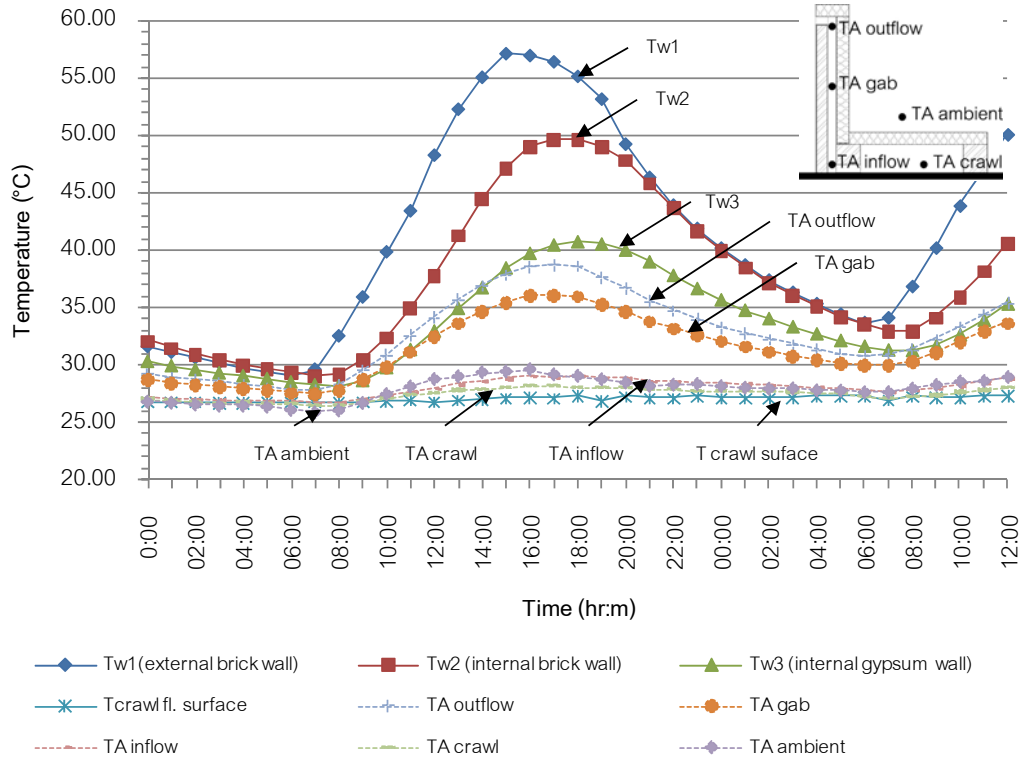
ผิวผนังยิปซัมด้านใน (Tw3) มีอุณหภูมิสูงสุด 40.71 องศาเซลเซียส ณ เวลา 18.00 น. ช่องว่างอากาศผนังทรอมบ์ที่มีการเคลื่อนที่ของอากาศทำให้อุณหภูมิของผิวผนังยิปซัมด้านในอุณหภูมิต่ำกว่าผิวผนังอิฐด้านใน 8.87 องศาเซลเซียส เนื่องจากการต้านทานความร้อนของอากาศ และการระบายความร้อนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศออกจากช่องว่างอากาศ

เนื่องจากการทดลองนี้มีการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกด้านผนังยิปซัมบอร์ดด้วยการติดโฟม หนา 6 นิ้ว จึงทำให้เมื่อความร้อนถ่ายเทจากด้านที่ได้รับการแผ่รังสี

ความร้อนสู่ผิวผนังยิปซัมภายนอก (Tw4) ซึ่งไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกได้ด้านหนึ่ง จึงทำให้อุณหภูมิผิวด้านนอกสูงกว่าด้านในช่องว่างอากาศ งานวิจัยนี้จึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวยิปซัมด้านใน (Tw3)

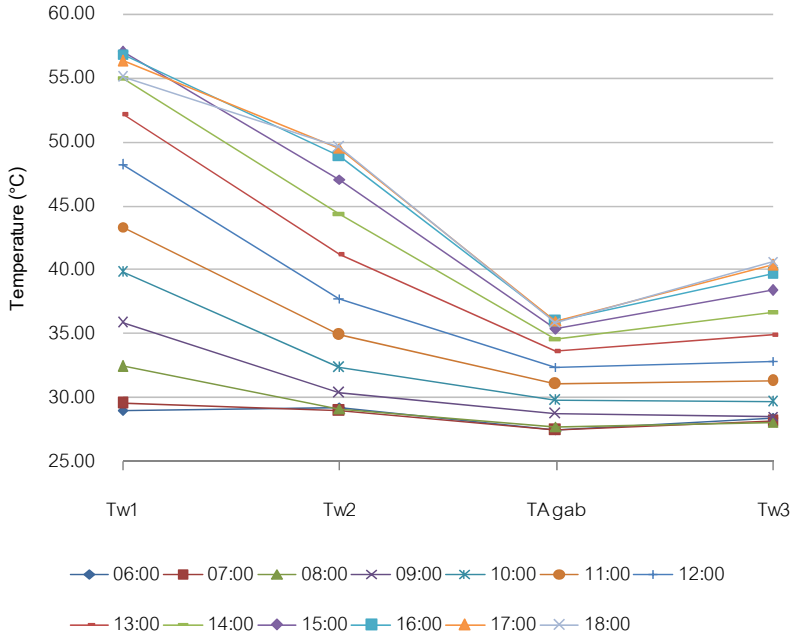
ภาพที่ 4.11

อุณหภูมิผิว และอุณหภูมิอากาศ เมื่อได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อน

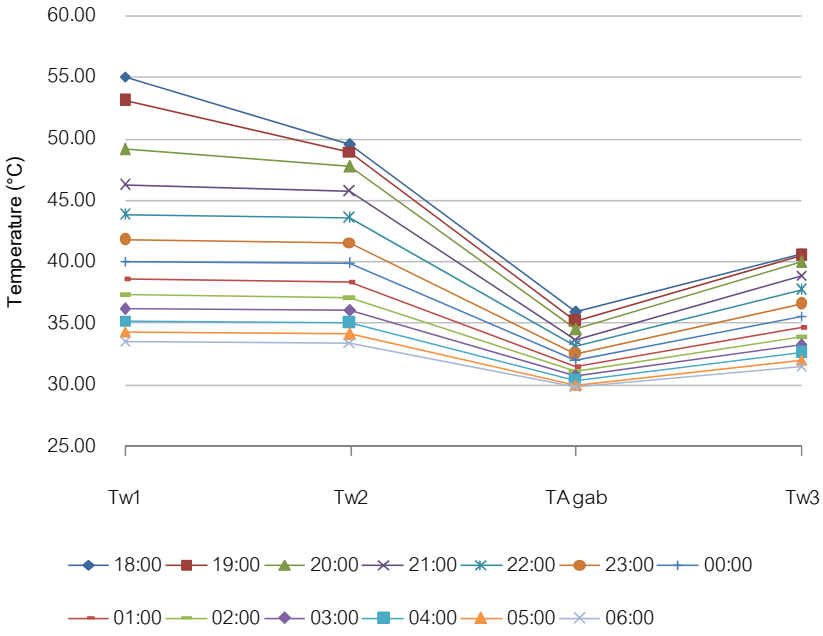


จากภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) มีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับอุณหภูมิผิวผนังภายในช่องว่างอากาศ (Tw2 และ Tw3) โดยมีค่าต่ำกว่าตลอดเวลา เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิอากาศบริเวณช่องอากาศออก (TA outflow) แต่อุณหภูมิอากาศบริเวณช่องอากาศออกจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวยิปซัมเป็นบางช่วงเวลา เนื่องจาก อากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้น และอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อน นอกจากนี้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะลอยตัวอยู่ด้านล่าง คือ อุณหภูมิอากาศเข้า (TA inflow) จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิช่องว่างอากาศและอุณหภูมิอากาศออก และมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศใต้อาคาร (TA crawl) เนื่องจากอิทธิพลอากาศอุณหภูมิต่ำจากผิวใต้อาคาร (T crawl fl. Surface)

ภาพที่ 4.12
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศแต่ละชั้น
(ช่วงเวลากลางวัน)



ภาพที่ 4.13
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศแต่ละชั้น
(ช่วงเวลากลางคืน)



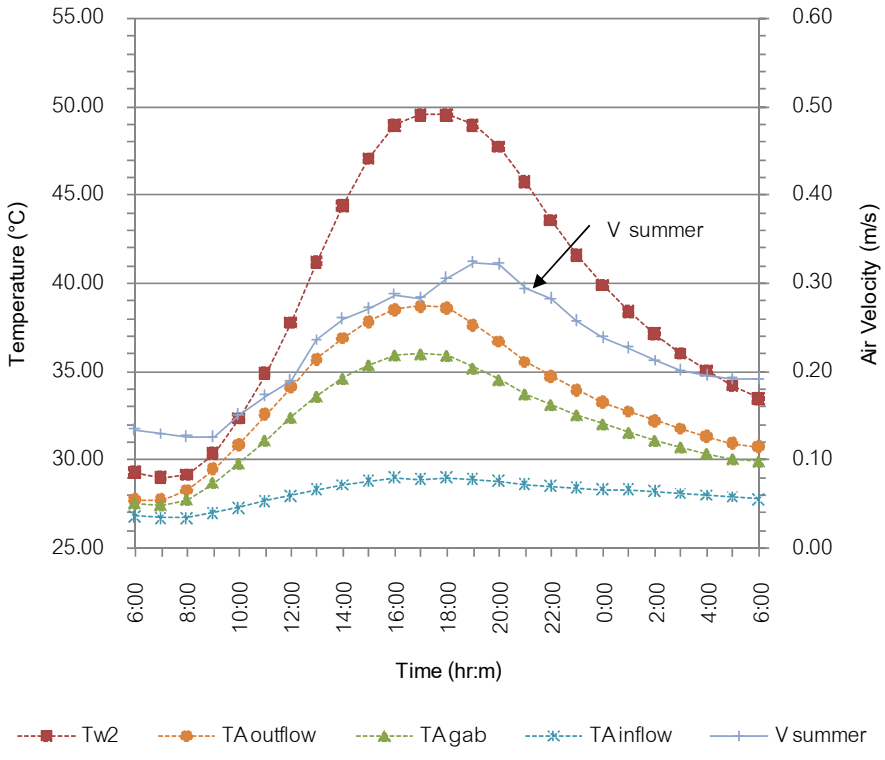
จากภาพ 4.12 และ 4.13 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวอิฐ และยิปซัมด้านใน (Tw2 และ Tw3) ตลอดเวลาจึงทำให้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural convection) บริเวณผิววัสดุสู่อากาศไหลตลอดเวลา ดังสมการที่ (4.1)

$$Q_{convection} = h_c\left(T_{w2\ หรือ\ w3} - TA_{gab}\right) \qquad \text{สมการที่ (4.1)}$$

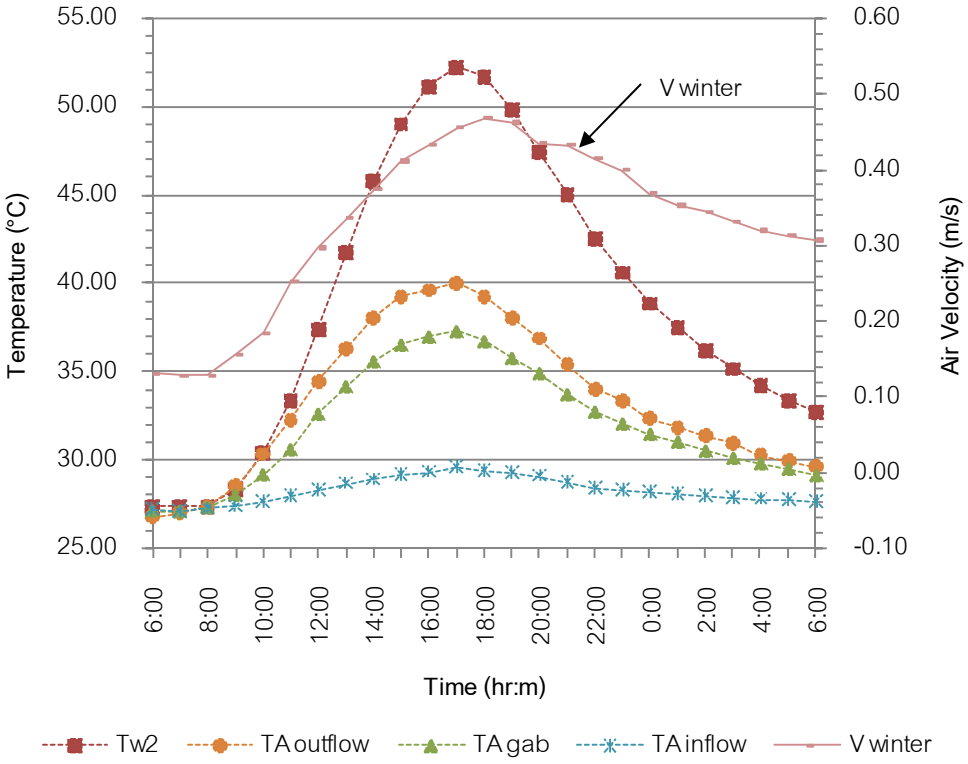
4.2.2 <u>ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงกับการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างอุณหภูมิผิวผนัง และอุณหภูมิอากาศ</u>

การทดลองนี้บันทึกข้อมูลความเร็วลมทุก 1 นาที แล้วนำมาเฉลี่ยเป็นความเร็วอากาศรายชั่วโมง แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศ และอุณหภูมิต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอากาศรายชั่วโมง ดังภาพที่ 4.14 และภาพที่ 4.15

ภาพที่ 4.14
ข้อมูลอุณหภูมิและความเร็วอากาศ (การทดลองด้วยค่ารังสีความร้อนเดือนมิถุนายน)



ภาพที่ 4.15
ข้อมูลอุณหภูมิและความเร็วอากาศ (การทดลองด้วยค่ารังสีความร้อน
เดือนธันวาคม)

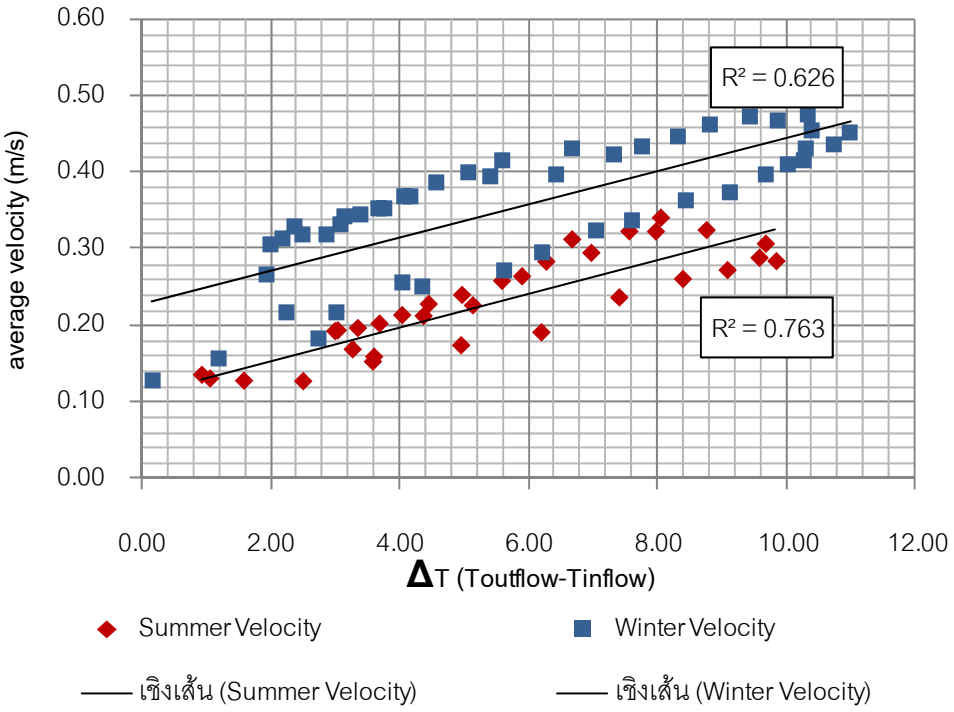


จากภาพที่ 4.14 และภาพที่ 4.15 จะเห็นว่าความเร็วอากาศ และอุณหภูมิในช่องว่างอากาศนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในช่องว่างอากาศ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ ดังภาพที่ 4.16

ภาพที่ 4.16

ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศ และความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ

เข้า-ออก ช่องว่างอากาศ



นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้น ความเร็วอากาศจึงสามารถหาได้จากสมการที่ (4.2)

$$v_f = C_D\sqrt{\frac{gH(T_{outflow}-T_{inflow})}{T_{outfow}+T_{inflow}}} \qquad \text{สมการที่ (4.2)}$$

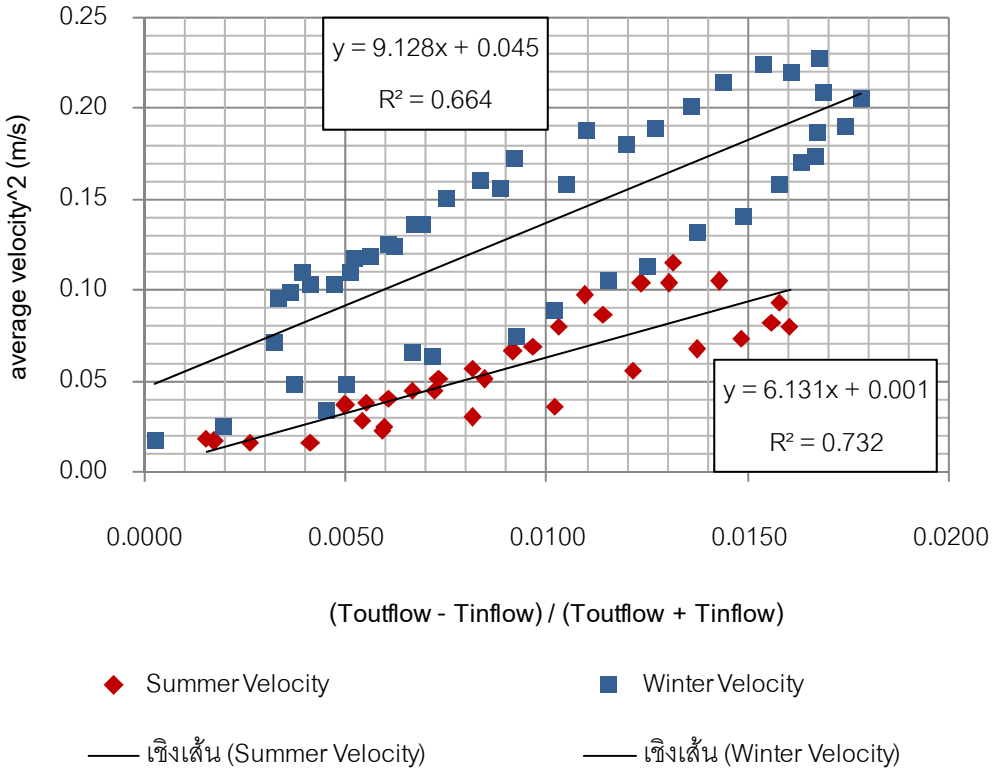
และเมื่อนำค่าความเร็วอากาศที่วัดได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศ และสัดส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิดังสมการที่ (4.2) พบว่า มีความสัมพันธ์กันดังภาพที่ 4.17 และสามารถหาค่า C_D (Coefficient of discharge) ของการทดลองได้จากความชันของกราฟดังสมการที่ (4.3)

$$C_D = \sqrt{\frac{slope}{gH}} \qquad \text{สมการที่ (4.3)}$$

ภาพที่ 4.17

ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศยกกำลังสอง กับ สัดส่วน

อุณหภูมิอากาศเข้า-ออก



จากภาพความสัมพันธ์ของข้อมูลความเร็วอากาศ และสัดส่วนอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก ของการทดลองที่ 1.2 (winter) จะเป็นข้อมูลที่กระจายรอบเส้นแนวโน้มที่มีความชันใกล้เคียงกัน และเมื่อวิเคราะห์ในความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละจุด พบว่า มีความสัมพันธ์ที่สามารถแยกได้เป็น 2 ชุด ได้แก้

1) ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงที่เป็นการเพิ่มขึ้นของความเร็วอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา 7.00-17.00 น. หรือเป็นช่วงเวลาที่ระบบผนังได้รับความร้อน

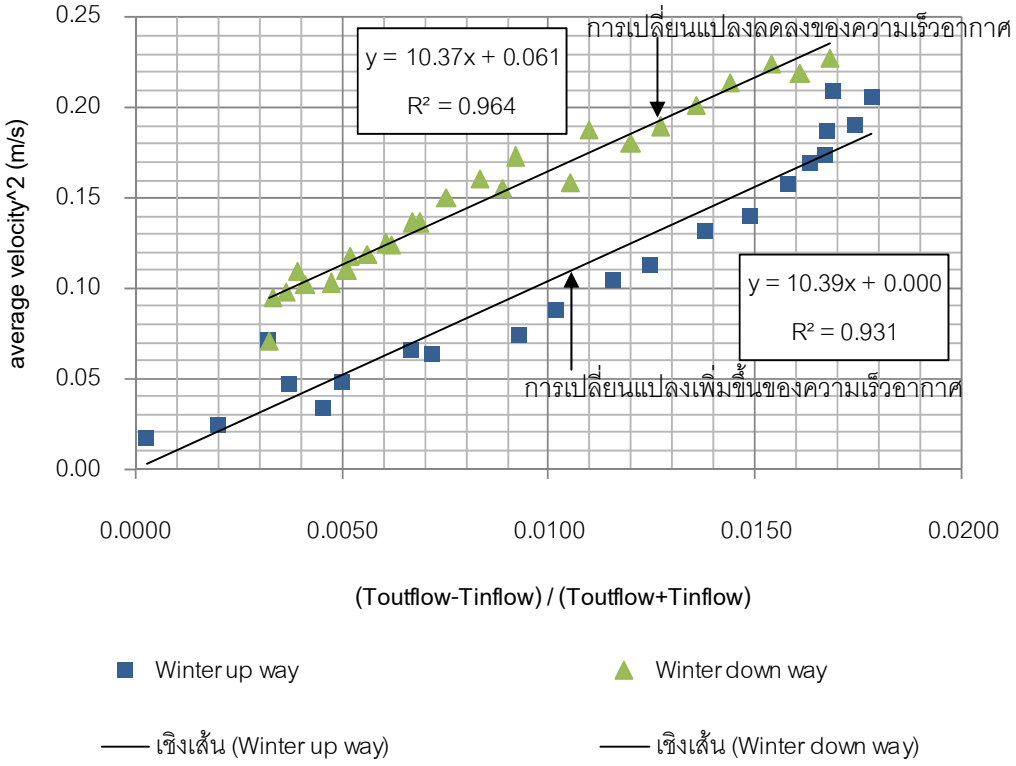
2) ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงที่เป็นการลดลงของความเร็วอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลา 18.00-6.00 น. หรือเป็นช่วงเวลาที่ผนังคายความร้อน

ซึ่งอธิบายได้ ดังภาพที่ 4.18 มีค่า R^2 สมการความสัมพันธ์ และค่า C_D ดังตารางที่ 4.3 และจะเห็นได้ว่า ถึงแม้ว่าค่าความเร็วที่ได้จากการทดลองที่มีความสัมพันธ์กับ ค่าสัดส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก แตกต่างกัน 2 ชุด แต่ความชันกราฟ และค่า C_D ที่ได้มีความใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.18

ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศยกกำลังสอง กับ สัดส่วน

อุณหภูมิอากาศเข้า-ออก (Winter)



ตารางที่ 4.3

ค่า R^2 สมการความสัมพันธ์ และค่า C_D

การทดลอง	R^2	สมการ	Slope	C_D
Summer	0.73	y=6.131x+0.001	6.131	0.4564
Winter (up)	0.931	y=10.39x+0.000	10.39	0.5942
Winter (down)	0.964	y=10.37x+0.061	10.37	0.5936

จากค่า C_D ที่ได้จากการคำนวณดังสมการที่ (4.3) ข้างต้น คำนวณได้จากค่าสัดส่วนความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก และค่าความเร็วอากาศที่วัดได้จากการทดลอง ที่ค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งค่า C_D ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณความเร็วอากาศ และอัตราการระบายอากาศโดยประมาณจากข้อมูลอุณหภูมิของอากาศค่าต่าง ๆ ต่อไปได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (4.2)

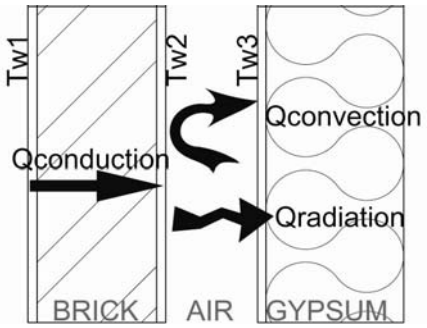
4.2.3 <u>ศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง ที่ส่งผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร</u>

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 พบว่าอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อน และการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิว แต่ในขณะเดียวกัน อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศต่ำใต้อาคารทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก และทำให้อุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ และการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ที่ส่งผลต่อการลดการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

เนื่องด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงที่มีการระบายความร้อนจากช่องว่างอากาศ เป็นการลดพลังงานความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ซึ่งในการทดลองนี้ใช้อุณหภูมิผิวผนังยิปซัมบอร์ด (Tw3) เป็นค่าอ้างอิงของอุณหภูมิผิวผนังภายในอาคาร โดยที่การลดอุณหภูมิผิวผนังยิปซัมบอร์ดแสดงว่ามีการถ่ายเทพลังงานความร้อนเข้าสู่อาคารน้อยลง

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังยิปซัมบอร์ดระหว่างระบบผนังที่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ (Tw3 with ventilation) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง กับระบบผนังที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ (Tw3 without ventilation) ซึ่งมีการหาค่าจากการคำนวณ ซึ่งสามารถหาได้จากการพิจารณาสมดุลการถ่ายเทความร้อน ณ ผิวผนังอิฐ (Tw2) โดยมีการถ่ายเทความร้อนดังภาพที่ 4.19

ภาพที่ 4.19
สมดุลการถ่ายเทพลังงาน (พิจารณา Tw2)



สามารถเขียนเป็นสมการสมดุลการถ่ายเทพลังงานได้ ดังนี้

$$\dot{Q}_{conduction} = \dot{Q}_{convecion} + \dot{Q}_{radiatiom} \qquad \text{สมการที่ (4.4)}$$

โดยที่

$$\dot{Q}_{conduction} = kA(T_{w1} - T_{w2}) \qquad \text{สมการที่ (4.5)}$$

$$\dot{Q}_{convection} = h_c A(T_{w2} - T_{w3}) \qquad \text{สมการที่ (4.6)}$$

$$\dot{Q}_{radiation} = \varepsilon\sigma A(T_{w2}^4 - T_{w3}^4) \qquad \text{สมการที่ (4.7)}$$

เมื่อ k คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศ (thermal conductivity)

A คือ ขนาดพื้นที่ที่มีการถ่ายเทความร้อน

h_c คือ ค่าสัมประสิทธิการนำความร้อน (convection heat transfer coefficient)

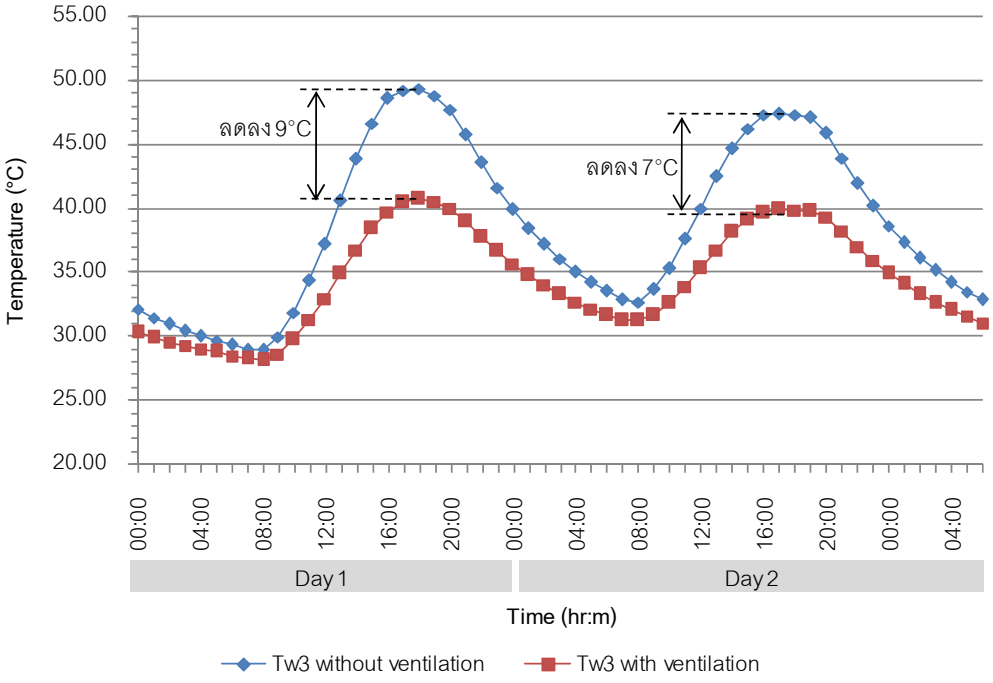
ε คือ ค่าแผ่รังสีความร้อน (emissivity)

σ คือ ค่าคงที่ของStefan-Boltzmann (Stefan-Boltzmann constant)

เมื่อแก้สมการที่ (4.4) ถึงสมการที่ (4.7) ข้างต้น จะได้ค่าอุณหภูมิผิวผนังเมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ (Tw3 without ventilation) เปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิผิวผนังเมื่อมีการเคลื่อนที่ของอากาศ (Tw3 with ventilation) ที่ได้จากการทดลอง ดังภาพที่ 4.20 และ 4.21

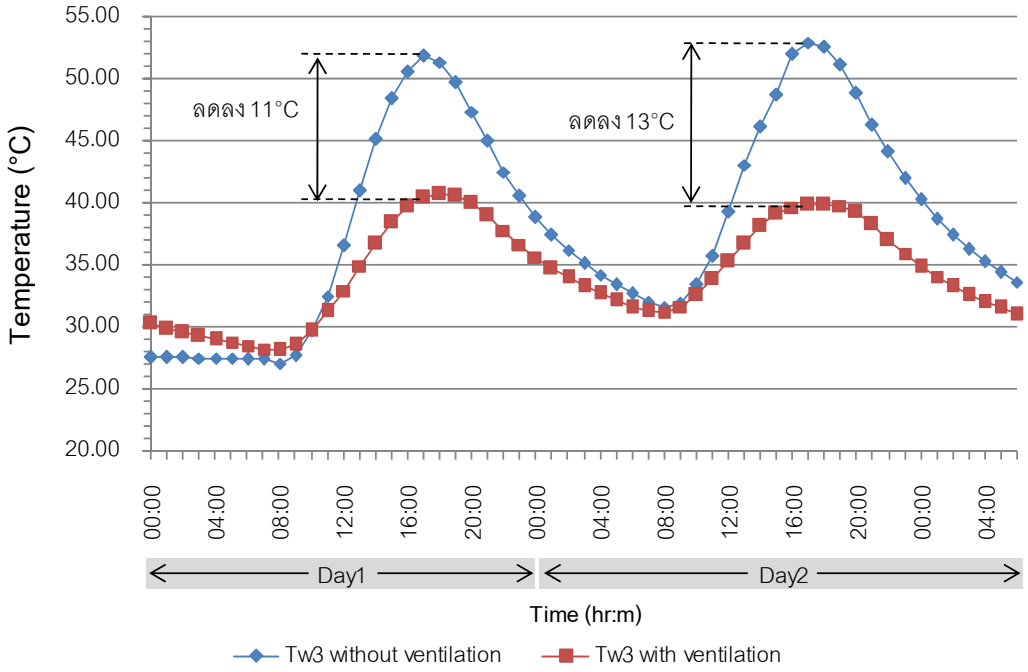
ภาพที่ 4.20

การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวยิปซัม (Summer)



ภาพที่ 4.21

การเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวยิปซัม (Winter)

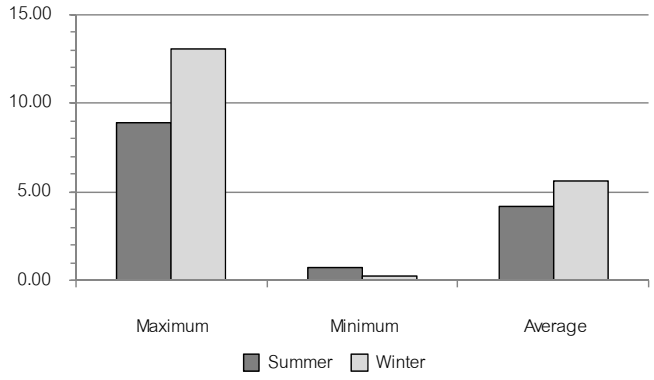


จากภาพที่ 4.20 และ 4.21 จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของอากาศ ในระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงสามารถลดอุณหภูมิผิวผนังลงได้มาก ณ ช่วงเวลา 16.00-18.00 น. และลดลงได้น้อยในช่วงเวลา 7.00-9.00 น. ทั้งสองฤดูกาล ภาพที่ 4.22 แสดงค่าอุณหภูมิผิวผนังยิปซัมที่การเคลื่อนที่ของอากาศสามารถลดลงได้ มากที่สุด น้อยที่สุด และเฉลี่ย

ภาพที่ 4.22

อุณหภูมิผิวผนังยิปซัมที่ลดลง มากที่สุด น้อยที่สุด และเฉลี่ย

โดยการเคลื่อนที่ของอากาศ



จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังยิปซัมที่ระบบผนังป้องกันความร้อนสามารถลดความร้อนลงได้ ดังภาพที่ 4.22 พบว่า ในการทดลองที่เป็นการจำลองค่าการแผ่รังสีความร้อนของเดือนธันวาคม หรือฤดูหนาว (winter) ระบบผนังป้องกันความร้อนสามารถลดอุณหภูมิผิวผนังได้มากกว่าเดือนมิถุนายน หรือฤดูร้อน (summer) ทั้งนี้ เนื่องจากการป้องกันความร้อนของระบบนี้ขึ้นอยู่กันการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นการพาอากาศร้อนออกจากช่องว่างอากาศ การทดลองที่จำลองค่าการแผ่รังสีความร้อนฤดูหนาวนั้นทำให้เกิดการพาความร้อนที่มากกว่าเนื่องจากค่าการแผ่รังสีความร้อนที่ระบบได้รับมีค่ามากกว่า และส่งผลให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบผนังทรอมบ์ที่สูงกว่า ดังนั้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีค่าสูงกว่า จึงมีผลทำให้พลังงานความร้อนถูกระบายออกได้มากกว่าการทดลองที่จำลองค่าการแผ่รังสีความร้อนฤดูร้อน

4.2.4 <u>สรุปผลการศึกษาการทดลองที่ 1 ระบบผนังป้องกันความร้อน</u>

จากการศึกษาระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงที่มีผนังชั้นนอกเป็นผนังมวลสารมากและมีการเคลื่อนที่ของอากาศภายในเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศใต้อาคารกับแหล่งความร้อนจากผนังที่ได้รับความร้อน พบว่า

1) การหน่วงความร้อนของวัสดุทำให้อุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนัง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติที่บริเวณผิวผนังตลอดเวลา และยังทำให้การเกิดการพาความร้อน สูงสุดในช่วงเวลา 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับอุณหภูมิสูงสุดของอุณหภูมิผิวผนังอิฐด้านช่องว่างอากาศ

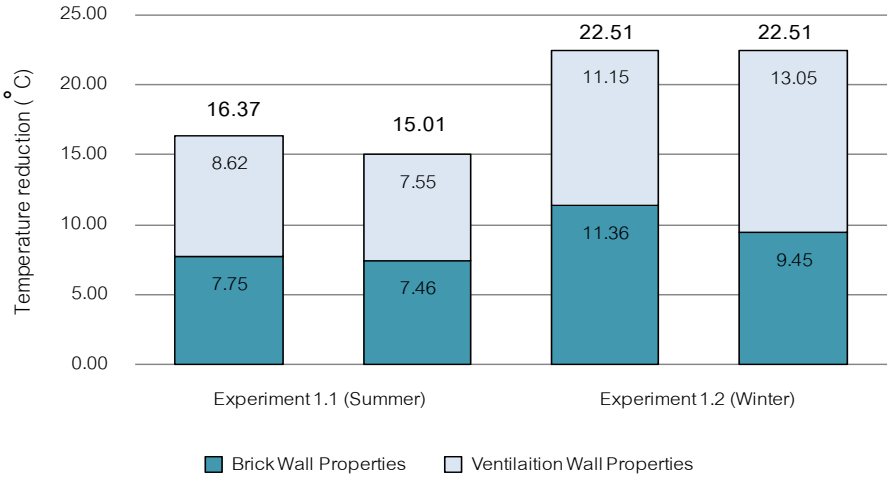
2) คุณสมบัติของวัสดุมวลสารมาก ทำให้เกิดการหน่วงความร้อนของผนัง 3 ชั่วโมง และลดความร้อนด้วยคุณสมบัติของการต้านทานความร้อน ได้ 7-10 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.23

3) การพาความร้อนแบบธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่งผลให้ลดการแกว่งของอุณหภูมิผิวผนังยิปซัม หรืออุณหภูมิผิวผนังด้านที่ติดกับพื้นที่ใช้สอย และลดอุณหภูมิผิวผนังยิปซัม ลงได้สูงสุด 8-13 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.23

4) การประยุกต์ใช้อากาศใต้อาคารร่วมกับผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงที่มีวัสดุมวลสารเป็นผนังชั้นนอก ทำให้เกิดการป้องกันความร้อนด้วยคุณสมบัติของวัสดุ และเกิดการระบายความร้อนออกจากระบบผนัง ด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศและการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ซึ่งมีผลทำให้ลดอุณหภูมิผิวผนังลงได้สูงสุด 15-23 องสาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.24

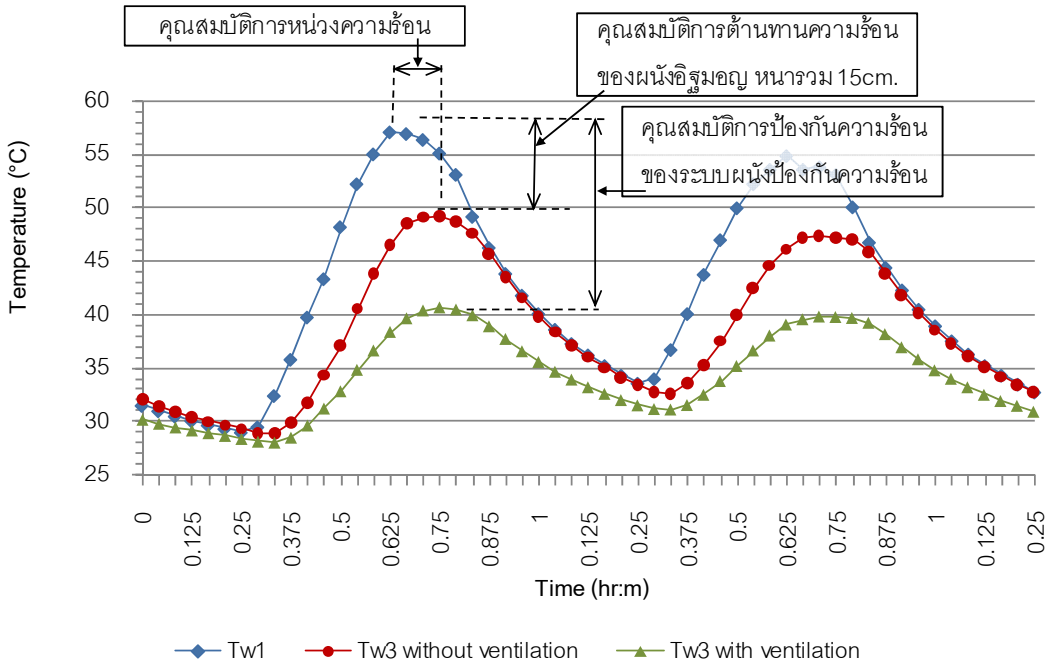
ภาพที่ 4.23

อุณหภูมิผิวผนังที่ลดลงได้ของระบบผนังป้องกันความร้อน



ภาพที่ 4.24

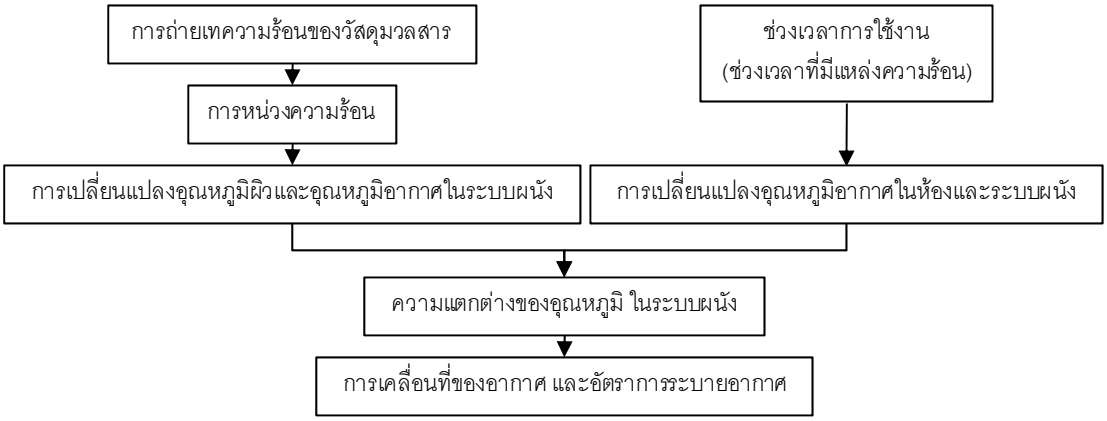
ผลการศึกษาระบบผนังป้องกันความร้อน



4.3 การทดลองที่ 2: การศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง เพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (ระบบผนังระบายอากาศ)

การทดลองนี้เป็นการทดลองระบบผนังจำลองซึ่งตั้งอยู่ในห้องที่ควบคุมปัจจัยภายนอกอื่น ๆ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ เพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ด้วยระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงที่มีวัสดุมวลสารมากเป็นผนังชั้นนอก เมื่อคำนึงถึงการใช้งานในห้อง โดยมีความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษาดังภาพที่ 4.25

ภาพที่ 4.25
ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา



การทดลองที่ 2 นี้ แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของช่วงเวลาในการใช้งานในห้อง ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในห้อง และอุณหภูมิอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ และการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ คือ

1) มีการใช้งานช่วงเวลากลางวัน (8.00-18.00 น.)
2) มีการใช้งานในเวลากลางคืน (18.00-22.00 น.)

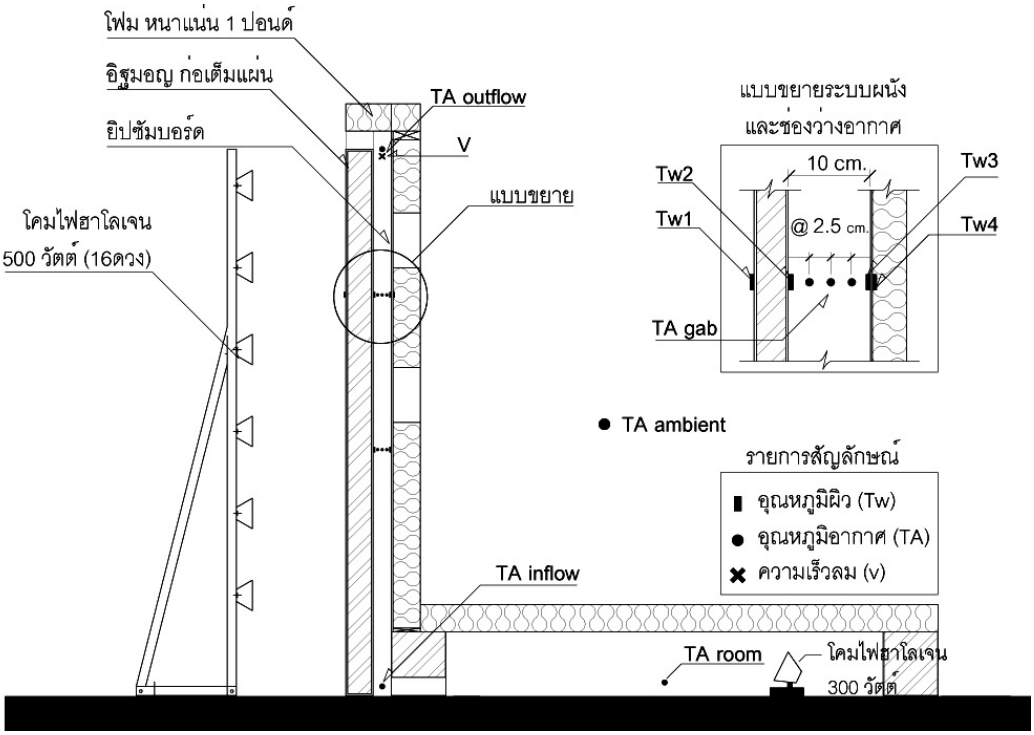
โดยจำลองความร้อนที่เกิดจากการใช้งาน ด้วยโคมไฟฮาโลเจนขนาด 300 วัตต์ กับ 2 ช่วงเวลาการศึกษา ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งผนังจำลองเป็นลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่ 1 ดังภาพที่ 4.23

ตารางที่ 4.4
การจำลองแหล่งความร้อน การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 2.1	เปิดไฟ 300 วัตต์ ช่วงเวลา 8.00-18.00 น.
การทดลองที่ 2.2	เปิดไฟ 300 วัตต์ ช่วงเวลา 18.00-22.00 น.

ภาพที่ 4.26

รูปแบบผนังจำลอง การทดลองที่ 2 และตำแหน่งของข้อมูล



4.3.1 <u>อิทธิพลแหล่งความร้อนในห้อง ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในห้อง และอุณหภูมิอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง</u>

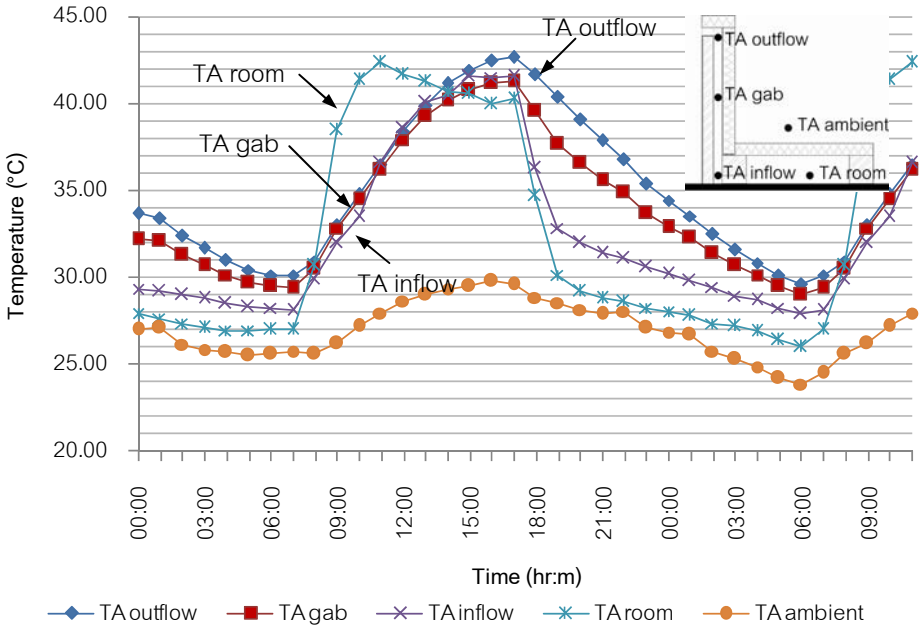
เมื่อห้องมีการใช้งาน ทำให้เกิดแหล่งความร้อนภายในห้อง ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้อง (TA room) ตามช่วงเวลาที่มีการใช้งาน ดังนี้

1) ห้องที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางวัน (การทดลองที่ 2.1) อิทธิพลของแหล่งความร้อนในห้อง มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00–11.00 น. และมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศในระบบผนัง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศเข้า (TA inflow) อุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) และอุณหภูมิอากาศออก (TA outflow) เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังภาพที่ 4.27

2) ห้องที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืน (การทดลองที่ 2.2) อิทธิพลของแหล่งความร้อนในห้อง มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องเพิ่มขึ้นในเวลา 18.00-21.00 น. และมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศในระบบผนัง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศเข้า (TA inflow) อุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) และอุณหภูมิอากาศออก (TA outflow) เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังภาพที่ 4.28

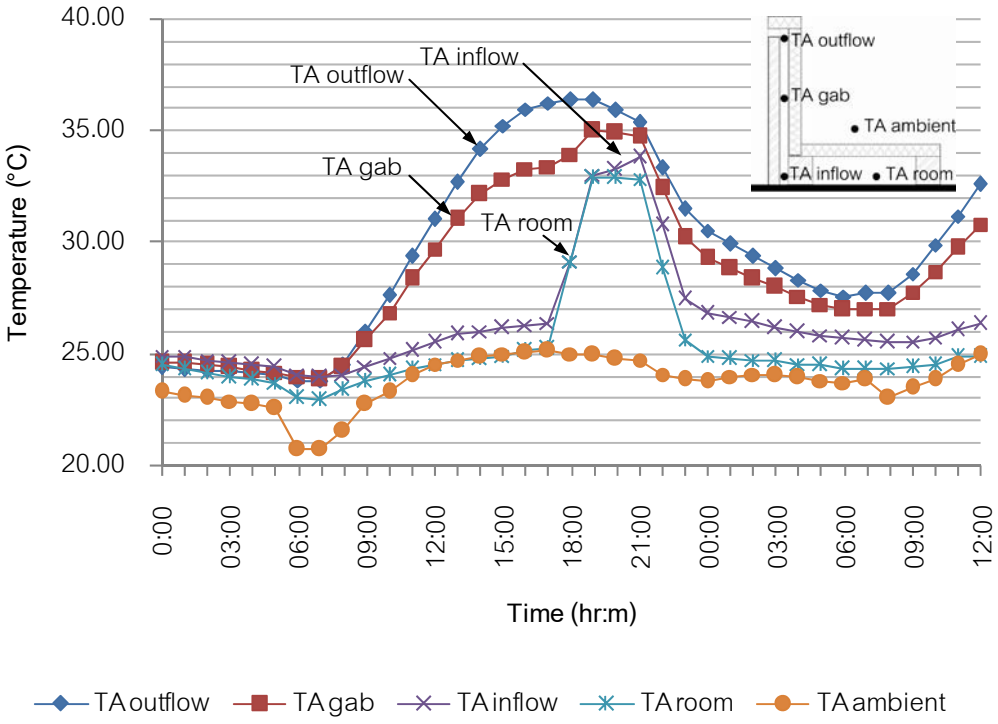
ภาพที่ 4.27

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ เมื่อห้องมีการใช้งานช่วงเวลากลางวัน



ภาพที่ 4.28

การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ เมื่อห้องมีการใช้งานช่วงเวลากลางคืน



จากภาพที่ 4.27 และ 4.28 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศข้างต้น มีข้อสังเกต ดังนี้

1) เมื่อห้องมีแหล่งความร้อนภายใน ส่งผลต่อการการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศในห้อง (TA room) อุณหภูมิอากาศในช่องเปิดอากาศเข้า (TA inflow) และอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) โดยที่เพิ่มขึ้น และลดลงเป็นสัดส่วนกับปริมาณความร้อนภายใน

2) เมื่อห้องมีแหล่งความร้อนภายใน อุณหภูมิอากาศออก (TA outflow) และอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิอากาศในห้อง ส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งจะได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนัง ที่ได้อิทธิพลการแผ่รังสีความร้อน (จำลอง) สังเกตได้จากภาพที่ 4.25 ในช่วงเวลา 8.00-16.00 น. และห้องไม่มีความร้อนภายใน จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศออก และอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ

3) เมื่อห้องไม่มีแหล่งความร้อนภายใน อุณหภูมิอากาศในห้อง (TA room) อุณหภูมิอากาศในช่องเปิดอากาศเข้า (TA inflow) และอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) จะมีการเปลี่ยนแปลง ที่สอดคล้อง ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (TA ambient) เนื่องจากการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ที่เกิดขึ้นขณะนั้น

เนื่องจากการกำหนดค่าแหล่งความร้อนภายในการทดลองนี้มีผลทำให้อุณหภูมิห้องเพิ่มสูงขึ้นมากเกินไป คือ สูงขึ้นถึง 40 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอากาศเมื่อมีแหล่งความร้อนภายในห้อง ดังนั้น จึงพิจารณาผลการทดลองจากลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ควบคู่ไปกับการเคลื่อนที่ของอากาศเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิเท่านั้น

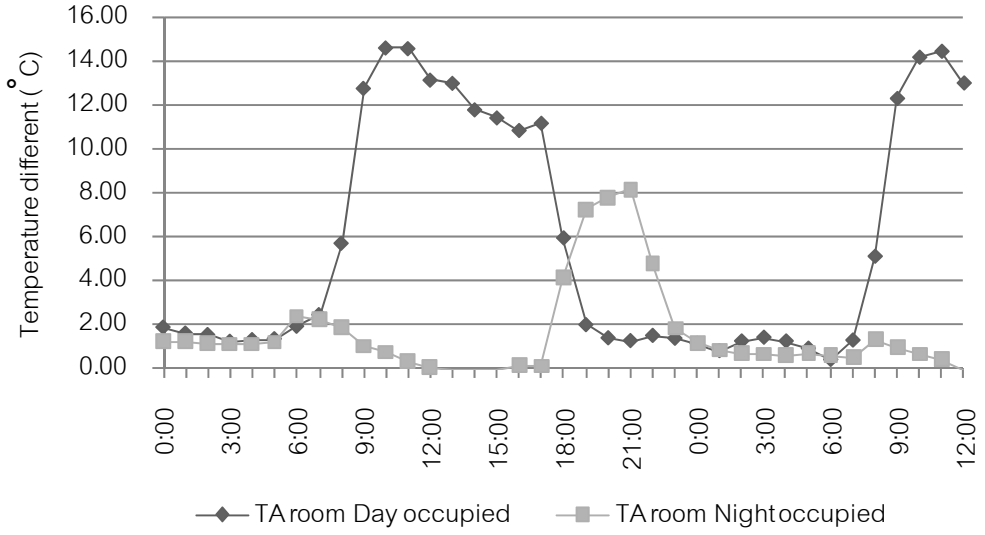
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้อง เมื่อมีการใช้งานโดยการจำลองแหล่งความร้อน 300 วัตต์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิระหว่างการใช้งานช่วงเวลากลางวัน และการใช้งานช่วงเวลากลางคืน พบว่าการจำลองแหล่งความร้อนที่มีค่าเท่ากัน ทั้ง 2 การทดลอง แต่มีผลทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศแตกต่างกัน คือ

ห้องที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิห้อง เพิ่มสูงขึ้น 14 องศาเซลเซียส

ห้องที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิห้อง เพิ่มสูงขึ้น 8 องศาเซลเซียส

ดังภาพที่ 4.29

ภาพที่ 4.29
การเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิห้องเมื่อมีการใช้งาน
เวลากลางวัน กลางคืน



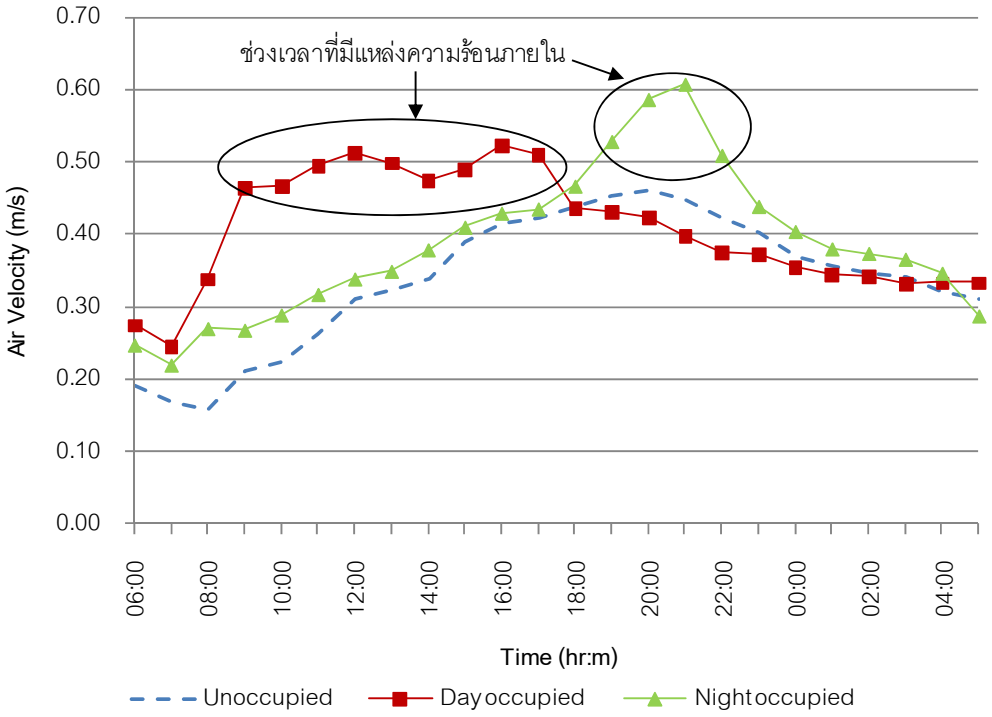
การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่แตกต่างกันของทั้ง 2 ช่วงเวลาดังภาพที่ 4.29 นั้นมีสาเหตุมากจากการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เป็นการเพิ่มขึ้นที่มีแนวโน้มลดลงในช่วง 8.00-11.00 น. และ มีการลดลงของอุณหภูมิห้อง ในช่วงเวลา 12.00-16.00 น.ของการใช้งานเวลากลางวัน และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ค่อนข้างคงที่ ในช่วงเวลา18.00-21.00 น. ของการใช้งานช่วงเวลากลางคืน

แต่เมื่อย้อนดูภาพที่ 4.27 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเมื่อห้องมีการใช้งานช่วงเวลากลางวัน มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศเข้าและออก ของระบบผนังทรอมบ์มีการเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้าและออกระบบผนัง มีความแตกต่างกันน้อยลง ซึ่งมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของอากาศไม่เป็นไปตามทฤษฎี นำไปสู่การศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศ ในข้อ 4.3.2

4.3.2 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง กับการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างอุณหภูมิผิวผนัง และอุณหภูมิอากาศ</u>

ในการทดลองนี้มีการเก็บข้อมูลความเร็วอากาศบริเวณช่องอากาศทุก ๆ 1 นาที แล้วนำมาหาเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง มีค่าดังภาพที่ 4.30

ภาพที่ 4.30
เปรียบเทียบความเร็วอากาศของพื้นที่ ที่ไม่มีการใช้งาน และมีการใช้งาน



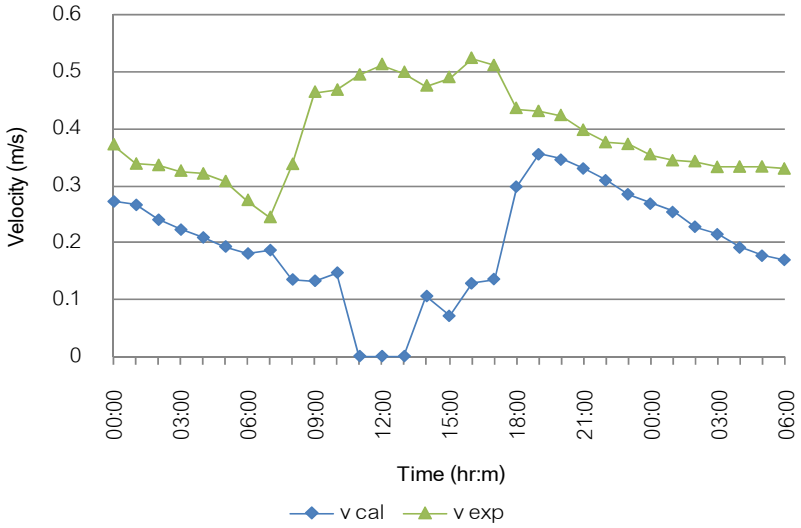
จะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ของอากาศของห้องที่มีแหล่งความร้อนภายใน จะมีค่ามากกว่าห้องที่ไม่มีแหล่งความร้อนภายใน ทั้งที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศเข้า-ออกมีความแตกต่างกันน้อยกว่า ดังภาพที่ 4.27 และ 4.28

เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิอากาศจากการทดลองมาคำนวณเพื่อหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ ตามสมการที่ (4.2) พบว่า ค่าความเร็วอากาศที่วัดได้ (v_{exp}) กับค่าที่คำนวณ (v_{cal}) ไม่สอดคล้องกันในช่วงที่มีแหล่งความร้อนภายใน ดังภาพที่.4.31.และ.4.32.

ภาพที่ 4.31

เปรียบเทียบค่าความเร็วอากาศจากการทดลอง และการคำนวณ

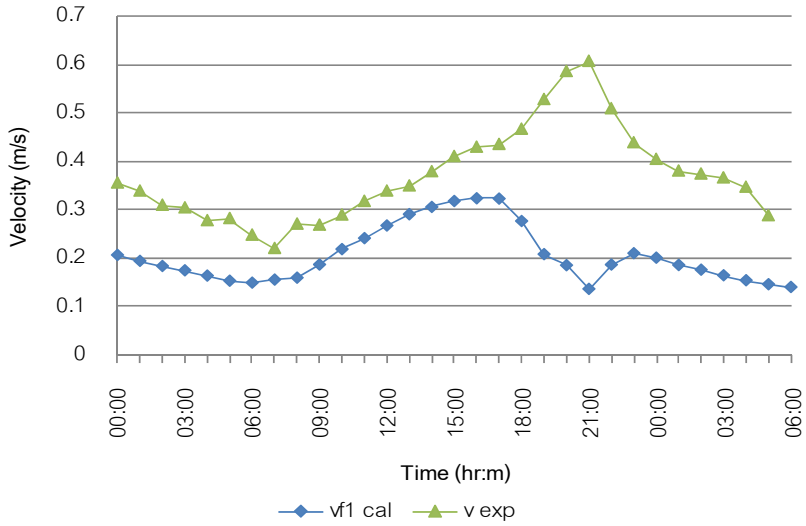
(การใช้งานกลางวัน)



ภาพที่ 4.32

เปรียบเทียบค่าความเร็วอากาศจากการทดลอง และการคำนวณ

(การใช้งานกลางคืน)



ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่ข้อมูลความเร็วอากาศจากการทดลองกับการคำนวณนั้น ไม่สอดคล้องกันจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงเวลาที่ห้องมีการใช้งาน หรือมีแหล่งความร้อนภายใน ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องที่มีการใช้งาน (TA room) และอุณหภูมิอากาศภายใน

ระบบผนังทรอมบ์ อันได้แก่ อุณหภูมิอากาศช่องอากาศออก (TA outflow) อุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab) และอุณหภูมิอากาศเข้า (TA inflow) ซึ่งมีค่าสูงขึ้นใกล้เคียงกัน ในขณะที่อุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม (TA ambient) มีค่าต่ำกว่า อากาศในระบบผนังทรอมบ์ที่มีอุณหภูมิสูงจึงมีการระบายออกสู่ที่ที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้น การเคลื่อนที่ของอากาศจึงกลายเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศจากระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง ระบายออกสู่อากาศสภาพแวดล้อมแทนที่จะเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศจากห้องที่มีการใช้งาน ออกสู่ระบบผนังทรอมบ์ แล้วจึงระบายออกสู่อากาศสภาพแวดล้อมตามทฤษฎี

ดังนั้น จึงนำไปสู่การศึกษาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของอากาศกับความแตกต่างของอุณหภูมิต่อไปนี้

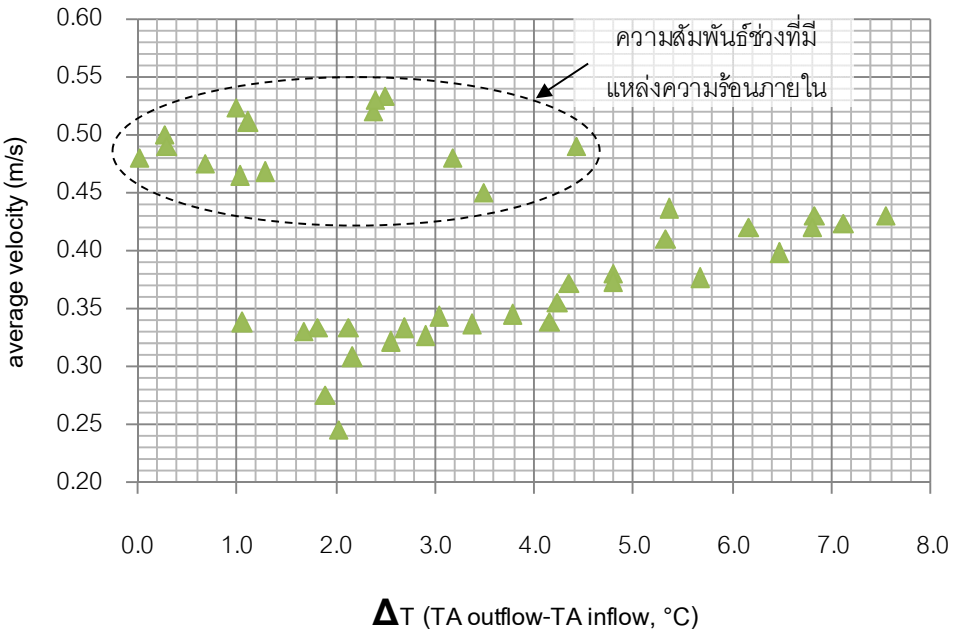
1) การใช้งานช่วงเวลากลางวัน

(1) ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก

ภาพที่ 4.33

ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับค่าความแตกต่าง

อุณหภูมิอากาศเข้า-ออก



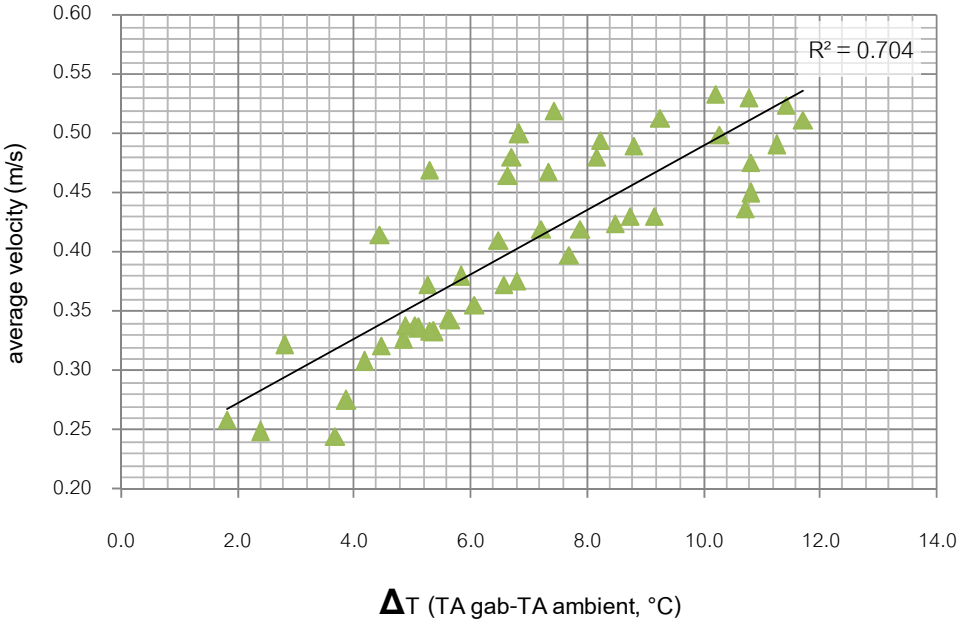
จากภาพที่ 4.33 ข้อมูลความเร็วอากาศมีค่าสูง แต่มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้า-ออกต่ำ แต่จากภาพที่ 4.27 ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศ (TA gab)

กับอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม (TA ambient) มีค่ามาก จึงศึกษาความสัมพันธ์ดังข้อ (2) และภาพที่ 4.30

(2) ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม

จากการศึกษาพบว่า ค่าความเร็วอากาศที่เกิดขึ้นเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิช่องว่างอากาศ (TA gab) และอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม (TA ambient) โดยมีค่า R^2 = 0.704 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม กับค่าความเร็วอากาศดังภาพที่ 4.34

ภาพที่ 4.34
ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิ
อากาศสภาพแวดล้อม



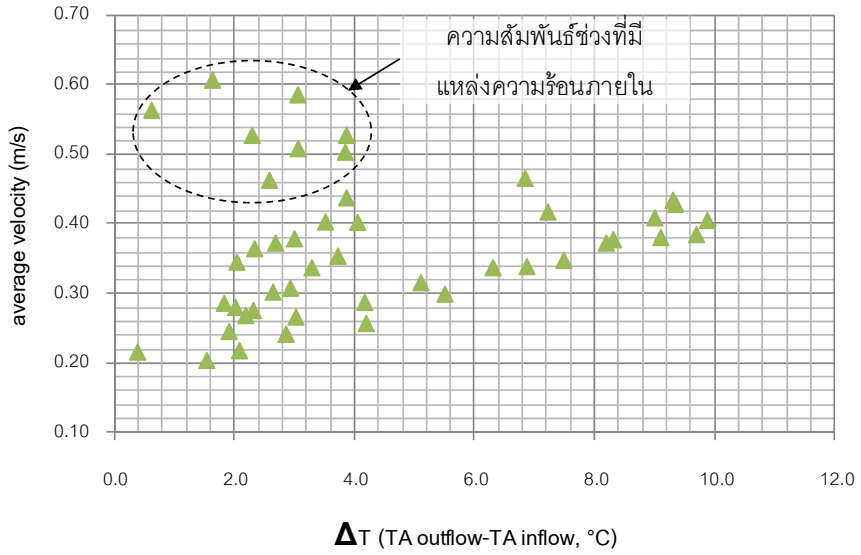
2) การใช้งานช่วงเวลากลางคืน

(1) ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก

ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศ กับค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก มีความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4.35 เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 คือ ข้อมูลความเร็วอากาศมีค่าสูง แต่มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเข้า-ออกน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอุณหภูมิอากาศจากภาพที่ 4.28 จะพบว่า อุณหภูมิอากาศในช่องว่างอากาศกับอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อมมีค่าความแตกต่างมาก จึงศึกษาความสัมพันธ์ดังข้อ (2) และภาพที่ 4.36

ภาพที่ 4.35

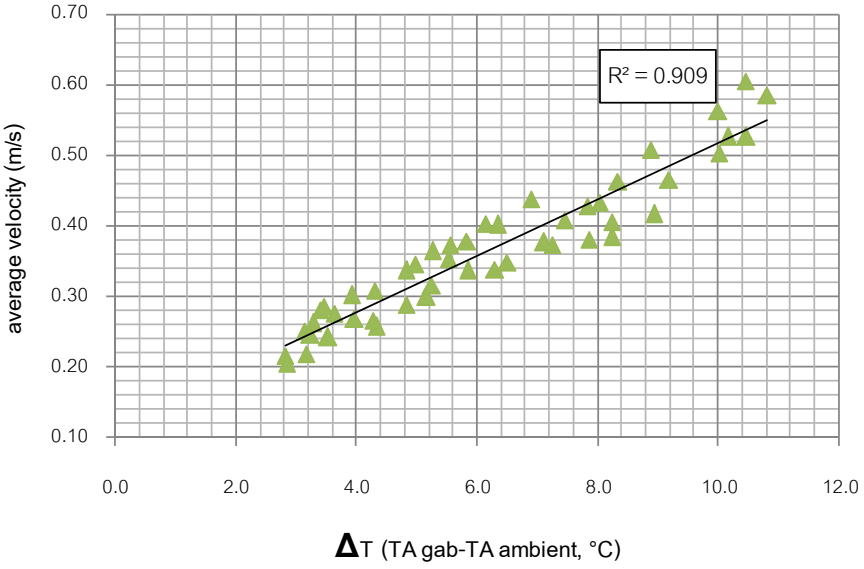
ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศเข้า-ออก



(2) ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม แสดงดังภาพที่ 4.36

ภาพที่ 4.36

ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม



จากการศึกษาพบว่าค่าความเร็วอากาศที่เกิดขึ้นเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิช่องว่างอากาศ (TA gab) และอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม (TA ambient) โดยมีค่า R^2=0.909 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม กับค่าความเร็วอากาศ ดังภาพที่ 4.36

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศในผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง กับการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างอุณหภูมิผิวผนัง และอุณหภูมิอากาศ พบว่า เมื่อภายในห้องมีแหล่งความร้อนเนื่องจากการใช้งาน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ และอัตราการระบายอากาศจะสัมพันธ์กับความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในระบบผนัง (TA gab) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (TA ambient)

4.3.3 <u>ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ ที่ส่งผลต่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติของห้อง</u>

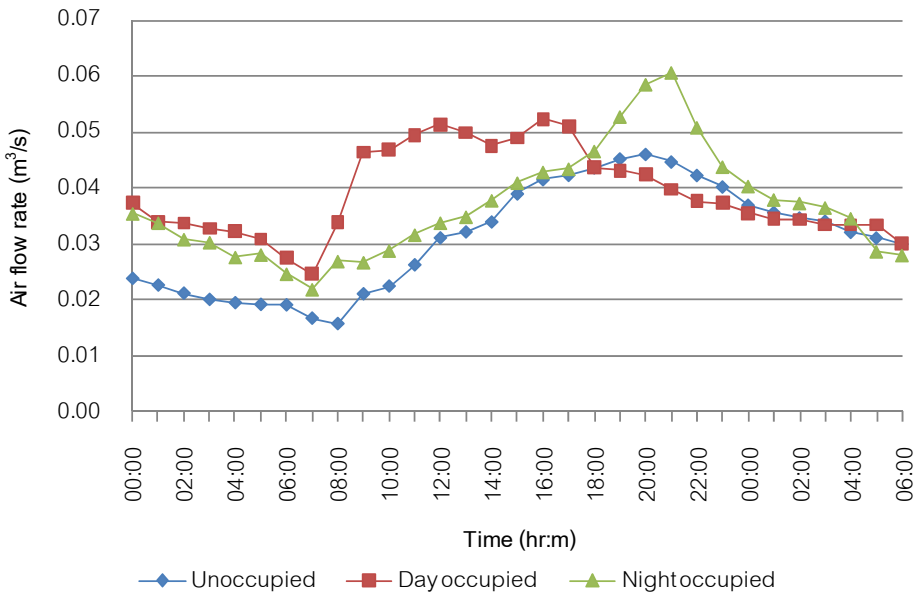
จากข้อมูลความเร็วอากาศที่ได้จากการทดลอง นำมาหาค่าอัตราการระบายอากาศ $(\dot{V})$ ได้จากสมการที่ (4.8)

$$\dot{V} = Av \qquad \text{สมการที่ (4.8)}$$

มีค่าดังภาพที่ 4.37

ภาพที่ 4.37

อัตราการระบายอากาศตามช่วงเวลา

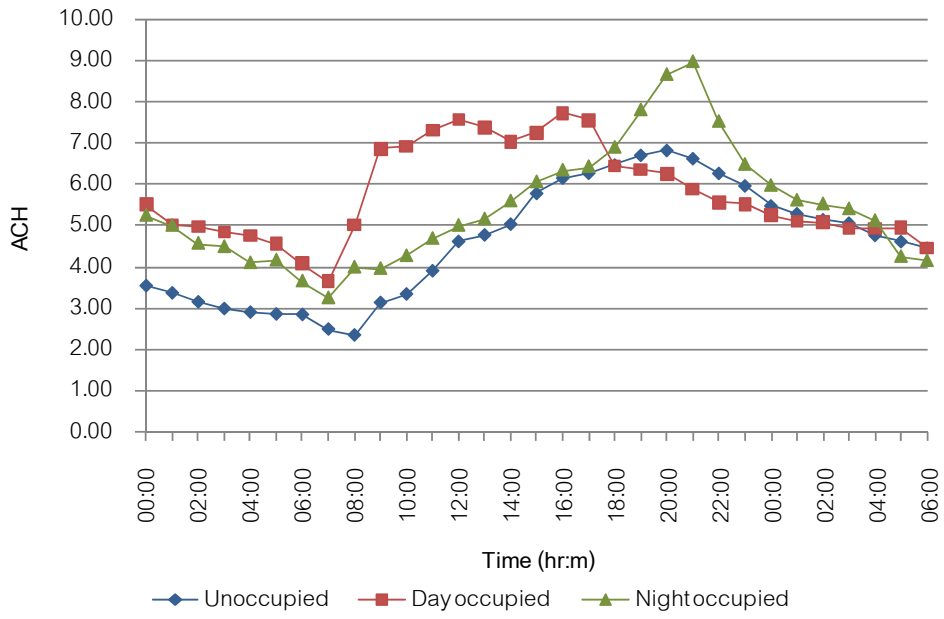


ในการทดลองเป็นการเก็บข้อมูลจากปริมาตรห้องที่มีขนาดเล็ก จึงนำอัตราการระบายอากาศมาคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate) ตามสมการที่ (4.9)

$$\text{ACH} = \frac{\text{Air fow rate}}{\text{Volume}} \times 3600 \qquad \text{สมการที่ (4.9)}$$

ซึ่งตัวอย่างผลที่คำนวณได้สำหรับปริมาตรห้องขนาด 24 ลูกบาศก์เมตร จะมีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ แสดงดังภาพที่ 4.38

ภาพที่ 4.38
อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศตามช่วงเวลา

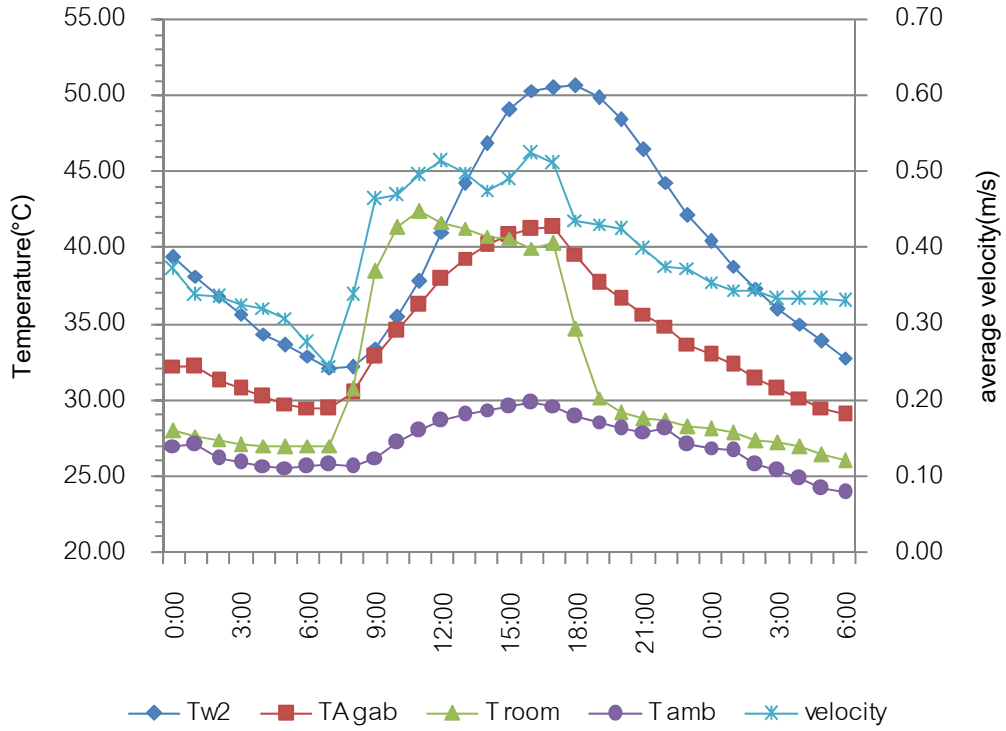


จากการคำนวณหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้อง พบว่า ห้องที่มีการใช้งานตอนกลางวันมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 7 ACH ในช่วงเวลา 8.00-17.00 น. และห้องที่มีการใช้งานตอนกลางคืนมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 7-9 ACH ในช่วงเวลา 18.00-22.00 น. ซึ่งเพียงพอสำหรับการแลกเปลี่ยนของอากาศในอาคารพักอาศัย อาคารสำนักงานและร้านค้าทั่วไป

4.3.4 <u>อิทธิพลการหน่วงความร้อนของวัสดุผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง และช่วงเวลาที่เกิดการระบายอากาโดยวิธีธรรมชาติ</u>

จากข้อมูลการเคลื่อนที่ของอากาศ เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องที่มีการใช้งาน จะเห็นว่าการระบายอากาศของห้องที่มีการใช้งานโดยการจำลองแหล่งความร้อนที่มีค่าเท่ากัน แต่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิห้องในอัตราที่ต่างกันดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ทั้งนี้เป็นผลมาจากการระบายอากาศที่เกิดขึ้นนั้นมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาการหน่วงความร้อนของวัสดุผนังที่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติ และส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 4.39 และ 4.40

ภาพที่ 4.39
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับความเร็วอากาศ
(การใช้งานเวลากลางวัน)

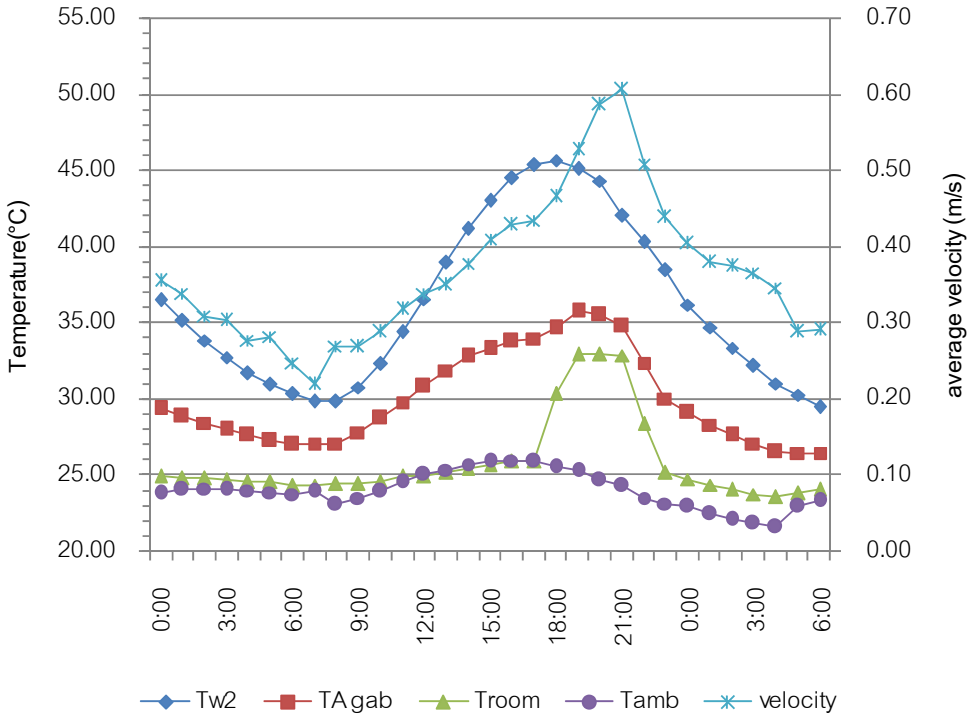


ภาพที่ 4.39 จะเห็นว่าระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงเพื่อการระบายอากาศที่มีวัสดุมวลสารเป็นผนังภายนอก กับห้องที่มีการใช้งานเวลากลางวัน การหน่วงความร้อนของวัสดุทำให้

เกิดการระบายอากาศที่เกิดขึ้นช้าทำให้ห้องมีความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นมาก จนกระทั่งมีการเคลื่อนที่ของอากาศที่เพียงพอในช่วงเวลา 11.00 น. จึงทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิอากาศในห้อง และในขณะที่เมื่อห้องไม่มีการใช้งาน การระบายอากาศที่เกิดขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิห้องใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อมภายนอก

แต่ในห้องที่มีการใช้งานเวลากลางคืน จะเห็นว่าระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงเพื่อการระบายอากาศที่มีวัสดุมวลสารเป็นผนังภายนอก การหน่วงความร้อนของวัสดุทำให้เกิดการระบายอากาศที่สูงอยู่แล้วในขณะที่ห้องเริ่มมีการใช้งาน จึงทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องเพิ่มขึ้นในปริมาณที่น้อยกว่าการใช้งานช่วงเวลากลางวัน และเช่นเดียวกันการระบายอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงที่ไม่มีการใช้งาน อุณหภูมิห้องจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ดังภาพที่ 4.40

ภาพที่ 4.40
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับความเร็วอากาศ
(การใช้งานเวลากลางคืน)



จากการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 แสดงให้เห็นว่าระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงเพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ จะทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องจะมีค่าต่ำในเวลากลางคืน คือ

1) สำหรับห้องที่ไม่มีการใช้งาน การระบายอากาศที่เกิดขึ้น ทำให้อุณหภูมิอากาศในห้องจะลดต่ำลงเนื่องจากการนำพาอากาศเย็นจากอากาศสภาพแวดล้อมภายนอกในช่วงเวลากลางคืนเข้าสู่พื้นที่

2) สำหรับห้องที่มีการใช้งาน การระบายอากาศที่เกิดขึ้น ทำให้อากาศร้อนที่เกิดจากการใช้งานสามารถระบายออกจากห้องได้ดี ส่งผลให้อุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้นน้อย

ดังนั้น ผนังทรอมบ์แบบปรับปรุงที่มีผนังภายนอกเป็นวัสดุมวลสารมากมีความเหมาะสมกับการใช้งานกับพื้นที่ที่มีการใช้งานเวลากลางคืน เช่น บ้านพักอาศัย เป็นต้น

4.3.5 <u>สรุปผลการศึกษาการทดลองที่ 2 ระบบผนังระบายอากาศ</u>

1) เมื่อห้องไม่มีการใช้งาน การเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างอุณหภูมิอากาศเข้า-ออกช่องว่างอากาศ แต่เมื่อห้องมีการใช้งาน การเคลื่อนที่ของอากาศจะสัมพันธ์กับความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศสภาพแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศในระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง

2) ห้องที่มีการใช้งานเวลากลางวัน ที่อุณหภูมิห้องทดลองเพิ่มขึ้นประมาณ 13 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะมีการระบายอากาศเกิดขึ้นโดยอุณหภูมิห้องจะลดต่ำลง หลังจากเวลา 11.00 น.

3) ห้องที่มีการใช้งานเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิห้องทดลองเพิ่มขึ้น 8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการใช้งานกลางวัน เนื่องจากเกิดการระบายอากาศสูงในช่วงเวลา 18.00 น. พร้อมกับช่วงเวลาที่เริ่มมีการใช้งาน

4) การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติที่เกิดขึ้นมีค่าสูงในช่วงเวลาเย็น เนื่องจากเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง และความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม